

01173



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

"REDISEÑO DE UNA MAQUINA LAMINADORA DE
PELLETS DE PLASTICO"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERIA

P R E S E N T A :

GUADALUPE ADRIAN BUENOSTRO MENDOZA



TUTOR: MI. ANTONIO ZEPEDA SANCHEZ.

2005

m. 339794



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Yo, Buenrostro Miranda, declaro que el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Guadalupe Adrian
Buenrostro Miranda

FECHA: 7 - Enero - 2005

FIRMA: Buenrostro

INTRODUCCIÓN:	5
OBJETIVO DEL TRABAJO	6
Objetivos del rediseño	6
CAPÍTULO I	8
ANTECEDENTES DE PROYECTO	8
Fotografía 1.1: Máquina original	9
Fotografía 1.2: Vista frontal de los rodillos	10
Fotografía 1.3: Acercamiento en la zona de rodillos	10
Fotografía 4: Vista general del prototipo	13
Fotografía 5: Vista de los rodillos del prototipo generado	13
Fotografía 6: Cápsula de lubricante del sistema de lubricación	14
Fotografía 7: Lubricación en cadena, engranes y rodamientos de rodillos	15
Fotografía 8: Sistema de lubricación de cadena y engranes del equipo original	16
Evaluación del prototipo funcional	17
Metodología utilizada en el rediseño del prototipo actual	17
Aspectos específicos observados por el cliente en la evaluación del prototipo	18
CAPÍTULO II	21
Evaluación del prototipo	21
Prototipo funcional	21
2.1 Rediseño	22
2.2 Necesidades y medidas	23
2.2.1 Simplificación de QFD (Quality Function Deployment)	23
Tabla 2.2.1.1 Desarrollo de los tres niveles para los requerimientos del cliente	24
Tabla 2.2.1.2 Diagrama general de la casa de la calidad desarrollado para el análisis del rediseño	25
Tabla 2.2.1.3	26
2.2.1.1 Tabla de relación entre requerimientos y sistemas involucrados	28
2.2.2 Importancia de los requerimientos	28
2.2.2.1 Tabla 2.2 Para calificar los requerimientos	29
2.2.2.2 Tabla 2.3 Correlación entre requerimientos y sistemas involucrados	30
2.3 Cuantificación de los requerimientos	31
2.4 Cuantificación de las correlaciones entre requerimientos y sistemas	32
2.6 Diseño conceptual de los sistemas involucrados	34
2.6.1 Sistema de calentamiento	34
2.6.2 Figura 2.5 Caja negra para sistema de calentamiento de los rodillos	34
2.6.3 Sistema de calentamiento de los rodillos con vapor de agua	35
Figura 2.6.4 Ductos para conducir el fluido caliente a través del rodillo	36
Figura 2.6.5 Disposición de quemadores para calentamiento por combustión fuera de los rodillos	38
Figura 2.6.6 Calentamiento solar con superficie reflejante	38
Figura 2.7 Rodillo con propiedades térmicas variables	39
2.6.8 Ecuación 2.8 de transferencia de calor	40
Capítulo III	44
Rediseño del prototipo actual	44
3.1 Rediseño preliminar	45
3.1.1 Calentamiento por resistencias eléctricas	45

Figura 3.2 Disposición del sentido de las resistencias en rodillos.....	46
Figura 3.3 Calentamiento de rodillos por fricción.....	47
Figura 3.4 Calentamiento externo de rodillos por radiación	48
3.5 Sistema de control de temperatura.....	48
3.6 Figura 3.6 Esquema de ducto y ventilador para enfriar controladores de temperatura	51
3.7 Transferencia de calor del material involucrado	51
3.8 Sistema generador de potencia.	52
3.9 Sistema de transmisión de potencia.	53
3.10 Sistema de eliminación de potencia y paro de emergencia.	54
3.11 Sistema de laminado (rodillos).....	55
3.12 Sistema de ajuste de espesor.....	55
3.13 Sistema de lubricación de rodillos.....	56
3.14 Sistema de control de flujo de material a los extremos	57
3.15 Sistema de transmisión de corriente a resistencias.....	58
3.16 Sistema de control de flujo de calor al ambiente.....	58
Figura 3.16.1	59
Capítulo IV	60
4.1 Comparación.....	61
Comparación de los sistemas del prototipo y del rediseño.....	63
Grafica de los sistemas del prototipo y del rediseño	64
Arreglo de resistencias.....	64
Sistema de mejora para la falla en respuesta de controles de temperatura y un calentamiento de la superficie más rápido.....	65
Implementación de banco de resistencias y de un inversor de frecuencia para realizar paro instantáneo.....	66
Cambios en el sistema de transmisión de potencia.....	67
Controlar el espesor de muestra homogéneo.....	68
Sistema de lubricación más eficiente.....	69
Sistema de reducción de material fluyendo a rodamientos.	70
Reducción de flujo de calor al operador.....	72
Conclusiones.....	73
Bibliografía.....	70
Apéndice A	72
Apéndice B	76
Apéndice C	83
Planos	92

INTRODUCCIÓN:

En la industria nacional, pequeñas, medianas y grandes empresas tienen todos los procesos que hacen necesaria la utilización de maquinaria para facilitar su desarrollo, para simplificarlos o para reducir costos; comúnmente los procesos requieren equipo especial.

Existen compañías que una vez que han desarrollado cierta pericia o que su proceso ha llegado a un nivel de madurez suficiente, que cambiar parte de su equipo o proceso, difícilmente mejorará el resultado final de sus productos, ya sea por tiempo, costo, logística, economía o mercadeo, algunos equipos son el mejor método para realizar sus procesos. Es común encontrar compañías que cuentan con equipos desde hace mucho tiempo, los operadores, su proceso y sus clientes, tienen un nivel de satisfacción que supera al de la competencia, colocándolos en una posición de mercado privilegiada.

Con el fin de mantenerse en esta posición en el mercado, existen compañías dispuestas a invertir en más equipo pero sin modificar su proceso, sin cambiar tiempos, herramientas, personal, etc. Es común notar que los equipos que estas requieren no están disponibles en el mercado, por lo que se recurre a reparaciones de equipos usados o la fabricación de los mismos.

Como caso de estudio se tiene una compañía de fabricación de pellets de plástico, que requiere validar con pruebas mecánicas las propiedades del material que produce; para ello se auxilia de una máquina laminadora como la que se muestra en el apéndice A, sin embargo, la capacidad de la producción que tiene esta empresa, rebasa la de esta laminadora en el proceso de validación de los lotes de producción.

La compañía intenta conseguir un equipo similar, pues la satisfacción que el cliente tiene con el equipo es suficiente para tomar la decisión de conseguir un equipo igual, sin embargo, en el mercado actual no es posible comprar este equipo de forma comercial, por ello solicitan se les fabrique una máquina similar, restringiendo el diseño de la misma a ciertas especificaciones como dimensiones, apariencia y temperaturas de operación, entre otras.

En el proceso requerido por la compañía que solicitó la máquina, tiene que contar con las características necesarias para moler, fundir y laminar pellets de plástico que permita realizar las pruebas mecánicas de los lotes de producción de pellets de una empresa en México. En el caso de la laminadora motivo de este trabajo, dado el proceso necesario; este tipo de laminación se denomina "calandrado" (*calendering*) (rolling milling).

De acuerdo a lo antes mencionado, se propone el siguiente objetivo para desarrollo del presente trabajo.

OBJETIVO DEL TRABAJO

El objetivo de este trabajo de tesis es el de rediseñar el prototipo para laminado de pellets de plástico tomando como base el prototipo actual para mejorarlo, respetando las especificaciones estipuladas por el cliente con un costo inferior al de las máquinas importadas que podrían utilizarse como solución alternativa.

Evaluable ese prototipo funcional, el propósito de este trabajo es el de considerar los requerimientos, determinar su nivel de importancia para abordar el proceso de rediseño y proponer la solución de estos requerimientos.

Basándose en un criterio general del análisis de Kano, se han limitado los objetivos en este proyecto para cumplir únicamente con los requerimientos del cliente, haciendo funcionales los sistemas involucrados sin envolver cambios adicionales intentando hacer más funcional el sistema.

Objetivos del rediseño

Este trabajo toma especificaciones y requerimientos evaluados en un prototipo funcional que da solución a los requerimientos del cliente, sin embargo tiene aún más aspectos que el cliente mismo solicita se consideren en un rediseño para mejorar el desempeño del equipo, hasta llegar al diseño conceptual que proponga una solución para cada caso, respetando las restricciones del cliente y cumpliendo con los requerimientos, del prototipo funcional y del equipo original; es decir, respetando lo alcanzado en la satisfacción del cliente por los equipos anteriores, el equipo original y el prototipo.

Este trabajo se basa en el análisis y teorías de diseño para generar una propuesta final que cumpla con los requerimientos del cliente lo más apegado posible a estos.

En este trabajo se dará a conocer una posibilidad de mejorar esta máquina, pues es requerida por una sección de la industria del plástico que aunque muy específica, tiene requerimientos que no son compatibles con las ofertas del mercado. Se propone una solución con características que mejoren el equipo utilizando materiales lo más factibles de conseguirse en mercado nacional, considerando la posibilidad de tener una demanda mayor de estas máquinas y que el mantenimiento de las mismas con materiales disponibles es un requerimiento del cliente.

En los antecedentes se presenta la información necesaria para comprender el tema, esto es; el resultado del desarrollo de un prototipo de máquina para laminar pellets de plástico. Como antecedentes del proyecto se tienen las condiciones que generaron la necesidad de fabricar la máquina y las especificaciones que el cliente da como parámetros a cubrir en la generación de la solución del problema.

También se aborda el análisis de los requerimientos del cliente, estimando su importancia e impacto en la solución final o segundo prototipo. Es con estas estimaciones que se procede a dar soluciones a cada uno de los puntos que el cliente especifica como aspectos a mejorar.

Cada uno de los casos analizados para dar solución a los requerimientos y especificaciones del cliente, es analizado tomando en cuenta las ventajas y desventajas que se pueden encontrar con su implementación. El orden de importancia está determinado por las necesidades del cliente, es decir, lo que el cliente considera más importante para su proceso utilizando este equipo, así; iniciando el análisis de estos aspectos es que se aborda el problema para encontrar la solución general, pues al interactuar los sistemas entre sí, la solución de alguno de ellos puede afectar el resultado de otro subsistema. Tratando de cuidar este aspecto, se abordan los aspectos más importantes, se busca su posible solución y fijando esta, es que se busca una solución para las demás.

Se presentan bosquejos sencillos que representan la disposición preliminar de las soluciones propuestas. Ideas sencillas aplicadas al modelo para solucionar el problema tomando en cuenta los antecedentes del prototipo, las necesidades y requerimientos del cliente.

En la parte final del trabajo se aborda el diseño de detalle de las soluciones propuestas. Planos únicamente de las partes y detalles propuestos en este trabajo, pues el compendio total está en el trabajo realizado previamente en el prototipo.

Finalmente se presentan las conclusiones que evalúan el resultado final total, es decir, las soluciones finales propuestas todas en su conjunto. Esta última parte comprende las conclusiones del trabajo.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES DEL PROYECTO

En esta parte del trabajo de tesis se detallan los aspectos que dan origen al estudio que se presenta, tomando en cuenta las consideraciones del mercado y del cliente de manera general. Se muestran algunas fotografías de las partes y subsistemas del equipo original. También se muestran fotografías de las partes y ensamble general del prototipo y el antecedente del mismo, la máquina original. Se detallan en las imágenes las partes que el cliente identifica como puntos a mejorar y que serán sujetas a análisis en este trabajo; se observa su apariencia real, posición en la máquina y se mencionan sus ventajas y desventajas.

Así mismo se presentan también, los requerimientos y especificaciones que el cliente dio en un principio para la generación del prototipo. Se mencionan también algunas de las técnicas de diseño utilizadas para la evaluación del prototipo y para rediseñar los subsistemas que darán solución a los nuevos requerimientos del cliente planteados luego de observar el comportamiento del prototipo presentado.

Se dan a conocer los puntos que el cliente encuentra en la evaluación durante la operación normal en producción del prototipo generado, estos puntos dan origen a los requerimientos y especificaciones con los que, tomando en cuenta las mejoras del prototipo sobre el equipo original, se rediseñará el prototipo para proponer mejoras en el mismo que solucionen los problemas que se encontraron en éste.

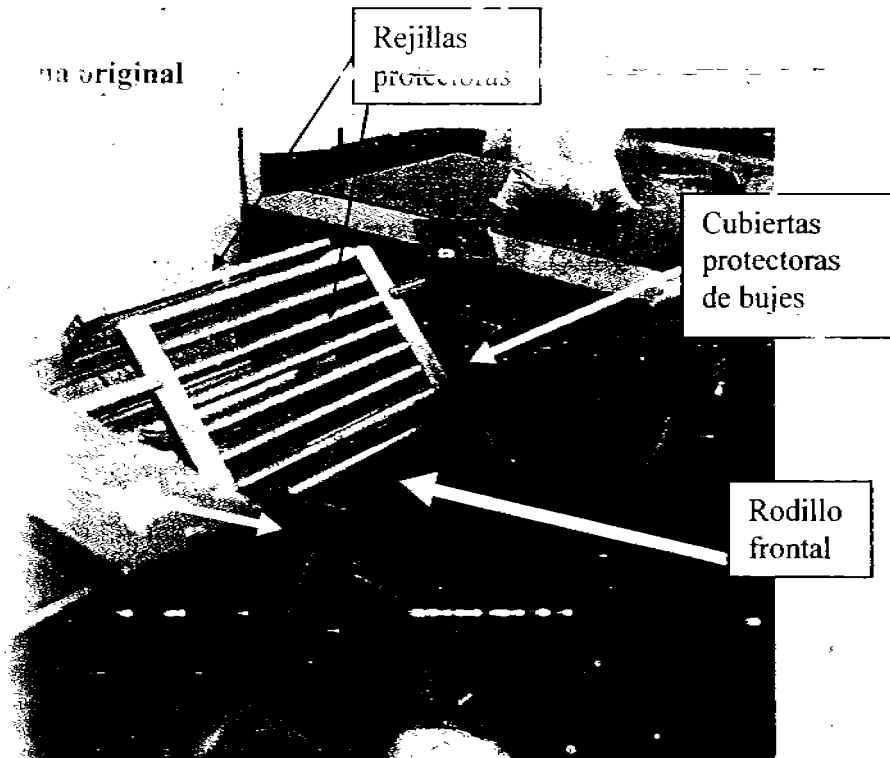
Por razones prácticas y de espacio, se deja el total de la documentación gráfica en el apéndice A.

ENTES DEL PROYECTO

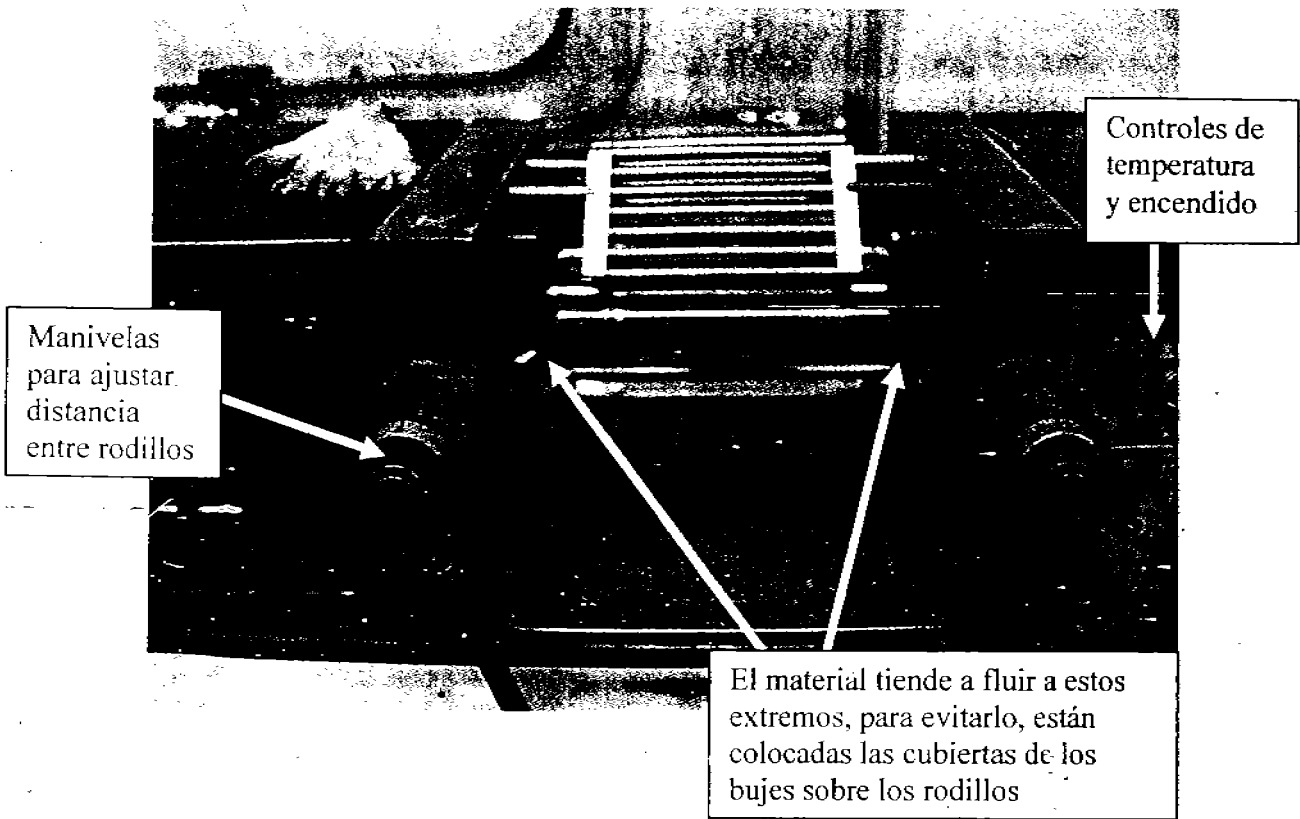
ne utiliza este tipo de maquinaria se dedica a producir pellets de querimiento gubernamental y de mercado, se requiere validar la e comercializa; así la laminadora es utilizada para realizar e t generan las muestras para las pruebas mecánicas a los lotes de e representativas de los mismos son tomadas para realizar esta e spaldar la calidad del producto que se ofrece, además de e nea de producción en caso de fallas durante el proceso de

aba al inicio del proyecto con un equipo para este fin (Fotografía e debido a que los lotes de producción rebasan la capacidad de la e de plástico para producir suficientes láminas de plástico de cada e ginaba problemas diversos, retraso en las ventas, incremento en e fabricación por mencionar algunos problemas. Otro problemas es e erido, pues debido a la vida útil que alcanza este equipo, el e stante y también influye en el retraso de la producción por el e sin probar que se acumula en la fábrica debido a los tiempos e en el mantenimiento.

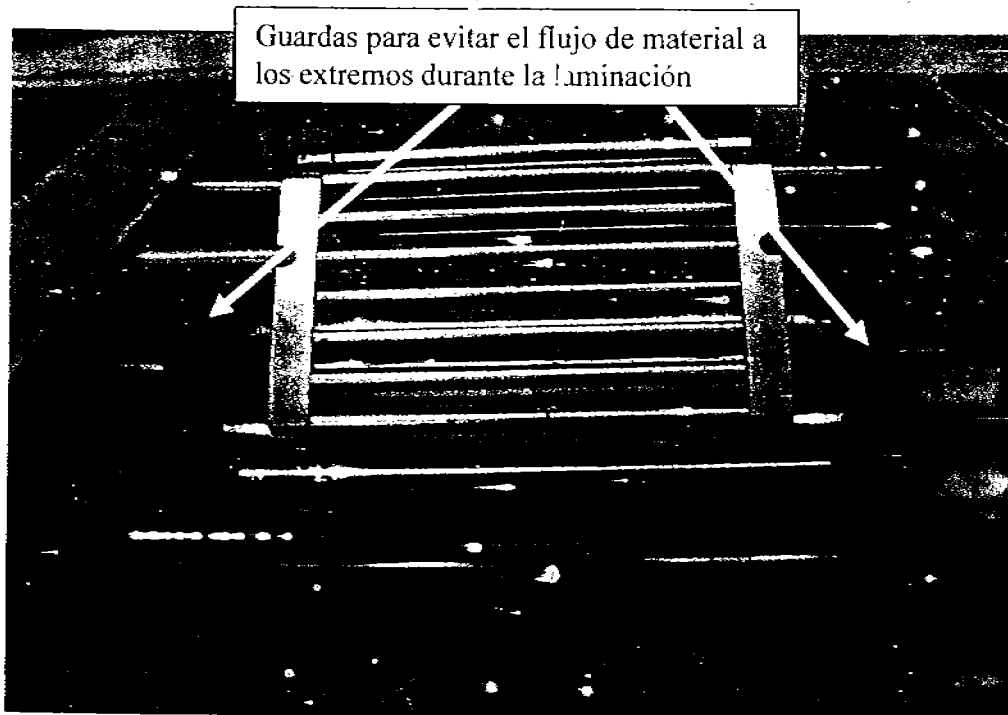
anado es el que se muestra en la gráfica siguiente



Fotografía 1.2: Vista frontal de los rodillos



Fotografía 1.3: Acercamiento en la zona de rodillos



Dadas las características del proceso, el cliente requirió un equipo muy semejante al que se muestra en la fotografía 1, que era su ~~equipo original~~. Este requerimiento obligó a hacer un rediseño muy restringido pero que permitió abordar el tema de manera profunda para cumplir con este y otros requerimientos planteados por el cliente.

Los requerimientos y especificaciones fueron:

Especificaciones

- Rodillos de 110 mm de diámetro
- Longitud de rodillos de 60 cm
- Altura y ancho similar a la máquina original
- Temperatura de hasta 220 °C
- Alrededor de 60 rpm
- Espesores de laminación de hasta 0.04 mm
- Sistema de alimentación de 110 o de 220 V

Requerimientos

- Apariencia similar al modelo anterior
- Reducción en el desgaste de rodillos
- Disminuir el polímero que fluye a los rodillos
- Lubricar eficientemente reduciendo goteos de lubricante (derrames)
- Separar los periodos de falla y mantenimiento
- Consumos energéticos similares a los del equipo anterior.
- El procedimiento de operación deberá mantenerse lo más parecido posible al actual.
- Los rangos de temperatura deben de ser los mismos que maneja la máquina original
- Mantenimiento con partes disponibles en el mercado nacional para reducir tiempos y costos.
- Que el operador quede expuesto a un golpe de temperatura menor (consideración solicitada por el mismo operador)

En el mercado no se encontró un equipo que cubriera todas las especificaciones y requerimientos del cliente.

Las máquinas del mercado no están diseñadas para trabajar el plástico como lo hace el equipo en cuestión, no tenían las dimensiones requeridas por el cliente y pocas cumplían con las revoluciones que solicitó el cliente. Aunado a estos problemas, el cliente también solicita que las partes que formaran parte del equipo deben estar disponibles en el mercado nacional; una máquina importada no cuenta con ese beneficio para el cliente, siendo necesario importar cada refacción que no se encuentre disponible en el país.

Los equipos alternativos tenían además de características que difieren del equipo inicial, un costo elevado; teniendo precios que van desde los US \$15 000 dls. a los \$22 000 dls. Estas cantidades hacen que el cliente se decida por mandar a fabricar su equipo

en territorio nacional, bajando los costos de la máquina y obteniendo las características deseadas.

Por todos estos aspectos, se considera la elaboración de la solución diseñando un equipo en territorio nacional con las partes disponibles en el mercado local, basándose en los requerimientos y especificaciones del cliente.

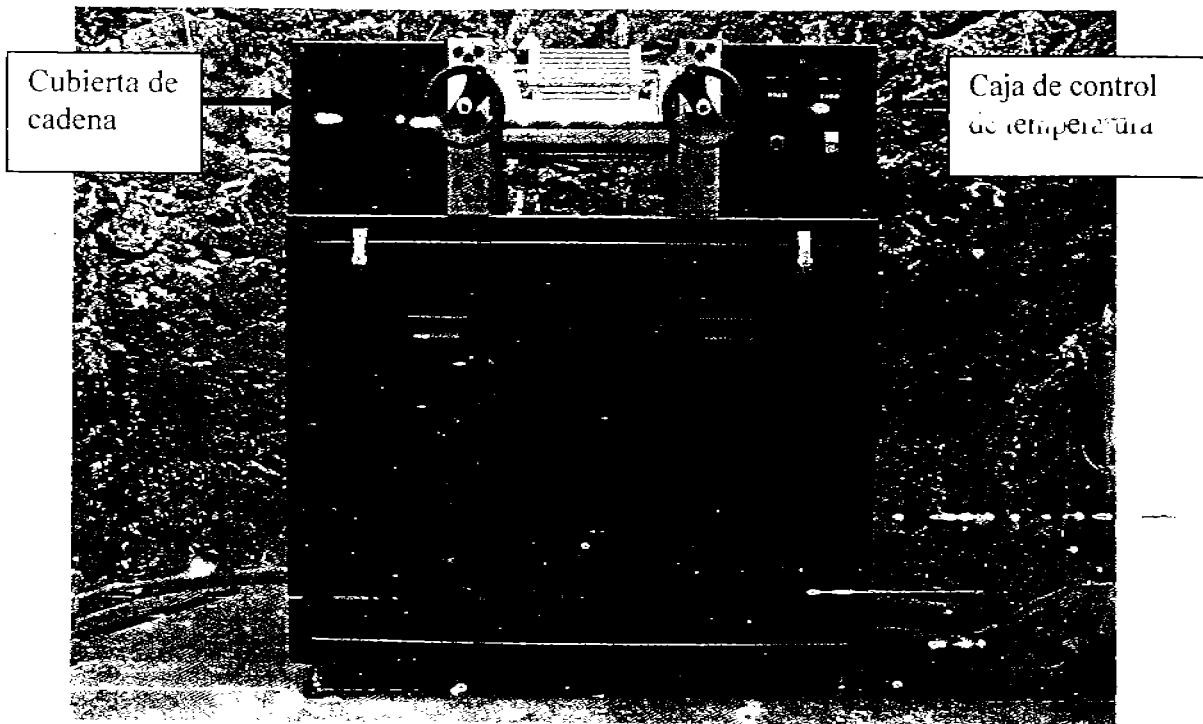
En general el cliente no espera contar con problemas de capacitación de personal debido a cambios drásticos en la estructura y operación de la máquina, tampoco espera cambiar su proceso de producción o modificar la línea de fabricación. En resumen requiere la opción de conseguir una máquina igual; eliminar algunos problemas, (seguridad, limpieza, mantenimiento) es un valor agregado para el cliente.

Como solución a este problema se presentó un prototipo funcional (ver *Gráfica 4*) que ya fue diseñado y construido y que cumple con las especificaciones del cliente en prácticamente todos los aspectos. Sin embargo, una vez probado este equipo, se presentaron detalles a mejorar; cabe destacar que estos detalles no son un problema para la operación de la máquina, pero el cliente los considera puntos a corregir si se decide comprar otro equipo. Son estos puntos a mejorar los que justifican el proceso de rediseño que es el objetivo de este trabajo de tesis.

En el desarrollo de este prototipo, se utilizaron técnicas como AMEF (Análisis de modo y efecto de falla), de manera sencilla se consideraron conceptos del análisis de Boothroyd para tratar de simplificar el ensamble y desensamble de las piezas para su mantenimiento. También se realizó un árbol de falla para encontrar puntos críticos de la operación y mantenimiento, generar el manual de operación y el manual de mantenimiento y solución de problemas. Para una referencia más detallada de las herramientas de diseño utilizadas en la generación de este prototipo, revise el Apéndice B.

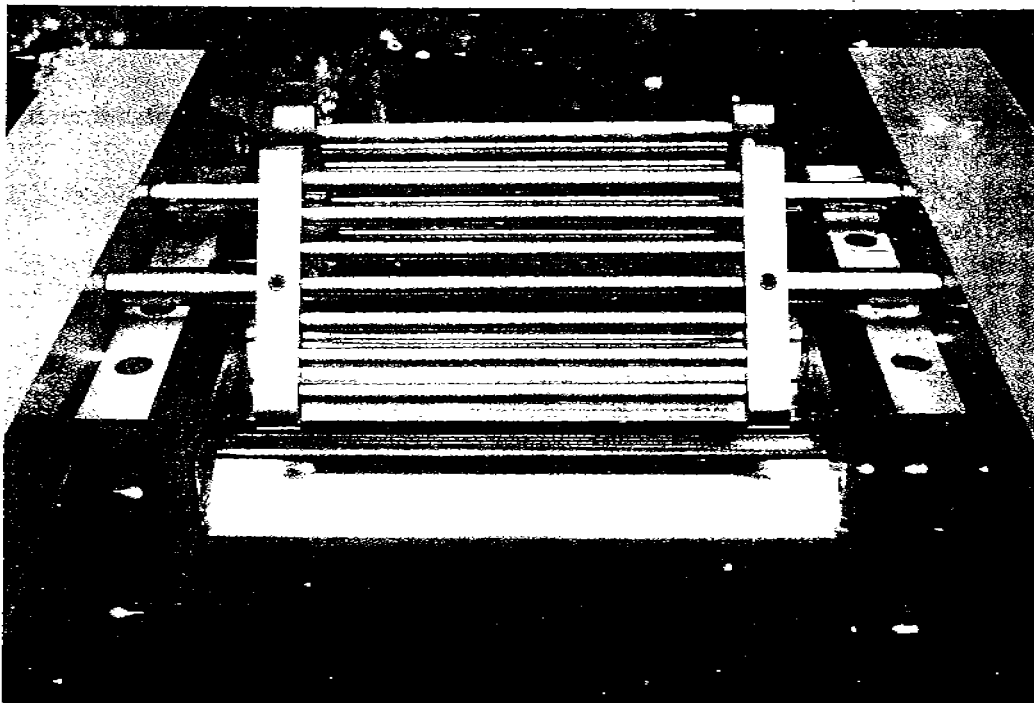
El equipo diseñado se presenta en las fotografías 4 y 5. Corresponde al prototipo que se generó basándose en y cumpliendo los requerimientos y especificaciones del cliente.

Fotografía 4: Vista general del prototipo



La siguiente fotografía muestra una vista similar a la mostrada en la fotografía 3, pero en este caso se trata de una vista del prototipo generado.

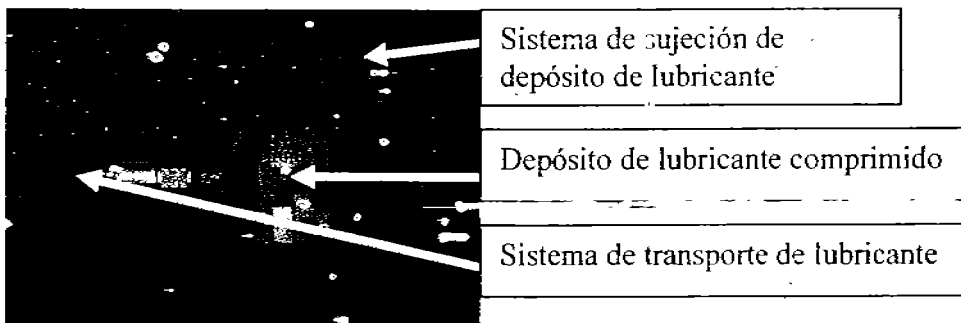
Fotografía 5: Vista de los rodillos del prototipo generado



El prototipo que se muestra en las fotografías 4 y 5, como se puede observar, tiene los mismos componentes que la máquina original mostrada en las fotografías 1, 2 y 3, la diferencia es que los requerimientos del cliente que no cumplía la máquina original, son ahora satisfechos con este prototipo.

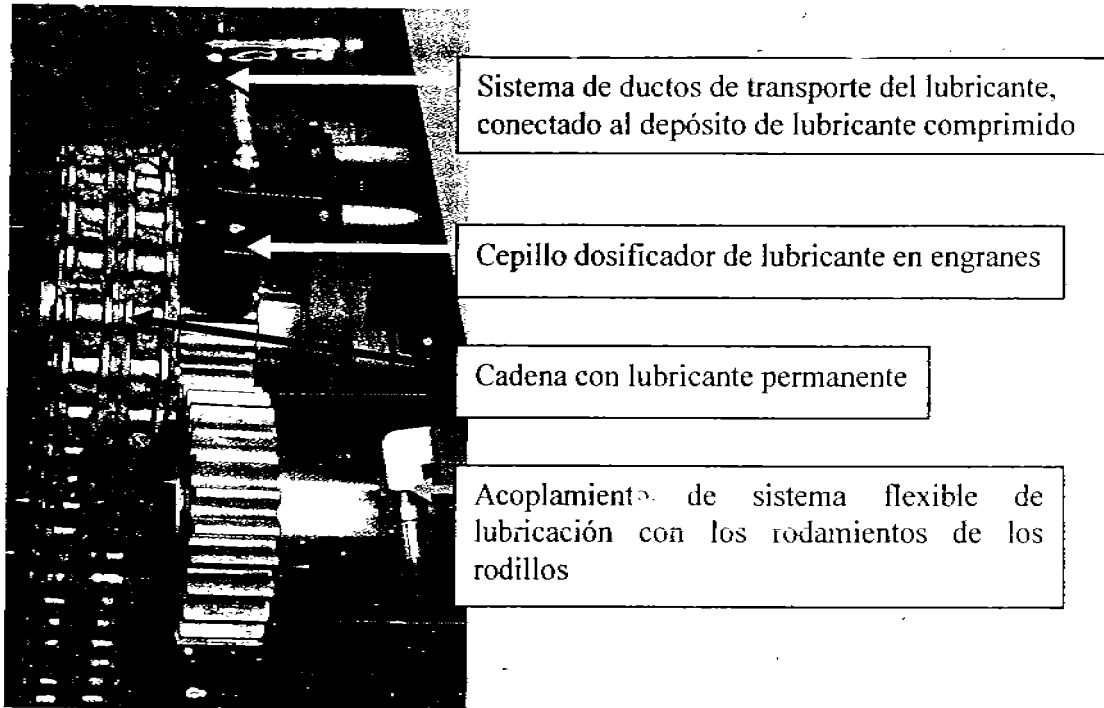
Algunos elementos fueron cambiados en material, originalmente bronce como se puede observar, el material de las guardas en el prototipo es latón el material que compone esta pieza, la geometría y función son la misma, se cambió acero por latón, pues este material no daña los rodillos si estos entran en contacto y tampoco afecta el principio básico de funcionamiento de los mismos. Otros cambios fueron hechos en la marca de fabricante de los componentes o partes para que fuera disponible conseguirlos sin problema en el territorio nacional como el cliente lo pidió, otros solo constaron de modificar la geometría conservando la misma función y apariencia general del equipo, sin afectar o cambiar el funcionamiento, otros cambios necesarios fueron hechos para cumplir con los requerimientos del cliente, como el caso de la lubricación, que como muestra la figura 6, se cambió por un sistema de lubricación de cápsulas de lubricante comprimido.

Fotografía 6: Cápsula de lubricante del sistema de lubricación



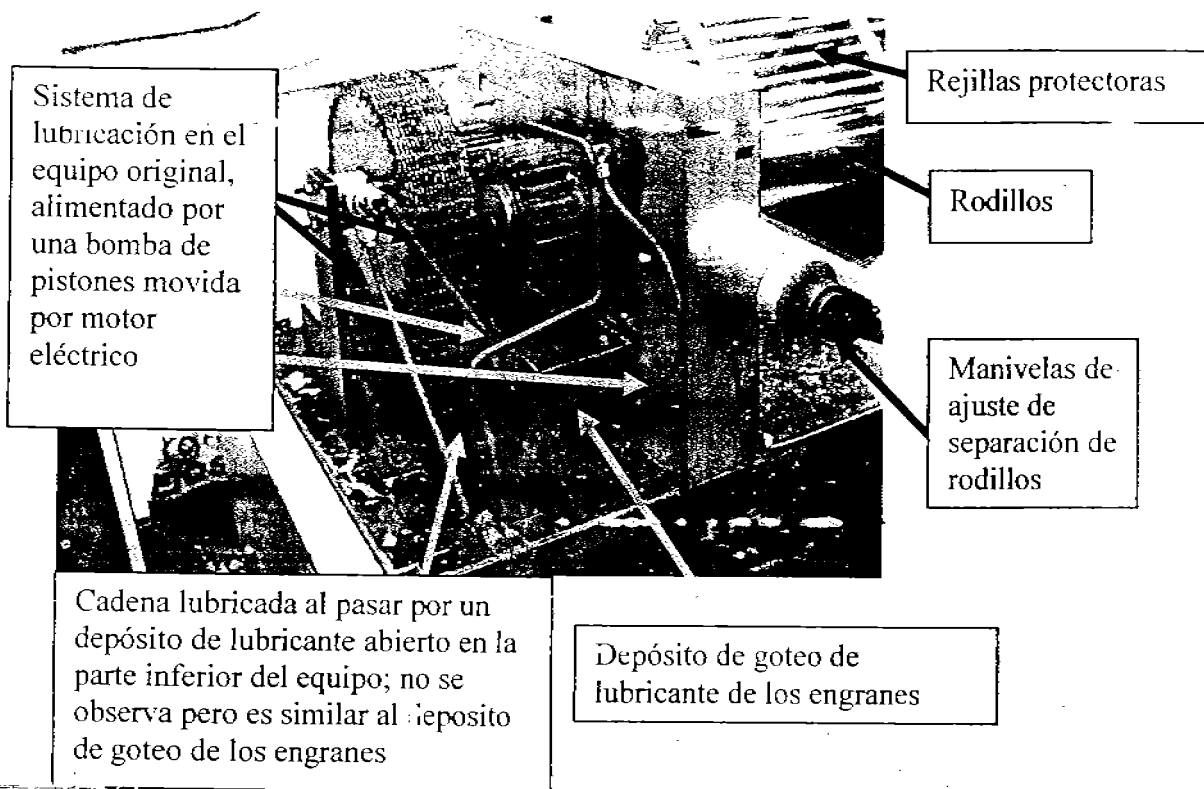
Fotografía 7: Lubricación en cadena, engranes y rodamientos de rodillos

En la contraparte izquierda del ensamble de rodillos



Anteriormente, el sistema de lubricación se hacía llenando un ducto que de un depósito sustraña el lubricante con una bomba, vaciando el lubricante en los sistemas necesarios, el problema eran los constantes derrames y goteos que ensuciaban el equipo, las muestras y el piso como se muestra en la gráfica siguiente.

Fotografía 8: Sistema de lubricación de cadena y engranes del equipo original



En la evaluación del prototipo, se describen los aspectos adicionales que el cliente y los operadores encuentran al utilizar en operación normal el prototipo que se diseñó y construyó para dar solución a los problemas encontrados con la máquina original. Con base en esta información se partirá para proponer las mejoras al prototipo.

Evaluación del prototipo funcional

Se analizan aspectos notados por el cliente y los operadores. Es con estas observaciones que se ~~aborda de~~ ~~manera~~ más específica el problema de cada uno de los puntos a mejorar.

Se presenta también el objetivo del trabajo y de manera general, los aspectos que el cliente determina como puntos débiles o a mejorar de forma más específica según la percepción de las personas involucradas en la evaluación

Se consideran aspectos generales discutidos para cada aspecto a mejorar, tales como temperaturas de rodillos, fallas en el control de temperatura y de paro, sistemas de seguridad, resultados de las muestras obtenidas, calidad de las mismas y comentarios de los operadores que sugieren un cuidado a tomar en cuenta durante el rediseño de un segundo prototipo.

Como se ha mencionado anteriormente, prototipo diseñado cumple con los objetivos, especificaciones y requerimientos del cliente originales, sin embargo, el desempeño puede mejorarse rediseñando algunos sistemas o partes para satisfacer completamente los requerimientos del cliente incrementando la satisfacción del mismo con los resultados del trabajo del prototipo. Detalles de diseño que pueden cambiar para reducir partes, simplificar el mantenimiento o el desempeño de ~~las partes~~ que la componen con el objeto de mejorar el proceso de laminado.

Metodología utilizada en el rediseño del prototipo actual

Para el diseñador, los comentarios del cliente, las evaluaciones del operador, las condiciones del mercado y el grado de satisfacción con las soluciones presentadas, son un buen antecedente para abordar un problema de diseño o rediseño, sin embargo, las consideraciones del personal involucrado no son cuantificables fácilmente. Otro problema también es determinar el nivel de importancia que a cada problema se le da en la realidad y su influencia en el resultado final de diseño, pues es común encontrar que la solución de un problema en un equipo o sistema, puede generar conflictos con la solución de otro sistema. Es necesario entonces, saber a qué sistema se dará prioridad, es decir, especial atención, de modo que el sistema que resuelva el requerimiento más importante, sea el que se resuelva con mayor interés sin modificar su resultado, haciendo así, que la solución de los problemas de menor impacto en la satisfacción del cliente, queden relegados en su solución en un segundo nivel de tal forma que no afecten el sistema que resuelva los requerimientos más relevantes.

Con base en que se cuenta con un prototipo construido y operando, mismo que fue requerido por el cliente para satisfacer sus necesidades cumpliendo con sus requerimientos, un equipo comercial que antecede al prototipo y del que se generan los

puntos de mejora según la experiencia del cliente con este equipo, se cuenta también con la opinión del operador y su evaluación así como con las del cliente; comparando la máquina original, el prototipo que están utilizando actualmente y las opciones en el mercado, se propone utilizar QFD como el método más adecuado para este caso, pues existen aspectos que el cliente y el operador quieren mejorar en un nuevo prototipo y es necesario evaluar qué sistemas están involucrados en estas mejoras; conocer cuales de estos requerimientos del cliente y operador son más importantes y que repercutirán en una mayor satisfacción del cliente. Cuidando estos aspectos, QFD arrojará el nivel de importancia que el cliente y los operadores dan a los requerimientos especificados, facilitando así, determinar el nivel de importancia que en el proceso de rediseño se le dará a los sistemas involucrados en la solución de cada requerimiento.

Por las razones antes mencionadas, se utilizará parte del sistema de QFD para evaluar la importancia de los sistemas involucrados en la solución de los problemas, requerimientos y especificaciones del cliente.

Ya que se cuenta con los requerimientos, se consideran los sistemas involucrados en el desempeño de la máquina para cumplir con cada requerimiento y se evalúa su nivel de importancia según el criterio que el cliente da para cada requerimiento. No se hacen comparaciones entre el mercado y otros equipos, pues los únicos equipos que se pueden comparar de manera objetiva son el equipo original y el prototipo funcional con que actualmente cuenta el cliente. Los puntos de mejora de cada equipo, están especificados en los requerimientos del cliente; primero, los requerimientos que surgen por deficiencias del equipo original son los parte de los requerimientos y especificaciones del prototipo; una vez construido el prototipo, sus deficiencias o puntos de mejora, son los requerimientos y especificaciones que se utilizarán (sin dejar de cumplir con los requerimientos y especificaciones utilizadas para generar el prototipo) para rediseñar el prototipo funcional, motivo de este trabajo.

Algunos de los detalles a mejorar encontrados son tomados según comentarios de los operadores, los propios ingenieros involucrados en el proceso de diseño de la máquina y el cliente dueño de la fábrica que solicitó este prototipo.

Aspectos específicos observados por el cliente en la evaluación del prototipo

El cliente y los operadores aprobaron el resultado final obtenido con el prototipo, sin embargo, de manera más específica, durante el trabajo cotidiano con el prototipo, detectaron puntos que no se consideraron inicialmente cuando solicitaron la fabricación del prototipo. Estos puntos surgen debido a las condiciones de trabajo necesarias para mejorar la operación y hacerla más segura y cómoda. Son entonces, requerimientos que no impiden que la máquina realice el principio de funcionamiento para el que fue diseñada; el objetivo de cumplir con estos requerimientos es solo el de mejorar su operación, haciéndola más segura y cómoda de operar.

Aspectos específicos que el cliente y los operadores detectaron como puntos que requieren mejorarse son:

- Calentamiento más homogéneo de los rodillos, la zona izquierda es menos que en la derecha
 - o El ΔT de los rodillos entre los extremos derecho e izquierdo es de $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se requiere una temperatura más homogénea para laminar con propiedades similares los pellets de plástico.
- La inercia de los rodillos luego del paro de emergencia, los hace girar más de $\frac{1}{2}$ vuelta.
 - o Si el paro de emergencia lo acciona un operador debido a que queda atrapado entre los rodillos (mano, ropa, herramienta) la inercia impedirá un paro efectivo para evitar un accidente mayor o catastrófico.
- El laminado de las piezas entrega una lámina con pequeñas variaciones en espesor.
 - o Esta diferencia, si bien no es considerable (apenas alcanzamos a notarla cuando medimos la diferencia de espesores a lo largo de la muestra con un vernier que contaba con una resolución de 0.001 mm logrando medir un espesor mínimo de 1.497 mm y un máximo de 1.502 mm en una muestra que especificaba $1.5\text{ mm} \pm 0.004\text{ mm}$) el rango si bien está apenas fuera de la especificación, no es demasiado y satisface el requerimiento del cliente, pero noté que puede tener una ligera mejora que impacte en la satisfacción del cliente.
- Reducir el material que fluye del rodillo hacia los rodamientos o chumaceras.
 - o A pesar de que el cliente está contento con la eficiencia que mejoró en este modelo con respecto al anterior en el material que fluye a los extremos de los rodillos, considero que puede mejorarse un poco e incrementar la satisfacción del cliente.
- El calor que se percibe al operar la máquina o acercarse al frente de la misma es considerablemente alto.
 - o a pesar de ser similar al de la máquina anterior, este es un punto que los operadores solicitan sea considerado en un rediseño para hacer más cómoda y segura la operación.
- El control de la temperatura a veces corta antes de tiempo.
 - o Esto origina que el tiempo en alcanzar la temperatura deseada, cuando es mayor a $170\text{ }^{\circ}\text{C}$ se tarde alrededor de 10 min .
- La lubricación de los rodamientos de rodillos debe de ser variable con el tiempo.

- Cuando están calientes, los rodillos adelgazan más rápido el lubricante que se suministra a los rodamientos, lo que reduce la eficiencia de esos rodamientos.

El compendio total de fotografías del prototipo se puede observar en el apéndice B, solo en caso que requiera una mayor referencia. Las imágenes mostradas en este trabajo, son las que se consideran necesarias para entender e ilustrar los aspectos que se evalúan en el rediseño del prototipo.

CAPÍTULO II

Evaluación del prototipo

En este capítulo se aborda el rediseño del prototipo funcional, presentado al cliente para solucionar las desventajas del equipo original buscando los puntos de mejora; como ya se mencionó en el capítulo anterior, se encontraron puntos adicionales a mejorar, aspectos del rediseño que no fueron contemplados por el cliente en el momento de dar especificaciones y requerimientos para realizar el diseño del prototipo.

Con herramientas como QFD, se analizan estos aspectos a mejorar para determinar los sistemas y/o subsistemas que influirán en la solución de los problemas encontrados por el cliente.

De manera cualitativa y cuantitativa, se evalúan los aspectos que el cliente quiere se tomen en cuenta para el rediseño. Se determinan también los alcances de este rediseño para enmarcar al lector en el concepto o idea de lo que encontrará en el desarrollo más a fondo del análisis.

Con los conceptos determinados, se aborda de manera conceptual (ideas generales de la solución, nada de manera formal) la posible solución o conjunto de soluciones para el requerimiento o problema a mejorar que el cliente pide. Como en el capítulo se puede observar, son varios subsistemas o sistemas interactuando entre sí. Como ya se explicó anteriormente, es necesario abordar el caso por los subsistemas críticos o más importantes con respecto al impacto en la satisfacción o necesidad del cliente; por eso, una vez determinada la importancia de cada subsistema, se inicia la generación de la solución partiendo de los sistemas o subsistemas más críticos, pues al interactuar varios componentes entre sí, su operación puede afectarse significativamente, por ello se analiza conceptualmente los subsistemas más importantes y a partir de esa posible solución, se generan las soluciones compatibles de los demás subsistemas.

Prototipo funcional

Para la solución del cliente, la propuesta presentada contaba con las características necesarias para cubrir los requerimientos solicitados. Los resultados de la propuesta se basaron en las siguientes consideraciones que comprenden especificaciones y requerimientos del cliente, mismos que se respetan y utilizan para generar el rediseño del prototipo, pues éste ya cumple con estas especificaciones y requerimientos; sin afectar su desempeño, se pretende cubrir además las nuevas especificaciones observadas por el cliente.

- Rodillos de 110 mm de diámetro

- Longitud de rodillos de 60 cm
- Altura y ancho similar a la máquina original
- Apariencia similar al modelo anterior
- Reducción en el desgaste de rodillos
- Disminuir el polímero que fluye a los rodillos
- Lubricar eficientemente reduciendo goteos de lubricante (derrames)
 - Separar los periodos de falla
 - Consumos energéticos similares a los del equipo anterior.
 - El procedimiento de operación deberá mantenerse lo más parecido posible
 - Los rangos de temperatura deben de ser los mismos que maneja la máquina original
 - Que el operador quede expuesto a un golpe de temperatura menor (consideración solicitada por el operador)

Este trabajo previo se tiene como antecedente, pues los resultados se generaron con el, dan solución a varios requerimientos del cliente y mejoran el prototipo funcional con respecto al desempeño del equipo original; por lo que respetando estos resultados, solo se consideran para rediseño los puntos que el cliente sugiere como aspectos a mejorar en un nuevo diseño se detallan en el punto 1.1.1 ya descrito; los cuales en resumen son:

- Calentamiento homogéneo de rodillos
- Controlar mejor el espesor requerido
- Detener los rodillos rápidamente en emergencia
- Mejorar el sistema de lubricación de rodamientos de rodillos
- Eliminar el material que va a los rodamientos de los rodillos
- Evitar el corte de calentamiento antes de tiempo
- Reducir el calor percibido por el operador

Tomando en cuenta los requerimientos del cliente, el prototipo funcional da la solución requerida por el cliente. Son los aspectos a mejorar que el cliente identifica, los que dan motivo a este trabajo de propuesta de rediseño.

Los planos y fotografías del equipo original y del prototipo funcional se muestran en los Apéndices A y B.

2.1 Rediseño

Basándose en los puntos de mejora mencionados en el capítulo anterior, y la metodología de diseño simplificada de QFD, se presenta una propuesta mejorada.

Con el objeto de mejorar los resultados obtenidos con la máquina diseñada y solucionar los puntos que se discutieron del diseño presentado, se plantea a continuación un análisis de diseño de los aspectos que el cliente y operadores han encontrado como puntos de mejora para un rediseño del mismo equipo.

Son estos aspectos los que ofrecen una base sólida de mercado para justificar este proyecto, pues *el diseño de un producto concierne con el hecho de que el mismo por definición debe ser comercialmente exitoso*¹ y en nuestro caso, ya probada la primera solución, es el mismo cliente quien requiere otro equipo y pide que en el rediseño del mismo se consideren algunas cuestiones ya mencionadas anteriormente.

2.2 Necesidades y medidas

2.2.1 Simplificación de QFD (Quality Function Deployment)

Se plantea el análisis de este caso con una simplificación de QFD debido a que el sistema de análisis no tiene competidores en el mercado con quien evaluar las diferencias para el cliente entre el prototipo presentado y el equipo original. Los "cómos" son estimados tomando en cuenta la experiencia previa obtenida con el prototipo.

La simplificación de la casa de la calidad obedece a que por, ejemplo, los requerimientos del cliente, no están divididos en los dos primeros niveles de este recuadro de la casa de la calidad, que corresponde a la primer etapa del despliegue de la función calidad; sin embargo, como introducción al despliegue completo de la función calidad, se presenta a continuación el estudio completo de QFD para el caso, siendo al final de este desarrollo, donde se toma únicamente el recuadro de las interrelaciones y sus resultados, de los que se parte para el desarrollo final del rediseño empezando por el diseño conceptual.

En la siguiente tabla, se puede observar los tres niveles de los requerimientos o los qué's del cliente. Durante el desarrollo del trabajo, se observará únicamente el tercer nivel de los mismos, pues es el que directamente corresponde a clasificar los requerimientos del cliente de forma directa y no en sus componentes generales como lo observamos en los dos primeros niveles, que corresponden a partes más generales del problema

¹ Wright. Design Methods in engineering and product design Mc Graw-Hill. 1998. Cap 1 Pag 1.

Tabla 2.2.1.1 Desarrollo de los tres niveles para los requerimientos del cliente

Primer nivel	Segundo Nivel	Tercer Nivel
Mejorar el desempeño general del equipo e incrementar su eficiencia general	Fuente calorífica	Calentamiento homogéneo de rodillos
		Reducir el calor percibido por el operador
	Calidad de muestra	Laminado de partes con espesor dentro de especificación
		Altas temperaturas más rápido de controlarse
	Desgaste	Lubricación de rodillos variables con el tiempo
	Desperdicio	Reducción de material fluyendo a los extremos de los rodillos
	Seguridad	Paro instantáneo de rodillos en emergencia

Estos niveles sirven para identificar la interconexión entre partes o componentes según los requerimientos del cliente, con estos niveles se puede observar si un conjunto o parte tiene subpartes que influyen en la satisfacción del cliente. Son niveles de asociación entre elementos de la máquina.

Para simplificar el manejo de la información y dada la objetividad del presente trabajo utilizando QFD, se presenta únicamente el nivel 3 de los como's del cliente y su evaluación; no se presentan en todo el trabajo, los dos primeros niveles, sin embargo, se muestran para su correlación en ésta table solamente.

Tabla 2.2.1.2 Diagrama general de la casa de la calidad desarrollado para el análisis del rediseño.

		Orden de importancia	Valor asignado por nivel de importancia	Sistema de calentamiento	Sistema de control de temperatura	Transferencia de calor del material involucrado	Sistema de transmisión de potencia	Sistema generador de potencia	Sistema de eliminación de potencia	Sistema de laminado (Rodillos)	Sistema de ajuste de espesor	Sistema de lubricación de rodamientos de rodillos	Sistema de control de flujo de material a los extremos	Sistema de transmisión de corriente a resistencias.	Control de flujo de calor al ambiente	
Requerimientos del cliente				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	Calentamiento homogéneo de rodillos	1	5	3	1	2									1	30%
	Paro instantáneo de rodillos en emergencia	3	4				3	1	3							20%
	Laminado de partes con espesor dentro de especificación	2	5		1					2	3					25%
	Reducción de material fuyendo a los extremos de los rodillos	7	2		1							1	3			3%
	Reducir el calor percibido por el operador	6	1		1	2										5%
	Lubricación de los rodillos variable con el tiempo	5	3									3			3	3%
	Altas temperaturas más rápido de controlarse	4	3	2	3	1								2		11%
	Suma			5	7	5	3	1	3	2	3	4	3	2	5	100%
Valores técnicos	Absoluto			21	22	15	12	4	12	10	15	11	6	6	9	143
	Relativo			14.7	15.4	10.5	8.4	2.8	8.4	7.0	10.5	7.7	4.2	4.2	6.3	100.0

Esta gráfica completa muestra los valores que el cliente asigna en importancia a cada uno de sus requerimientos o necesidades, es una medida menos discriminatoria que solamente el orden de una lista, pues en éste último, el orden de importancia solo refiere qué es más importante según el cliente, pero no asigna un valor de importancia específico, el asignar un valor de importancia, permite empatar uno o más requerimientos o necesidades a un mismo nivel, no es el caso cuando se ordena la importancia de cada requerimiento, pues cuando se asignan ordenes de importancia, solo se dice qué está primero que otra cosa, no así, que tan importante es en general para la solución o satisfacción final del cliente.

También podemos observar los requerimientos numerados frente al renglón que dice "Requerimientos del cliente" Esta acción no tiene influencia sobre los resultados del análisis.

Los valores técnicos y absolutos corresponden a la sumatoria de todos los valores obtenidos de la multiplicación del valor asignado por nivel de importancia de cada *qué* por el valor de la correlación existente entre los *qué's* y los *cómo's* (la suma de todos los valores asignados por nivel de importancia de cada *qué* multiplicado por el valor de correlación de éste con el *cómo* que le da solución), de este modo, se obtiene al final, un valor que representará el peso de cada opción de solución en el resultado final. Se trata entonces, de asignar un valor numérico a una evaluación subjetiva, permite ver el impacto de cada sistema en el resultado final del análisis.

Tabla 2.2.1.3 Diagrama de interacciones

Correlación de cómo's entre sí.	Sistema de calentamiento	Sistema de control de temperatura	Transferencia de calor del material involucrado	Sistema de transmisión de potencia	Sistema generador de potencia (mecánica)	Sistema de eliminación de potencia	Sistema de laminado (Rodillos)	Sistema de ajuste de espesor	Sistema de lubricación de rodamientos de rodillos	Sistema de control de flujo de material a los extremos	Sistema de transmisión de corriente a resistencias.	Control de flujo de calor al ambiente
Sistema de calentamiento	++	+		-			+	-	+	++	++	
Sistema de control de temperatura		++		--		-	+	--	-	++	-	
Transferencia de calor del material involucrado			+			+			++	+	+	
Sistema de transmisión de potencia				++	++	--		--				
Sistema generador de potencia (mecánica)					++							
Sistema de eliminación de potencia						-					--	
Sistema de laminado (Rodillos)							++	-	+			
Sistema de ajuste de espesor								++	+			
Sistema de lubricación de rodamientos de rodillos									--			
Sistema de control de flujo de material a los extremos										++		--
Sistema de transmisión de corriente a resistencias.											+	
Control de flujo de calor al ambiente												+

Tipos de correlaciones

Muy Fuerte	++
Fuerte	+
Débil	-
Muy Débil	--

De la misma forma, los cómo's del cliente, tienen su simplificación en este caso, al no relacionarlos directamente con los primeros niveles que igualmente provienen de los qué's; se optó por esta simplificación porque se sobre entiende en la correlación del plano o cuadro central de la casa de la calidad, que la correlación entre qué y cómo, correlaciona también los elementos involucrados entre sí en los primeros niveles de los qué's y de los cómo's.

Se despliega la forma en que las relaciones entre cómo's y qué's están dadas en el cuadro de las interrelaciones de la casa de la calidad.

Respecto del tipo de característica, aunque sí se realizó una evaluación del tipo de característica para identificar si la misma es máxima, mínima o solo objetiva, es decir fuerte, débil u objetiva. Sin embargo, dado que el cliente solicitó se cubriesen en la medida de lo posible los objetivos secundarios (los objetivos primarios se resaltan con fondo gris) el evaluar si son características o no importantes, se evidencia resaltando las que si lo son, que deben mejorarse primordialmente y las que no lo son, no se resaltan, esperando mejorarlas si el rediseño puede hacerlo sin afectar los objetivos principales.

Dado que no existe competencia directa en el mercado con este equipo, no se requiere de comparar la matriz de planeación.

Se presentan si los requerimientos técnicos o los requerimientos de diseño, es decir, los sistemas involucrados, que en este caso son los cómo's que darán solución a los qué's requeridos del cliente.

El techo de la casa de la calidad, con la correlación entre los requerimientos de diseño, se presenta solo como medio gráfico, en el desarrollo de este trabajo, no se utilizó para determinar cambios en el rediseño o dividir los sistemas involucrados entre sí.

Los objetivos son medidos únicamente como el cliente los solicitó, cumplir los primarios y de ser posible los secundarios, la importancia y el peso que cada uno de estos sistemas en la solución tiene para el cliente en el producto final, es solo representativo numéricamente, depende de la objetividad de la encuesta y las respuestas y su evaluación, así, solo se presenta gráficamente la solución de este cuadro o etapa de la función calidad.

Una vez obtenidos los requerimientos del cliente (los mismos que el cliente ha determinado son punto a mejorar) debemos discretizar los valores que el cliente le da a cada caso. Para ello nos auxiliamos con una matriz de necesidades y medidas, como muestra la tabla siguiente.

2.2.1.1 Tabla de relación entre requerimientos y sistemas involucrados

Requerimientos del cliente	Solución a los requerimientos del cliente											
	Sistema de calentamiento	Sistema de control de temperatura	Transferencia de calor del material involucrado	Sistema de transmisión de potencia	Sistema generador de potencia	Sistema de eliminación de potencia	Sistema de laminado (Rodillos)	Sistema de ajuste de espesor	Sistema de lubricación de rodamientos de rodillos	Sistema de control de flujo de material a los extremos	Sistema de transmisión de corriente a resistencias.	Control de flujo de calor al ambiente
Calentamiento homogéneo de rodillos												
Paro instantáneo de rodillos en emergencia												
Laminado de partes con espesor dentro de especificación												
Reducción de material fluyendo a los extremos de los rodillos												
Reducir el calor percibido por el operador												
Lubricación de los rodillos variable con el tiempo												
Altas temperaturas más rápido de controlarse												

2.2.2 Importancia de los requerimientos

Adicionalmente se debe tomar en cuenta el valor de importancia que el cliente da a cada uno de los aspectos mencionados; es decir, cada requerimiento tiene un valor de importancia específico para el cliente. El objetivo de esta consideración es el de enfocarse con un mayor énfasis en los requerimientos que el cliente valora más sin por ello descuidar los demás.

El valor estimado de cada uno de los requerimientos está basado en una sencilla encuesta realizada entre los involucrados en el uso del equipo, operadores e ingenieros. En dicha encuesta cada persona involucrada asignaba un valor del 1 al 7 para cada caso,

dando así la mayor importancia para el requerimiento marcado con el número 1 y el menor valor al requerimiento valuado con el número 7.

Asigne por favor un valor del 1 al 7 sin repetir ningún número para cada una de los aspectos mencionados según el valor de importancia que usted le da a cada caso:

2.2.2.1 Tabla 2.2 Para calificar los requerimientos

Calentamiento homogéneo de rodillos	
Paro instantáneo de rodillos en emergencia	
Laminado de partes con espesor dentro de especificación	
Reducción de material fluyendo a los extremos de los rodillos	
Reducir el calor percibido por el operador	
Lubricación de los rodillos variable con el tiempo	
Altas temperaturas más rápido de controlarse	

En cada una de las casillas se asignó un valor del 1 al 7 sin repetir números

De los resultados obtenidos, se tomaron en cuenta todas las encuestas realizadas discretizando solo en el caso de los 2 operadores involucrados que asignaron valores más altos para el requerimiento de "Reducción del calor percibido por los operadores", esto se realizó considerando que el cliente y los ingenieros no quisieron aceptar la importancia final obtenida con el promedio de todas las encuestas, sin embargo; al finalizar la discusión sobre los resultados obtenidos, todos los involucrados estuvieron de acuerdo en los resultados y valores finales, pues se explicó que el hecho de no contar con valores altos en una opción no implica la eliminación de la solución del problema, solo discretiza la importancia objetiva de cada solución para cada requerimiento.

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos en conjunto, la tabla 4.1 unida con las evaluaciones del cliente.

Para el caso de esta tabla, se asignó un símbolo según la importancia que tiene cada sistema involucrado en el problema que implica la satisfacción de los requerimientos del cliente.

A cada símbolo se le asigna un valor de importancia, no un valor numérico, es solamente un valor que identifica qué caso es más relevante, que sistema tiene mayor impacto en el aspecto a mejorar solicitado por el cliente.

Los símbolos utilizados son:

- ◆ Implica alta importancia o relación con el problema
- Implica mediana o relativa relación o importancia con el problema
- / Implica poca o pobre relación o importancia con el problema, pero que puede influir en la solución.

2.2.2.2 Tabla 2.3 Correlación entre requerimientos y sistemas involucrados

	Nivel de importancia	Solución a los requerimientos del cliente	Sistema de calentamiento	Sistema de control de temperatura	Transferencia de calor del material involucrado	Sistema de transmisión de potencia	Sistema generador de potencia	Sistema de eliminación de potencia	Sistema de laminado (Rodillos)	Sistema de ajuste de espesor	Sistema de lubricación de rodamientos de rodillos	Sistema de control de flujo de material a los extremos	Sistema de transmisión de corriente a resistencias.	Control de flujo de calor al ambiente	Porcentaje de valor estimado para cada caso
Requerimientos del cliente															
Calentamiento homogéneo de rodillos	1		◆ / □											/	30%
Paro instantáneo de rodillos en emergencia	3				◆ / ◆										20%
Laminado de partes con espesor dentro de especificación	2		/					□	◆						25%
Reducción de material fluyendo a los extremos de los rodillos	7		/							/	◆				3%
Reducir el calor percibido por el operador	6		/ □										◆		5%
Lubricación de los rodillos variable con el tiempo	5									◆					6%
Altas temperaturas más rápido de controlarse	4		□ ◆ /									□ /			11%

Basandose en este criterio, se puede ver cuantitativamente qué requerimiento requiere especial esmero en el rediseño para satisfacer de mejor forma las necesidades del cliente.

Así, se puede enumerar en orden de importancia los requerimientos especificados por el cliente

- 1.- Calentamiento homogéneo de los rodillos
- 2.- Laminado de partes con espesor dentro de especificación
- 3.- Paro instantáneo de rodillos en emergencia
- 4.- Altas temperaturas más rápido de controlar
- 5.- Lubricación de los rodillos variable con el tiempo

- 6.- Reducción del calor percibido por el operador
- 7.- Reducción del material fluyendo a los extremos

2.3 Cuantificación de los requerimientos

Una vez asignados valores no numéricos a la importancia de cada sistema en la solución del problema que el cliente solicita, se pueden asignar valores numéricos para cuantificar la importancia de cada sistema; así, es más sencillo estimar el sistema o los sistemas que requieren una mayor atención y cuidado en el proceso de rediseño.

Los criterios utilizados nos permiten evaluar numéricamente la importancia de cada sistema al asignar un valor numérico a las estimaciones de importancia en la solución del problema para cada uno de los sistemas involucrados.

Los valores asignados se presentan a continuación:

- ◆ = 3
- = 2
- / = 1

Con estos valores, regresamos a la tabla 4.3 y reasignamos los números para cada símbolo y cuantificamos la importancia y correlación que puede tener un sistema con las soluciones de los requerimientos del cliente como se muestra en la tabla 4.4

2.4 Cuantificación de las correlaciones entre requerimientos y sistemas

Requerimientos del cliente	Nivel de importancia	Solución a los requerimientos del cliente										Porcentaje de valor estimado para cada caso		
		Sistema de calentamiento	Sistema de control de temperatura	Transferencia de calor del material involucrado	Sistema de transmisión de potencia	Sistema generador de potencia	Sistema de eliminación de potencia	Sistema de laminado (Rodillos)	Sistema de ajuste de espesor	Sistema de lubricación de rodamientos de rodillos	Sistema de control de flujo de material a los extremos		Sistema de transmisión de corriente a resistencias.	Control de flujo de calor al ambiente
Calentamiento homogéneo de rodillos	1	3	1	2									1	30%
Paro instantáneo de rodillos en emergencia	3				3	1	3							20%
Laminado de partes con espesor dentro de especificación	2		1				2	3						25%
Reducción de material fluyendo a los extremos de los rodillos	7		1						1	3				3%
Reducción del calor percibido por el operador	6		1	2									3	5%
Lubricación de los rodillos variable con el tiempo	5								3					6%
Altas temperaturas más rápido de controlarse	4	2	3	1								2	1	11%
Totales		5	7	5	3	1	3	2	3	4	3	2	5	100%
													Total	100%

De esta tabla, con valores numéricos asignados a cada problema y cada sistema involucrado con su solución, podemos observar la importancia de cada sistema o relevancia que dicho sistema tiene con el requerimiento del cliente.

Marcados con fondo gris están resaltados los aspectos más relevantes para el cliente, se puede observar la importancia que cada caso tiene, los sistemas involucrados con los mismos y la correlación entre sistemas involucrados.

Por ejemplo, el sistema de control de temperatura está fuertemente relacionado con el requerimiento del control de altas temperaturas y pobremente con los problemas de calentamiento homogéneo de rodillos, con el laminado de las partes dentro de especificación, con la reducción del material fluyendo a los extremos y con la reducción del calor percibido por el operador.

De esta forma, se estructura la importancia de cada sistema y es en ese orden que se tomará el proceso de rediseño.

Se debe considerar que algunos sistemas están directamente ligados entre sí, es decir, del tipo de solución que se aplique para algunos sistemas, dependerá el caso de estudio para otros de ellos.

Por ejemplo, el sistema del calentamiento de los rodillos hace que el sistema de control de temperatura cambie. En el sistema actual de control de temperatura, de elegirse alguna solución que implique cambio de materiales o volumen de los mismos, también afectará la propiedad de la transferencia de calor del material involucrado y adicionalmente puede influir fuertemente en el sistema de control de flujo de calor al ambiente.

El sistema generador de potencia también está ligado con el de transmisión de potencia, aunque no necesariamente debe cambiarse si existen modificaciones de alguno de los dos sistemas. La solución del sistema de eliminación de potencia dependerá del sistema de generación y de transmisión de potencia.

El sistema de lubricación de rodillos puede modificar el material lubricante de los mismos.

Por todas estas razones, se considera que el sistema puede ser abordado para buscar su solución, partiendo de uno de los sistemas principales y uno de los más importantes, el calentamiento de los rodillos.

Partiendo del análisis de este sistema, en el siguiente apartado se generarán las diferentes alternativas de los demás para completar la propuesta de rediseño basándose en el sistema de calentamiento de los rodillos.

2.6 Diseño conceptual de los sistemas involucrados

2.6.1 Sistema de calentamiento

El sistema de calentamiento debe cumplir con eficientar los problemas en el calentamiento homogéneo de los rodillos y el control de altas temperaturas más adecuado.

Se analiza nuevamente el sistema de calentamiento como una caja negra, donde lo que se requiere es precisamente un sistema de calentamiento y la solución a dicho sistema es la que se busca cumplimentar sin antecedentes previos. De esta manera podremos detectar si el problema se puede resolver con otro sistema diferente al utilizado actualmente.

La entrada de la caja negra será el calentamiento de los rodillos, la salida deberá de ser un sistema que solucione este problema.

2.6.2 Figura 2.5 Caja negra para sistema de calentamiento de los rodillos.



Los siguientes son los resultados de una tormenta de ideas para generar un sistema que caliente los rodillos, en este punto no se presenta ningún tipo de restricción, el objetivo principal es generar ideas abiertas, sin importar su naturaleza, que solucionen el problema. 11 casos fueron estimados para su análisis de aplicación.

- 1- Calentamiento por resistencias eléctricas
- 2- Calentamiento por flujo de fluido caliente
- 3- Calentamiento por fricción
- 4- Calentamiento por combustión
- 5- Calentamiento por reacción química
- 6- Calentamiento solar
- 7- Calentamiento por inducción
- 8- Calentamiento con flama directa
- 9- Calentamiento por radiación
- 10- Calentamiento con vapor
- 11- Con elementos radioactivos

De las ideas generadas, se puede asumir que existen 2 tipos generales de calentamiento, es decir, dividir las ideas generadas en 2 grupos; generación de calor fuera de los rodillos (2, 4, 6, 7, 8, 9 y 10) y generación de calor dentro de los rodillos (1, 3, 4, 5 y 11) se analiza primero el caso de generación de calor fuera de los rodillos.

Se puede observar también que el sistema actualmente utilizado es considerado dentro de las opciones generadas en esta tormenta de ideas, así es posible que la opción actualmente aplicada, resulte ser la mejor en cuyo caso no se justificará cambiar. Los criterios para decidir la viabilidad de cada opción principalmente son los requerimientos del cliente.

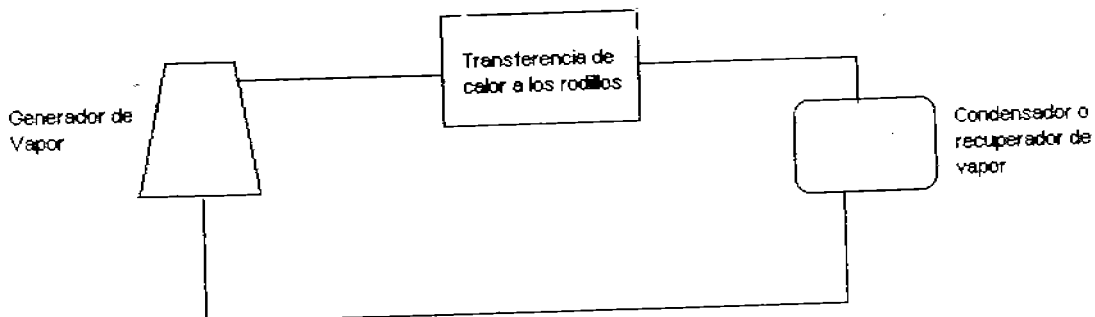
La opción de generar el calor fuera de los rodillos implica involucrar sistemas adicionales a los existentes actualmente en la máquina que no son deseados, pues estos sistemas obligan a involucrar más partes, más materiales y más subsistemas.

Algunos otros sistemas son fácilmente eliminados por la complejidad de su operación, como el caso de los elementos radioactivos. Su uso implicaría tener una capacitación adicional en el personal que opera la máquina y otras implicaciones industriales legales y de seguridad que complican su aplicación en este caso; adicionalmente el cliente especificó inicialmente el hecho de evitar sistemas que implicaran modificaciones considerables en su proceso, capacitación o infraestructura.

El calentamiento por vapor, *caso 10*; necesita lógicamente agua de la que se obtendrá la fase gaseosa para obtener el vapor de calentamiento, si el ciclo es abierto a la atmósfera, el agua utilizada será de sacrificio, es decir, no es agua recuperable para el sistema, si el agua se piensa recuperar, el ciclo se denomina cerrado y entonces necesitamos un enfriador o sistema que convierta el vapor nuevamente a su fase líquida.

El siguiente diagrama muestra la configuración general de un sistema que implica vapor en la máquina laminadora de pellets para calentamiento de los rodillos.

2.6.3 Sistema de calentamiento de los rodillos con vapor de agua.



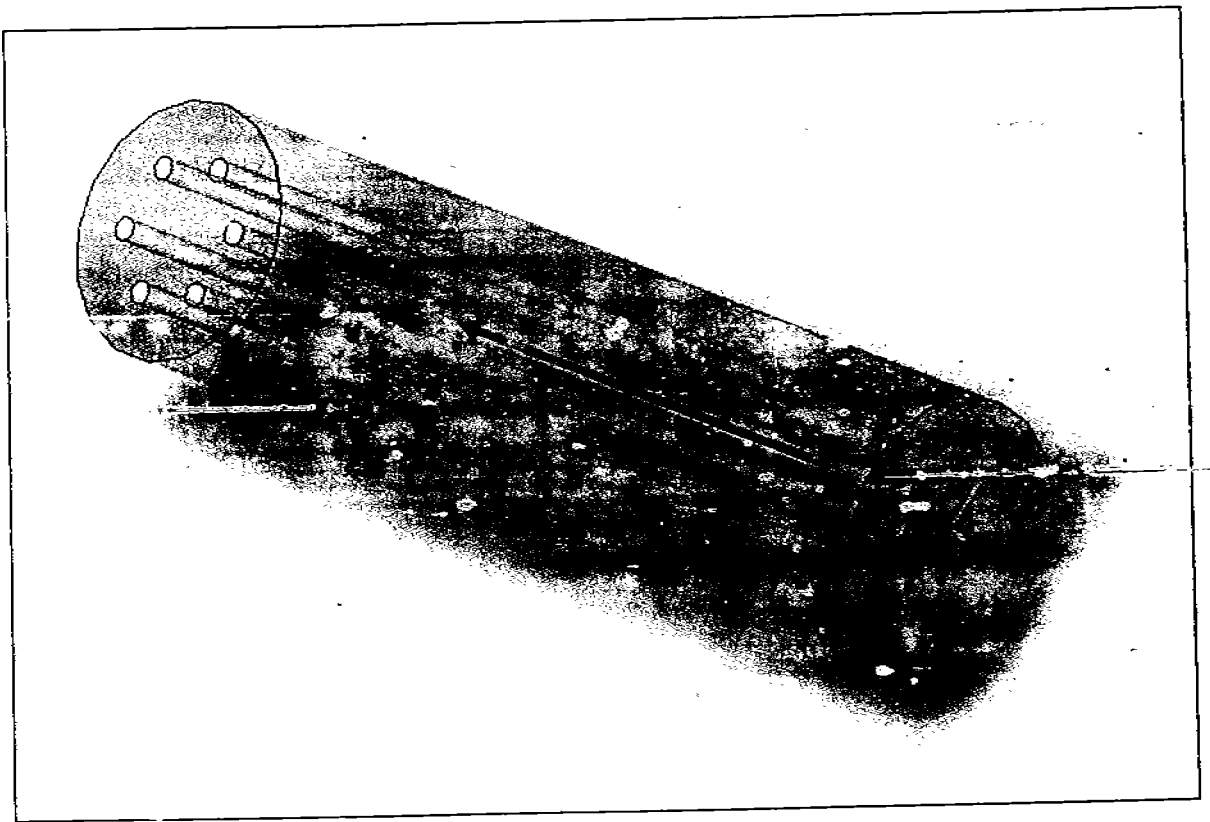
Si se trata de un sistema abierto a la atmósfera, el condensador o recuperador de vapor no existe, el vapor de agua se pierde al ambiente.

En ambos casos, la alimentación de agua al sistema se encuentra antes del generador de vapor, pues aún en el caso del sistema cerrado, se sabe que la pérdida de masa de agua es inevitable por pequeña que esta sea.

El caso 2 como el caso 10, tiene una configuración que implique otro subsistema para calentar el fluido en cuestión, puede ser aceite, agua (esta última descartada por la temperatura requerida de hasta 200 °C.) o cualquier otro fluido capaz de calentarse a esa temperatura, no se considera la fase gaseosa en ningún caso, es decir, todos los fluidos considerados en este caso deben ser utilizados en todo el ciclo en su fase líquida.

La figura 2.6.4 muestra como queda distribuida la zona de transferencia de calor del líquido caliente fluyendo a través del rodillo. En cada uno de los ductos observados, fluiría el fluido caliente para transmitir calor a la superficie del rodillo.

Figura 2.6.4 Ductos para conducir el fluido caliente a través del rodillo.



Los fluidos que soportan esta temperatura pueden ser:

- Aceite
- Mercurio
- Soluciones de materiales compuestos
- Gel base aceite para media temperatura
- Gel base agua para alta temperatura

Las ventajas del aceite es que es su bajo costo, comparado con los demás elementos considerados, el mercurio es tóxico, además de que el costo es muy elevado y

su manipulación requiere especial atención, cuidado y capacitación, monitoreo de salud de los operadores y aspectos legales especiales.

Las soluciones de materiales compuestos, como mezcla de fluido y sólido, generalmente son más caras y su uso en cualquier proceso implica especiales consideraciones, por ejemplo, aire y partículas de metal, aceite y partículas metálicas (no se considera el agua debido a las temperaturas deseadas, pues se trata de la fase gaseosa o vapor que ya fue considerada) o geles base aceite o agua con partículas suspendidas. Estas opciones son complicadas en su manipulación, monitoreo y control, las partículas que pueden estar suspendidas en el fluido pueden hacer que dispositivos como válvulas, uniones, conexiones y otros dispositivos fallen. Aunado a esto, la reología del fluido y partes involucradas en el sistema deben ser analizadas para evitar asentamientos de material en el sistema, pues la fase sólida puede separarse de la líquida dependiendo de las propiedades de las dos fases en las condiciones a las que se verán sometidas en el sistema (temperatura y velocidades). Igualmente, se tienen sistemas más complejos, involucrando subsistemas originando más equipo, mayor costo inicial y no es difícil entender que el costo de mantenimiento también será mayor, por lo que no es una opción viable para este caso.

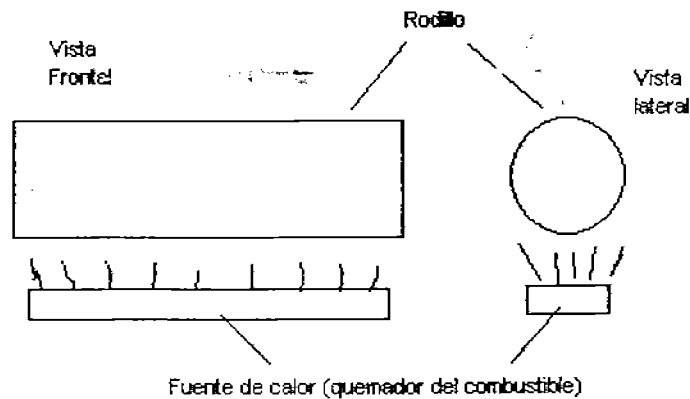
Los geles de base agua y aceite, implican ambos materiales especiales, controles más precisos y exactos de valores de las propiedades de estos materiales como son pH, viscosidad, partículas suspendidas, materiales orgánicos en el caso de los base aceite (parafinas y naftanos) y dureza del agua, cloruros y bacterias para el caso de los base agua. Los materiales para generarlos son más costosos, difíciles de conseguir y el monitoreo de los fluidos durante la operación, implica más equipo y capacitación de personal que son dos cosas que el cliente intenta evitar.

El aceite representa una ventaja contra los demás elementos, es barato en relación con los demás casos y su disposición es más común aunque no necesariamente más sencilla, pues luego de cumplir con su ciclo de vida, el aceite debe tener una disposición especial y se debe pagar por este servicio.

El caso 4 considerado, combustión, puede ser gas o líquido, diesel, keroseno, gasolina, diáfano, combustóleo, gas natural, gas LP, acetileno, oxígeno, etc. La combustión en estos casos, para calentar los rodillos, puede hacerse fuera o dentro de los mismos; pero siempre considerando que el calor de la combustión entra en contacto directo con los rodillos.

La gráfica 2.6.5 muestra el calentamiento de los rodillos por el exterior, con un quemador debajo de los mismos. El caso de calentamiento por combustión dentro de los rodillos es un caso particular del calentamiento de los rodillos con fluido caliente mostrado en la figura 2.6.4

Figura 2.6.5 Disposición de quemadores para calentamiento por combustión fuera de los rodillos.

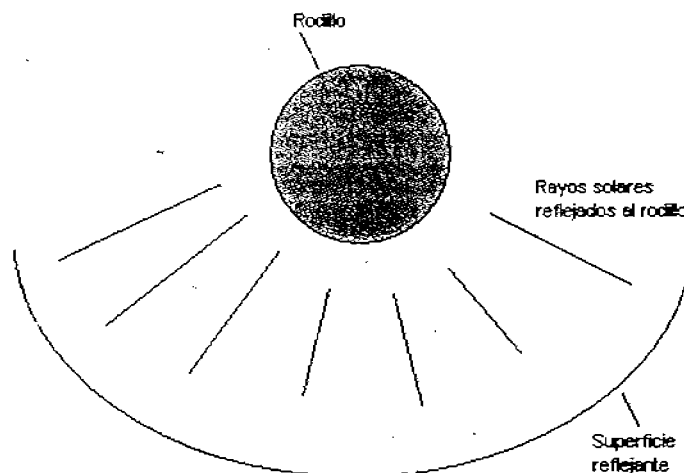


Nuevamente en este caso, la combustión implica materiales y equipos adicionales que, por requerimientos del cliente, en primera instancia quedan fuera de consideración.

El caso 6 calentamiento solar, también requiere equipo adicional y modificaciones a la infraestructura de la fábrica para su implementación; aunque la energía solar no implica costos, ésta solo está disponible durante el día y en condiciones ambientales favorables. No puede operarse de noche o en días nublados y alcanzar la temperatura deseada es complicado sin un sistema que concentre el calor puntualmente en la zona de interés.

Básicamente se refiere a exponer a los rodillos a la luz solar directa y aumentar la incidencia enfocando la luz solar en la superficie de los rodillos auxiliándose con espejos o superficies altamente reflejantes como se muestra en la figura 2.6.6

Figura 2.6.6 Calentamiento solar con superficie reflejante.

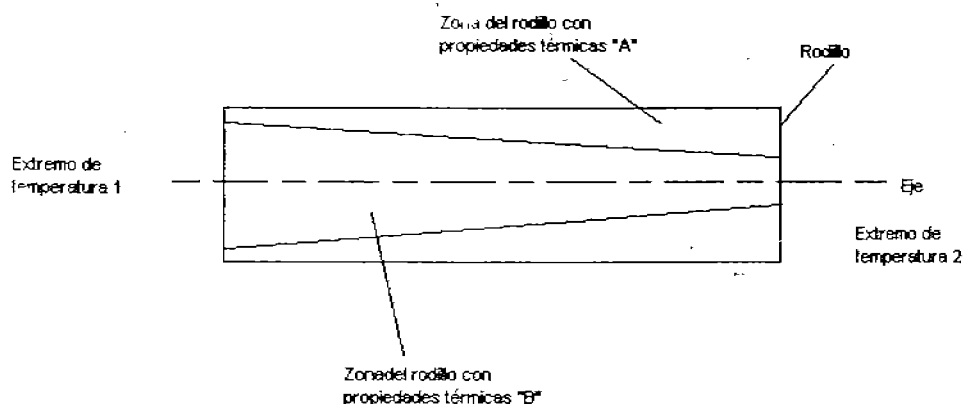


El caso 7, calentamiento por inducción, se refiere a transmitir el calor necesario de manera que se hace fluir el calor entre dos puntos a través de un medio conductor. Se induce el incremento de temperatura en el punto final. Esta idea se encuentra envuelta ya en las anteriores, aunque no implica que la fuente de calor se encuentre dentro de los rodillos, si se desea un control homogéneo de la temperatura en los mismos, es necesario que el incremento de temperatura sea lineal a lo largo de los rodillos o que la transmisión de calor a lo largo del rodillo compense la diferencia, si ésta existiese. Este último caso considera tener un rodillo con propiedades térmicas (transferencia de calor) variables.

La siguiente gráfica explica la idea de inducción de calor y de propiedades de transferencia de calor variables en el rodillo.

En la figura 2.7 se observa una manera gráfica de la representación de los rodillos con propiedades térmicas diferentes, tomando en cuenta que un extremo tendrá mayor temperatura que el otro ($\Delta T = T_1 - T_2$) es esta diferencia de temperaturas las que inducen una temperatura en el rodillo que se utiliza como medio de transporte del calor, así, la temperatura deseada es inducida en el rodillo. De contar con un material de propiedades térmicas constantes entre los puntos de diferente temperatura (la diferencia de temperaturas podría ser del centro del rodillo a la superficie, no necesariamente de un extremo a otro) la temperatura deseada tardará más tiempo en ser la misma en toda la superficie del rodillo y este tiempo depende del valor de la propiedad de transferencia de calor del material, si el valor tiende a infinito, el tiempo de estabilización de temperatura en la superficie tiende a cero.

Figura 2.7 Rodillo con propiedades térmicas variables.



Si en la zona térmica "A" tenemos un material con una conductividad K_1 y en la zona con el material "B" con propiedades térmicas conductivas K_2 , suponiendo que $K_2 > K_1$ y que la zona de temperatura 2 tiene mayor temperatura que la zona de temperatura 1 la superficie del material alcanzará una temperatura homogénea en un tiempo determinado dependiendo de la rapidez de transferencia de calor de cada material. Si las diferencias entre K_1 y K_2 son mayores, la temperatura en la superficie del rodillo será más

constante cuanto más tiempo pase, reduciendo este tiempo en comparación a la misma situación si las condiciones de las geometrías de los materiales fuesen constantes; un cilindro dentro de otro, espesor constante con la longitud del rodillo para cada material; en el caso de la grafica 2.7, una zona es un cono y la otra su contraparte para completar entre las dos un rodillo; espesor variable con la distancia del eje para cada material.

2.6.8 Ecuación 2.8 de transferencia de calor

$$-hA_x(T - T_\infty) = \rho V_c \frac{dT}{dt}$$

Donde h es la propiedad de transferencia de calor del material, A_x es el área de la superficie expuesta a la temperatura T, T y T_∞ son las temperaturas extremas o la diferencia de temperaturas entre dos puntos, ρ es la densidad del material que está expuesto al flujo de calor y V_c es el volumen de dicho material. La derivada de la temperatura con respecto al tiempo, es dependiente de cada material debido a las propiedades y es dependiente también a cada caso con condiciones diferentes pues también es afectado por la diferencia de temperaturas.

Este caso está más relacionado con el sistema de control de temperatura que con el de la generación de calor, pues la fuente de calor depende de otro sistema.

El *caso 8* presenta el mismo problema de involucrar una instalación especial para aplicar una flama directamente en contacto con el rodillo, (como en el caso 4 de la figura 2.6.5) puede ser externa o internamente. Tomando en cuenta que la máquina actual solo necesita un tipo de alimentación de energía, en este caso eléctrica; es un punto en contra el involucrar un sistema más de alimentación de energía, sin embargo, puede aún resultar una opción viable, aunque por los requerimientos del cliente, instalar otra fuente de alimentación implicaría modificaciones a la infraestructura de sus instalaciones, mantenimiento del equipo y capacitación del personal.

El *caso 9* de calentamiento por radiación considera que la fuente de calor, sin estar en contacto con los rodillos, transmite la energía a una distancia determinada sin restringir la fuente de calor asociada. Aunque no considera directamente la fuente de calor, si plantea una manera diferente de suministrarlo, es decir; el modo del suministro de calor no es único para cada fuente de calor asociada.

En caso de utilizar este método, el problema asociado más considerable es que la fuente de calor que se encuentre transmitiendo la energía a la superficie de los rodillos, entraría en contacto directo con el material a laminar sobre los rodillos, aislando el rodillo de la fuente directa y calentando más al material en cuestión para la muestra, exponiendo dicho material a dos temperaturas diferentes, la del rodillo y la de la fuente de calor radiando energía calorífica al material directamente; afectando con ello sus propiedades mecánicas. Una prueba de este proceso es necesaria para entender su funcionamiento real.

El *caso II* de generación de calor con elementos radiactivos desde el exterior de los rodillos tampoco es atractivo debido a que involucrar elementos radiactivos implicaría cuestiones legales y operacionales muy ajenas a las actividades de este tipo de empresa. Capacitación adicional, instalaciones especiales para dichos dispositivos radiactivos y su disposición, son requeridas, certificación especial para el uso de radiación por parte del organismos gubernamentales, exámenes médicos frecuentes para el personal involucrado, inclusive el uso de dosímetros que es necesario monitorear cada mes, haciendo necesario pagar por este servicio. Tampoco son una opción que satisfaga los requerimientos del cliente.

Casos de calentamiento dentro de los rodillos.

El *caso I* es el que actualmente soluciona el problema de calentar los rodillos, aunque el tiempo de calentamiento no es considerable (menos de 10 minutos, dependiendo de la temperatura del ambiente y la temperatura deseada) comparado con otros sistemas para la misma cantidad de material a calentar, es decir; la misma masa de rodillos comparada con otros sistemas. El vapor, al transferir calor por conducción e incrementar la transferencia de energía por convección, calienta más rápidamente el rodillo, aproximadamente en un 30% de tiempo menos, con condiciones similares; sin embargo el caso de calentamiento utilizando vapor, como ya se estudió, implica otro subsistema con varios componentes y un proceso de operación más complejo.

Las resistencias actualmente tienen el problema de calentar más una zona que la otra. El extremo donde llega primero la corriente se calienta primero. El tiempo de calentamiento a la temperatura deseada, para el cliente es suficiente, aunque si se mejora puede incidir positivamente en la satisfacción del cliente solo si no implica un mayor consumo de energía.

Una propuesta es la de dividir las resistencias en dos o 3 partes; de ese modo, el calentamiento sería más homogéneo, pero en este caso se tiene que modificar la configuración del sistema de conexiones de las resistencias, pues se tienen más partes, más cables y en este caso ya no es posible conectar todas las resistencias con los mismos dispositivos; además los espacios para pasar las conexiones por los rodillos, tienen que adaptarse o modificarse para conectar más cables, pasarlos a través de los rodillos, implicando mayores costos de manufactura debido al maquinado más complejo de los rodillos para dar cabida a estos cables. Del mismo modo, estamos involucrando más resistencias, por lo que el mantenimiento también tendrá que ser más detallado, ya que el proceso para identificar que una resistencia está fallando, implica solo revisar seis partes, seis resistencias que son las totales para calentar cada rodillo con la configuración actual; si se divide a la mitad de largo la resistencia para calentar la misma longitud de rodillo en dos partes, entonces tendríamos 12 resistencias por rodillo, de hacerlo en 3 partes se hace más eficiente el calentamiento, el control de la temperatura mejora y se hace más homogénea a lo largo del rodillo, pero implica más partes, más cables, una manufactura más compleja y un mantenimiento más complicado. En general cualquier configuración con resistencias es una buena solución para el cliente, pues como él mismo lo solicita, el sistema no requiere de capacitación adicional pues el principio de operación

es el mismo, al ya utilizado, solo ve como punto a mejorar la eficiencia del calentamiento homogéneo en los rodillos y el control de la temperatura en los mismos.

El consumo de energía es elevado, pero dentro de lo especificado por el cliente, pues las resistencias son aún más eficientes que las resistencias de la máquina original, además se eliminó el sistema de contactores que les generaba muchos problemas de mantenimiento y operación, lo que cumplió con una de las especificaciones, que era el minimizar los tiempos de mantenimiento y simplificar el proceso mejorando el sistema de contactores o cambiándolo por uno mejor.

El *caso 3*, calentamiento por fricción, implica sencillez al eliminar partes como las resistencias, ductos y válvulas como el de vapor o de calentamiento por fluidos como aceite, sin embargo; la fricción implica desgaste, material desprendido de las partes en contacto que puede, si no se tiene cuidado en este aspecto, contaminar la muestra de los pellets de plástico laminados. Otro punto a considerar es el control de la temperatura, al poner en contacto los materiales y generar la fricción, se incrementa la temperatura, al separarlos se elimina esta generación de calor y dependiendo de la fuerza y superficie de contacto, se puede incrementar o reducir la temperatura.

Para generar calor por fricción, es necesario tener un área de contacto directo entre dos superficies; la resistencia al desplazamiento entre las dos superficies es lo que genera calor. Obvia decir que se requiere mayor potencia para vencer esta resistencia al desplazamiento relativo entre dos superficies, los materiales en contacto, al menos uno de ellos se debe estimar como material de sacrificio y el control del contacto en las superficies involucradas es un punto de vital importancia para obtener la eficiencia deseada en la generación de calor por este mecanismo.

Este caso de calentamiento por fricción también puede ser una opción viable, así que se analizará más a fondo su posible aplicación.

El *caso 4* que ahora implica combustión dentro de los rodillos, fue analizado ya con el grupo de casos que aplican para calentamiento fuera de los rodillos.

El *caso 5* que se refiere al calentamiento de los rodillos por reacción química, es también un caso que si bien puede solo implicar materiales adicionales y un proceso más, también implica modificación del proceso, pues es necesario utilizar materiales que al reaccionar químicamente pueden generar el calor necesario para calentar los rodillos. Mezclas con ácidos y bases, reacciones con materiales simples como agua y algunos ácidos, el problema en general son las reacciones que pueden generar gases tóxicos, también corroer materiales del equipo y afectar físicamente las superficies en contacto. Materiales de sacrificio también pueden ser utilizados, pero el hecho de involucrar materiales ajenos a los utilizados actualmente no son una opción para el cliente.

El control de la temperatura con la reacción química es también un problema adicional, en general depende de las masas involucradas y del tiempo de contacto, reología de la mezcla y tiempo de exposición.

No se considera una opción viable el calentamiento por reacción química debido a estos inconvenientes.

El *caso 11* ya fue analizado anteriormente para el calentamiento generado fuera de los rodillos, dentro de los rodillos es una opción, pero implica cuestiones legales y capacitación del personal, monitoreo gubernamental, permisos, uso de dosímetros, registro de los POE (personal operacionalmente expuesto a radiación), permisos especiales para el uso y manipulación de fuentes radiactivas, etc. Todo ello además genera riesgos que el cliente no está dispuesto a tomar.

Así, en conclusión, para analizar el caso del calentamiento de los rodillos, el calentamiento por el interior de los mismos con resistencias o con fricción, el caso 9 de calentamiento por radiación se puede probar en conjunción con otros métodos viables como el calentamiento por resistencias para mejorar la eficiencia y evitar algunos problemas asociados ya discutidos.

Capítulo III

Rediseño del prototipo actual

Una vez determinada la solución conceptual del sistema más importante según criterios de importancia del cliente, se procede a generar el conjunto de soluciones que interactúan en el equipo, de esta forma se busca evitar problemas de compatibilidad entre subsistemas.

Como se mencionó en el capítulo I, QFD es una herramienta de diseño que nos ayudó a determinar el nivel de importancia de cada sistema involucrado según las necesidades del cliente. En este punto del trabajo y ya determinada la solución del sistema principal, los sistemas que también deberán modificarse para solucionar los requerimientos del cliente, tienen un nivel de importancia menor, es decir; impactan menos en la satisfacción del cliente que el sistema de calentamiento de los rodillos, que se ha encontrado que es el más importante, por lo que se atendió primero este caso como resultado del análisis con QFD, posteriormente, que es el caso que se atiende en esta parte del trabajo; se analizarán con la herramienta de diseño de diagrama de árbol, donde todos los sistemas involucrados se consideran y se establecen líneas de relación entre los mismos, de manera que se puede determinar que sistemas tendrán que ser modificados en conjunto para dar solución a un requerimiento, respetando por supuesto, la solución encontrada para el sistema principal que en este caso se encontró con QFD y posteriormente una tormenta de ideas que generó posibles soluciones, de las cuales, se determinó una como la mejor.

A cada solución de subsistemas, se le aborda de manera directa, un análisis que descarta posibilidades de soluciones alternativas, fue realizado en cada caso, sin embargo no se consideró necesario abordar soluciones incompatibles con el sistema principal o más importante (de calentamiento), del que se parte para considerar interacciones entre las partes involucradas, si bien, algunos sistemas no se ven afectados por el sistema de calentamiento de rodillos, si resultaron soluciones alternativas en su análisis, en esos casos, se mencionan algunas soluciones encontradas sin entrar en detalles, solo se discute la solución propuesta.

Sin detallarlo, la herramienta de diseño conocida como diagrama de árbol fue utilizada para ver el conjunto de soluciones de cada sistema o subsistema involucrado. De cada conjunto de soluciones solo se detalla en este capítulo la que resultó más viable por criterios basados en las especificaciones del cliente, como compatibilidad, disponibilidad, mantenimiento, etc.

Los casos a implementar se discuten de manera directa, se abordan de manera formal y se determinan puntos a favor y en contra para su implementación, finalmente la conclusión de por qué se van a utilizar los mismos.

En los subsistemas analizados se detallan valores, rangos de operación, dimensiones, posición o disposición en el equipo, si bien es solo en croquis, resulta prácticamente sin cambios en el diseño de detalle.

3.1 Rediseño preliminar

Enlistados, tenemos como posibles soluciones de calentamiento por:

- resistencias
- fricción
- calentamiento por radiación.

Combinaciones de las soluciones pueden resultar como una solución total.

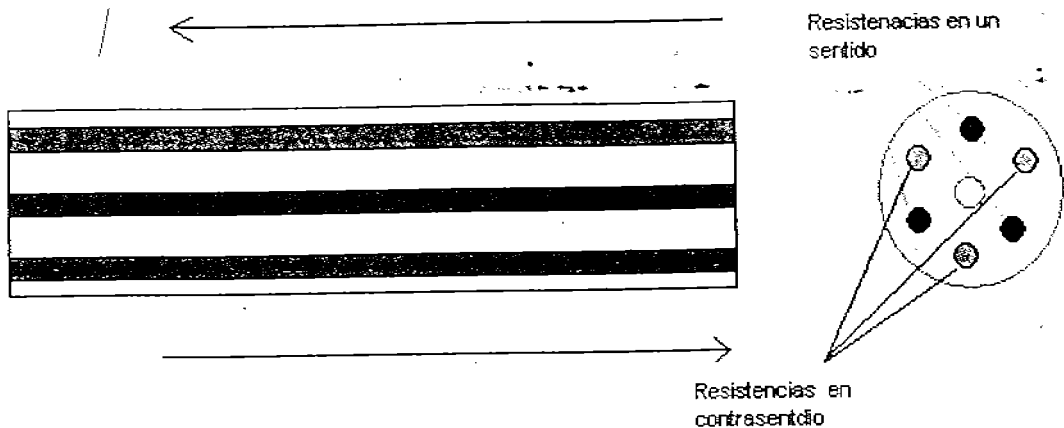
3.1.1 Calentamiento por resistencias eléctricas

El calentamiento por resistencia ya está probado en el equipo original en el prototipo y en máquinas comerciales que aunque no son iguales o no cumplen con los requerimientos y especificaciones del cliente, tienen el mismo principio de funcionamiento. Los puntos a mejorar son la temperatura homogénea, el control de la misma más rápido a altas temperaturas (cercas a 200 °C). En general cumple con los requerimientos del cliente, así que de aplicarse nuevamente esta opción, es necesario buscar aspectos que mejoren su condición en estos puntos a mejorar solicitados por el cliente.

La temperatura homogénea, como ya se mencionó, puede alcanzarse si se dividen las resistencias en secciones a lo largo del rodillo.

Otra opción, es colocar las resistencias cruzadas en el sentido de la alimentación de corriente e intercalarlas con el sentido de alimentación actual. Esto implica tener 3 resistencias en un sentido intercaladas con 3 resistencias en contrasentido, refiriéndose al sentido o lado de alimentación de energía de las mismas.

La siguiente figura muestra la configuración propuesta.

Figura 3.2 Disposición del sentido de las resistencias en rodillos

En este caso, intercaladas 3 resistencias en un sentido con 3 resistencias en contrasentido con las primeras, proporcionarán una temperatura más homogénea en toda la longitud del rodillo.

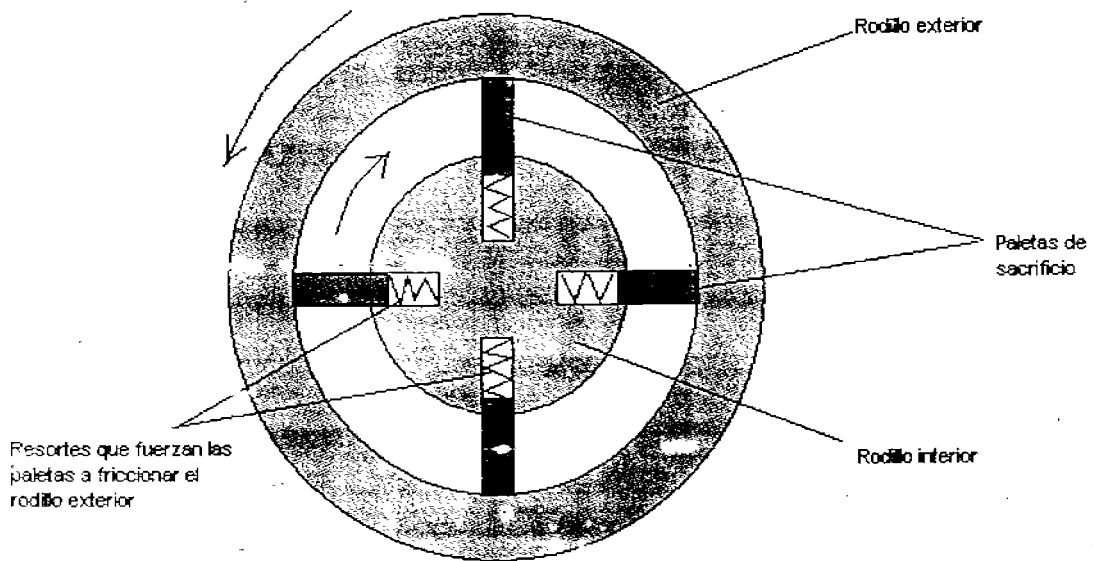
Esta configuración evita el tener que utilizar más resistencias y una manufactura más compleja, dejando solo la necesidad de conectar las 3 resistencias por el extremo opuesto a las primeras.

Para solucionar la conexión de las resistencias por el lado opuesto, se pueden colocar los cables por un orificio en el centro de los rodillos o a un lado del mismo y de tal modo que conecten a los cables con el sistema de contacto a corriente que se encuentra en la posición original, ahorrando un sistema de conexiones pero incrementando un proceso de manufactura, el generar un orificio de extremo a extremo en el centro del rodillo o en un lado cerca del centro.

Para el caso de calentamiento por fricción, se involucran partes en contacto como ya se especificó. Para calentamiento por fricción debemos considerar que la superficie del rodillo en contacto con los pellets debe quedar fuera del contacto con el material para calentar por fricción, pues obvia decir que la superficie de los rodillos se rayaría fácilmente, haciendo marcas que modificarán la muestra de plástico y con ello afectando el resultado de la prueba. Otro aspecto en contra, es el material desprendido de las partes involucradas debido al contacto y la fricción, éste puede depositarse directamente en la muestra afectando sus propiedades mecánicas. Por tanto, este caso de calentamiento es entonces solo viable si la fricción se genera en el interior de los rodillos, sin embargo, los rodillos al no poder ser el material de sacrificio por la resistencia mecánica y el costo de su fabricación por los materiales y acabados necesarios, tiene que considerarse que el material de sacrificio estará colocado al interior.

Este material de sacrificio puede ser un rodillo interno en contacto con el externo, placas giratorias en contacto con la superficie interior del rodillo externo como se muestra en la figura 3.3 o un cono en contacto con un cilindro con un hueco con la forma de la superficie exterior del cono, en contacto por fricción como se muestra en la figura 3.3

Figura 3.3 Calentamiento de rodillos por fricción



Ambos diseños cuentan con el problema de involucrar más partes móviles en contacto con desplazamiento relativo, lo que implica material desprendido de parte del material de sacrificio, adicionalmente, para el caso de las paletas o placas giratorias, se cuenta con el problema de que el rodillo externo, si se quiere reducir el tiempo de calentamiento a la temperatura deseada, deberá ser de pared delgada, siendo la limitante el esfuerzo de la placa sobre el rodillo y el esfuerzo de los rodillos en contacto entre sí.

Otro problema asociado a este caso, es el de tener dos sistemas de transmisión o uno con dos diferentes salidas de movimiento, pues un cilindro girará independientemente del sistema central con las paletas en movimiento, puede ser solo a diferente velocidad o puede incluso ser a contrasentido y a diferentes velocidades. Cualquiera de estas situaciones genera un sistema más complejo de movimiento de los rodillos, involucra más partes y un mantenimiento más minucioso.

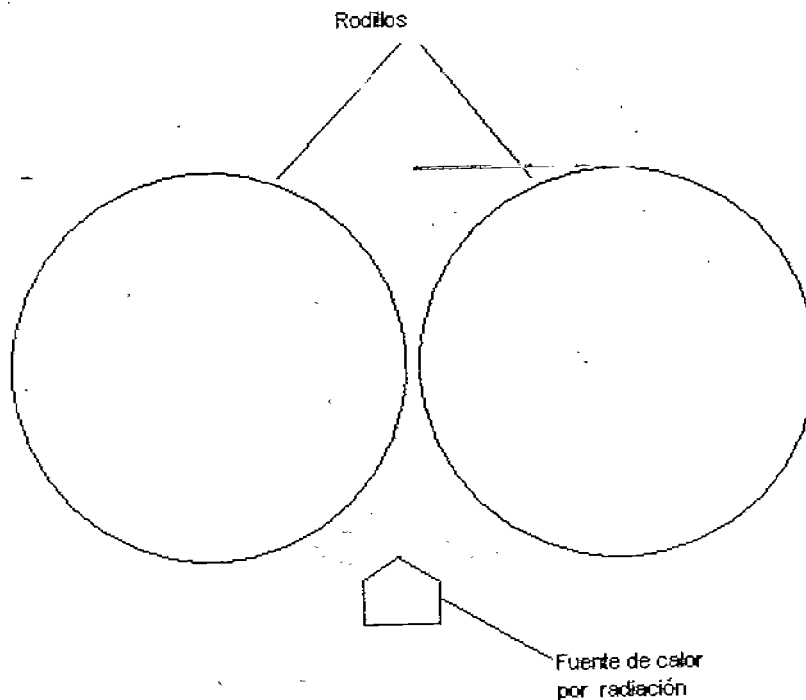
El calentamiento por radiación, es también un sistema viable pero por los aspectos discutidos en el capítulo 4 para el caso 9 que trata el calentamiento por radiación, hacen que el uso de este sistema se limite a la combinación del mismo en combinación con otros sistemas de calentamiento, que en nuestro caso, solo el análisis de calentamiento con resistencias ha resultado viable, tal cual se aplica en la máquina existente.

Se considera entonces que el calentamiento por radiación desde el exterior del sistema se hará con el mismo tipo de fuente calorífica que el sistema analizado como viable, las resistencias; por lo que la fuente de calor que por radiación calentará los rodillos desde la parte externa será también una resistencia de alimentación de energía eléctrica.

Con el objeto de minimizar partes y reducir el material involucrado, se considera el uso de solo una resistencia debajo de los dos rodillos para calentarlos por radiación desde el exterior. Debe tomarse en cuenta que esta resistencia no emita radiación al operador, pues debemos evitar que la sensación de calor del operador al trabajar con el equipo, se incremente; un objetivo también es reducir esta sensación de calor desde el equipo.

La figura 3.4 muestra una vista lateral de un croquis donde se estima la posición de la resistencia para calentamiento por radiación externa relacionada a los dos rodillos.

Figura 3.4 Calentamiento externo de rodillos por radiación



3.5 Sistema de control de temperatura

Una vez determinados los sistemas que se utilizarán en el calentamiento, regresamos al diseño conceptual pero para el sistema de control de temperatura para las resistencias, pues ya definiendo el sistema que se debe controlar, la gama de soluciones para el sistema de control de temperatura es más específica.

El sistema de control de temperatura actual tiene el problema de tardarse demasiado tiempo en regular la temperatura, es decir, una vez alcanzada la temperatura en superficie, el sistema tarda de 2 a 3 minutos en estabilizarlo, pues por la inercia térmica, la temperatura deseada es excedida y luego se permite el enfriamiento al no continuar generando calor, la temperatura desciende por debajo de la deseada, así oscila durante toda la operación, una diferencia de ± 5 °C es aceptable durante la operación, pero al arrancar el equipo, la diferencia antes de esta estabilización de temperatura dentro del rango aceptable, tiene una diferencia de temperaturas de hasta ± 17 °C.

La retroalimentación de la temperatura alcanzada se realiza en un punto representativo que valide la temperatura en superficie con el uso de un termopar, es un sistema sencillo que además de económico, se puede conseguir fácilmente y su calibración y operación no es compleja, sin embargo, al igual que otro sistema que esté directamente expuesto a ciclos térmicos constantes, pierde sensibilidad otorgando errores en la lectura luego de cierto tiempo de trabajo. El tiempo de falla para este sistema regularmente son meses y puede llegar a ser años. El cliente está conforme con este sistema, pues no le representa problema alguno y no desea realizar cambios al respecto.

En general en el mercado, los sistemas de control de temperatura son muchos y el funcionamiento y operación de los mismos es muy variada; la mayoría pueden trabajar con lecturas de mV, mA, existen varios tipos de termopar y RTD de 2 ó 3 hilos, algunos incluso son tan completos en funciones que dan información sobre el porcentaje de variación de la temperatura con respecto al valor seleccionado o patrón.

El sistema actual cuenta con un problema que reduce su eficiencia y respuesta debido al calentamiento que recibe por su cercanía con un extremo de los rodillos, la transferencia de calor que se obtiene en los controladores es suficiente para calentar los circuitos internos y con ello generar además de tiempo de retraso en la respuesta y ajuste de los valores de temperatura seleccionados; también hace que el rango de variación se amplíe, llevando al controlador a tener hasta ± 8 °C que aunque no es una variación tan grande para el cliente, si prefiere que el control de la temperatura sea más cerrado.

El actual controlador tiene la capacidad de controlar los rangos de temperatura con una exactitud que puede variar ± 0.2 °C. En general el sistema opera bien si la tapa que lo cubre es retirada, pero una vez puesta esta tapa, se presenta el problema luego de unos 20 minutos de operación, pues en este tiempo el cuerpo de circuitos del controlador se calienta y presenta la falla descrita.

Comparando algunos sistemas del mercado, todos operan en los mismos rangos de temperatura, aunque no todos especifican la temperatura a la que pueden trabajar, si recomiendan que el sistema de control de temperatura se ubique apartado de las fuentes de calor, pues no es necesario tenerlo cerca de la fuente para que realice su función.

Con estas condiciones de mercado, se descubre que un controlador de trabajo en alta temperatura es mucho más costoso, la diferencia en precios puede llegar a ser hasta de 300% o más en exceso sobre el precio de los controladores actuales.

El conservar los mismos controladores, genera consistencia en la operación pues es un sistema que actualmente ya dominan los operadores y el cliente, no es más caro que un sistema similar de otra marca aunque no es el más barato, la diferencia en precios no es mayor al 10% de un producto similar chino, sin embargo, la disponibilidad de refacciones hace más consistente la opción de conservar el uso de estos controladores.

Se considera que el único problema con estos controladores es el calor acumulado en su zona de trabajo, así que un sistema que disipe este calor es suficiente para mantener una temperatura de trabajo en los controladores, cercana a los 60 °C o menor, pues es sobre esta temperatura que el controlador presenta falla.

Es solo un controlador por rodillo así que tenemos dos controladores involucrados, sin embargo, éstos están colocados juntos por lo que el sistema de disipación de calor que se utilice para uno puede ser utilizado para otro.

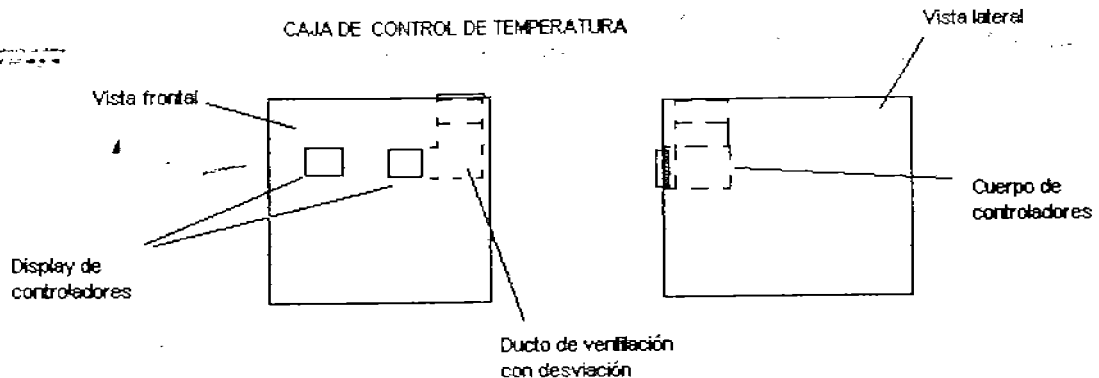
Por simplicidad, disposición, precio y proceso de implementación, un ventilador pequeño de baja fricción como los de las computadoras o equipos de sonido, será suficiente, pues solo con introducir aire a temperatura ambiente dentro de la cámara de control, haciendo incidir el flujo de aire directamente sobre los controladores, es más que suficiente para mantener frío el sistema.

Otra opción es aislarlos térmicamente del entorno, con esta opción, se elimina la implementación de ventiladores, el único punto que puede tenerse en contra, es el hecho de que el calor generado por el mismo controlador se acumule y este calor alcance la temperatura de error del sistema o de falla de alguna de las partes del mismo produciendo una falla que requiera reparación o sustitución del controlador.

Un problema asociado con los ventiladores, es que pueden además de meter aire al sistema, meter agua o partículas que queden cerca de la succión del ventilador, metiendo dichos elementos a la zona donde se encuentran los controladores, pudiendo dañarlos, por ello, se considera la implementación de un filtro sencillo de fibra de vidrio que no presente una gran caída de presión. Los sistemas de sonido cuentan con estos filtros, son baratos, los hay en varias medidas y también hay una variedad de materiales que componen estos filtros, están disponibles en el mercado nacional y su implementación es sencilla al no requerir de grandes cambios de la configuración del sistema actual.

La figura 3.6 muestra la disposición considerada para colocar los ventiladores que enfriarán los controladores.

3.6 Figura 3.6 Esquema de ducto y ventilador para enfriar controladores de temperatura



3.7 Transferencia de calor del material involucrado

El material que debe transferir calor a la superficie de los rodillos es el que se encuentra entre la fuente de calor y la superficie de los rodillos, en este caso, por la fuente de calor seleccionada y su disposición, el material de los rodillos es el que deberá conducir este calor entre esos dos puntos, la fuente de calor y la superficie de los rodillos.

Opciones para incrementar la eficiencia en la transferencia de calor, reducir el tiempo de calentamiento de la superficie, o hacer más homogénea la temperatura en la superficie de los rodillos y reducir el calor que percibe el operador, son algunos puntos o requerimientos relacionados con el material que transfiere el calor a la superficie de los rodillos.

Cambiar el material por uno con mayor eficiencia en la transferencia de calor por conducción (conducción es el mecanismo de transferencia de calor asociado al sistema implementado) como el aluminio o el cobre, puede resultar lógico, sin embargo, el problema es que estos materiales tienen una menor resistencia mecánica, son menos duros y se dilatan mucho más que el acero implementado en los rodillos; en este caso es del tipo 1040 con una cubierta superficial de 9140, este material, además de tener un costo elevado, también presenta el problema del maquinado, pues es necesario generar los orificios que darán cabida a las resistencias, estos son de 60 cm de diámetro y 3/8 de pulgada de diámetro. Si se considera que pueden ser perforados por ambos lados, entonces es necesario hacer 12 agujeros de 30 cm cada uno, seis de cada lado de los rodillos. Si las resistencias van a ser las mismas que se utilizaron en un principio, los orificios deben coincidir para tener solo 6 orificios de extremo a extremo de los rodillos, pues la resistencia implementada tiene 52 cm de longitud y 5/16 de pulgada de diámetro.

Son estas perforaciones las que por la extracción de la masa del rodillo no hacen viable la combinación de materiales, pues además de la complejidad del maquinado o

manufactura de los rodillos con materiales combinados, también está el factor de la resistencia del material y la deformación a la que están sometidos. Pues al iniciar la molienda de pellets, sino están tiempo suficiente en el rodillo para derretirse por completo, algunos espesores de muestras laminadas son mucho más delgados que el diámetro de los pellets.

El diámetro promedio de los pellets es de 4 mm y algunas muestras se requieren laminar a menos de 1 mm de espesor. Si en estas condiciones el material no está fundido completamente, los pellets tienden a empujar los rodillos hacia fuera, tienden a separar los rodillos, una vez fija la distancia entre los rodillos, son las propiedades mecánicas del material de los rodillos lo que permite que éstos no se deformen, pues el mecanismo de ajuste de distancia entre rodillos no permite separación considerable de los rodillos una vez fija la distancia entre los mismos.

Aunque el esfuerzo generado por el plástico al pasar sin fundirse entre los rodillos no es considerable, materiales como el cobre, el aluminio, u otro material que conduzca mejor el calor no soportarán tantos ciclos como el acero. Otro aspecto importante es la rugosidad de la superficie, se requiere acabado espejo sobre la superficie de los rodillos, consideraciones especiales para esta condición se toman en cuenta en el proceso de trabajo normal del equipo, por ejemplo, los rodillos nunca deberán de entrar en contacto uno con otro, así que la distancia mínima entre los mismos, limitada por el sistema de separación es de 0.15mm.

Para conservar muestras óptimas para prueba mecánica de los lotes de producción, los rodillos han de conservarse sin rayaduras o hendiduras que marquen la muestra, además de que la rectificación de los rodillos se considera como un método de mantenimiento para extender la vida útil de los mismos, de fabricar los rodillos con aluminio o cobre, la vida útil será considerablemente menor.

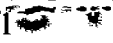
Combinar materiales en los rodillos complica la manufactura, e incrementa los costos de la misma. No se considera una opción viable combinar materiales en el rodillo para incrementar la transferencia de calor, ni cambiar el material del rodillo a menos que sea de una resistencia mecánica mayor.

Utilizaremos los mismos materiales que utilizan los rodillos actuales, de aceptar el cliente, se utilizarán rodillos de acero inoxidable y no de acero 1042 con superficie cubierta de inoxidable con un proceso común de recubrimiento. La limitante del recubrimiento es que tarde o temprano se desgastará, reduciendo la posibilidad de rectificarse, aunque existe la posibilidad de recubrirla nuevamente.

3.8 Sistema generador de potencia.

El motor actual, trabaja sin complicaciones, el consumo de energía es menor al de la máquina original aunque el tamaño y peso es similar, es también un poco más eficiente.

El motor actual tiene las siguientes características:

- 5 Hp
- 60.3 rpm de la reducción 1:29 de 1730 rpm nominales del motor.
- 230 V
- 60 Hz
- FS \approx 
- 13 amp
- Es del tipo B
- T 40 °C
- 3 fases.

Este motor es económico, no presenta problemas para la instalación en la planta del cliente, otorga las revoluciones requeridas a la salida, por lo que no se necesita adaptar motorreductor.

Un punto que puede mejorarse es el de eliminar el acoplamiento con cadena. Este punto será discutido en el apartado siguiente.

3.9 Sistema de transmisión de potencia.

El sistema de transmisión de potencia, puede resolverse mediante banda, cadena, engranes, u otro sistema para transmitir movimiento rotativo, puede eliminarse si el motor está directamente acoplado a la flecha o en el mismo eje. de este modo se eliminan partes y se reducen procesos de manufactura y mantenimiento, pues quitaríamos la cadena que actualmente transmite la potencia del motor a los rodillos.

Esta opción ya fue considerada en la primera solución presentada al cliente, sin embargo, a pesar de que no quiso que la geometría de la máquina se modificara, si consideró viable el eliminar la cadena luego de explicarle bajo qué principio podría acoplarse el motor a los rodillos sin la cadena.

Se propone entonces eliminar el sistema de transmisión de potencia, acoplado el motor al rodillo principal.

Un rodillo transmite potencia al otro (el rodillo fijo transmite la potencia al rodillo que se desplaza para dar el espesor de la muestra) acoplados con engranes, el engrane del rodillo fijo tiene dientes más largos que tienen la misma envolvente que el rodillo que se separa, de este modo, se pueden separar los rodillos hasta 4 cm sin dejar de transmitir potencia de uno a otro.

Este sistema es conocido por el cliente, es barato, seguro para acoplar la potencia y mantener el sistema trabajando aún con la distancia variable.

Para hacer variable el caso de transmisión de potencia por medio de banda, en este caso particular de estudio la potencia que se puede transmitir no es mucha, y las

revoluciones son pocas; las bandas son diseñadas para el caso opuesto, altas revoluciones y bajo torque.

La cadena, que puede ser una opción, tiene problemas de que al ser dentada, se necesita un sistema que la mantenga o que sea instalada de tal modo que trabaje tensa y en contacto suficiente para evitar que la misma salte los dientes en los engranes.

Es una buena opción pero se requiere el uso de más partes con respecto a los engranes que transmiten potencia con la configuración original, implica también tener los engranes siempre alineados con la cadena, pues la distancia no es mucha entre los centros de los rodillos y al separarse cada extremo de rodillo de manera independiente, el ángulo entre los ejes de los rodillos varía. La cadena al cambiar el ángulo entre los rodillos, puede presentar una tendencia a salirse o saltar los dientes de los engranes.

Los engranes trabajan en estas condiciones, pues actualmente es el sistema implementado en el prototipo y el que se usó en el equipo original, han operado estos equipos sin ningún problema serio asociado al uso de los engranes, no ha habido un paro de operaciones por mantenimiento a los mismos, pues no ha ocurrido falla en las condiciones de operación y el sistema es suficiente para la aplicación de este proceso, pocas revoluciones y coordinación entre los desplazamientos relativos de los rodillos.

De acuerdo a los puntos anteriores, se decide seguir utilizando la transmisión de potencia con engranes entre los rodillos; modificando solamente la configuración del motor, eliminando la cadena.

3.10 Sistema de eliminación de potencia y paro de emergencia.

Para eliminar la potencia de los rodillos y detenerlos instantáneamente se puede utilizar un banco de resistencias, este sistema es comúnmente utilizado en grúas viajeras, máquinas con motores eléctricos como montacargas, etc. la ventaja es que se eliminan los sistemas mecánicos, solo se deja un sistema eléctrico que estáticamente absorbe la energía remanente en el motor en el momento del paro instantáneo y la transforma en calor que se consume en el ambiente por medio del banco de resistencias.

Una desventaja es que el sistema a pesar de ser simple, tiene varias partes, puede resultar voluminoso en algunos casos y es un costo adicional al implementarse.

Otro medio para la eliminación de potencia con un sistema mecánico como un clutch o un acoplamiento similar, un embrague magnético, etc. puede eliminar instantáneamente la inercia del motor eléctrico, pero todavía se cuenta con la inercia de los rodillos, si bien, estos no giran solos por inercia tanto como lo que giran con la inercia del motor acoplado.

La confiabilidad del sistema de paro con resistencias es mayor al del sistema de eliminación de potencia con clutch mecánico, pues no tiene partes móviles, no hay partes sometidas a desgaste y el mantenimiento es mínimo.

Otro sistema auxiliar que se puede implementar es un sistema que una vez eliminada la potencia del motor, active un freno mecánico en los rodillos, sin embargo, si se llegase a tratar de un paro de emergencia por atropamiento de partes del cuerpo del operador, este freno podría también impedir que los rodillos girasen en contrasentido para intentar soltar al operador atrapado.

Conservando la idea del freno, un inversor de frecuencia se puede utilizar para frenar eléctricamente el sistema, solo es necesario programar el tiempo de paro [ms]

Se considera entonces como una opción simple por partes móviles, modificaciones a la configuración del equipo y conservación de geometrías y volúmenes generales para que el rediseño conserve una apariencia general similar a la del prototipo, la utilización de un banco de resistencias para eliminar la potencia del motor eléctrico.

Este sistema se activa tocando las rejillas sobre los rodillos, pero adicionalmente se propone colocar un sistema de accionamiento del paro de emergencia (interruptor) que esté colocado en la tapa de la laminadora.

3.11 Sistema de laminado (rodillos)

Para mejorar el sistema de laminado, los rodillos deberán maquinarse en acero inoxidable y rectificarse a una cilindridad de 10.0 ± 0.006 cm de diámetro, es decir, el cilindro en la superficie del rodillo deberá estar dentro de los cilindros imaginarios con diámetros de 9.994 cm el interior o mínimo y de 10.006 cm el cilindro imaginario mayor.

El cabeceo deberá estar también dentro de un rango mínimo de ± 0.004 mm. Este valor es difícil de alcanzar debido a los rodamientos con que se cuenta y al acabado que se le da a los rodillos, sin embargo, un rectificado más estricto puede mantener dentro de tolerancia este valor. Ya se buscó en el análisis inicial, rodamientos con menor tolerancia, pero el mercado, el costo y el tamaño de los mismos no justificaron su uso. Laminar un poco más las muestras en los rodillos, reduce el error con esta tolerancia, así que el cliente está de acuerdo en solucionar de este modo el problema, pues de implementar rodamientos que minimicen este error, el costo se eleva. Un rectificado más estricto es suficiente para eliminar la necesidad de cambiar los rodillos.

3.12 Sistema de ajuste de espesor

El sistema actual de ajuste de espesor se ha revisado minuciosamente y se ha detectado que trabaja sin problemas, es decir, no afecta al control del espesor de las muestras, el juego que tiene se debe a piezas ajenas al mismo, como las correderas, así que se sugiere conservarlo y solo corregir el juego generado durante el maquinado de las partes de las correderas.

3.13 Sistema de lubricación de rodillos

Este sistema está referido al sistema para lubricar los rodamientos de los rodillos, pues en el caso de la máquina original con la que contaba el cliente en un principio, tenía bujes para soportar los rodillos, la lubricación era muy sucia, presentando derrames y ensuciando la muestra de pellets laminados si no se tenía el cuidado adecuado para lubricar los bujes y limpiarlos.

En la máquina que se diseñó como solución a las necesidades del cliente cumpliendo con sus requerimientos, se utilizaron cartuchos de lubricación con aire comprimido, que dependiendo del gasto de material lubricante, dosifican el lubricante hasta agotarse. El problema en este sistema, es que no se cuenta con un sistema que avise cuando se termina el lubricador, además de que las líneas que conectan el depósito del lubricante con los rodamientos de los rodillos es muy largo, el diámetro interior del ducto (manguera) es muy pequeño, por lo que las fuerzas de arrastre involucradas hacen que la dosificación de lubricante en los rodamientos de los rodillos sea muy pobre y por lo tanto insuficiente para garantizar una vida útil de los rodamientos como se considera de diseño.

Para mejorar el sistema de lubricación de rodillos, se deben obtener resultados en los problemas en los que este sistema tiene injerencias, como en el problema del material fluyendo a los extremos y en el problema de mantener una lubricación variable con el tiempo.

Atomizar el aceite lubricante es una opción, pero se necesita gas o aire u otro sistema para comprimir el fluido que lubricará los rozamientos de los rodillos, de este modo, se considera que un sistema donde los rodamientos de los rodillos se puedan lubricar sin necesidad de un sistema adicional de compresión del lubricante o un sistema adicional para suministrar la grasa desde los depósitos de aceite con gas comprimido.

Otro sistema que puede utilizarse es un depósito que vacíe por gravedad el lubricante, sin embargo, un sistema similar se utilizó anteriormente y no presentó una solución total, pues generó el problema de contaminación de la zona donde se encuentra el equipo debido a derrames, goteos y escurrimientos, por lo que el cliente no desea contar con un sistema similar.

El sistema que se implementó en la máquina que se presentó como solución a los requerimientos del cliente, es un sistema limpio, simple y económico, el problema detectado por el que en un extremo de los rodillos no llega la lubricación suficiente es debido a la caída de presión, pues en un extremo la lubricación se da sin problemas y en el otro lo único que cambia, es la longitud del ducto lubricador.

El problema en el extremo donde no se lubrica adecuadamente el rodamiento se puede solucionar reduciendo la longitud del conducto del lubricante, acercando el depósito y utilizando un diámetro más grande de conducto, así la caída de presión entre

los dos extremos se reduce considerablemente evitando el que el lubricante llegue al punto de interés, que es el rodamiento.

En conclusión, solo se cambiará el diámetro del ducto de lubricación en el extremo donde no llega el lubricante adecuadamente.

3.14 Sistema de control de flujo de material a los extremos

El material que fluye a los extremos del equipo, se intenta detener con una cubierta de latón colocada en los extremos de los rodillos que sin tocarlos, intenta evitar que el material del plástico laminado que se escurre a los lados llegue a los rodamientos de los rodillos.

El material es de latón pues es material de sacrificio y también tiene que ser un material tal que si entra en contacto con los rodillos no los raye, pues como ya se explicó, la superficie de los rodillos debe conservarse lo más íntegra posible, evitando ralladuras o abolladuras.

En este caso, el claro que hay entre los rodillos y las guardas protectoras es casi de 1 mm, reducir esta distancia a la suficiente para tocar los rodillos es una medida que ayudará a minimizar el problema de flujo de material a los rodamientos pero no lo eliminará.

Es inevitable que el material deje de fluir a los extremos, por las condiciones reológicas del plástico en las condiciones de laminación, ya que por las condiciones del tratamiento, el material utilizado, la temperatura de los rodillos, etc. el material tenderá a fluir a los extremos desde que se funde entre los rodillos.

Si el problema no se puede eliminar, entonces se debe considerar en reducirlo o evitarlo.

Una forma es colocar cepillos de alambre de cerdas de latón que en contacto con el rodillo en los extremos, antes de que el material que fluye hacia esta zona para que sea en este punto donde sea retirado este material.

Otro método puede ser el de crear un canal o ceja que teniendo una cuña insertada, atrape al material al llegar a dicho canal y la cuña insertada lo retire de los rodillos y evite que llegue a los rodamientos.

Como propuesta de rediseño, se considera la opción de la cuña y el canal, la solución del cepillo de cerdas de bronce puede resultar viable, pero esta prueba puede hacerse en la máquina actualmente operando, además no implica cambios de diseño, es posible añadir este sistema a la configuración actual sin muchas complicaciones.

Este sistema de cepillos es similar a una solución alterna ya aplicada, se colocaron mallas de electrosoldable inoxidable para eliminar este material fluyente a los extremos.

3.15 Sistema de transmisión de corriente a resistencias

Como ya se discutió, el sistema de transmisión de corriente a resistencias funciona correctamente, el problema de falla asociado por la temperatura de trabajo, se soluciona con la implementación de un ventilador o consiguiendo una pieza de contacto de energía rotatoria que trabaje con temperaturas mayores. El actual colector de mercurio está diseñado para trabajar a 60 °C, como esta temperatura se excede en las condiciones de trabajo actuales, se considera utilizar un ventilador para esta zona también aunque puede utilizarse uno común para los controladores y los colectores; esta propuesta de solución elimina la necesidad de cambiar la pieza por un colector más caro que además, según la información del mercado actual, resulta una pieza más robusta, si bien en dimensiones no mucho mayores al actual, si más grande, siendo necesario adaptar una unión más grande para el caso.

Se considera conservar el colector y enfriarlo con un ventilador para mantenerlo en la temperatura óptima de trabajo.

3.16 Sistema de control de flujo de calor al ambiente

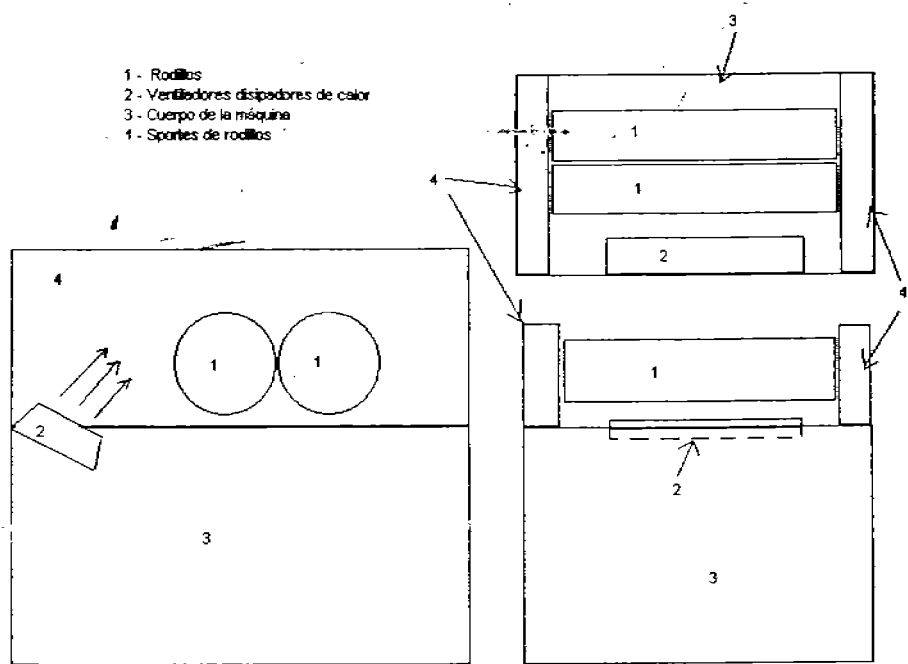
El calor que fluye por radiación y por convección natural al ambiente, puede ser eliminado de la zona donde se ubica el operador utilizando una campana extractora. Este caso implica el implementar una instalación más a la máquina o a la infraestructura del inmueble; sin embargo, un punto a favor de la campana extractora, es que los gases desprendidos del material a moldear durante la operación, son filtrados, teniendo como resultado una menor contaminación al ambiente.

Instalar otro ventilador que disipe este calor hacia una zona opuesta a la del operador, es una solución posible, es simple de instalar y las modificaciones al equipo para su implementación son mínimas.

Se considera la opción de 1 ventilador como la más viable y se propone al cliente la implementación de la campana extractora.

La figura 3.16.1 presenta un bosquejo de la configuración del equipo con ventiladores disipadores de calor.

Figura 3.16.1



Capítulo IV

En el presente capítulo se comparan los subsistemas propuestos en el capítulo anterior con los que actualmente operan en el prototipo presentado al cliente, mediante esta comparación, se estima si la solución propuesta mejorará el desempeño y solucionará los problemas del cliente.

Se resumen también los conceptos básicos del principio de generación de las soluciones, se muestran gráficas que de manera más clara intentan especificar partes, posiciones y geometrías de los sistemas y subsistemas propuestos para resolver los problemas que el cliente plantea para el rediseño.

Como se menciona en el capítulo anterior, no todos los sistemas implementados necesitan cambiarse, luego de estudiar el caso, analizar las condiciones del mercado e intentando cumplir con los requerimientos del cliente, se deduce que algunas partes o componentes solo necesitan algunas modificaciones o equipo auxiliar sencillo que eficiente su funcionamiento.

4.1 Comparación

En resumen, los puntos que se implementarán en los sistemas involucrados para mejorar el equipo para cubrir los puntos que especificó el cliente como aspectos a mejorar son:

1. Reorientar el sistema de resistencias para permitir que la temperatura se distribuya mejor.
 - a. Comparado este arreglo con el arreglo actual, la distribución de temperatura será más homogénea, pues el incremento de temperatura en las resistencias ocurre en ambos lados del rodillo.
 - b. Es necesario generar un ducto para conducir los cables de alimentación para las resistencias en contrasentido.
2. Enfriar los controladores de temperatura para estabilizar su operación en una temperatura de trabajo. Este punto y el número 8 que se muestra más adelante, son los que más influyen en el control de temperatura.
 - a. Con este arreglo, no se modifica el sistema, no se implementan sistemas diferentes para el control de la temperatura, conservando el existente y eliminando la necesidad de capacitar más al personal.
3. Implementar el banco de resistencias y el inversor de frecuencias para mejorar la respuesta al paro de emergencia.
 - a. No se implementan sistemas mecánicos, no hay partes móviles en el sistema y la operación es confiable
4. Eliminación la cadena del sistema de transmisión de potencia.
 - a. Se simplifican dispositivos, se eliminan materiales y partes. El mantenimiento es más sencillo y al eliminar masa en movimiento, también es más sencillo detener los rodillos en paro de emergencia.
5. Rectificación los rodillos y ajuste más las tolerancias de maquinados y acabados finales en su superficie.
 - a. No es necesario desechar el rodillo.
 - b. Los acabados se logran sin dificultades mayores.
 - c. Es un proceso más tardado en la manufactura pero ahorra tiempo en la operación.
6. Cambios en la disposición del sistema de lubricación y algunos de sus componentes.
 - a. No se modifica en lo esencial el sistema de lubricación implementado, es suficiente con modificar los ductos utilizando un mayor diámetro y reduciendo la distancia de la fuente al punto de lubricación.
 - b. Conservamos un sistema limpio y funcional.

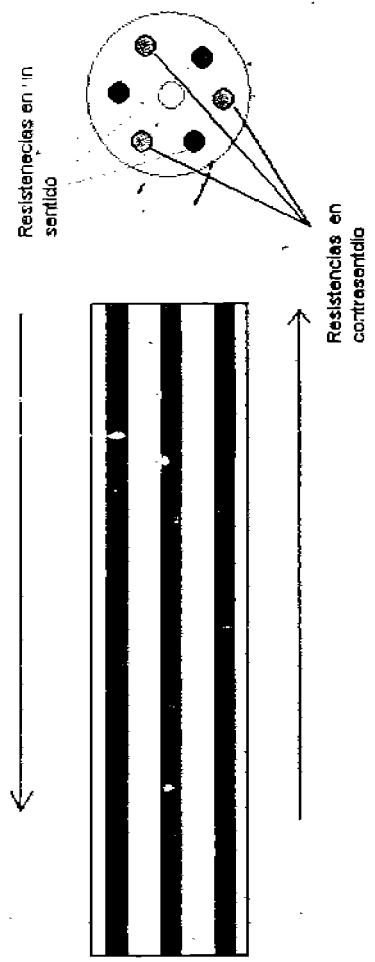
7. Implementación de los canales en los rodillos y la cuña en los mismos para contener el material que fluye a los extremos.
 - a. El sistema es simple, pocas partes y solo se necesita realizar un paso más en el proceso de manufactura de los rodillos.
8. Enfriamiento del colector de mercurio para eficientar el sistema de transmisión de potencia eléctrica y mejorar el control de temperatura.
 - a. Con este sistema de enfriamiento, no es necesario cambiar el colector de mercurio. Este funciona bien, es económico y está disponible fácilmente en el mercado.
9. Implementación de ventiladores para eliminar flujo de calor al operador
 - a. Con este sistema se reduce la incidencia del calor en el operador, el flujo necesario no es elevado, por lo que no complica la operación del equipo y hace más cómoda su operación.
10. Planteamiento al cliente del uso de acero inoxidable en los rodillos y el uso de un extractor sobre rodillos.
 - a. De aceptar la propuesta, la inversión no es considerable, los materiales y partes del sistema son comunes en el mercado y la operación y mantenimiento es sencilla.

Comparación de los sistemas del prototipo y de rediseño.

Sistemas sometidos a revisión	Control homogéneo de temperatura	Falla en respuesta de controles de temperatura	Paro instantáneo de los rodillos en emergencia	Sistema de transmisión de potencia	Espesor de muestra más homogéneo	Sistema de la bricación más eficiente	Reducir el material fluyendo a rodamientos	Eficiencia del sistema de transmisión de corriente a resistencias	Reducir el flujo de calor al operador	Material de rodillos y extractor de calor sobre el equipo
Sistemas del Prototipo	Resistencias en un sentido	Sistema eficiente pero al límite de temperatura de trabajo	Solo se detiene al accionar el interruptor, la inercia mueve mucho los rodillos	Transmisión con cadena, más masa a detener en caso de paro de emergencia	Rodillos con tolerancias de manufactura mayores a las requeridas	Ductos muy pequeños y algunos muy largos, gran caída de presión	Se conservan cortadores de las cubiertas protectoras pero se cambia el material por uno de sacrificio	Colectores de mercurio funcionan adecuadamente les afecta la temperatura de trabajo	No hay mejoras en este punto. No ha habido especificado para la generación del prototipo	Material de acero 9140 recubierto de acero inoxidable 9140. El extractor no fue propuesto.
Sistemas del Rediseño del prototipo	Resistencias en dos sentidos, intercaladas en el arreglo	Se conserva el sistema y se implementa un sistema de enfriamiento	Un inversor de frecuencias y un banco de resistencias para parar al instante los rodillos	Eliminando la cadena, se reduce la masa de movimiento, reduciendo el tiempo de paro	Se conservan materiales y geometrías, se modifica el proceso de manufactura para alcanzar tolerancias más cerradas	Se acorta su distancia en lo posible. Menor caída de presión	Utilización de cuñas y canales en los rodillos para retener el material que pasa de las cubiertas y botarlo de los rodillos	Se implementa un sistema para mantener los colectores trabajando en su temperatura óptima	Se implementan ventiladores que arrastran el calor fluyendo al operador proveniente de los rodillos	Se propone el uso de un rodillo de acero inoxidable y el uso de un extractor de campana sobre el equipo.
Cambios entre los dos sistemas	Solo el arreglo de las mismas	No cambia sistema original	Si implica uso de sistemas adicionales	Si implica cambio de configuración y eliminación de partes	No cambia el material, si cambia el proceso de maquinado	No cambia el sistema en esencia, modifica dimensiones	Si cambia geometría original, implica implementar más partes	No cambia sistema original, agrega sistema de enfriamiento	No cambia configuración original del conjunto, implica uso de más partes	Si cambia materiales y un sistema adicional

Grafica de los sistemas del prototipo y del rediseño

Arreglo de resistencias

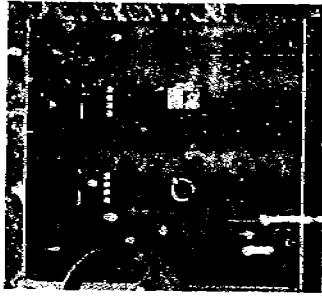
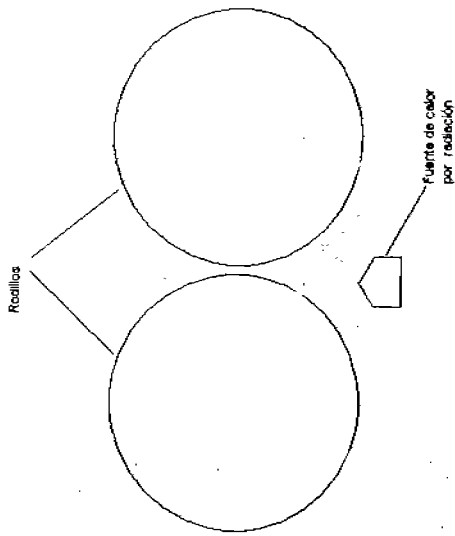


En el prototipo, las resistencias corren a lo largo del rodillo todas en un sentido, en el rediseño, se propone hacer que la mitad de las resistencias corran en contrasentido intercaladas (3) con la otra mitad (3 resistencias), dado que se calienta primero la zona por la que se alimenta la corriente en la resistencia, con este arreglo se espera resolver el problema de mantener un calentamiento homogéneo en toda la longitud del rodillo.

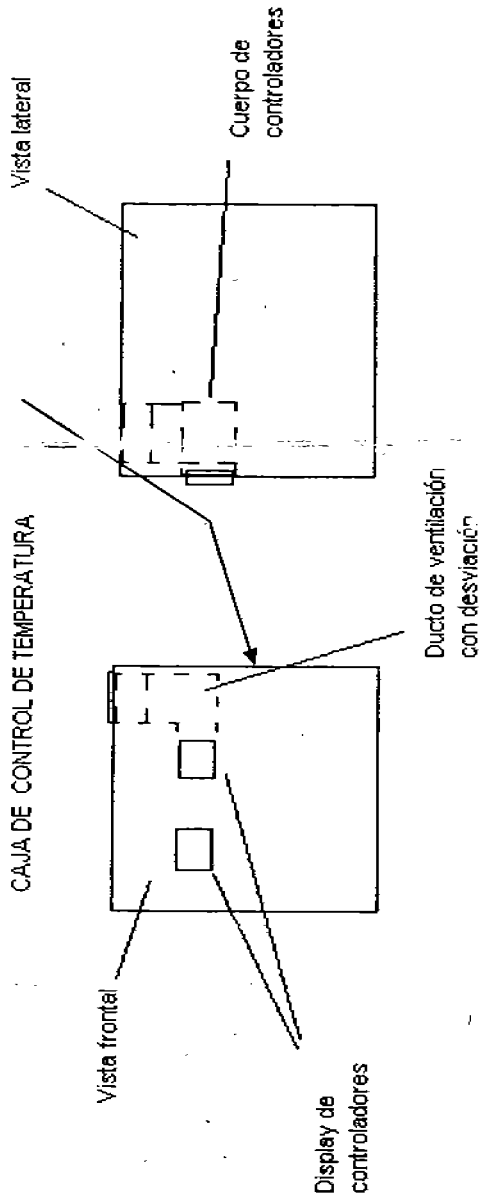
Sistema de mejora para la falla en respuesta de control de temperatura y un calentamiento de la superficie más rápido.

Para mejorar el control de temperatura se propone mantener a los controladores de temperatura en su rango de operación dado por el fabricante de los controladores, se ha notado que trabajan eficientemente y sin problemas pero si se calientan, el control de la temperatura no es tan eficiente como a temperaturas menores a 60°C, por lo que se propone colocar ventiladores y un ducto que dirija el aire de enfriamiento hacia los dos controladores.

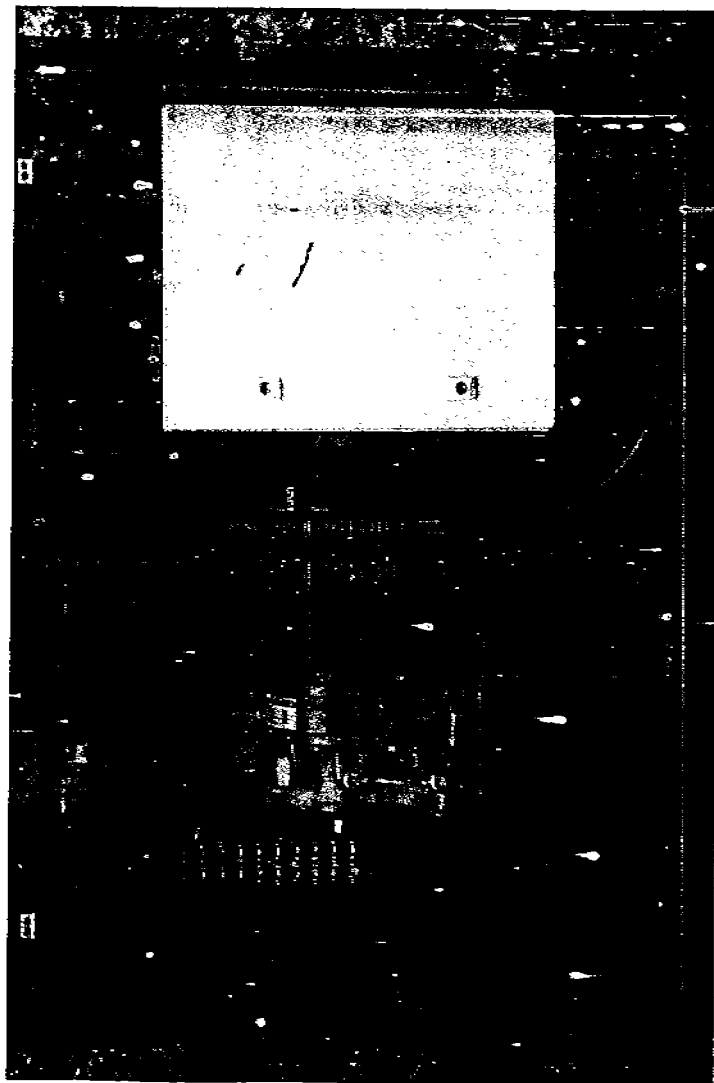
Adicionalmente y para que la temperatura inicial se alcance más rápido cuando se inician operaciones o cuando se incrementa el rango de temperatura, se propone utilizar una fuente de calor por radiación adicional debajo de los dos rodillos.



CAJA DE CONTROL DE TEMPERATURA

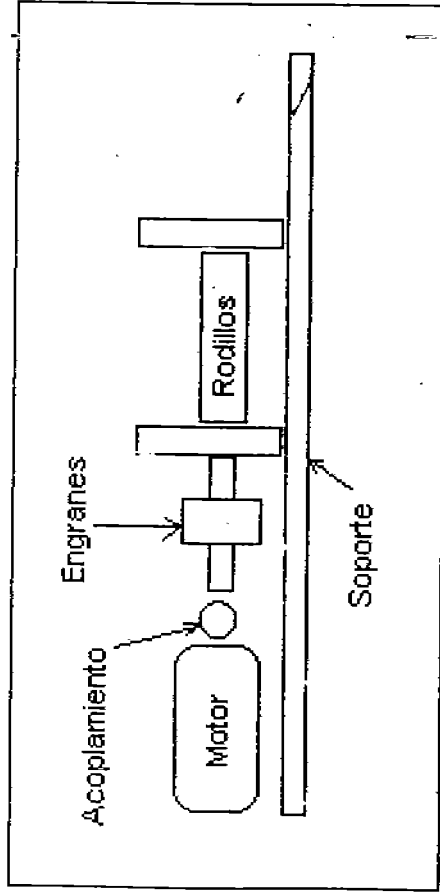


Implementación de banco de resistencias y de un inversor de frecuencia para realizar paro instantáneo.

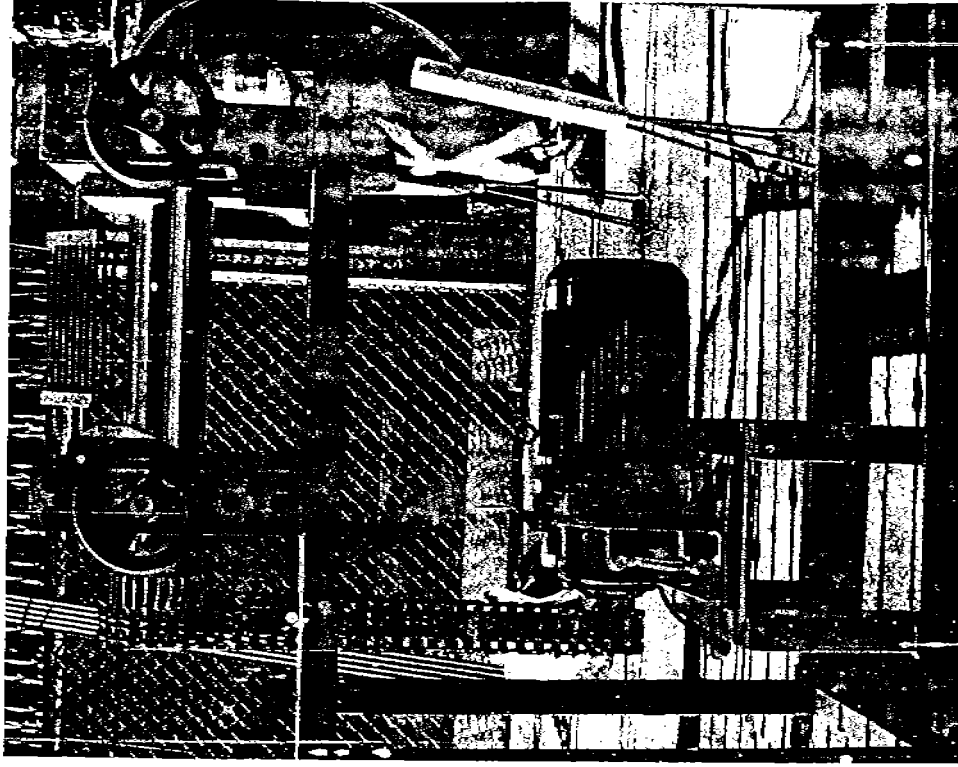


Detrás del motor se estima colocar el banco de resistencias, el inversor de frecuencia estaría colocado en la caja de contactos que se puede observar en la figura.

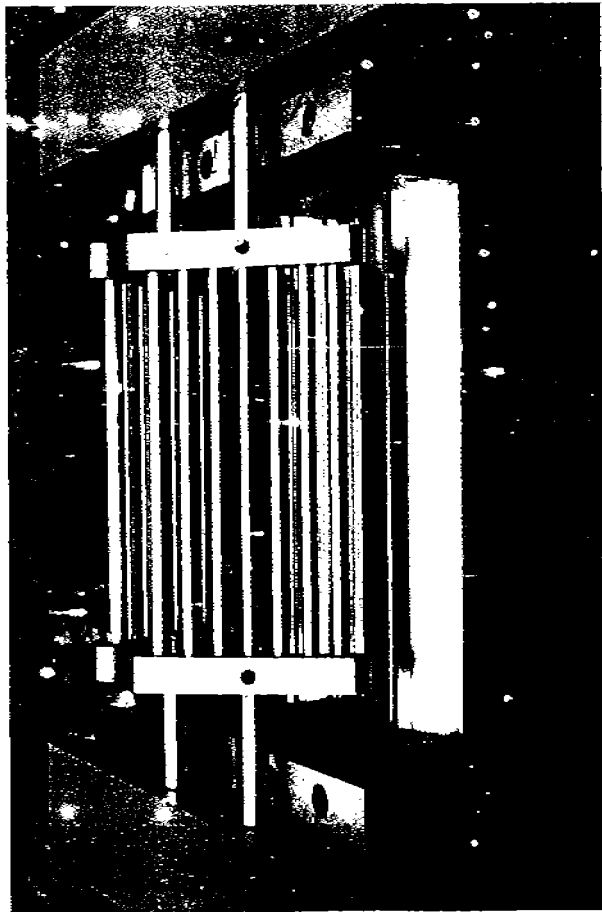
Cambios en el sistema de transmisión de potencia.



Con el arreglo de la figura que se encuentra sobre estas líneas, se evita el uso de cadena, como en el caso del prototipo que se puede observar en la imagen de la derecha; el paro instantáneo se facilita debido a una reducción de masa con inercia de movimiento, el peso del equipo disminuye, el mantenimiento del mismo se simplifica y se eliminan partes móviles. De este modo, también se hace más eficiente la transmisión de potencia mecánica.

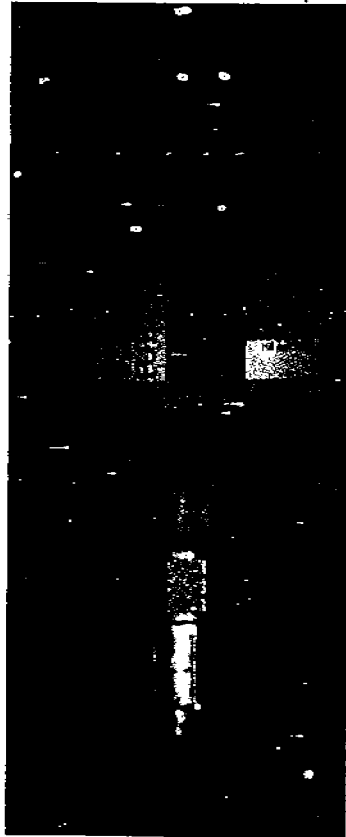


Controlar el espesor de muestra homogénea.



En este caso, después de analizar el proceso, revisar la máquina anterior al prototipo y revisar el trabajo del prototipo, se encontró que los materiales, el proceso y los ensambles son los mismos en esencia, solo se notó también que los rodillos originales tienen una tolerancia de cilindridad mucho más cerrada que la que tienen los rodillos del prototipo, por lo que se consideró utilizar solamente un mejor proceso de rectificado al final de la manufactura de los rodillos, pues esta diferencia es la que influye al final en el control del espesor homogéneo de las muestras laminadas

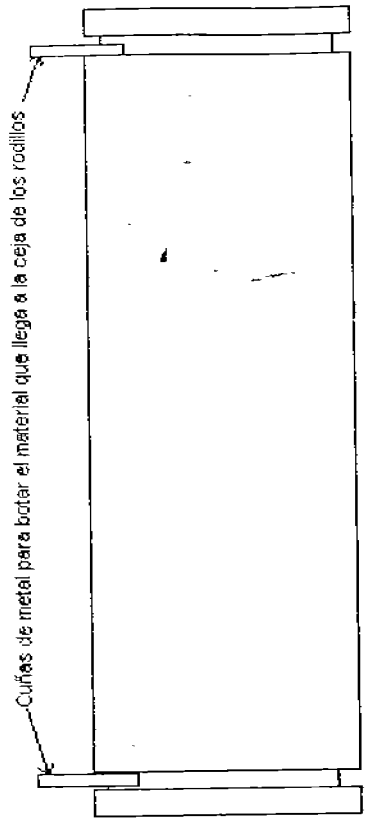
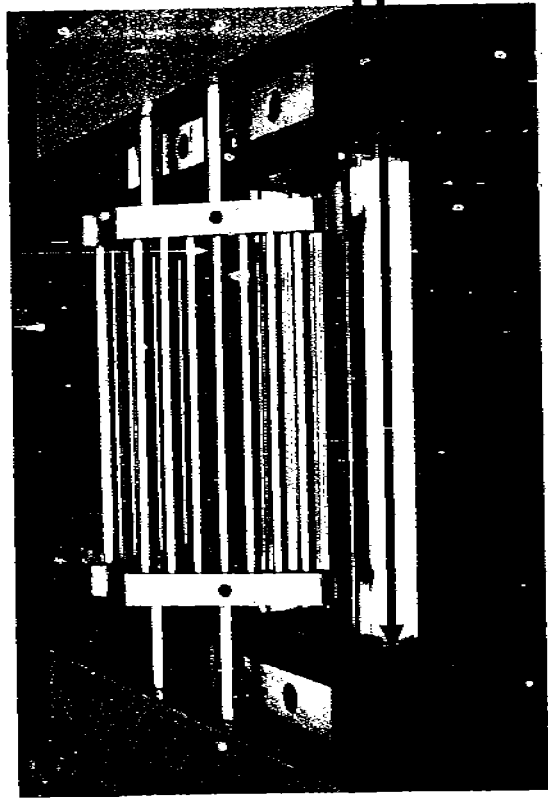
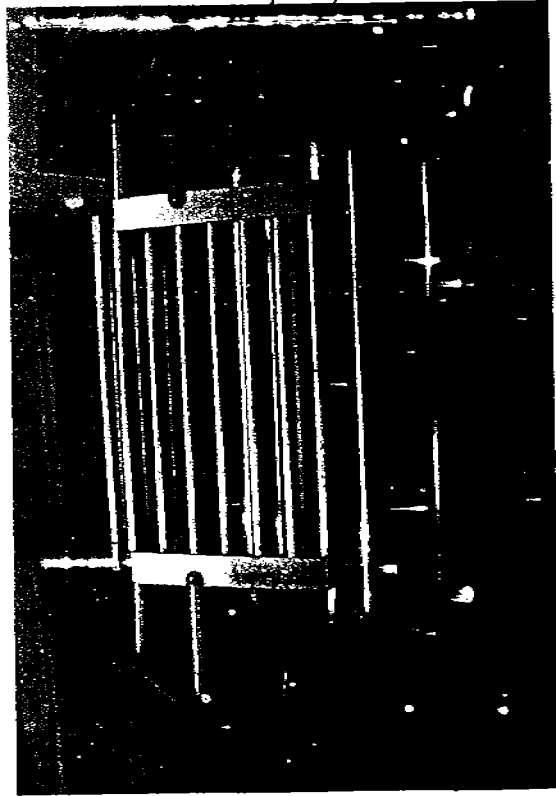
Sistema de lubricación más eficiente



Ductos de lubricación

El sistema de lubricación con depósito de lubricante con cámara de aire comprimido, tiene la ventaja de ser un sistema sencillo, barato y limpio, se puede reutilizar si se quiere y es fácil de conseguir si necesita ser reemplazado, sin embargo, la presión que maneja que es menor a 5 atmósferas, no es suficiente para vencer la caída de presión si el ducto lubricante es muy largo, por lo que se sugiere conservar el sistema de lubricación del prototipo y reducir la distancia del ducto que conduce hasta los puntos de interés de lubricación. También se implementa un sistema de ductos más grandes cuando la distancia del mismo no puede reducirse, esto ayuda a tener una menor pérdida de presión por fricción en el ducto de lubricante. Se pasa de 1/4 a 1/2 de pulgada de diámetro interior en el ducto

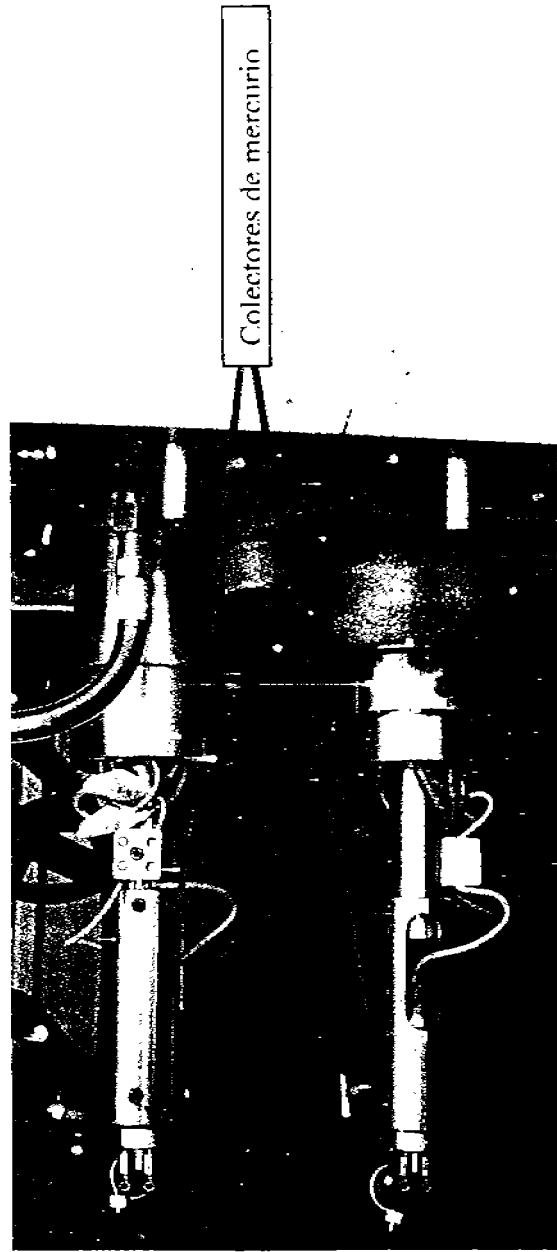
Sistema de reducción de material fluyendo a rodamientos.



Para evitar que el material que fluye sobre los rodillos y llega a los rodamientos, se propone utilizar cuñas y cejas en los rodillos en las que se insertarán estas cuñas. Cuando el material que fluye a los extremos pase debajo de las guardas de latón que se observan en la figura inferior izquierda, las cejas retendrán este material y con el rodillo en movimiento, las cejas botarán el material fuera de los mismos.

Guardas de latón

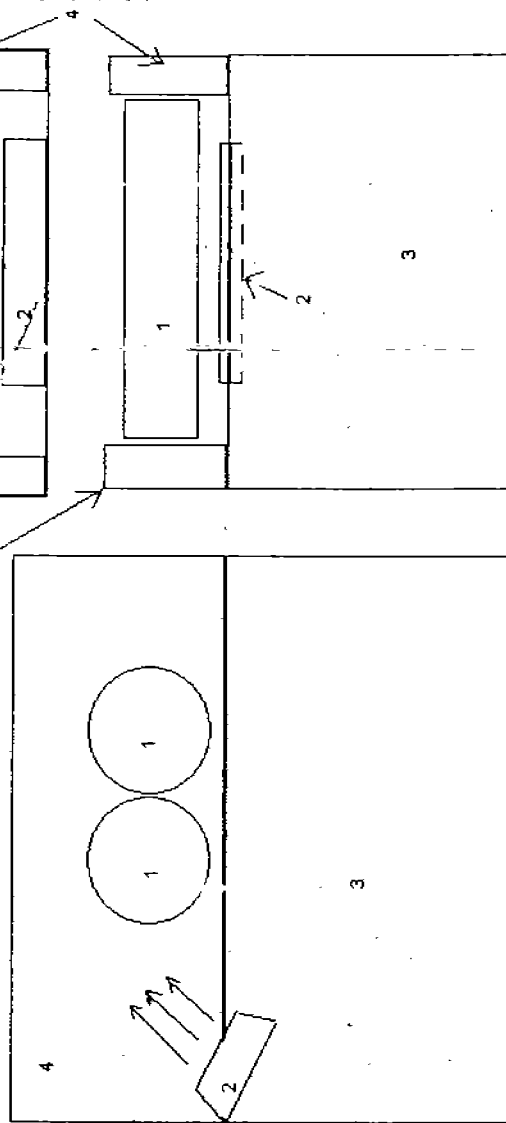
Efficientar el sistema de transmisión de corriente a resistencias.



Los colectores de mercurio, trabajan adecuadamente, pero al calentarse, la eficiencia de transferencia de energía eléctrica del mercurio disminuye, retardando el tiempo de calentamiento de las resistencias. La temperatura de trabajo nominal de los colectores de mercurios es de 60°C y durante un tiempo considerable de trabajo esta temperatura se supera en la zona donde están instalados los colectores (detrás de los controladores de temperatura y en un extremo del eje de los rodillos) por lo que se implementa un sistema de ventilación que evite que los colectores de mercurio alcancen temperaturas superiores a 60 °C.

Reducción de flujo de calor al operador

- 1 - Rodillos
- 2 - Ventiladores disipadores de calor
- 3 - Cuerpo de la máquina
- 4 - Sportes de rodillos



El esquema que se muestra, sintetiza el principio de la eliminación del calor fluyendo al operador desde los rodillos, se considera el uso de ventiladores que desvíen este calor sin permitir que el flujo toque los rodillos. Se estima serán 4 ventiladores de 5 cm² cada uno, similares a los utilizados para enfriar, los controladores de temperatura.

En el prototipo, no se consideró ningún sistema para evitar que el operador recibiera el calor de la máquina, por lo que no se consideró ninguna solución.

Adicionalmente se propone el uso de una campana extractora para jalar el aire caliente hacia arriba y además filtrar los gases producto de la laminación, desprendidos por el plástico al calentarse.

También se propone el uso de acero inoxidable para aumentar la vida de los rodillos y para facilitar su rectificado sin necesidad de repetir recubrimientos superficiales.

Conclusiones

Con los sistemas propuestos para mejorar el desempeño del prototipo actual, la eficiencia de la máquina mejora al hacer el calentamiento más homogéneo. Las modificaciones son mínimas por lo que el cliente observará que la configuración general del equipo es la misma, cambiando solo el extremo izquierdo de la máquina que en esta propuesta debe dar cabida al motor eléctrico para girar los rodillos sin utilizar cadena.

El costo final de la máquina, como se planteó en los objetivos, está muy por debajo de las opciones que el mercado ofrece, en el apéndice C se muestra una tabla comparativa de los precios encontrados de equipos con los que se puede comparar la máquina en esta tesis analizada. En este caso la máquina tiene un costo final de menos de la mitad de los equipos encontrados en el mercado, sin tomar en cuenta además que estos no cumplen con las especificaciones del cliente y que las modificaciones que se tengan que hacer para cumplirlos, tienen un costo adicional.

Los requerimientos del cliente se conservan en lo general, solo los pequeños cambios en el aspecto de las geometrías por el cambio de posición del motor, implementación de ventiladores para enfriar algunas partes o disipar el calor entre los rodillos y el operador, la eliminación de cadena, el cambio de ducto y posición de algunas graseras, son aspectos que si bien además de cambiar el aspecto del equipo, no generan cambios drásticos, la operación del equipo es básicamente la misma, no se necesita capacitación adicional y se mejoran los aspectos que el cliente identificó como puntos a revisar en un rediseño.

El análisis del sistema genera opciones que pueden representar cambios drásticos, son los requerimientos del cliente los que justifican el uso y discriminación de las opciones generadas, facilitando así, obtener un resultado final que satisfaga estos requerimientos del cliente cumpliendo con las especificaciones generales.

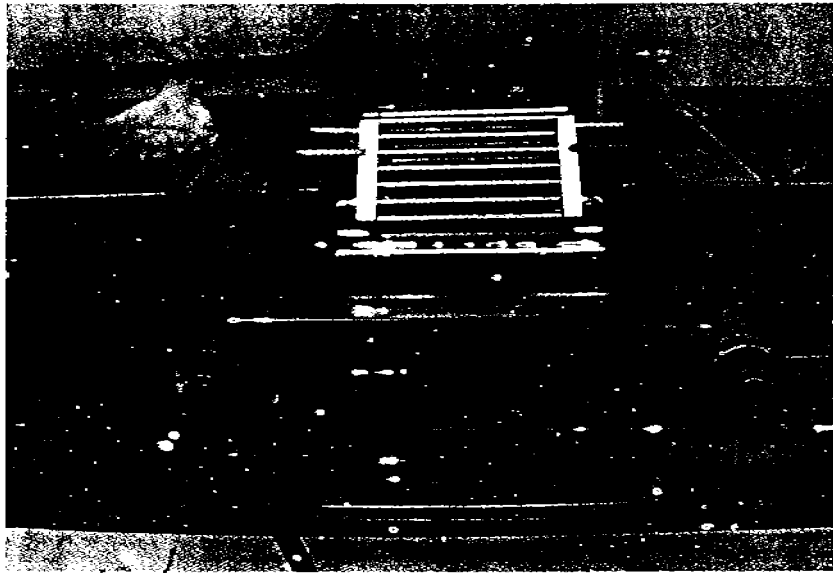
El inicio estructurado del análisis del caso, permite abordar el problema de manera lógica comenzando con los sistemas que tienen un mayor impacto en el problema, reduciendo con este proceso la gama de soluciones para los sistemas dependientes entre sí.

Apéndice A

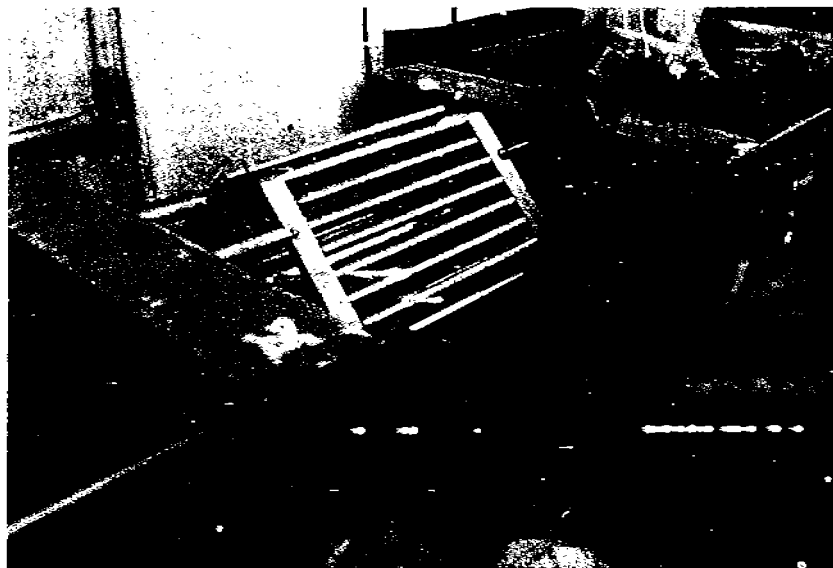
Equipo original

Las siguientes imágenes muestran las condiciones del equipo original.

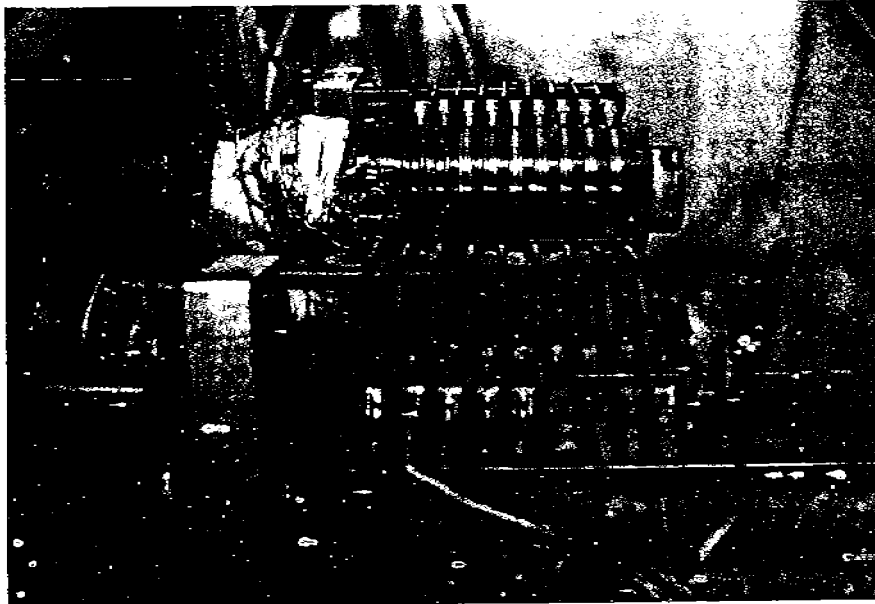
Vista frontal del equipo original.



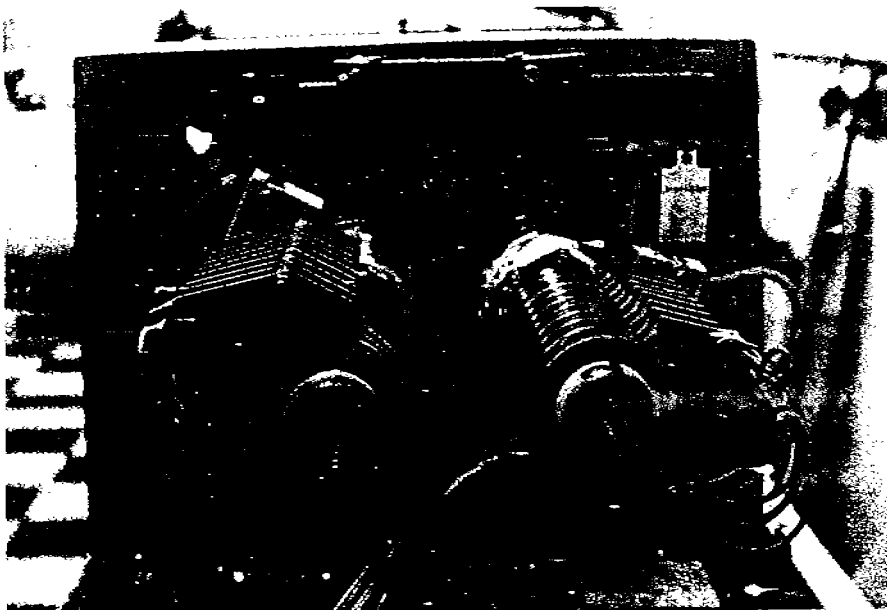
Proceso de laminado de pellets



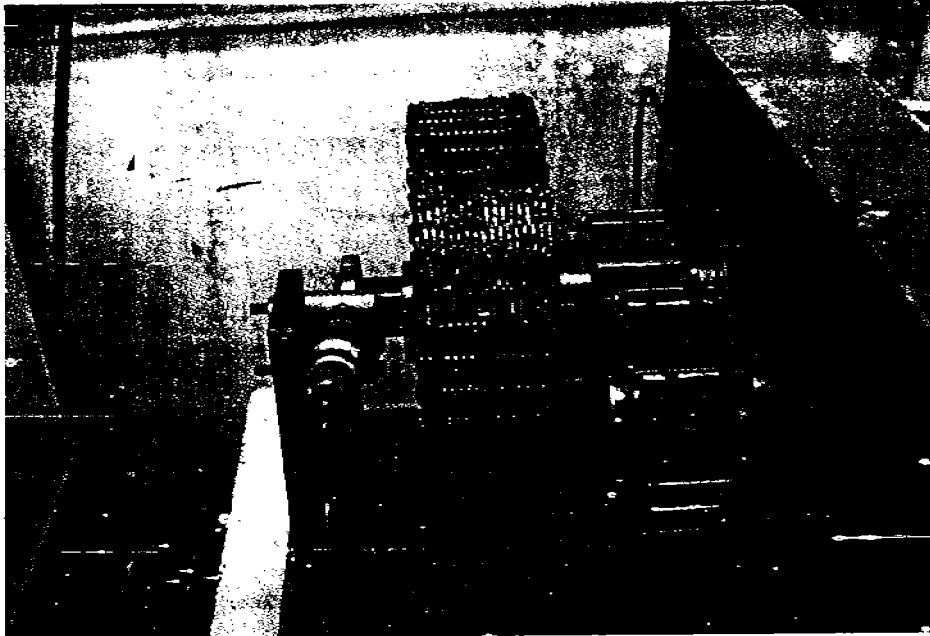
Detalle de colectores



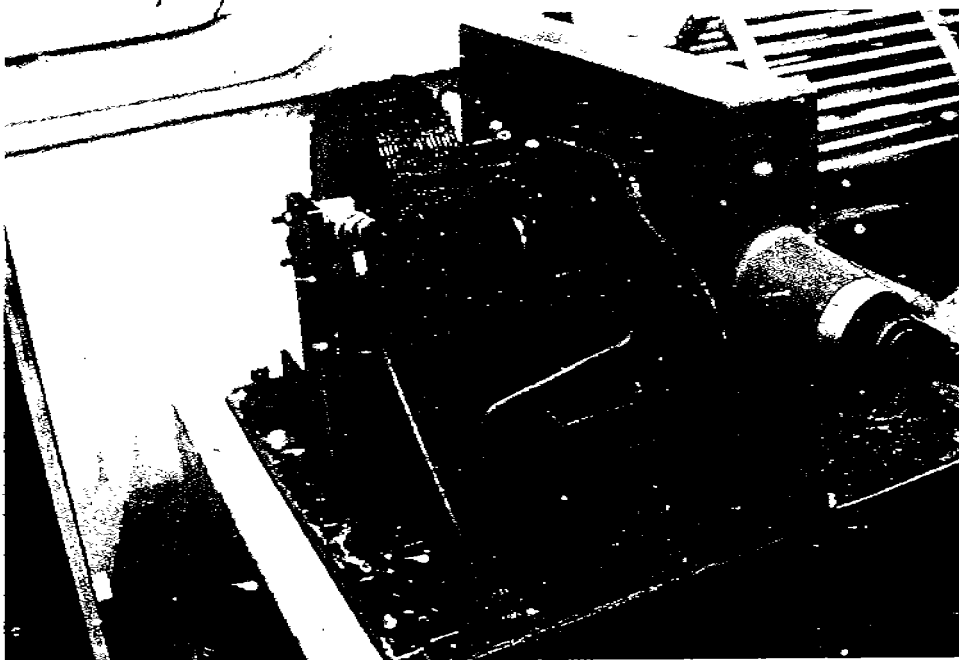
Detalle de correderas y soportes de rodillos



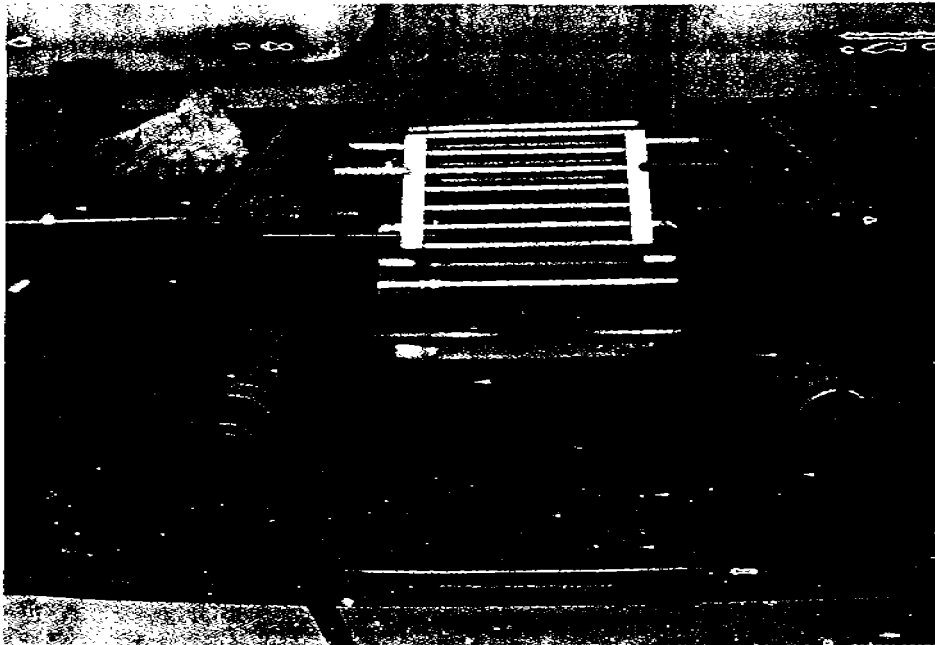
Parte superior de cadena y engranes de acoplamiento de rodillos



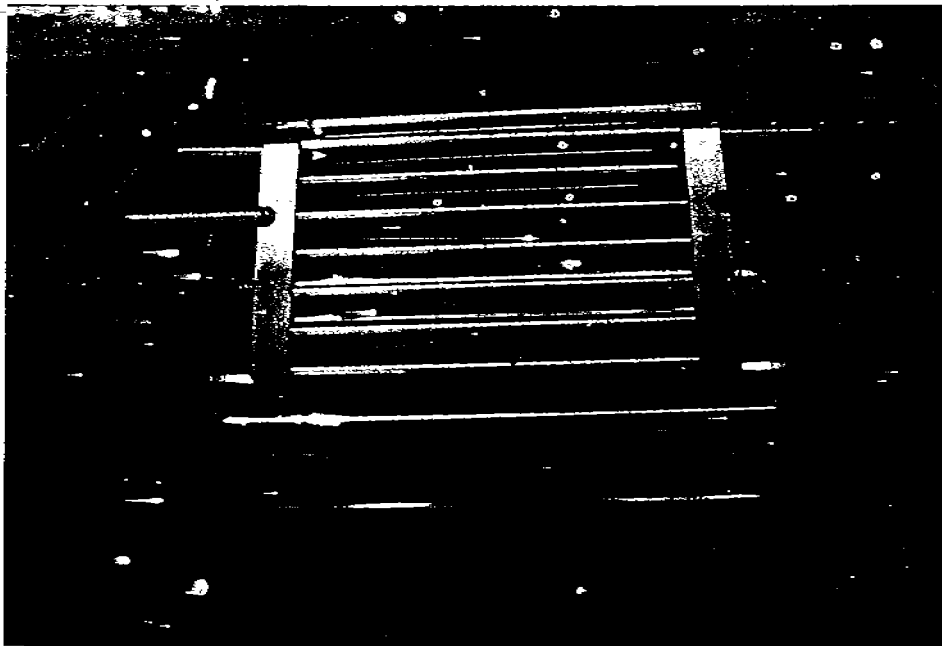
Vista del sistema de lubricación de cadena, ejes y engranes en el lado izquierdo, de transmisión de potencia.



Apariencia del equipo, en la charola, material sobrante luego de una laminación.



Acercamiento a la zona de rodillos



APÉNDICE B

Prototipo actual

Las siguientes imágenes presentan las condiciones del prototipo presentado al cliente, las piezas en detalle y el ensamble en general de la máquina.

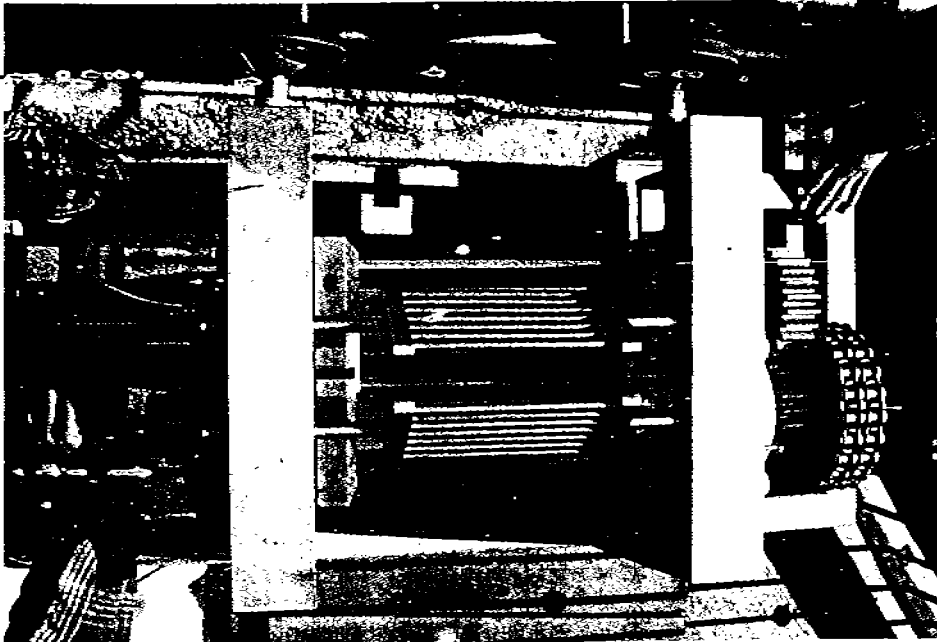
Momento del ensamble general, las piezas a pintar están cubiertas con primer.



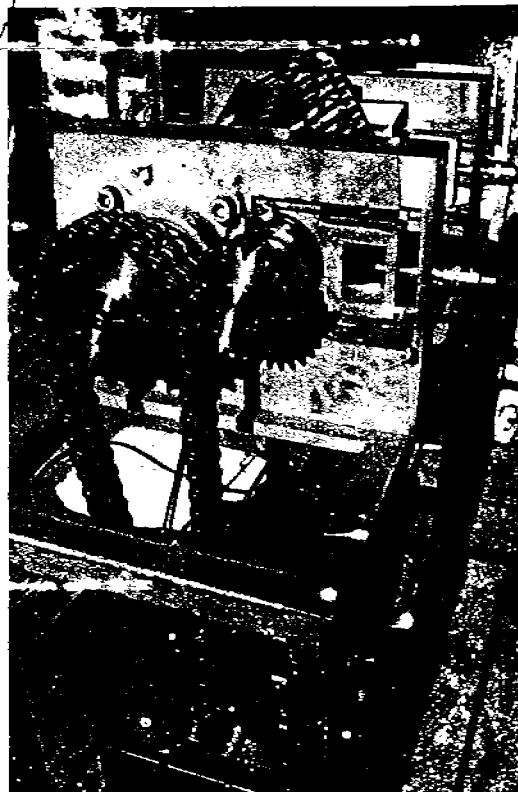
Vista frontal de la estructura y componentes principales.



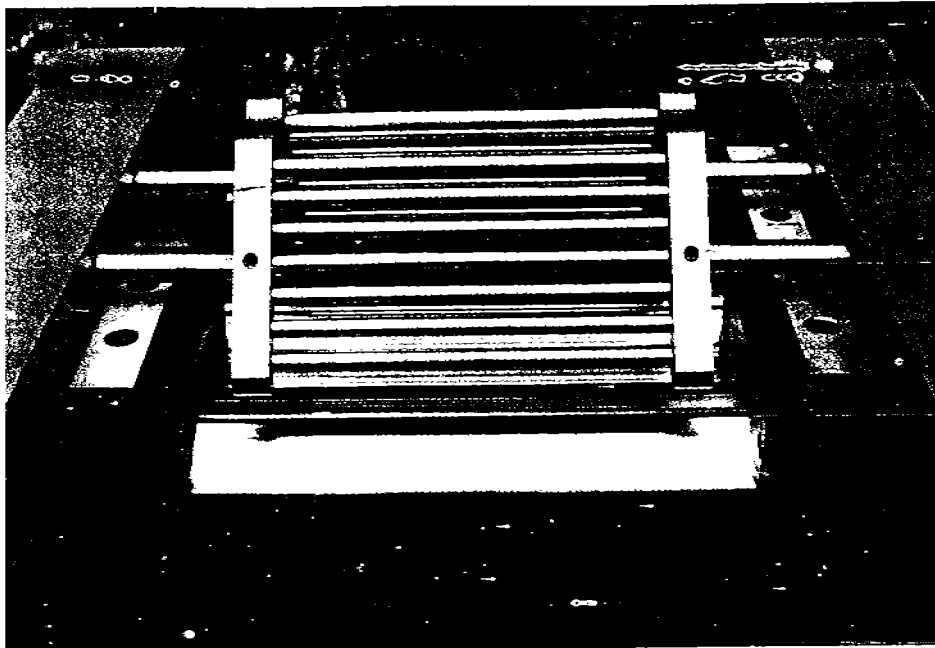
Vista superior del equipo en la presentación total de partes.



Vista lateral de la cadena y el piñón.



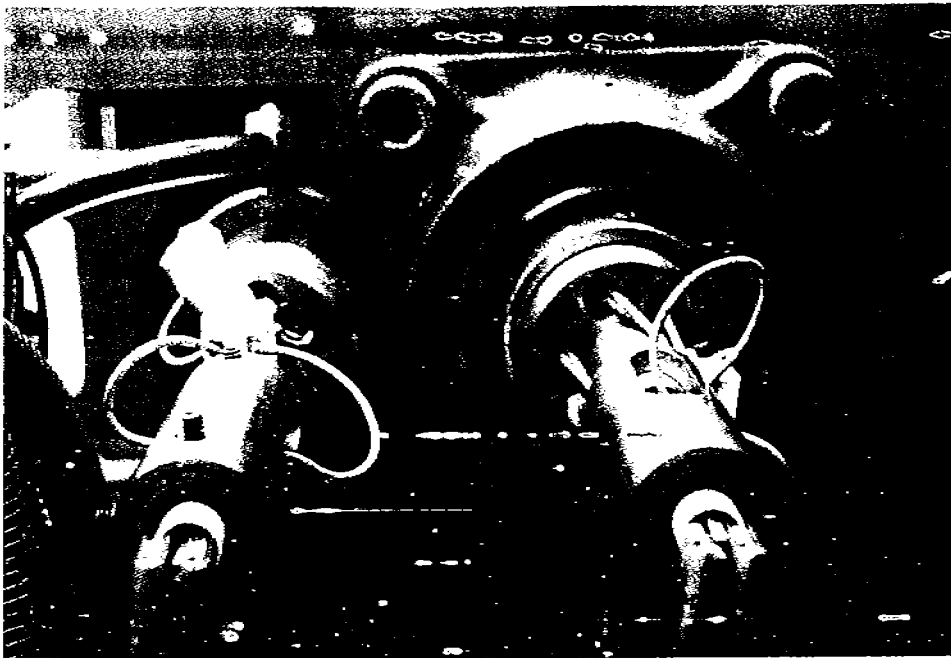
Vista del ensamble y acabados finales en la zona de los rodillos



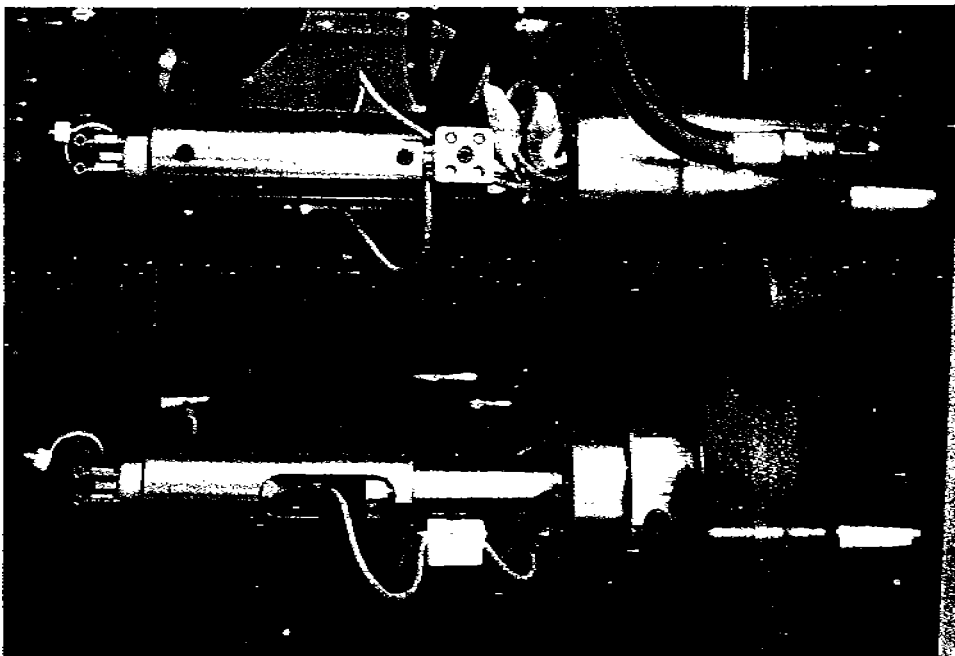
Vista de acabados del ensamble final en la zona del acoplamiento del rodillo móvil.



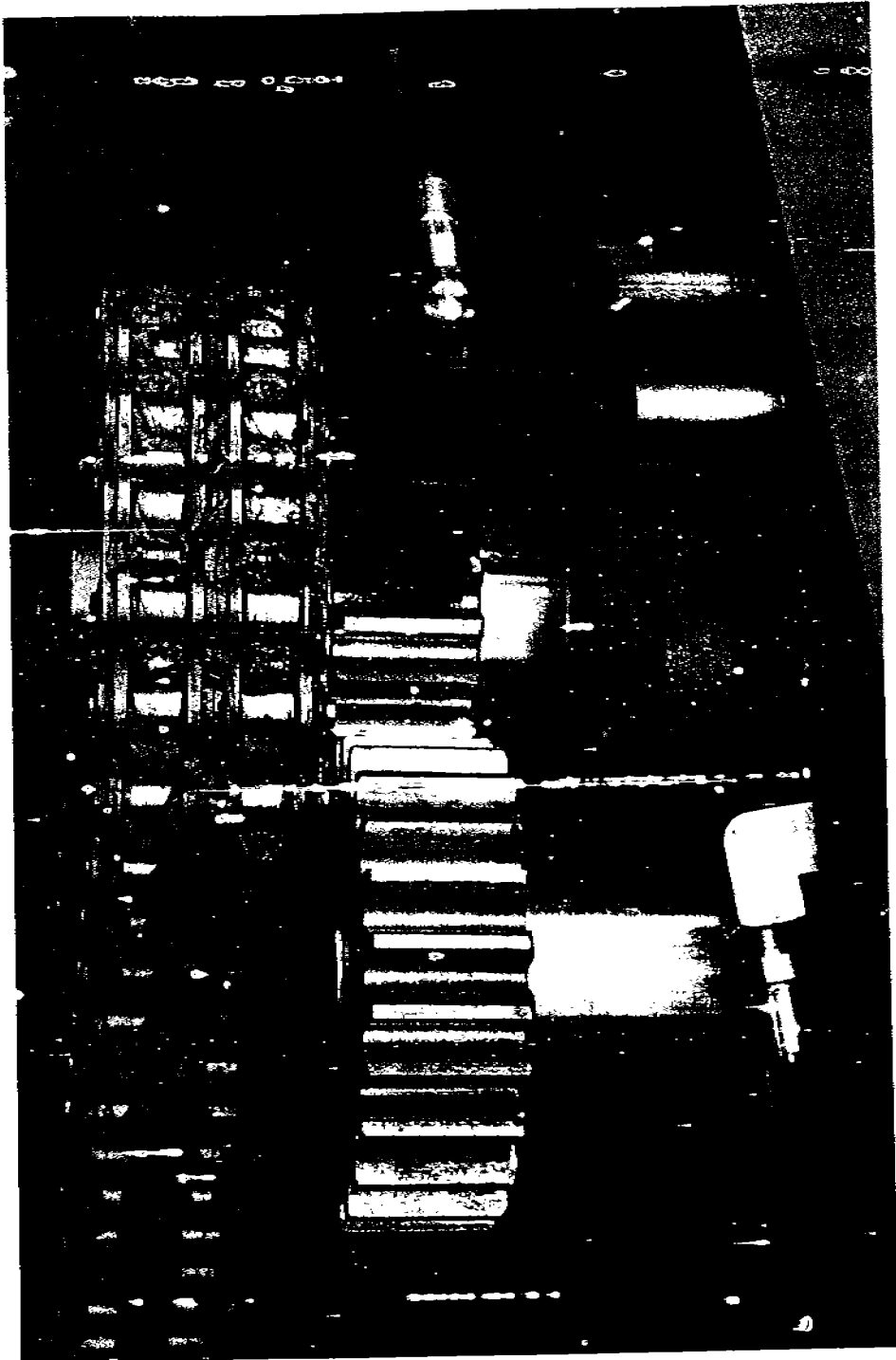
Vista del sistema de contactores, base de rodamiento, lubricador de correderas y conexiones de resistencias.



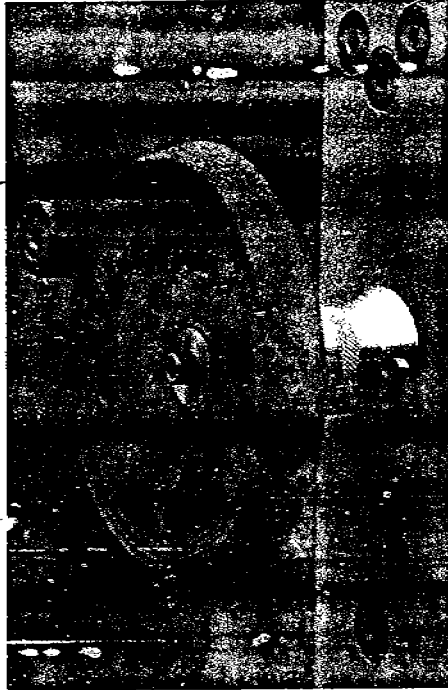
Vista de las posiciones de las partes del sistema de transmisión de energía.



Vista superior del sistema de lubricación de la cadena y los piñones.



Vista del volante para ajustar distancia entre rodillos:



Sistema de lubricación comprimido.



Apéndice C

Metodologías utilizadas para diseñar el prototipo actual

Método de falla y análisis de efecto.

Algunos aspectos que fueron discutidos con el cliente y que fueron resueltos ya en su mayoría con el diseño presentado, fueron analizados con el método de falla y análisis de efecto. Retomo las conclusiones encontradas para evitar recaer en un problema que fue ya resuelto con anterioridad.

El método toma en cuenta las partes involucradas en un sistema que puede fallar, de manera lógica estructura la interacción de cada parte en la solución final del problema, así se puede detectar si es solo una parte o componente del sistema el que origina la falla o son varios interactuando entre sí para originar la falla.

Se consideran los puntos finales o eventos básicos que se deben analizar para resolver un problema que esté presente, y se tomaron en cuenta como sigue:

- A Revisar los cuñeros
- B Reparar, acomodar o cambiar (según se requiera) la cadena
- C Poner en contacto al engrane girando los volantes
- D Cambiar el cuñero
- E Verificar si existe suministro de corriente en la línea
- F Conectar el enchufe a la toma de corriente
- G Revisar el enchufe y cable de alimentación
- H Cambiar el controlador
- I Verificar la llegada de energía al controlador y resistencias
- J Cambiar las resistencias que no funcionen adecuadamente
- K Cambiar los colectores
- M Cambiar los fusibles.

Con todos estos puntos se evalúa cada componente para determinar las fallas asociadas, la importancia, ocurrencia y detección.

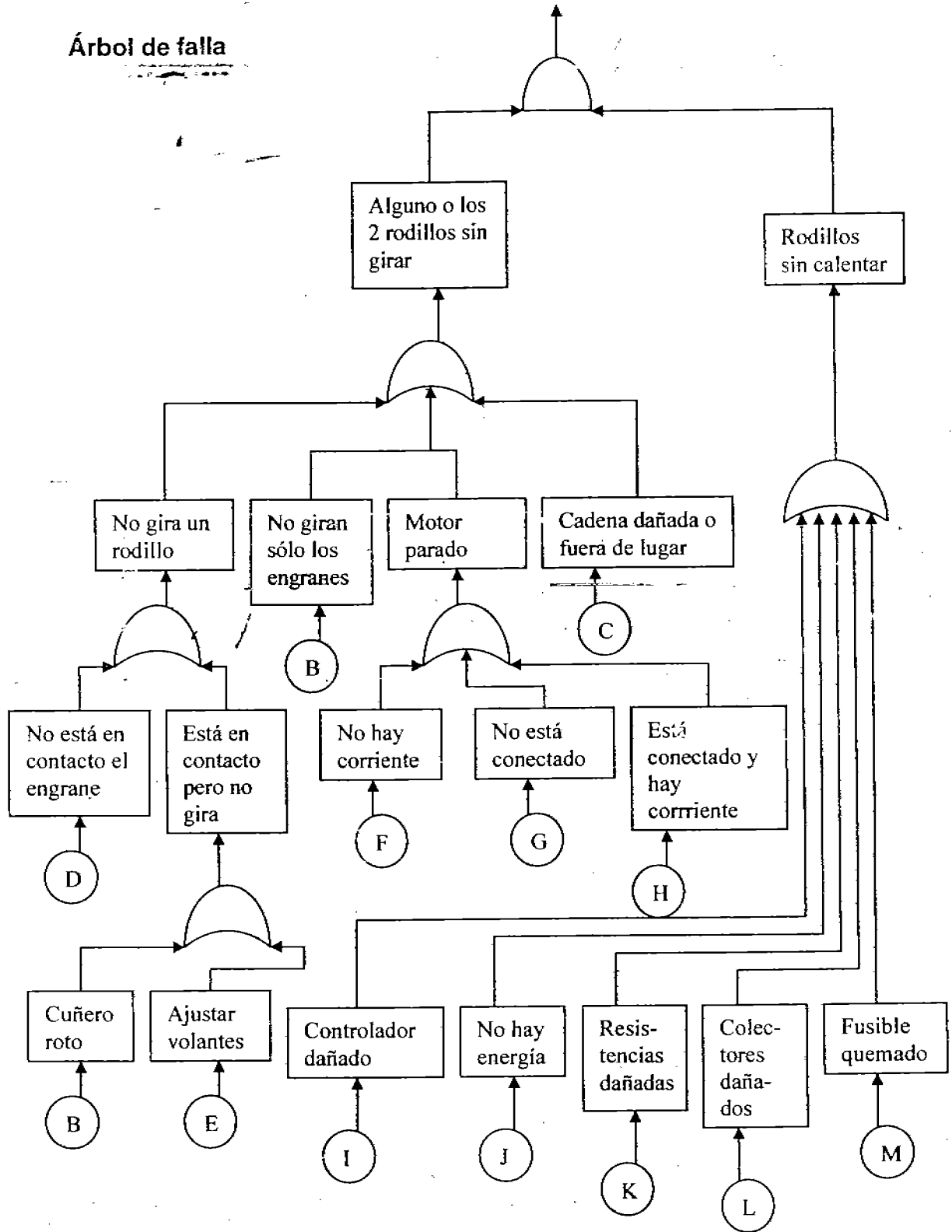
Tabla C1

Componente	Falla	Efecto de falla	Probabilidad	Facilidad de detección
Estructura	Doblada	3	2	4
	Rota	5	1	2
Cadena	Zafada	3	2	2
	Rota	2	1	2
	Mal tensada	2	3	3
Rodillos	Cabecep	4	2	4
	Desgastados	3	4	5
Guardas	Chuecas	1	2	2
	Zafadas	2	3	2
Rejillas	Chuecas	1	1	3
	Zafadas	2	2	2
Piñones	Doblado	2	1	4
	Roto	4	1	5
Motor	Desalineado	3	1	4
Controladores	Sin control	5	3	5
	Desajustado	4	3	4
Volantes	Desajustados	3	3	4
	Rotos	4	1	5
Pintura	Quémada	1	1	1
	Despostillada	1	3	2
Puerta	Chuecas	2	3	3
	Zafada	2	2	2

La mayoría de estos aspectos se mejoraron ya con el diseño que se presentó, sin embargo, como ya se mencionó, es importante que durante el proceso de rediseño se toman en cuenta estos aspectos analizados para evitar caer nuevamente en problemas que ya se han resuelto.

NO LAMINA

Árbol de falla



En la gráfica anterior podemos observar que existen varios eventos básicos como era de esperarse, sin embargo, alguno se repite más de una vez.

También se puede notar que es posible desglosar el árbol un poco más, pero las derivaciones que faltan son obviedad de solución; por ello no se continúa con la descomposición de una rama más en los casos en los que tal vez otra persona considere necesario hacerlo.

El árbol de falla también auxilia en la elaboración de los manuales de operación y de mantenimiento, solución de problemas comunes y en el pensamiento lógico y ordenado para desglosar un problema en el equipo que sea difícil de identificar.

Para el caso de análisis de este trabajo, con esta estructura fueron elaborados los manuales de mantenimiento y un proceso escrito entregado al cliente para detectar y resolver fallas operacionales.

Mercado de las laminadoras

Cemo, en muchos casos de aplicaciones industriales, algunos equipos resultan más convenientes para ser adquiridos según el mercado disponible que fabricarlos especialmente para el caso requerido. Principalmente debido a mantenimiento, refacciones, soporte técnico, etc.

Analizando esta posibilidad, se realizó una búsqueda comercial de opciones que pudieran satisfacer las necesidades del cliente, de este modo se encontró que el mercado donde principalmente se puede adquirir este equipo es el estadounidense, estando también presentes el mercado europeo y el chino.

Sin embargo, de las laminadoras con que cuenta el mercado internacional, específicamente similar a la laminadora de nuestro caso de rediseño; no existe alguna con las dimensiones, velocidades ni potencias requeridas por el cliente.

Cabe mencionar que la máquina actual a rediseñar, es de fabricación alemana: la compañía que la fabricó, dejó de existir hace varios años y actualmente no existen equipos con configuraciones iguales de rodillos, velocidades y potencias.

Por una restricción del cliente, se tienen que conservar geometrías, y dimensiones, además de velocidades, número de rodillos y potencias.

La marca de la máquina que la fabrica de pellets tenía en operación era "Polimix", de fabricación alemana. Con características muy específicas, mostradas en la tabla 1.1

Estos aspectos, reducen las opciones a una aproximación en el uso de los equipos disponibles actualmente con respecto al equipo a rediseñar, (actualmente en funciones).

A continuación la tabla 1.1 compara con las características de la máquina actual, las características de las laminadoras roladoras (calandradoras) con que cuenta el mercado actual.

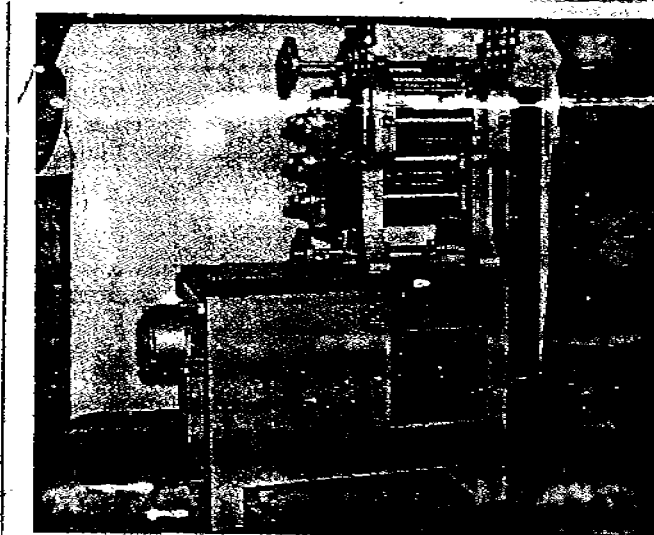
	Polimix 110 P	NC613-4R	NC816	Fair view machine
Diámetro de rodillo [mm]	110	152	203	*
Capacidad [dm ³]	0.4			*
Número de rodillos	2	4	2	*
Largo de rodillos [mm]	350	330	406	*
Ancho de trabajo [mm]	250			*
Velocidad de rodillos [min ⁻¹]	27	La requerida	La requerida	*
Fricción [adim]	1.0 → 1.4			*
Torque [Nm]	1100		75[lb*ft]	*
Potencia de motor	3.5	7.5[hp]	10[hp]	*

Rediseño de una máquina laminadora de pellets de plástico

[kW]				
Potencia de calentamiento por rodillo [kW]	4.0			*
Temperatura de superficie [°C]	220			*
Longitud de la máquina [mm]	1200	1219	1676	*
Profundidad de la máquina [mm]	600	660	762	*
Altura de la máquina [mm]	1400	1791	1905	*
Altura de pieza de trabajo (máx) [mm]	1200			*
Área de base a piso [m x m]	2.0 x 2.0			*
Peso bruto [kg]	650			*
Costo [\$USD]		\$64,500.00	\$68,300.00	

Tabla 1.1

Las firmas mencionadas anteriormente, ofrecen la oportunidad de fabricar el equipo tal cual lo requiere el cliente; lógicamente con un costo especial.



NC613-4R

Los dos fabricantes ofrecen estos equipos como los más parecidos al solicitado por el cliente; fabrican otro aún mejor para este caso específico, el NC816-2R, que; aún siendo más apegado que los anteriores a lo que el cliente requiere, no cumple con algunas especificaciones importantes como dimensiones o velocidades.

Fuentes adicionales fueron consideradas en este estudio de mercado, algunos proveedores de maquinaria industrial especializada que para el caso se limitaron a ofrecer catálogos de equipos italianos sin presentar propuestas cercanas a las necesidades requeridas. Tampoco proporcionaron precios, aunque si plantearon la posibilidad de fabricar la máquina con las especificaciones requeridas, no se comprometieron a dar información detallada al respecto.

Estos equipos tienen en contra factores que para el cliente son de primera necesidad, como son:

- el mantenimiento
- el soporte técnico
- refacciones
- potencia requerida
- velocidad de los rodillos

Aunque algunos aspectos como potencia y velocidad pueden ser modificados si el cliente lo requiere, las firmas que venden estos equipos hacen cargos adicionales considerables que pueden alcanzar 28% de incremento en el costo total de la máquina como en el caso de la firma NC.

Las ventajas que se ofrecen fabricando el equipo en México con respecto a cualquier otra opción para el cliente son:

- Menor costo inicial
- Menor costo y tiempo de mantenimiento
- Refacciones disponibles en el mercado nacional
- Asesoría gratuita
- Planos del equipo
- Dimensiones, velocidades y potencias lo más parecidas a su caso actual (requerimiento del cliente)

BIBLIOGRAFÍA

Ulrich, S.D. Eppinger.

Product Design and development, 200.

Mc Graw Hill, E.U.A.

Ely Dahan, John R. Hauser.

Product Design Development- Managing and dispersed Process

Handbook of Marketing, 2001.

Janet S. Yu, Kevin N. Otto.

Engineering Design Research Laboratory

Massachusetts Institute of Technology.

Asimow, M.

Introduction to Design.

Prentice Hall, 1962.

Hugh Jack,

Engineer on a disk, manufacturing and design

2001. <http://claymore.engi-neer.gvsu.edu>

Calister Jr. William D.

Material Science and Engineering.

Wiley.

Jensen C. Helsel Jay.

Engineering Drawing and Design.

1997, Mc Graw Hill.

McCormick, Ernest.

Human Factors Engineering

1970, Mc Graw Hill.

J.C. Wright

Design Methods in Engineering and Product Design.

1998, Mc Graw Hill.

Oloarte M. Alfonso

Propuesta de Método para el desarrollo de nuevos productos.

2004, FI. CU

Lenz H. Alberto.

Diseño de sistema para la elaboración de esferas para reforestación.

2003, FI. CU

Millán G. Oscar.
Diseño de la transmisión del VER mediante QFD
2004, FI. CU

Hebert L. Tiemann
Diseño para la elaboración de esferas para reforestación.
2004, FI. CU

Sayigh A. M.
Solar energy engineering
1977 Academic Press.

Callister Jr. W.
Materials Science and Engineering
1991. Wiley

McCormik E.
Human Factors Engineering
1970 McGraw Hill

Referencias

www.infraredheaters.com

www.cientec.com.mx/normas2.htm

<http://www.gearhob.com/eng/materials/mat.html>

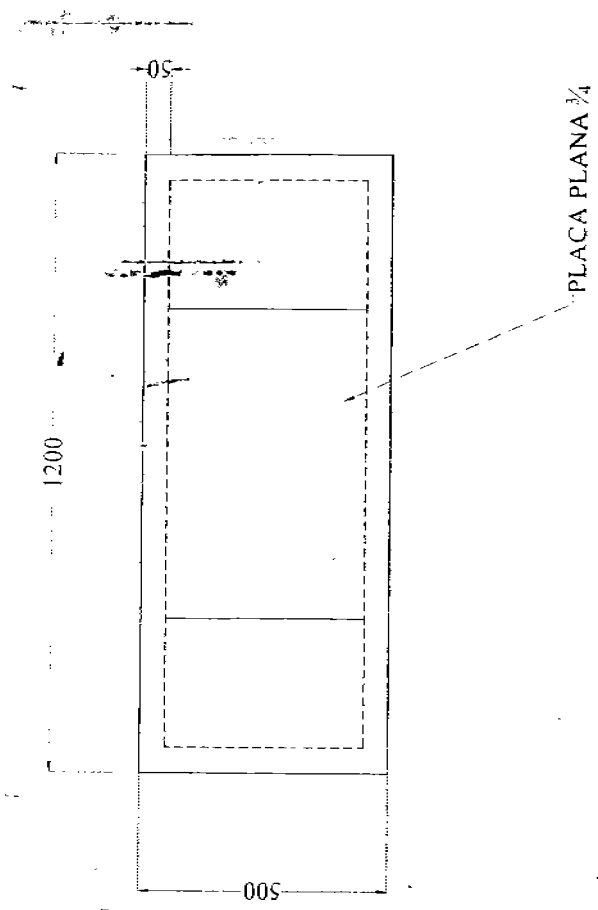
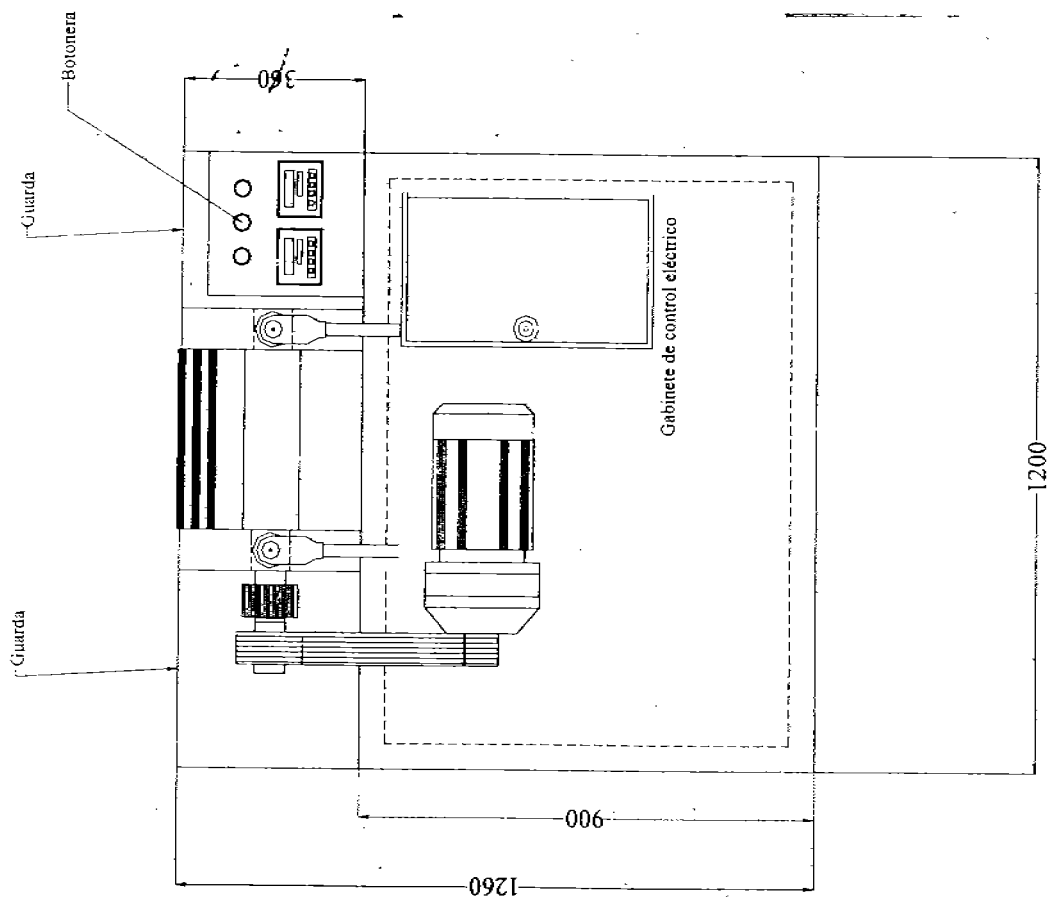
<http://scitation.aip.org/ASMEJournals/MechanicalDesign/?jsessionid=454801086639476288>

<http://knovel.com/Knovel2/Toc.jsp?SpaceID=10035&BookID=433>

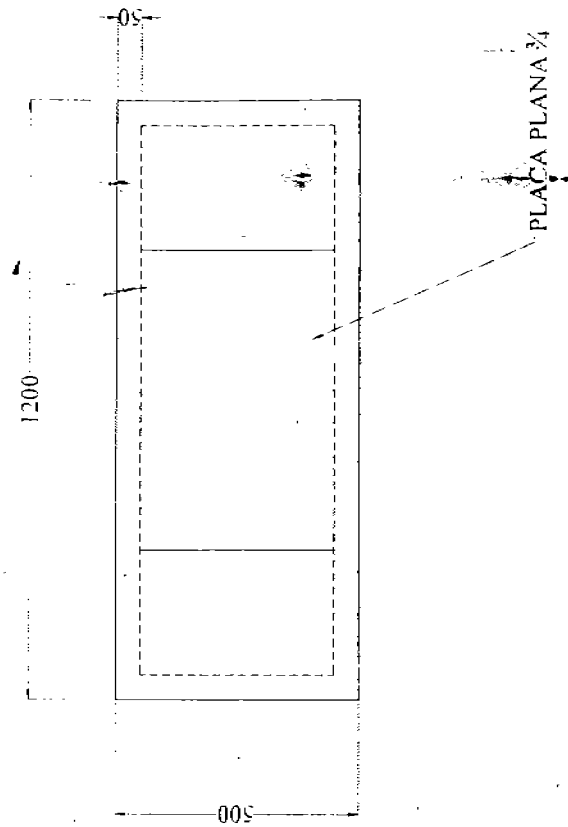
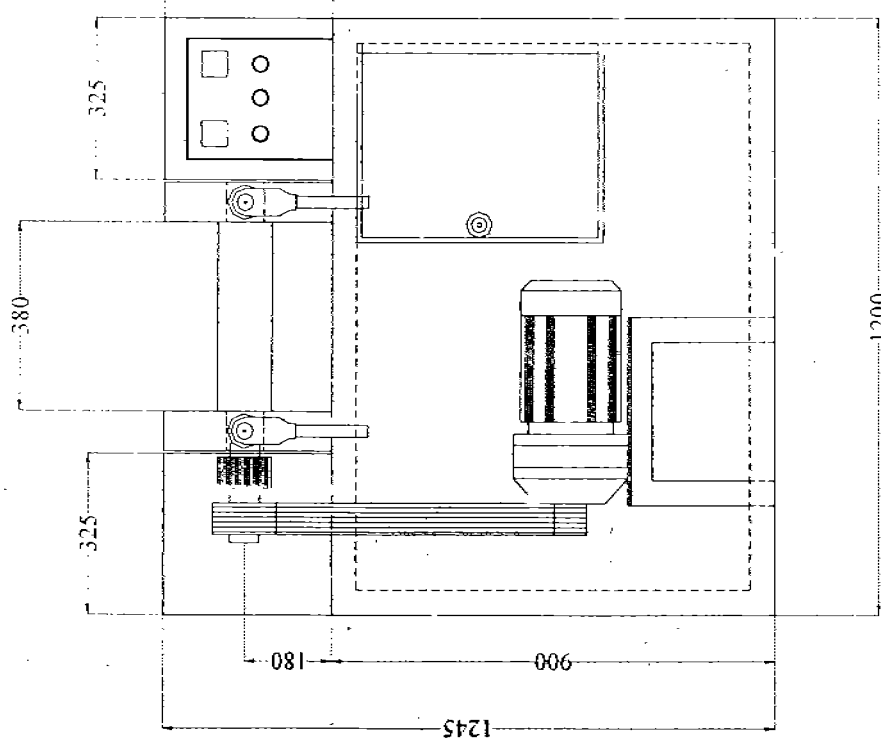
<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook.main.htm>

<http://voltio.ujaen.es/te/enlinea/esp/disipa.htm>

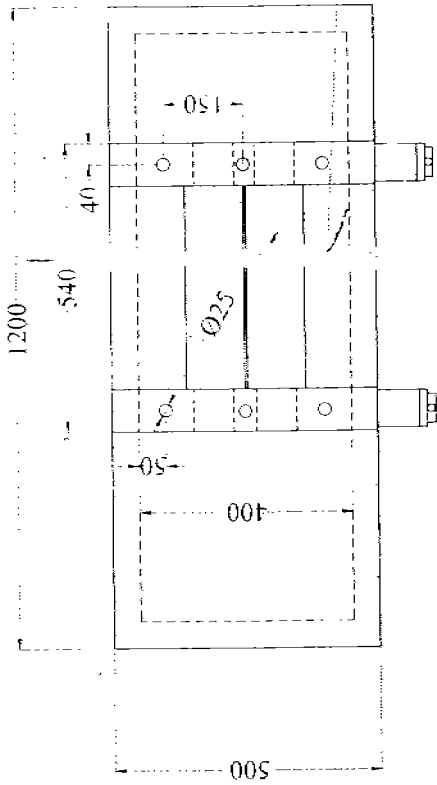
PLANOS



CLIENTE: Especialidades Industriales y Químicas S. A. de C. Y.		OBSERVACIONES	
FECHA	REVISÓ	PROYECTO	ESCALA
26/10/01	MBS	MOLINO DE RODILLOS	ACOT. mm
		TITULO	TRANSMISION
		DISEÑO	TPC
		MATERIAL	RESPONSABLE
		ACERO	TPC/ARR
		D. BUJO	TPC
		CLAVE	EIQSA
		PLANO	No.3

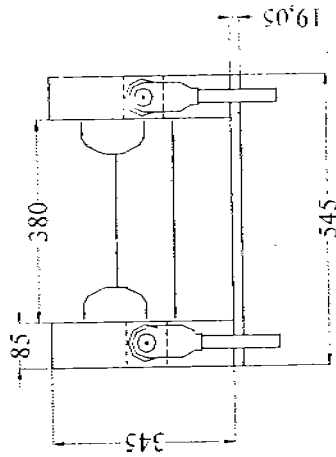


CLIENTE Especialidades Industriales y Químicas S. A. de C.V.		OBSERVACIONES		ESCALA	mm
FECHA	REVISO	PROYECTO		ACOT.	
26/10/01	MBS		MOLINO DE RODILLOS		
			TITULO TRANSMISION		
			DISEÑO TPC	DIBUJO TPC	CLAVE ETQSA
			MATERIAL ACERO	RESPONSABLE TPC/ARR	PLANO No.3



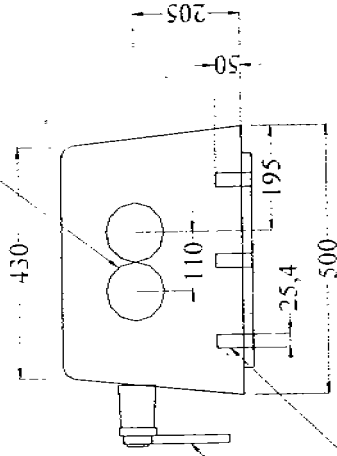
Los rodillos no deben de chocar.
el espacio entre ellos es de 0.15 mm

PLACA PLANA 1/4



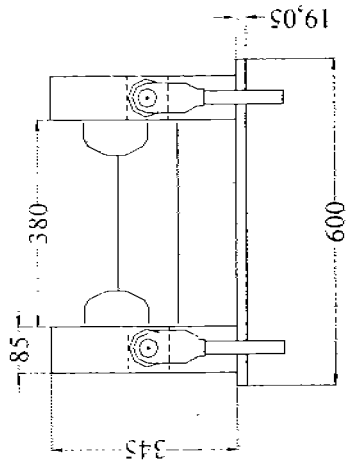
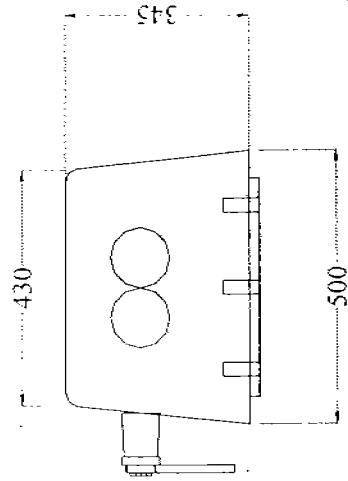
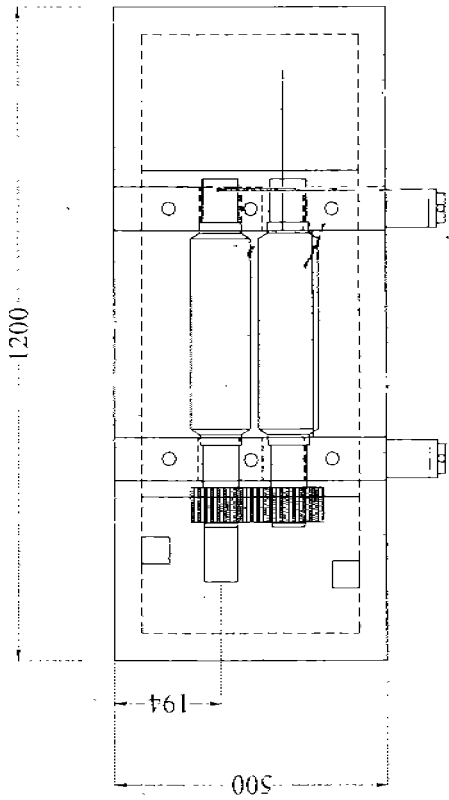
PERILLA CON DIAL
DE AJUSTE LINEAL

Rosca interna de 1"

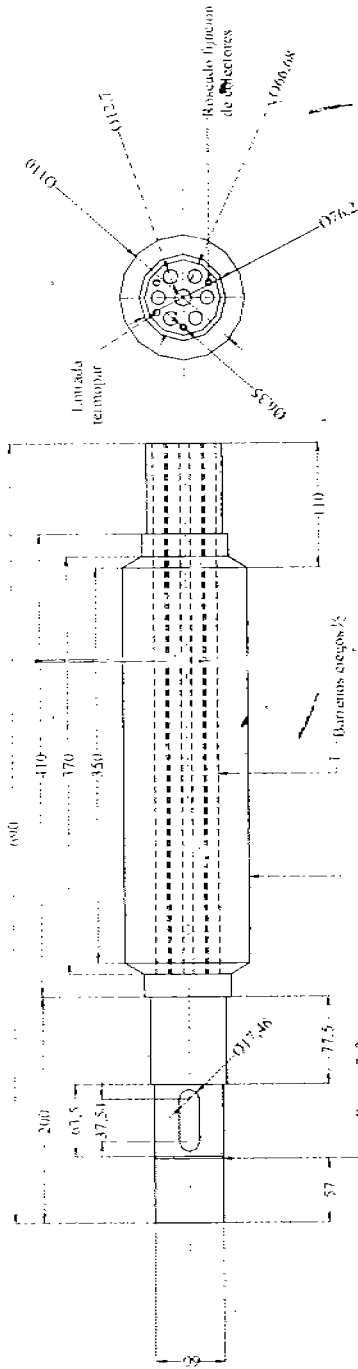


CLIENTE: Especialidades Industriales y Químicas S.A. de C.V.		ESCALA	mm
FECHA	REVISO	PROYECTO	ACOT
26/10/01	MBS	MOLINO DE RODILLOS	
TITULO ESTRUCTURA		DISEÑO	TPC
		MATERIAL	ACERO
		RESPONSABLE	TPC/ARR
		CLAVE	EQ/SA
		PLANO	
		Nº.I	

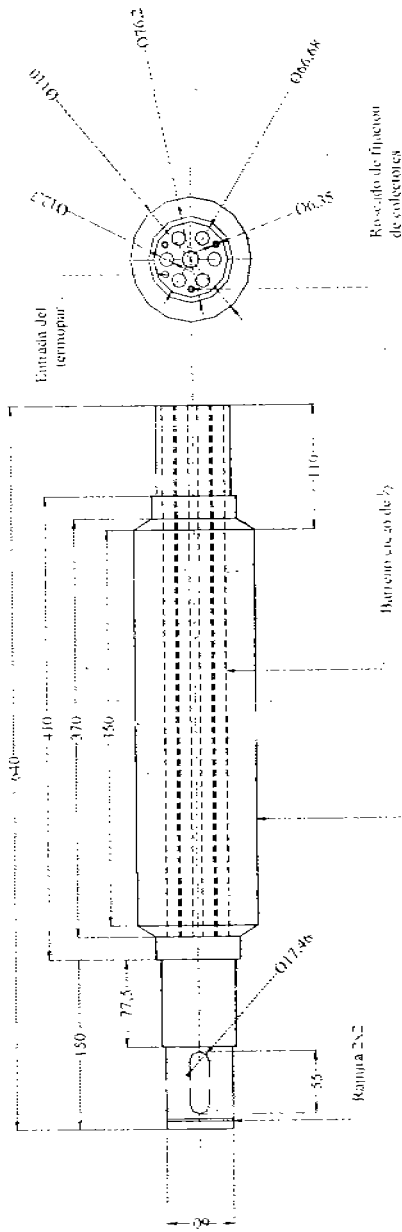
OBSERVACIONES: La estructura sera de color azul.



CLIENTE: Especialidades Industriales y Químicas S.A. de C.V.		OBSERVACIONES: Lo astr. c/una serie de color azul	ESCALA
FECHA	REVISO	PROYECTO	ACOT
26/10/01	MBS	MOLINO DE RQ. JILLOS	mm
TITULO		DISEÑO	CLAVE
ESTRUCTURA		TPC	ETQSA
DISEÑO		RESPONSABLE	PLANO
MATERIAL		TPC/ARR	No.1
ACERO			

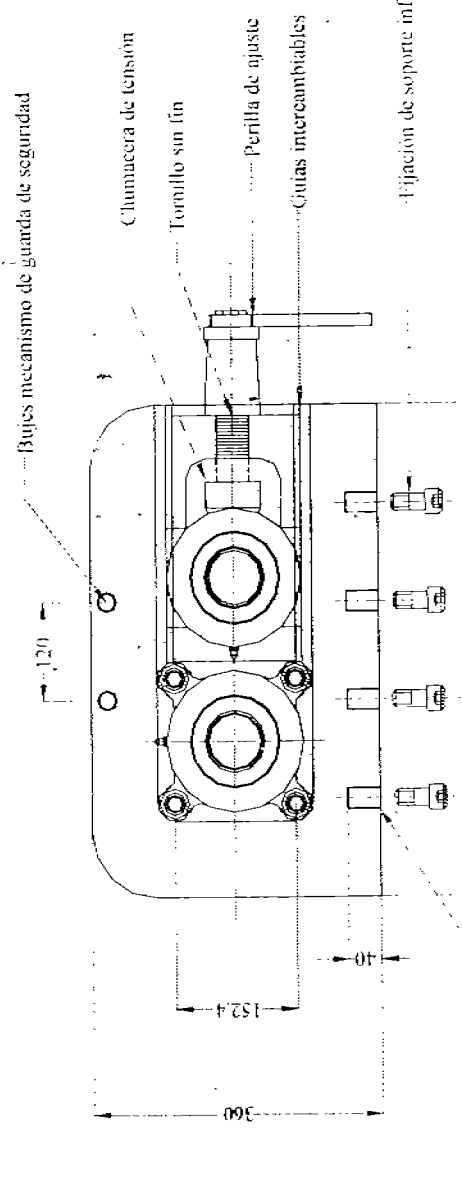
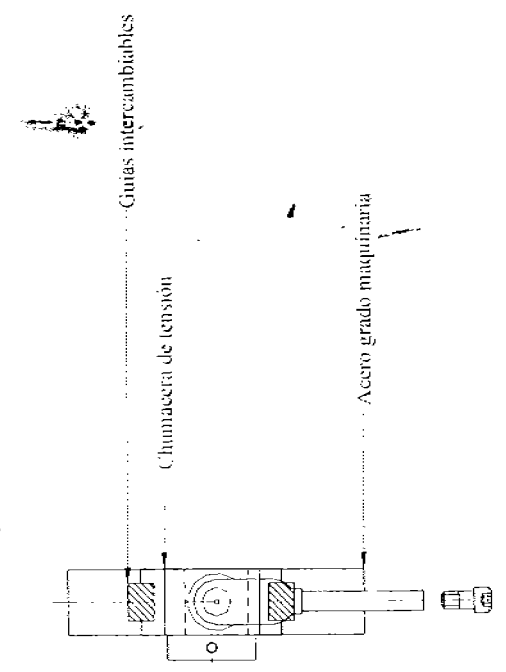


RODILLO TRASERO

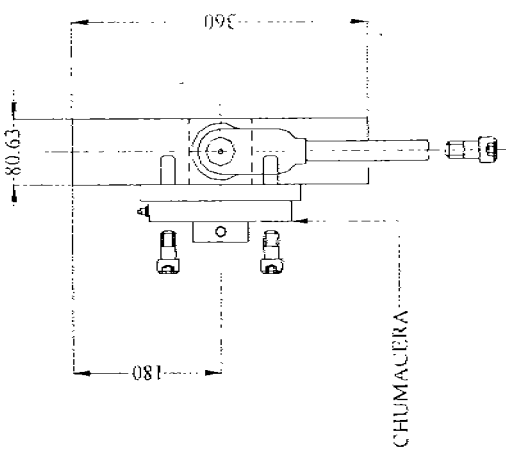


RODILLO FRONTAL

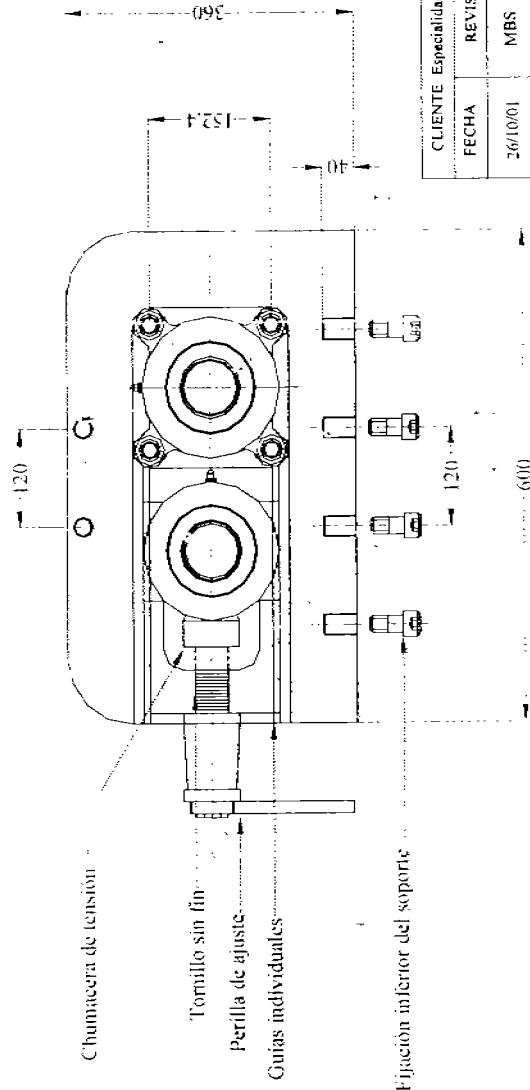
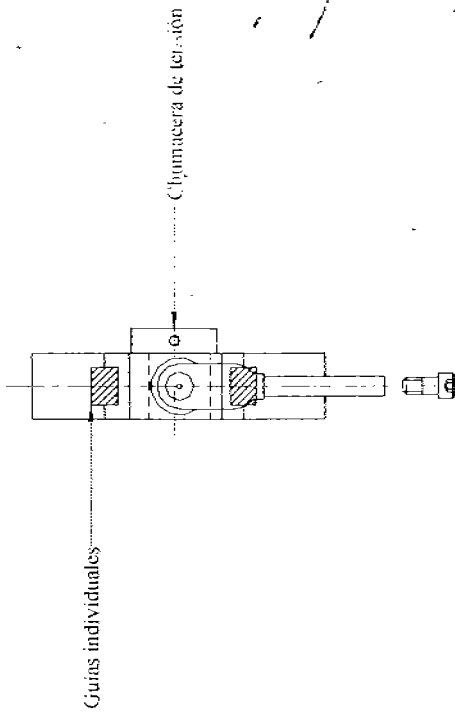
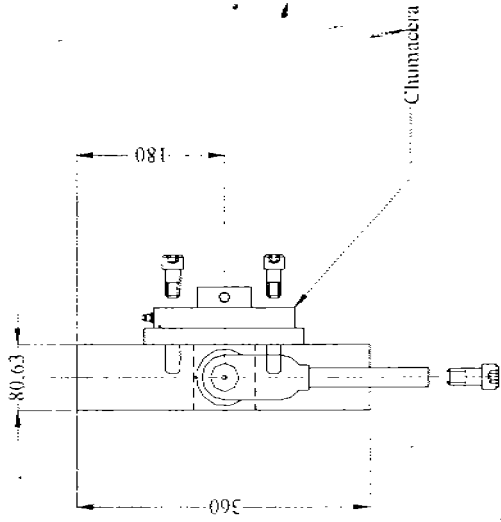
CLIENTE Especialidades Industriales y Químicas S.A. de C.V.		OBSERVACIONES	
FECHA	REVISO	PROYECTO	ESCALA
26/10/01	MBS	MOLINO DE RODILLOS	ACOT. mm
		TITULO	RODILLOS
		DISEÑO	TPC
		DIBUJO	TPC
		MATERIAL	RESPONSABLE
		ACERO	TPC/ARR
		CLAVE	EQQA
		PLANO	1:6.2



CLIENTE Especialidades Industriales y Químicas S.A. de C.V.		OBSERVACIONES	
FECHA	REVISO	PROYECTO	ESCALA
26/10/01	MBS	MOLINO DE RODILLOS	ACOT. mm
		TITULO	CLAVE
		SOPORTE IZQUIERDO	EIQSA
		DISEÑO	DIBUJO
		TPC	TPC
		MATERIAL	RESPONSABLE
		ACERO	TPC/ARR
			PLANO
			Nº 4



Kasea interna



CLIENTE Especialidades Industriales y Químicas S.A. de CV

FECHA 26/10/01

REVISO MBS

OBSERVACIONES

PROYECTO MOLINO DE RODILLOS

TITULO SOPORTE DERECHO

ESCALA ACOE mm

CLAVE ETQSA

PLANO RESPONSABLE TPC/ARR

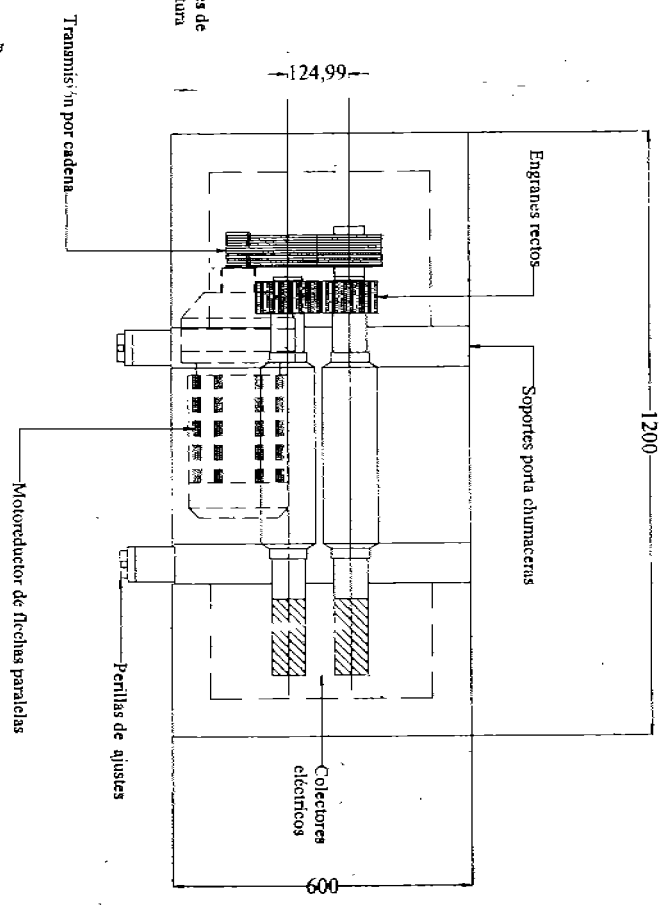
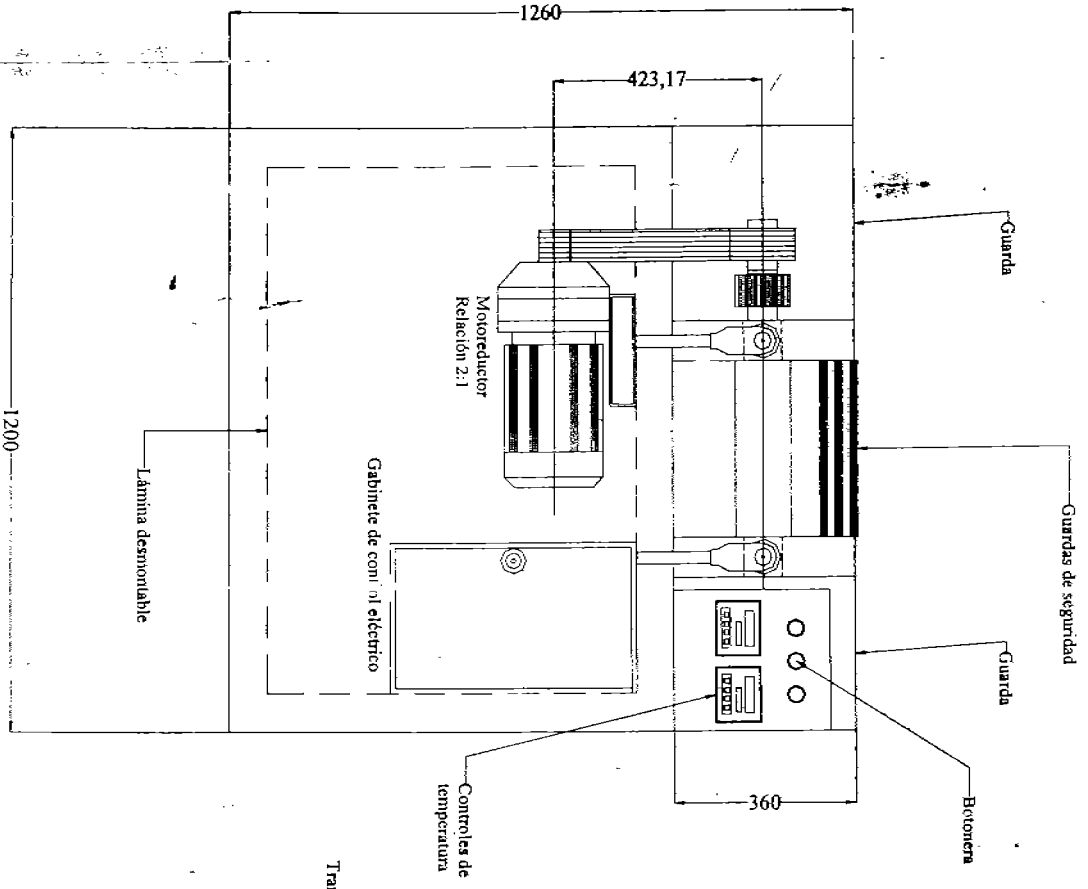
No.5

DISENO TPC

MATERIAL AGERO

TPC

TPC/ARR



CLIENTE: Especialidades Industriales y Química S.A. de C.V.

FECHA	REVISO	OBSERVACIONES
26/01	MBS	
PROYECTO		
MOLINO DE RODILLOS		
TITULO		
TRANSMISION		
DISEÑO	DIBUJO	RESPONSABLE
TPC	TPC	TPC/ARR
MATERIAL		
ACERO		
ESCALA		CLAVE
ACOT.		ETQ54
mm		PLANO
		Nº.3