



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

CONTROL AUTOMÁTICO EN MÁQUINA DE RODILLOS FORMADORES

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO

GABRIEL JOSÉ PILOWSKY KORENBLIT

PROFESOR GUÍA:
LEONEL NÚÑEZ LAZO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
ROBERTO CORVALÁN PAIVA
AQUILES SEPÚLVEDA OSSES

SANTIAGO DE CHILE
OCTUBRE 2014

CONTROL AUTOMÁTICO EN MÁQUINA DE RODILLOS FORMADORES

Hoy en día en la industria se desarrolla una permanente búsqueda de procesos de alta eficiencia, con reducidos costos de producción y moderadas inversiones. Máquinas de rodillos formadores son una opción a considerar cuando sea posible su uso y agregar controles automáticos también apunta en esta dirección.

El proyecto consiste en hacer un control automático a un equipo compuesto de una unidad con 6 pares de rodillos formadores y una prensa de golpe. Este equipo tiene la finalidad de fabricar aletas, que componen celosías, de uso en instalaciones de aire acondicionado y/o calefacción.

El objetivo general del proyecto es efectuar el diseño y desarrollo de un sistema de control automatizado de las máquinas acopladas: la formadora de rodillos y la prensa de golpe. Los objetivos específicos son: i) desarrollar el control del equipo RFEC para producción continua, ii) desarrollar las modificaciones al equipo para la automatización y iii) integrar la automatización al equipo, probarla y calibrarla a condiciones de operación.

La metodología para alcanzar con eficiencia los objetivos planteados consistió en hacer modificaciones y adiciones con el fin señalado. La automatización se logra coordinando los componentes de la secuencia y sus tiempos. Para obtener la tolerancia requerida se usa, para el control del largo de la pieza, una variante del método Registro Piloto.

Los principales resultados del trabajo muestran que:

Con el sistema de control modificado el equipo permite fabricar las aletas CQ en forma continua y automática; por lo que se cumple con el objetivo general de este trabajo.

El sistema de control de corte, basado en el método registro piloto, con el tope TDL produce las aletas CQ con una tolerancia de las medidas mejor que la solicitada por el proyecto.

El nuevo control y las modificaciones realizadas, permiten ajustes rápidos con los cambios de tamaño de aleta CQ.

Como método para variar la velocidad de los Roll Formers los variadores de frecuencia prueban ser no solo de menor costo, sino también de un manejo fácil y eficiente.

La producción mediante Roll Former tiene costos de fabricación fuertemente más bajos que otras alternativas de producción. También se aprecian ahorros por reducciones en el movimiento y almacenaje de materiales, ya que se reduce el inventario de piezas a medio procesar.

Dedicatoria:

A mis padres que hicieron posible mis estudios

A mis hijos que hicieron posible graduarme

Agradecimientos:

A Steven McKenzie, Ingeniero de Anemostat Inc.

A Leonel Núñez por su gran apoyo

A Aquiles Sepúlveda y Roberto Corvalán por su comprensión

Al personal administrativo de la Universidad, Facultad y Departamento por su ayuda

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción	5
1.1 <i>Antecedentes, motivación y descripción del proyecto</i>	5
2. Objetivos	9
2.1 <i>Objetivo general</i>	9
2.2 <i>Objetivos específicos</i>	9
2.3 <i>Alcances</i>	9
3. Antecedentes	10
3.1 <i>Perfilado</i>	10
3.2 <i>Aplicaciones de la tecnología</i>	13
3.3 <i>Perfilado con proceso integrado</i>	15
3.4 <i>Matriz para prensa integrada a un Roll Former</i>	19
3.5 <i>Tipos de control para Roll Former con otro proceso integrado</i>	20
3.6 <i>Control central de la máquina</i>	22
3.7 <i>Variación de velocidad</i>	22
4. El equipo inicial	24
4.1 <i>Especificaciones de las aletas para celosías a producir en la RFEC</i>	24
4.2 <i>Descripción básica del método de fabricación</i>	25
4.3 <i>Descripción del equipo original</i>	26
4.4 <i>Características y valores del equipo inicial</i>	26
5. Desarrollo del método, adiciones y modificaciones	28
5.1 <i>Elección del método para la selección del largo de la pieza</i>	29
5.2 <i>Secuencia del proceso</i>	29
5.3 <i>Duración del ciclo del proceso</i>	30
5.4 <i>Reducción de velocidad del Roll Former</i>	30
5.5 <i>Tiempos de la secuencia (Timing)</i>	32
5.6 <i>Desbobinador</i>	36
5.7 <i>Ajuste del largo de la pieza</i>	37
5.8 <i>Control eléctrico</i>	37
5.9 <i>Adiciones varias</i>	39
6. Breve evaluación económica del proyecto	43
7. Discusión de resultados	47
8. Conclusiones	48
Bibliografía	49

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de los controles industriales trae como consecuencia un cambio a la forma en que éstos manejan los equipos involucrados en los procesos industriales. Ello se fundamenta en la reducción de los costos de operación, mejorar la seguridad industrial, tanto para las personas como para los equipos involucrados en el proceso y para mantener un control estricto del proceso; por la cantidad o por la calidad obtenida.

Usualmente lo primero que se viene a la mente hoy en día, cuando se habla de un control es el equipo eléctrico, electrónico o procesador que lo comanda. El mayor desafío está en diseñar el proceso que logre de mejor manera la finalidad deseada. Este proceso puede involucrar a una o más ramas de la ingeniería.

Los controles electrónicos han tenido un avance extraordinario en los últimos 60 años, siendo cada vez más rápidos, simples en integración, poderosos y accesibles. Como consecuencia se plantea un campo extenso en la reingeniería de los procesos.

En cuanto a los equipos o maquinas en sí, estos avances de los controles se aplican en maquinaria nueva así como en máquinas antiguas que justifiquen su renovación (en buen estado y calidad), que se renuevan, obteniéndose un equipo con control actualizado y con la robustez de los equipos de antaño.

Si bien el antiguo sistema de control meramente mecánico va desapareciendo, entran a jugar un papel importante otros elementos mecánicos como ser los cilindros neumáticos, las electroválvulas, etc. para accionar componentes mecánicos, permitiendo equipos con sofisticados sistemas de control.

1.1 ANTECEDENTES, MOTIVACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto consiste en desarrollar un control automático para un equipo, una rolera con 6 líneas de Roll Former y una estación de corte (RFEC); como se aprecia en la figura 1.1.



Figura 1.1: Máquina de Rodillos Formadores, Prensa y salida de la pieza

Este equipo tiene como finalidad la fabricación de aletas modelo QC, que componen celosías que se usan en aire acondicionado ya sea mediante aire caliente o frío.

Estas celosías se fabrican en diferentes medidas y en diferentes formas. Sin embargo las celosías objeto del proyecto son las que se insertan en el centro de módulos de 2 x 2 ft² (medida nominal). Se insertan entre uno y cuatro subcuadros, como se puede apreciar en figura 1.2, las cuales desvían el aire a la temperatura deseada para tener una mejor distribución del aire frío o caliente dentro del recinto.

APPLICATION

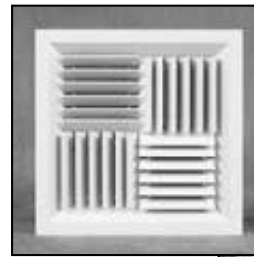
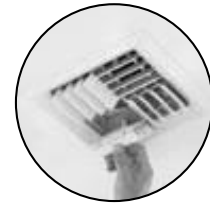
- Modular, exposed core supply diffuser easily configured for 1, 2, 3, or 4 way horizontal air discharge pattern to meet changing space needs
- Exhibits excellent VAV performance maintaining a horizontal pattern for the entire operating range
- Applicable to heating, cooling, or ventilation of spaces
- Frames for surface mounting or use with suspended grid systems

PRODUCT FEATURES

- Available in steel or aluminum construction
- "Easy-snap" cores removable without tools and positively retained by spring clips
- Directional cores from 3" x 3" up to 12" x 12"
- Square neck sizes available from 6" x 6" up to 24" x 24"
- Modular cores with close fit for enhanced appearance
- Diffusers ship with 4 way pattern
- Arctic White thermo-set finish

DIFFUSER OPTIONS

- Custom or optional paint colors
- Model OB1 opposed blade neck volume control damper
- Model TBF auxiliary mounting frame for hard / plaster ceilings
- Model SRA square-to-round neck adapters
- Rectangular Neck Sizes



Model QC-S
Flat Surface Frame

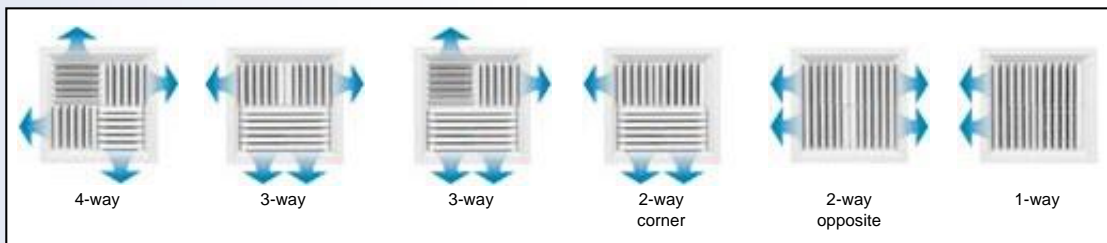


Rectangular Configuration
(12" x 6" shown with 3" cores)



Model QC-B
Beveled Surface Frame

CORE PATTERNS



B-38



Figura 1.2: Celosías Montadas en Cuadros de 2 x 2 ft²

A continuación los subcuadros se juntan para crear un cuadro de dimensiones deseadas o solicitadas. Cada uno de estos subcuadros consiste en varias aletas las

cuales, mediante dos tubos de aluminio que se atraviesan por los agujeros, se deforman para quedar atrapadas (Crimper). Se le agrega una aleta inicial de aluminio extruido que tiene canales, para que unos ganchos las unan al conjunto.

La línea RFEC se emplea para fabricar las aletas, que pueden ser de acero o de aluminio. Se parte de rollos de fleje, el cual pasa por 6 pares de rodillos formadores para obtener a la salida el perfil metálico deseado. La máquina permite fabricar solo perfiles abiertos.

Las operaciones concluyen en una prensa de golpe, que perfora el fleje con 2 punzones y corta, con una cuchilla de corte, en un mismo golpe. Una perforación va al final del material cortado y otra al extremo del material que va saliendo ya formado. Las piezas se fabrican en diferentes longitudes.

Finalmente cabe destacar que se necesita que la pieza ya formada, con la longitud deseada, salga de la línea de manufactura sin detener el equipo RFEC.

Para la fabricación de estas aletas la empresa patrocinante tomó la decisión de comprar un equipo usado, compuesto por un tren para seis rodillos formadores; con una pequeña prensa punzonadora. Se estima que el anterior uso de este equipo era producir perfiles de 20 ft (6,096 m) de longitud.

La máquina fue enviada a una empresa externa, para ser modificada y configurada para sus nuevas funciones; sin embargo el contratista desarrolló solamente los rodillos formadores, la matriz de corte y los punzones; sin preocuparse del sistema de control del equipo.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Efectuar el diseño y desarrollo de un sistema de control automatizado de las maquinas acopladas: la formadora de rodillos y la prensa de golpe.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar el control del equipo RFEC para producción continua.
- Desarrollar las modificaciones al equipo para la automatización.
- Integrar la automatización al equipo, probarla y calibrarla a condiciones de operación.

2.3 ALCANCES

- Diseño de la filosofía de control.
- Selección de equipamiento (sensores y control).
- Instalación, programación puesta a punto.
- No se indican dimensiones de las piezas, solo los valores nominales.

3. ANTECEDENTES

3.1 PERFILADO

El perfilado es un proceso simple y probado. Es una operación de plegado continuo en la cual se pasa una larga tira de metal (generalmente de acero en rollo) a través de pares consecutivos de rodillos, a temperatura ambiente. Cada par incrementa el doblado hasta que se obtiene el perfil de la sección transversal deseada. A diferencia de otros métodos comunes de conformado de metales, la flexibilidad inherente de este método de conformado continuo, permite la integración de procesos adicionales en una sola línea de producción, aumentando así la eficiencia, reduciendo los costos operacionales y los costos de capital, al hacer innecesario parte del manejo de material y equipos.

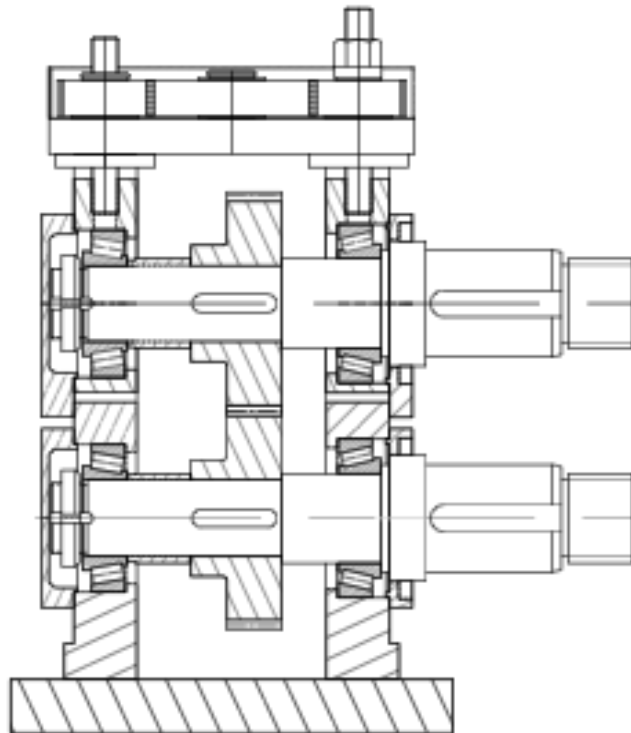


Figura 3.1: Estación Formadora de ejes en voladizo

En la figura 3.1 se muestra el corte de una estación formadora para un par de rodillos formadores, en este caso con soporte a ambos lados de los engranajes, los rodillos formadores que no se presentan en esta figura, van a la derecha (configuración de baja capacidad). Otras estaciones tienen los rodillos entre los rodamientos y los engranajes o piñones para cadenas a los lados. Algunas estaciones tienen uno de los rodillos girando libremente (no motriz).

Partiendo de esta unidad básica se forman los trenes de rodillos formadores que van plegando el material hasta llegar a la forma deseada, como se muestra en la figura 3.2.

La simpleza de la unidad permite combinarla en variadas configuraciones e incluir rodillos laterales.

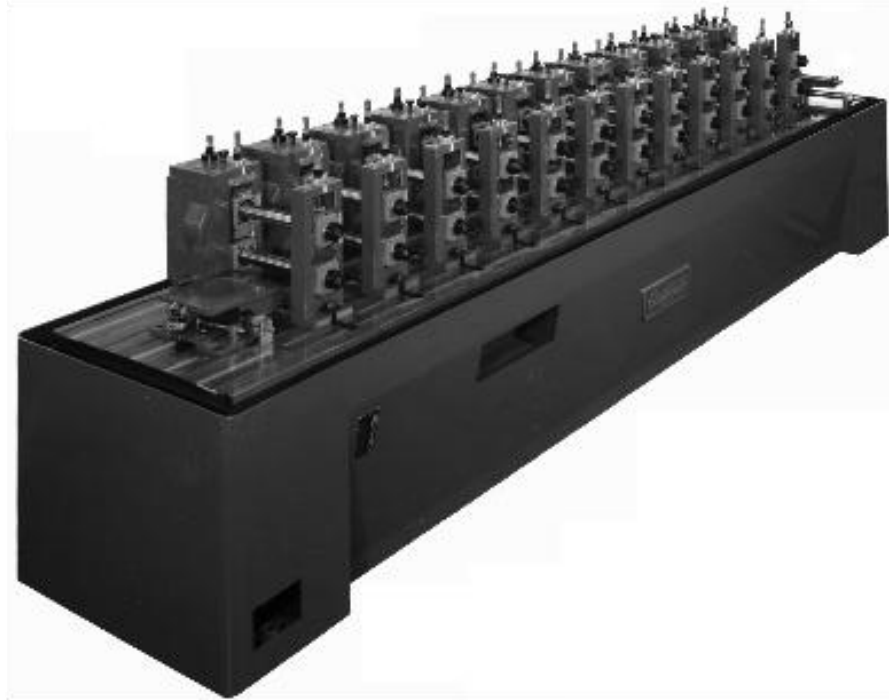


Figura 3.2: Configuración típica de un tren de rodillos formadores

Para el adecuado funcionamiento se puede necesitar, como equipo auxiliar, un desbobinador, un enderezador de fleje a la entrada, guías laterales y a la salida un enderezador para quitarle la curvatura con que normalmente sale el material así como también el dobléz tipo espiral que adquiere el material debido al proceso. Estos enderezadores consisten en una o varias guías que pueden ser fijas o rodillos con ajustes de altura, lateral y hasta de ángulos dependiendo del caso. La figura 3.3 muestra un enderezador de salida.

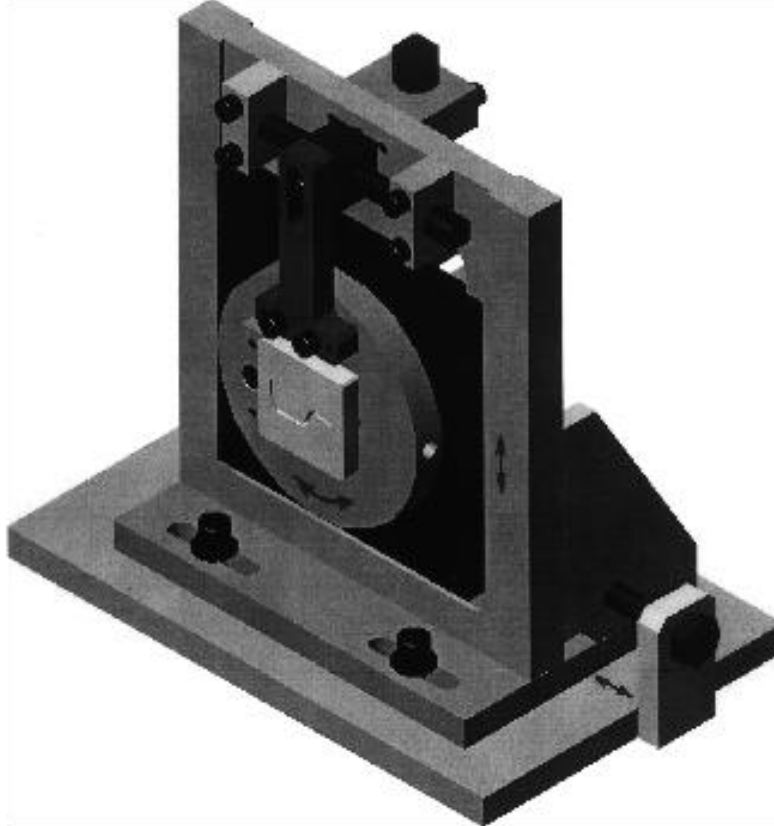


Figura 3.3: Enderezador de Salida

Como parte del tren formador se pueden usar rodillos de punzones y de corte que son matrices rotatorias con punzones o cuchillas para el caso del corte. En la figura 3.4 se observa un par de rodillos perforantes. La limitante de estos rodillos es que son difíciles de ajustar y no permiten variar la posición de las perforaciones.



Figura 3.4: Estación de Rodillos Perforadores de fleje

3.2 APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA

Para presentar una aplicación de Roll Forming se muestra un ejemplo, la fabricación de un ángulo de 1,5 in x 1,5 in; como se aprecia en la figura 3.5.

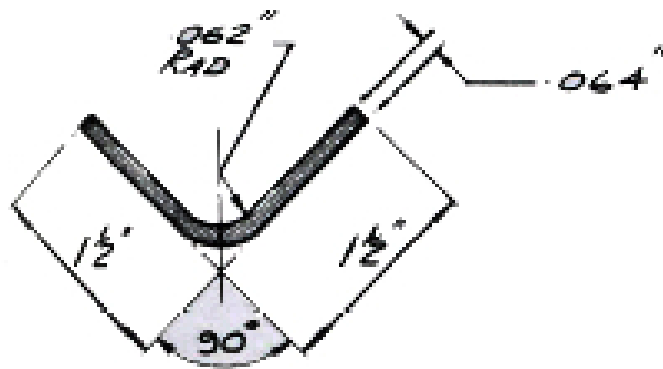


Figura 3.5: Producción de un ángulo de 1,5 in x 1,5 in por Roll Forming

Para este perfil se emplea un Roll Former de 5 estaciones y el formado en doblados sucesivos, como se aprecia en la figura 3.6. Esta representación es del tipo “Flor” donde se superponen los dibujos de los pasos sucesivos.

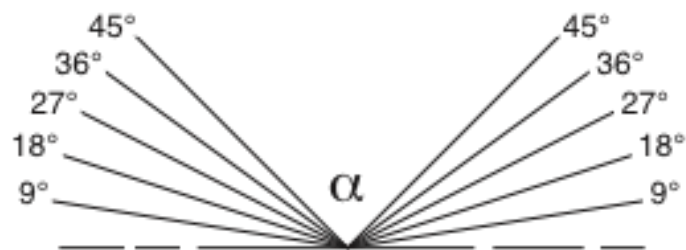


Figura 3.6: Progresión de 5 pasos para lograr el perfil de ángulo α

El perfil de los rodillos formadores se muestra en la figura 3.7. El ángulo α varía de acuerdo a la estación. En la primera estación $\alpha=162^\circ$, la siguiente $\alpha=144^\circ$, en la tercera estación el ángulo α es 126° , la cuarta $\alpha=108^\circ$ para terminar con 90° como valor del ángulo α a en la quinta y última estación.

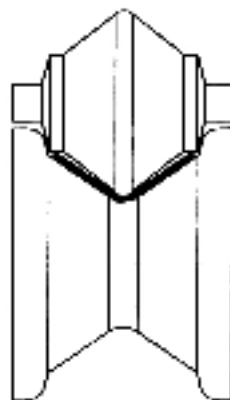


Figura 3.7: Configuración típica de una estación de rodillos formadores

El proceso puede dejar de ser simple si la forma del perfil así lo requiere, como el de las figuras 3.8 y 3.9. En algunos casos se usan rodillos laterales para llegar a obtener la forma deseada. En otros casos, son los otros procesos como corte y punzonado los que hacen la tarea más compleja.

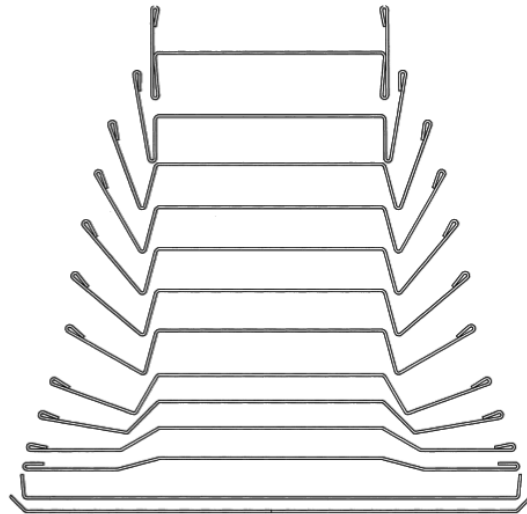


Figura 3.8: Progresión para lograr un perfil complejo abierto

La figura 3.8 muestra la sucesión de las figuras de acuerdo a como se van formando y la figura 3.9 el mismo caso en una representación tipo flor.

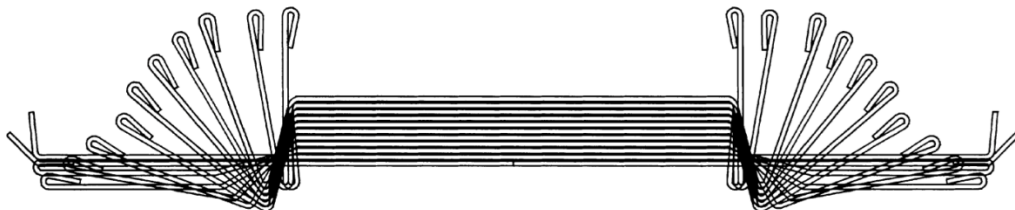


Figura 3.9: Progresión del formado continuo en representación tipo "Flor"

3.3 PERFILADO CON PROCESOS INTEGRADOS

Se pueden integrar equipos adicionales tales como prensas neumáticas, hidráulicas y excéntricas; además de equipos especiales como ser una soldadora. De esta manera se obtienen configuraciones que permiten fabricar grandes cantidades de piezas a una alta tasa productiva y bajo costo, con respecto a otras tecnologías. La figura 3.10 muestra una posible combinación de equipos para formar una gran unidad productiva.

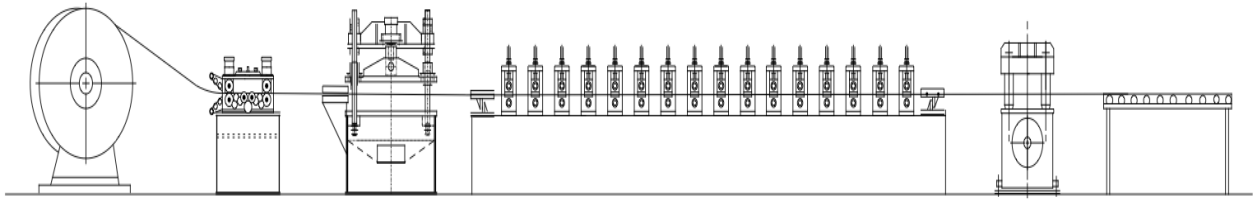


Figura 3.10: Roll Former con desbobinador, aplanador, prensa previa, guía, tren formador, enderezador y prensa de corte

Las prensas ya sea para perforar, cortar u otro proceso son las que más habitualmente se integran a las Roll Former; por lo que a continuación se describen las más relevantes. Las prensas a integrar pueden ser hidráulicas, neumática-hidráulicas, cilindro o cámara neumática, mecánicas con embrague de fricción o embrague mecánico.

Prensa Hidráulica: Partiendo de una bomba que alimenta con aceite a presión se abre una electro válvula para accionar un cilindro. Dado que la presión es alta la fuerza no es problema, pero la velocidad que es normalmente baja debe mejorarse con válvulas de acción rápida, estanques acumuladores de aceite a presión y aumento de voltaje inicial en las bobinas para que mejoren su velocidad.

Prensa de cilindro neumático: Su uso está limitado por la baja fuerza que se obtiene con un cilindro neumático.



Figura 3.11: Prensa de cilindro neumo-hidráulico

Prensa de cilindro neumo-hidráulico: En general los cilindros neumo-hidráulico son algo lentos para el caso. El tipo que se muestra en la figura 3.11 es el más adecuado para integrar a un Roll Former por ser del tipo menos lento.

Prensa de membrana neumática: Con una fuerza baja, pocas veces se puede usar. La figura 3.12 corresponde a una prensa de este tipo.

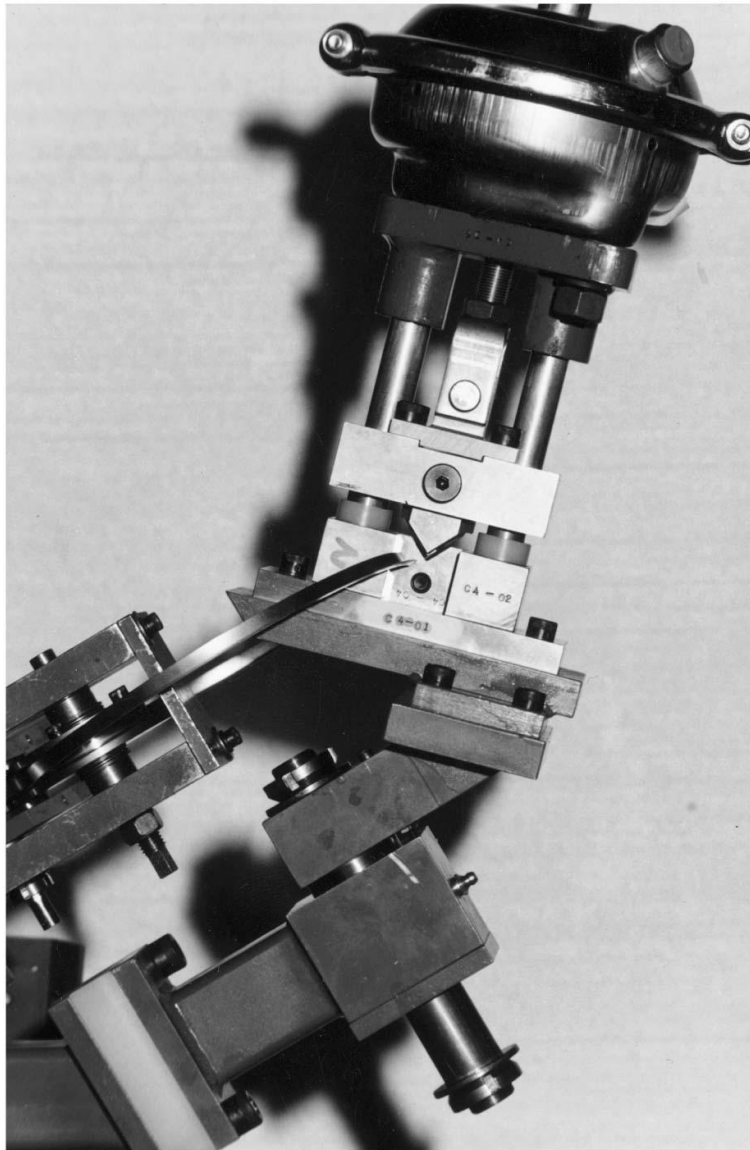


Figura 3.12: Prensa de membrana neumática de baja capacidad

Prensa con cámara neumática: funcionan bien con una válvula de alta capacidad y un estanque acumulador para mejorar el flujo de aire.

Prensas Mecánicas: Ya sean de embrague de fricción o mecánico tienen una velocidad alta. La prensa especial para un Roll Former es una prensa que está al revés, con el volante abajo y hace la fuerza tirando la parte superior hacia abajo.

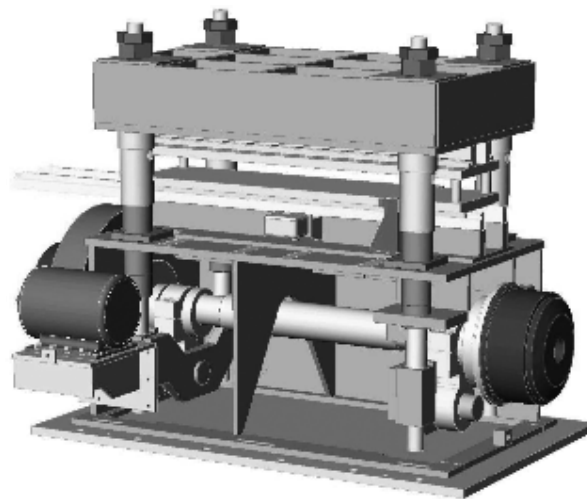
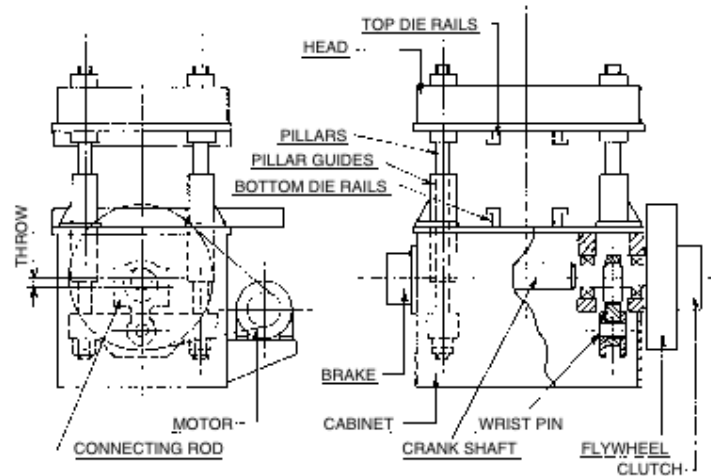


Figura 3.13: Prensa Especialmente Diseñada para Integrar a un Roll Former

De esta manera se obtiene configuraciones que permiten fabricar grandes cantidades de piezas a una velocidad alta y a un costo menor que con otros equipos.

3.4 MATRIZ PARA PRENSA INTEGRADA A UN ROLL FORMER

Una de las ventajas del uso de Roll Former es la posibilidad de integrar otro proceso, tal como en el proyecto de este trabajo, en que se puede apreciar un dispositivo de corte al final de la línea.

El equipo de corte puede ser una prensa de corte de embrague mecánico o fricción así como también cilindros hidráulicos y sistema neumático.

Cualquiera sea el equipo elegido, se requiere una matriz de corte, la que debe ser deslizante dado que la matriz fija tiene la desventaja de que frena el material durante el corte y por lo tanto es susceptible a pliegues y/o atochamiento del material. Las figuras

3.14 y 3.15 muestran matrices con guías deslizantes en la parte superior e inferior o solamente guía inferior.

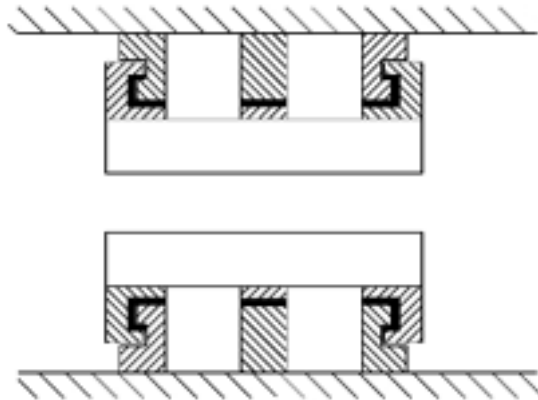


Figura 3.14: Matriz con guías superior e inferior para Integrar un Roll Former

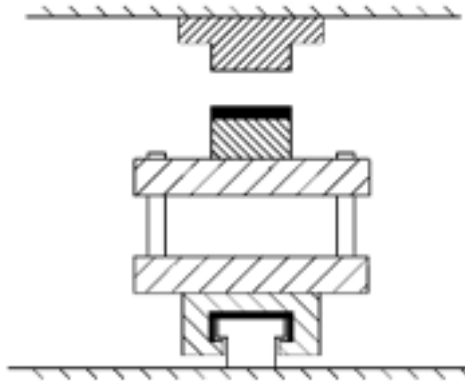


Figura 3.15: Matriz con guía inferior para Integrar a Roll Former

3.5 TIPOS DE CONTROL PARA ROLL FORMER CON OTRO PROCESO INTEGRADO

Para controlar el corte hay disponibles varios métodos, Bandera Simple, Bandera Controlada, Control Electrónico y Registro Piloto [5]. La descripción de estos controles se muestra en la sección siguiente.

3.5.1 BANDERA SIMPLE

El material que sale de los rodillos formadores pega en una lámina que, montada independientemente de la matriz de corte, acciona un micro switch; tal como se muestra la figura 3.16. Esta señal se emplea para accionar el equipo de corte. Su tolerancia es de +/- 1/8 in (3,2 mm) [5].

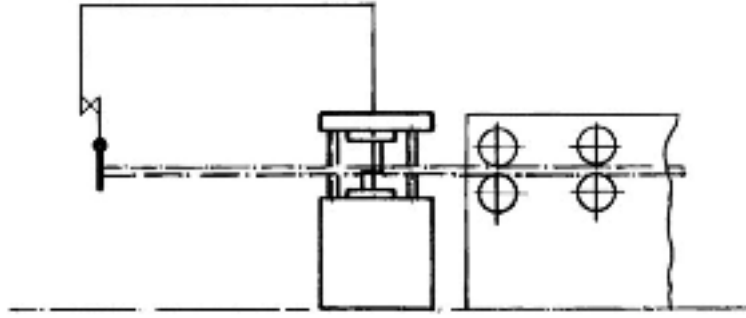


Figura 3.16: Sistema de control de corte de Bandera Simple

3.5.2 BANDERA CONTROLADA

Este sistema es similar al de Bandera Simple, con la diferencia que la lámina que da la señal está fijada a la matriz de corte. Dada la señal, cilindros neumáticos empujan la matriz hacia delante y se acciona un fin de carrera que hace funcionar el equipo de corte. La tolerancia es de $\pm 0,015$ in (0,38 mm) [4].

3.5.3 CONTROL ELECTRÓNICO

Mediante un encoder o codificador rotatorio conectado a una rueda que gira por contacto con el fleje, se genera un pulso por un cierto avance angular, el que permite medir el avance del material y dar una señal cuando se alcanza la longitud deseada. Un esquema del sistema se puede ver en la figura 3.17 y alcanza una tolerancia de $\pm 0,015$ in (0,38mm) [4].

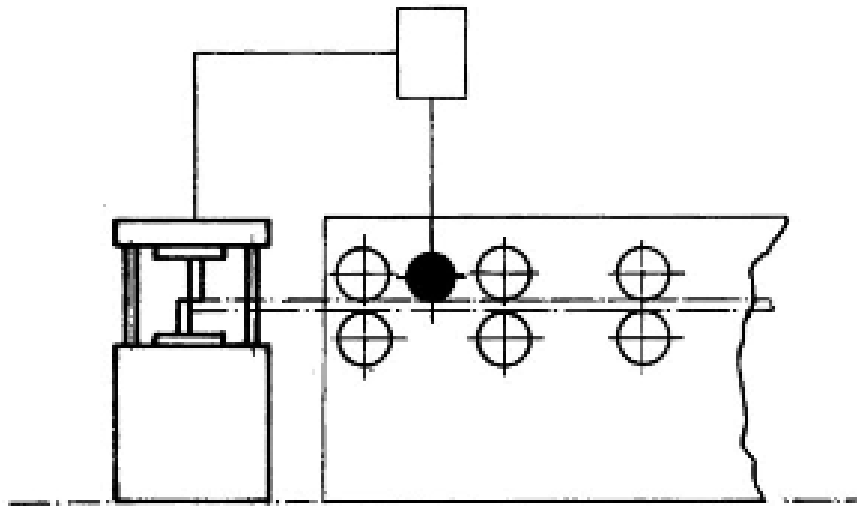


Figura 3.17: Control Electrónico de corte de fleje con Codificador Rotatorio

3.5.4 REGISTRO PILOTO

Con una configuración similar a la usada en Bandera Controlada, la barra conectada a la matriz de corte tiene un piloto que encaja en un agujero previamente hecho en el

material y cuando esto ocurre se acciona el equipo de corte. Este método es extremadamente preciso y viene dado por la precisión de los agujeros que el material trae.

3.6 CONTROL CENTRAL DE LA MÁQUINA

El control central de funcionamiento es el control de todas las funciones de la máquina. Éste permite automatizar el proceso. Las funciones más comunes son contar piezas, parar la maquina cuando se alcanza la cantidad deseada, fijar el largo de las piezas, paradas de emergencia, tiempo de accionamiento para las prensas y otros de acuerdo al caso específico de Roll Former.

Hay varias alternativas para este control, pudiéndose usar más de una opción. La primera es diseñar un circuito eléctrico con componentes eléctricos y electrónicos para llevar a cabo el proceso. También se pueden emplear Procesadores Lógicos Programables (PLC) para que controle la totalidad o parte de las funciones.

Procesadores que llaman especialmente la atención, son los diseñados y ya programados para trabajar especialmente con Roll Former [6]. Estos parten de la información de un codificador rotatorio como el señalado en 3.5.3. para accionar uno o más equipos auxiliares. Los más simples programan el largo para su corte, los más completos para el manejo de equipo auxiliar, ingresando los datos distancia desde el encoder, los procesos necesarios y el número de éstos por pieza para que los procesos se lleven a cabo, y obtener la pieza a producir. Otra capacidad digna de destacar es la función que al ingresar el largo efectivo medido de la pieza, el procesador corrige los valores para compensar la diferencia de largo. Las últimas versiones de este procesador integran otros procesadores y se puede comunicar a un computador para ingresar datos de cantidades y tipos que son compatibles con el más conocido software de gestión de producción (procesador AMS modelo xl200 con software de gestión de producción Eclipse).

3.7 VARIACIÓN DE VELOCIDAD

La generalidad de los Roll Former que hacen piezas cortas tienen un método para variar la velocidad. Los de tipo mecánico han cedido el lugar a los variadores de frecuencia que son menos costosos y más fácil de usar.

Los variadores de frecuencia, rectifican la corriente alterna de alimentación y generan, mediante un oscilador, corriente alterna con la frecuencia requerida [7]. Para variar la frecuencia y para modificar otras características de la electricidad saliente, viene incorporado un control. Los más usados con Roll Formers en la actualidad permiten ser manejados por un PLC o circuito externo; ya que tienen varias entradas lógicas programables de 24 V CC y una entrada análoga con varias opciones para controlar la frecuencia solamente. Usando la fuente de poder incorporada de 24 V CC y 10 V CC se activan entradas lógicas conectando los 24V CC a estas entradas y se maneja la

entrada análoga en una de las tres formas siguientes: a) Con una señal de corriente, normalmente 0 a 20 mA, b) Con una señal de voltaje 0 a 10V CC o c) Usando los 10 V de la fuente de poder incorporada mediante un potenciómetro de referencia, para entregar un voltaje variable para controlar la velocidad.

Las entradas lógicas se pueden programar para efectuar paradas, avances, retrocesos, colocar una cierta frecuencia, etc. y la entrada análoga permite ajustar la frecuencia en forma continua y, por lo tanto, la velocidad en esta forma.

4. EL EQUIPO INICIAL

El proyecto de este trabajo parte de un equipo inicial, un Roll Former con rodillos y una prensa de corte y perforado (RFEC) con su respectiva matriz, por un lado, y la especificación de la pieza por el otro.

4.1 ESPECIFICACIONES DE LAS ALETAS PARA CELOSÍAS A PRODUCIR EN LA RFEC

Las piezas deben tener un longitud nominal de 3 a 12 in. La ubicación de las perforaciones está dada en el diseño de la pieza, que se reproduce en la matriz para que en un solo golpe haga las 2 perforaciones y el corte. Una perforación es a la pieza saliente, el corte se efectúa al medio de las dos perforaciones y la otra perforación es para la pieza siguiente. La pieza resultante se puede ver en las figura 4.1 y 4.2. Se requiriere además que el proceso sea continuo, o sea que terminada una pieza la siguiente se efectúe inmediatamente.

La tolerancia de la distancia ente agujeros no debe exceder de 0,020 in (0,51 mm), pero no debe haber diferencia entre piezas de una misma partida mayor que 0,002 in (0,051 mm).

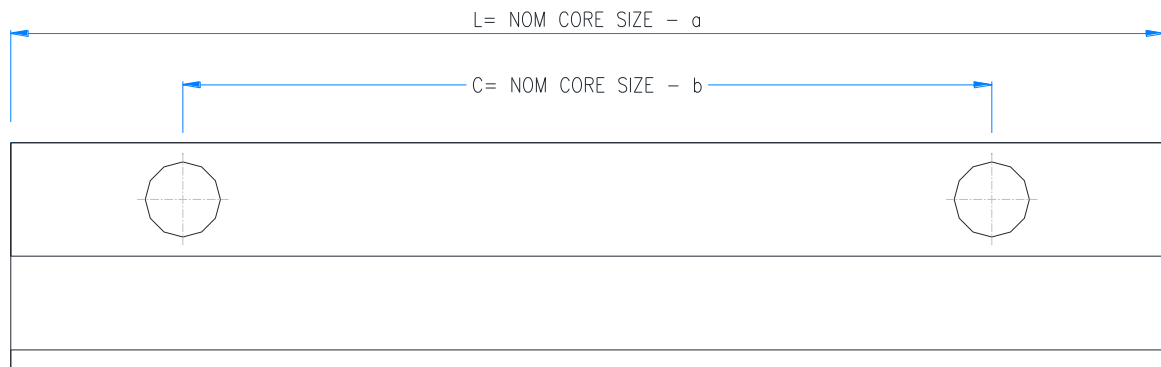


Figura 4.1: Vista Frontal de la Pieza

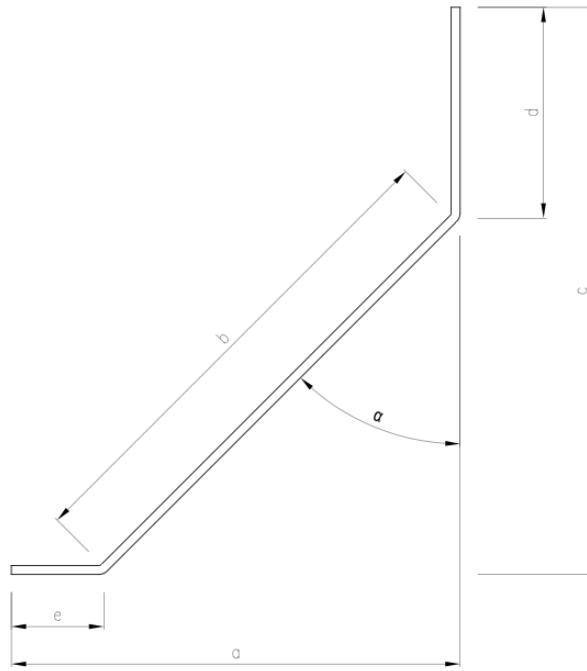


Figura 4.2: Vista Lateral de la Pieza

Las figuras 4.1 y 4.2 no tienen dimensiones de la pieza, por una limitante del proyecto, tal como se señala en la parte 2.3. La limitación es no dar a conocer las medidas de las piezas. Afortunadamente esta limitante que la empresa del proyecto puso, no afecta el desarrollo y descripción del método de control de la producción de la pieza.



Figura 4.3: Armado para formar la celosía

El sistema de armado de las aletas para formar la celosía, en que dos tubos de aluminio pasan a través de las perforaciones de las piezas, exige la precisión solicitada, de tal modo que se pueda armar. Una vez armada pasa a una máquina para deformar los tubos para quedar todas las piezas atrapadas. En la figura 4.3 se presenta la vista lateral de este armado.

4.2 DESCRIPCIÓN BÁSICA DEL MÉTODO DE FABRICACIÓN

El fleje sale del desbobinador, pasa por los rodillos lubricadores, continúa por los rodillos que a la vez de formar el material lo empujan hacia adelante y con la prensa de golpe se corta y perfora para obtener la pieza deseada.

4.3 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO ORIGINAL

Maquina con tren de seis rodillos formadores: Es una maquina compuesta de su motor, caja reductora, transmisión de cadena y 6 pares de rodillos formadores para el perfil deseado, ver figura 3.4.

Prensa de Golpe: Prensa excéntrica para hacer las perforaciones y corte de la pieza una vez que alcanza la longitud deseada. La prensa posee una capacidad de 6 toneladas, equivalente a 5,54 toneladas métricas y el golpe viene dado por una pieza tipo pasador que engancha el eje del excéntrico (que hace la labor de cigüeñal) que mueve la bajada (biela). Este sistema se conoce localmente como embrague mecánico, en contraposición al embrague de fricción, ver figura 4.4.



Figura 4.4: Rodillos Formadores y Prensa con Embrague Mecánico

Matriz deslizante de corte: Matriz de corte que a la vez hace 2 agujeros, uno a la pieza que está terminada y otro a la pieza siguiente. Puede deslizarse ya que tiene ranuras del tipo Cola de Milano.

4.4 CARACTERÍSTICAS Y VALORES DEL EQUIPO INICIAL

4.4.1 ROLL FORMER

- Motor trifásico 440 Volt de 1 HP (0,746 kW) y velocidad de rotación del motor $N_m = 1.725$ RPM (180,6 rad/s).
- Primera Etapa de reducción consiste en poleas en V tipo A con diámetros efectivos D_e 3,2 in (81 mm) en el motor y D_s 7 in (178 mm) en la entrada de la caja reductora.

- La segunda etapa es una caja reductora tipo sinfín y corona y en cuya placa se puede leer $R=17$, que es una relación de reducción 1:17.

La siguiente etapa es de transmisión de cadena de 1 in de paso, piñón con $Z_p = 13$ dientes y corona con $Z_c = 26$ dientes.

De esta manera la velocidad angular ω de los rodillos formadores queda como sigue:

$$\omega = \frac{Nm \cdot De \cdot 1 \cdot Zp}{Ds \cdot R \cdot Zc} = \frac{180,6 \cdot 81 \cdot 1 \cdot 13}{178 \cdot 17 \cdot 26} = 2,42 \text{ rad/s} \quad 4.1$$

Los Rodillos Formadores tienen un diámetro variable a lo ancho del mismo, por lo que el diámetro aparente es el que da la velocidad del material. En este caso como el rodillo tiene una parte plana importante se use diámetro como el aparente. La velocidad calculada va a diferir de la velocidad real, porque la velocidad del motor depende de la carga a la cual está sometido y de cómo se da el resbalamiento del material.

Los rodillos tienen un diámetro aparente de 4,56 in (0,1158 m), el radio aparente Ra mide 0,0579 m con lo que la velocidad lineal del material, V_m es:

$$Vm = \omega \cdot Ra = 2,42 \cdot 0,0579 = 0,14 \text{ m/s} \quad 4.2$$

4.4.2 PRENSA DE CORTE

Motor monofásico 115/230 Volt de 0,5 HP (0,373 kW.), con una velocidad de rotación del motor $N_{mc} = 1.725 \text{ RPM}$ (180,6 rad/s).

La reducción desde el motor viene dada por una polea para correa en V tipo A de diámetro efectivo $D_p = 59,5 \text{ mm}$ y el volante de la prensa con un diámetro efectivo $D_v = 461 \text{ mm}$, por lo que la velocidad angular en el eje cigüeñal, ω , es:

$$\omega = \frac{Nmc \cdot Dp}{Dv} = \frac{180,6 \cdot 59,5}{461} = 23,3 \text{ rad/s} \quad 4.3$$

El tiempo que demora el eje cigüeñal en dar una vuelta, un ángulo de 6,283 rad, es el ciclo de la prensa:

$$Ciclo = \frac{6,283 \text{ rad}}{23,3 \text{ rad/s}} = 0,27 \text{ s} \quad 4.4$$

Es decir la duración del ciclo es de 0,27 s.

5. DESARROLLO DEL MÉTODO, ADICIONES Y MODIFICACIONES

El desarrollo de un proyecto netamente práctico como este tiene dos enfoques, el primero es de análisis lógico, cálculo y/o diseño para obtener los resultados deseados y luego viene la ejecución. El método para el desarrollo del proyecto consiste en integrar las modificaciones y/o adiciones de a una a la vez, dando así la oportunidad de ajustar y hasta perfeccionar cada una de estas modificaciones sin la interferencia de las restantes. La finalidad es obtener un resultado como se muestra en la figura 4.4.

La problemática principal que este proyecto plantea es la coordinación de acciones para obtener las piezas deseadas en forma automática. Para resolver este desafío, se plantea hacer el desarrollo del control. Primero se lista la secuencia de los pasos del método de fabricación para, a continuación identificar los pasos críticos, que necesiten coordinarse; luego se determinan los tiempos de la secuencia, y se representan en forma gráfica, dando claridad a la secuencia, permitiendo de esta manera predecir el funcionamiento de la secuencia y tiempos de la fabricación (timing).

Primero se debe elegir el método para obtener el largo requerido de la pieza a fabricar, elección que determina el sistema de control y luego proseguir con la secuencia, lo que permite seguir con el resto del proyecto.

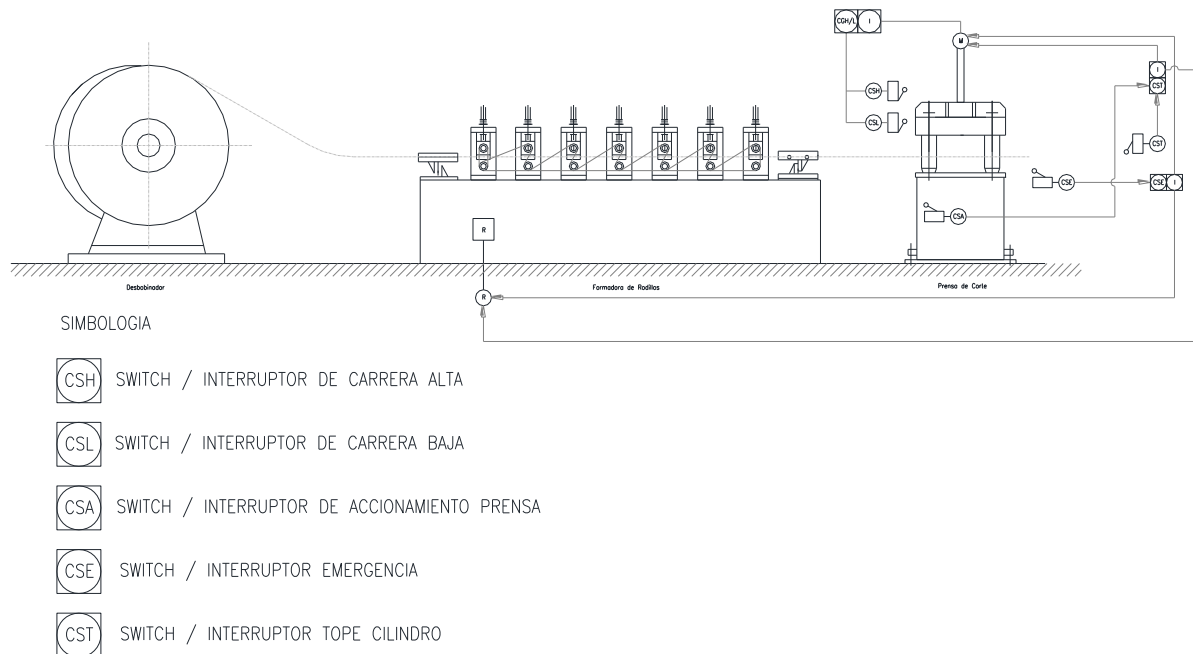


Figura 5.1 Esquema P & ID del Método de Fabricación

5.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO PARA LA SELECCIÓN DEL LARGO DE LA PIEZA

De los métodos descritos en 2.5 se elige una solución basada en el método de “Registro Piloto” por ser el único capaz de obtener la tolerancia especificada de 0,020 in (0,51 mm) entre partidas y que puede ser calibrado para obtener la tolerancia de 0,002 in (0,051 mm) en una misma partida.

En este caso en vez de usar un piloto se coloca un tope ligado mediante un riel a la matriz, para que el extremo delantero del material la empuje y haga avanzar la matriz la distancia deseada, momento en que se acciona un fin de carrera o sensor; que gatilla la prensa para que se efectúe el corte. La figura 5.1 muestra un diagrama del control.

Este tope que determina el largo de la pieza, se denomina para este trabajo como tope TDL (Tope que Determina el Largo). La figura 5.2 muestra a la derecha el tope TDL, que tiene un cilindro neumático para levantarlo como se aprecia en la en la sección siguiente.



Figura 5.2: Matriz y Tope TDL

5.2 SECUENCIA DEL PROCESO

La secuencia de proceso, que se compone de 12 acciones, se muestra en la tabla 5.3.1.

Tabla 5.3.1: Secuencia del proceso de corte del perfil

Secuencia	Acción	Secuencia	Acción
1	Material avanza por el canal de la matriz	7	Se levanta el tope TDL
2	Llega al tope TDL	8	La cuchilla vuelve a su posición original
3	Material arrastra la matriz	9	La matriz retrocede a su posición original
4	La Matriz acciona un fin de carrera	10	La pieza terminada sale del canal
5	El fin de carrera desencadena el corte	11	Cae la pieza
6	La cuchilla corta el material	12	Tope TDL vuelve a su posición original

5.3 DURACIÓN DEL CICLO DEL PROCESO

El ciclo completo para una pieza con una velocidad de 0,14 m/s tiene una duración de 0,54 s para una pieza de 3 in y 2,18 s para una pieza de 12 in. Este ciclo debe ser suficiente para que se efectúe el ciclo de la prensa, sumado al tiempo adicional de accionamiento del tope TDL, mas el tiempo más largo entre el tiempo adicional de salida del material o de recuperación de la prensa. El tiempo de recuperación, es el que demora el volante de la prensa en recuperar la velocidad después del freno que se produce al cortar el material.

La prensa tiene un ciclo teórico de 0,27 s el cual aumenta cuando se considera el freno que le produce el corte del material y se estima en 0,45 s (1,5 x Tiempo teórico), más el avance para salir de las guías de la matriz de 0,36 s, más el tiempo necesario para que el tope TDL vuelva a su lugar sin atrapar la pieza saliente, estimado en 0,18, lo que da un total de 0,99 segundos.

Dado que a la velocidad de avance del material no se alcanza a completar el ciclo para las piezas más pequeñas, hay que recurrir a una forma de reducción de velocidad de los rodillos formadores.

5.4 REDUCCIÓN DE VELOCIDAD DEL ROLL FORMER

La velocidad necesaria de los rodillos formadores varía de acuerdo al largo de la pieza para que se alcance a completar el tiempo que toma el ciclo del proceso

Hoy en día existen muchos equipos para obtener velocidad variable, los más económico son los Variadores de Frecuencia con un costo de US\$ 409,34 para la especificación de este caso, menor que una transmisión de correa con polea variadora, que sumando la correa especial y soporte variable del motor supera los US\$ 500,00.



Figura 5.4: Variador de Frecuencia

Para controlar la velocidad del material, se elige un variador de frecuencia, que permita al operador(a) fácilmente cambiar la velocidad del motor tipo Jaula de Ardilla, como el que posee la unidad.

El variador de frecuencia elegido es el modelo Altivar 31, código ATV31H075N4, de la firma Telemecanique/Schneider Electric, para motor trifásico de 380 a 500 V y 0,75 kW, variador que se muestra en la figura 5.4

Además de variar la frecuencia tiene un procesador que permite ajustar la aceleración y frenado, invertir la rotación, tipo de señal para partidas y parada, límites de frecuencia, límites de corriente y muchas otras opciones para otras aplicaciones. La figura 5.5 muestra el diagrama eléctrico proporcionado por el fabricante.

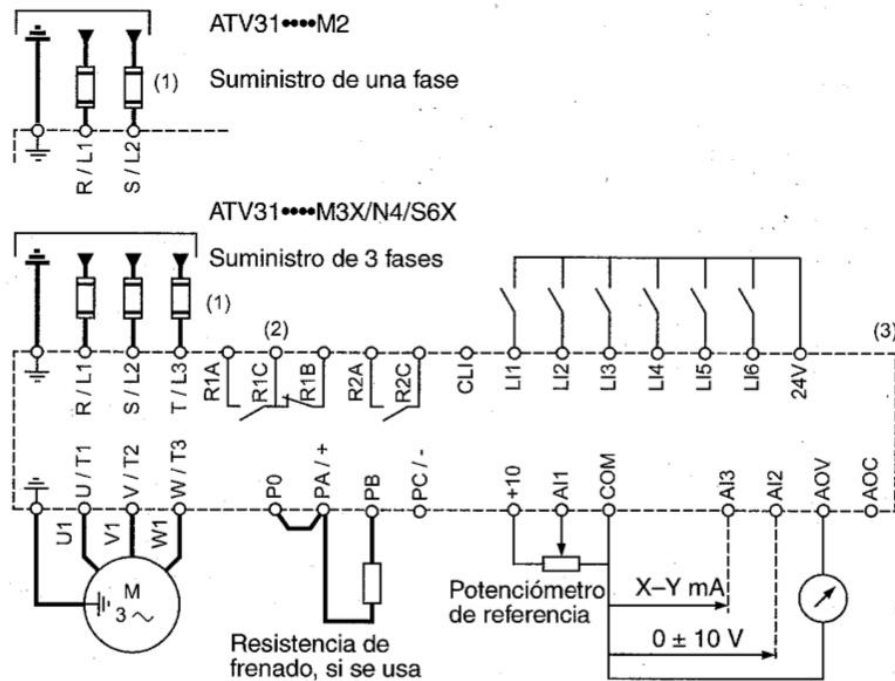


Figura 5.5: Diagrama de conexión del variador y su control [7]

Se procede primero a programar el control del variador de frecuencia, con la frecuencia y el voltaje de la línea de alimentación eléctrica y la corriente nominal y factor de potencia del motor. Para los controles lógicos L11 queda como marcha adelante, L12 como marcha atrás y para el tipo de control lógico se mantiene el valor del fabricante 2C que consiste en que estos se activan con contacto sostenido, por lo que funcionan mientras estén en contacto con el terminal 24 V.

El variador de frecuencia se controla desde el tablero de control eléctrico. Para avance se conecta el terminal 24V con L11 con un interruptor momentáneo y para avance sostenido se hace la misma conexión mediante un relé con un botón marcha y parada. Para retroceso se conecta el terminal 24V con L12 mediante un interruptor momentáneo debido a que la marcha atrás se usa solamente para desatascar y vaciar la máquina. Para variar la velocidad se conecta el potenciómetro de referencia en los terminales +10, AI1 y COM, y de esta manera al hacer variar la resistencia del potenciómetro de referencia varía la señal entre 0 y 10 V, variando la frecuencia de salida al motor. Todas estas conexiones se hacen de acuerdo al diagrama del fabricante que muestra la figura 5.5.

5.5 TIEMPOS DE LA SECUENCIA (TIMING)

Determinar los tiempos de la secuencia del proceso es una de las partes importantes, si no la más importante, de este proyecto. En primer lugar se procede a identificar los pasos críticos, que son los que de no coordinarse, malograrían la producción.

Los pasos críticos están en los periodos en que:

- El tope TDL está en contacto con el material.
- La pieza está atrapada en la matriz debido a que el corte se está efectuando.
- El tope TDL está levantado
- Caída de la pieza

A estos pasos se agregan el periodo de avance del material que se usará para mostrar la duración del ciclo de producción de la pieza y el ciclo de la prensa ambos como referencia.

Se desarrolla en números y gráfico con los valores para piezas de 6 in de largo.

5.5.1 CICLO DEL PROCESO

En el gráfico se representa empezando en 0 y finaliza con la duración del ciclo, que para una pieza de 6 in (152,4 mm) a una velocidad de 140 mm/s (ver 4.4.1.); el ciclo de producción termina en 1,09 s.

5.5.2 CICLO DE LA PRENSA

El inicio se elige como punto cero del ciclo de producción y al tener éste una duración calculada de 0,99 s se tiene el final de este ciclo.

5.5.3 CORTE

El periodo en que se efectúa el corte propiamente tal y el material queda atrapado por la matriz en este proceso. Para este análisis se procede a ver la geometría del proceso de corte en la figura 5.6.

Para obtener el tiempo dentro del ciclo de la prensa en que se efectúa el corte, se procede a medir la distancia en que los punzones y/o la cuchilla empiezan el corte. Esta distancia medida es de 9,80 mm y corresponde al tramo de la figura 5.6.

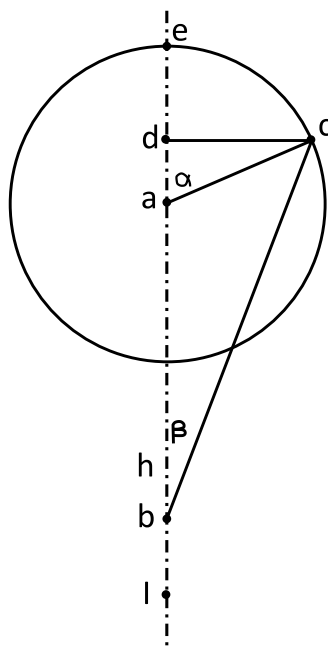


Figura 5.6: Geometría del Corte con la Prensa

Siendo en la figura 5.6:

$$\overline{ac} = R = 0,75 \text{ in} = 19,05 \text{ mm} \quad : \text{ Manivela}$$

$$\overline{bc} = B = 141,25 \text{ mm} \quad : \text{ Biela ajustable}$$

$$\overline{ad} = X$$

$$\overline{dc} = Y$$

$$\overline{ab} = C = B - R + \overline{hb} = 131,93 \text{ mm} \quad 5.1$$

Para el triángulo rectángulo bdc en la figura 5.6:

$$B^2 = Y^2 + (C + X)^2 \quad 5.2$$

Para el triángulo adc de la figura 5.6:

$$R^2 = X^2 + Y^2 \quad 5.3$$

Combinando ambas ecuaciones:

$$B^2 - (C + X)^2 = R^2 - X^2 \quad 5.4$$

Desarrollándola:

$$B^2 - C^2 - 2XC - X^2 = R^2 - X^2 \quad 5.5$$

Lo que permite obtener:

$$X = \frac{B^2 - R^2 - C^2}{2C} = 8,20 \text{ mm} \quad 5.6$$

Y por consiguiente:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{X}{R}\right) = 64,5^\circ \quad 5.7$$

Teniendo los grados de avance del eje (α) y el tiempo que demora en una revolución $T_c = 0,45$ s, se obtiene T_d , que es el tiempo de inicio del corte.

$$T_d = \frac{\alpha}{360^\circ} \cdot T_c = 0,081 \text{ s} \quad 5.8$$

5.5.4 TOPE TDL ESTÁ EN LA POSICIÓN SUPERIOR

El tope TDL se levanta para dejar caer la pieza. El tope TDL se levanta durante el periodo del corte y vuelve a su posición original al término del periodo que así se requiere para la caída de la pieza.

5.5.5 MATERIAL ESTÁ EN CONTACTO CON EL TOPE TDL

El material para empujar la matriz, tiene que estar en contacto con el tope TDL o que la matriz esté efectuando el corte propiamente tal. El tope TDL sube durante el corte para que al terminar éste empiece la caída de la pieza y pueda bajar a su posición original, cuando deje de obstruir la salida de la pieza y antes de que llegue el material a la cara del tope TDL.

5.5.6 CAÍDA DE LA PIEZA

Para los efectos de los tiempos en la secuencia la caída considera el tiempo de salida del material, comienza al terminar el corte hasta dejar el espacio libre para la próxima pieza. Al terminar el corte la pieza todavía está atrapada en las guías de la matriz, por lo que el material al avanzar y la matriz al retroceder lo dejan libre.

De esta manera se tienen de definidas las variables y se procede a hacer un gráfico de tiempos, que ilustra la coordinación de los movimientos. La figura 5.7 muestra el gráfico referido.

La duración del ciclo calculado es de 1,09 s para una pieza de 6 in nominal y al poner a funcionar el equipo se ve que, hay a veces atascamientos (uno cada 25 piezas), debido a que la caída de las piezas no es perfectamente uniforme. Para solucionar el problema se disminuye la velocidad del Roll Former y con un ciclo de 1,25 s se terminan los atascamientos regulares. En la figura 5.7 se puede apreciar el ciclo calculado y con un color ligeramente diferente los alargues necesarios para un mejor funcionamiento.

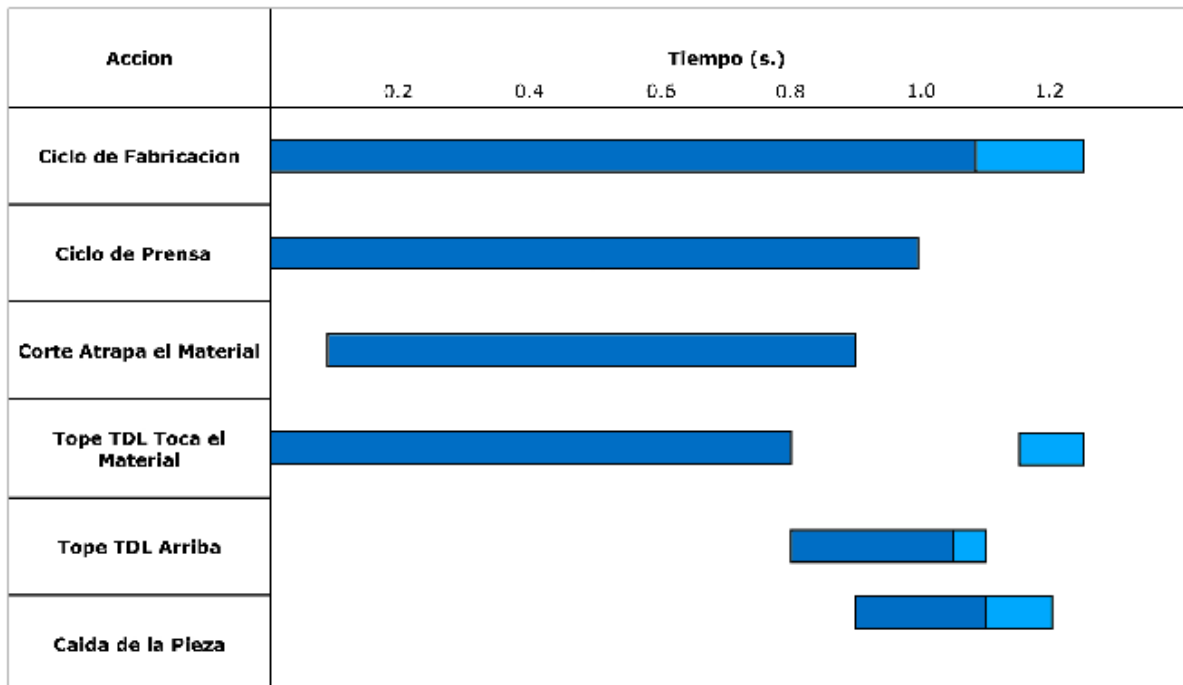


Figura 5.7: Gráfico del ciclo del proceso de la RFEC

5.6 DESBOBINADOR

El primer equipo que es necesario agregar, para hacer las pruebas, es un desbobinador. Estando disponible uno simple vertical y sin fuerza motriz que se muestra en la Figura 5.8. Se instala, y dado que la tracción de los rodillos formadores es suficiente, pasa a ser el desbobinador del equipo.



Figura 5.8: Desbobinador

5.7 AJUSTE DEL LARGO DE LA PIEZA

Para obtener el largo deseado de la pieza, se debe mover y sujetar, el tope TDL en el sentido longitudinal. Para este efecto se agrega a la matriz un riel y para facilidad de operación se hicieron 8 perforaciones a 1 in de distancia entre ellos y una manilla con un pasador que encaja en uno de los 8 agujeros, que dan las medidas desde 3 in a 12 in nominales, las medidas planificadas. En la figura 5.9 se aprecia la barra con sus agujeros y el carro deslizante para colocar el tope TDL en posición.

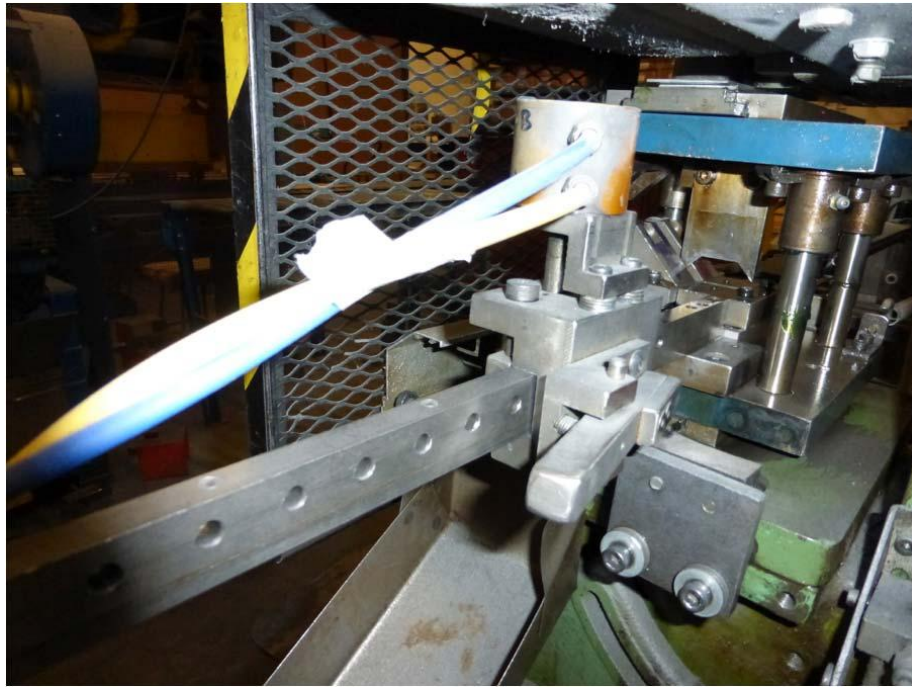


Figura 5.9: Riel con agujeros para posicionar el tope TDL

5.8 CONTROL ELÉCTRICO

5.8.1 ENCENDIDO

Circuito base que energiza el sistema de control. Se compone de un relé e interruptores momentáneos de marcha y parada.

5.8.2 AVANCE Y RETROCESO

El variador de frecuencia incorporado al equipo tiene un procesador lógico, de modo que al conectar 24 V a una entrada avanza y otra entrada al recibir los 24 V retrocede. En consecuencia con una conexión simple se obtienen avance y retroceso momentáneo (mientras este apretado un botón).

Mediante un relé que hace la conexión de avance, se maneja con un botón para marcha que activa el relé y un botón de parada que desactiva el relé.

5.8.3 CONTADORES

Se colocan 2 tipos de contadores para las piezas producidas, el primero es un contador simple que da la cantidad de piezas producidas desde su puesta en marcha. El otro contador es para detener la máquina, cuando se completa la partida que se está produciendo.

5.8.4 TEMPORIZADORES

Se colocan 2 temporizadores, el primero es para el tiempo necesario, que esté activo el mecanismo que hace bajar la prensa de corte y se mantiene fijo en un tiempo determinado.

El otro temporizador es para el tiempo que se mantiene en alto el tope TDL. Se le deja al operador(a) su ajuste, y depende del tiempo necesario para el tamaño de la pieza.

5.8.5 ACCIONAMIENTO DE LA PRENSA

La prensa tiene que bajar para dar el corte y ejecutar las dos perforaciones cuando ha avanzado el largo requerido. Al avanzar el material arrastra la matriz que acciona un fin de carrera, que activa un temporizador, se conecta una electro-válvula la cual deja pasar aire comprimido a un cilindro que acciona el mecanismo de la prensa y la hace bajar. La prensa proporcionada por la empresa es de diseño clásico, no especializada para integrarse a un Roll Former y tiene una mesa pequeña por lo que el corte se hace a 0,75 in (19 mm) de avance para usar un mínimo del avance disponible.

5.8.6 PARADA DE EMERGENCIA

Se agrega un segundo fin de carrera que cuando la matriz avanza 2,5 in (63,5 mm), se accione este fin de carrera y detiene el avance de la máquina. Se coloca a esta corta distancia por lo pequeño de la mesa. Esta parada de emergencia impide que la matriz avance longitudinalmente y se salga de las guías.

5.8.7 ACCIONAMIENTO DEL TOPE TDL

El tope TDL que da el largo de la pieza debe levantarse, para que la pieza pueda avanzar y luego caer. El tope TDL debe volver a su posición original para determinar el largo de la próxima pieza. Para subir y bajar el tope TDL se instala un cilindro neumático de doble efecto, que se acciona mediante una válvula de aire comprimido de dos posiciones y cinco puertos, que controla la subida y la bajada del tope TDL. El control parte de un fin de carrera o sensor que es accionado por una leva, en el eje de la prensa, que da el inicio. El tiempo que está arriba el tope TDL lo da un temporizador, que es ajustable por el o la operador(a).

5.8.8 POTENCIÓMETRO DE REFERENCIA PARA EL AJUSTE DE VELOCIDAD

En el control eléctrico se ubica el potenciómetro de referencia que usa control que viene integrado al variador de frecuencia.

5.9 ADICIONES VARIAS

5.9.1 TOPES ANTERIORES A LA MATRIZ

Se procede a colocar topes de goma endurecida de tal modo que no se golpee la matriz al retroceder a su posición inicial, tal como se ve en la figura 5.10.



Figura 5.10: Tope Anterior de la Matriz

5.9.2 TOPE POSTERIOR A LA MATRIZ

Se decide colocar un tope a la salida, para que la matriz no se salga adelante en caso de atascamiento. La prensa entregada para la realización de este proyecto no es la más adecuada para el caso, porque al ser muy pequeña no hay suficiente lugar para que la matriz se deslice más de 2,75 in (70 mm). La parada de emergencia se coloca a 2,5 in (63,5 mm) de tal modo que hay solo 0,25 in (6,35 mm) para detenerla, que a velocidades altas no es suficiente distancia. Otras prensas para Roll Former que posee la empresa tienen de 150 a 200 milímetros disponibles para el deslizamiento de la matriz. Por otro lado, también se observa que este tope (ver figura 5.11) no está sometido a grandes exigencias porque, en su recorrido, la matriz generalmente no llega hasta allí y cuando llega lo hace a velocidad reducida.



Figura 5.11: Tope posterior de la matriz

5.9.3 RESORTES PARA DEVOLVER LA MATRIZ A SU POSICIÓN ORIGINAL

Es necesario tener una manera de devolver la matriz a su posición original y así empezar el siguiente ciclo. Estos resortes se pueden ajustar para obtener la fuerza de tracción necesaria para vencer el roce y cumplir con su cometido, tal como se aprecia en la figura 5.12.



Figura 5.12: Resortes que tiran la matriz hacia atrás

5.9.4 MODIFICACIONES PARA LA SALIDA DE LA PIEZA

La pieza sale de las guías de la matriz por el retroceso de ésta y por el avance del material que empuja la pieza. El riel donde se ajusta el largo se diseña con una pista angosta para el avance del material y cuando la pieza sale de la canal de la matriz, voltee fácilmente y caiga. Se procedió a biselar el riel y a matar las aristas a la salida y tapar un sacado donde va uno de los pernos que sujetan la base de la matriz, obteniéndose una bajada más libre y rápida de la pieza saliente. Se agrega también una canal por la cual deslice la pieza para llegar a un recipiente.

La figura 5.13 permite apreciar los redondeos y el biselado del riel. La figura 5.14 muestra una canal para la bajada por gravedad de las piezas.



Figura 5.13: Biseles para una mejor salida de la pieza



Figura 5.14: Canal para salida de la pieza

5.9.5 LUBRICADOR

Es importante agregar lubricación al material para evitar el desgaste de los rodillos formadores y también a la matriz de corte. Se eligió uno de dos rodillos, como se puede apreciar en la figura 5.15, para aceitar el fleje por ambas caras, importante para los rodillos formadores que al ser de diámetro variable tienen forzosamente que resbalar.



Figura 5.15: Lubricador para fleje de rollo

6. BREVE EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO

Este proyecto es parte de un proyecto de mayor envergadura, que consiste en desarrollar una nueva línea de productos llamados CQ, que incluye la fabricación del sistema de armado, marcos, aletas, soportes y sistemas de fijación de las celosías Anemostat modelo CQ. La evaluación del proyecto global, que no forma parte del presente proyecto, se lleva a cabo en las oficinas corporativas de Mestec Inc, (empresa propietaria de Anemostat Inc.) que se encuentran en el estado de Massachusetts.

Este trabajo de título comprende la parte maquinaria y producción de las aletas CQ en la planta Anemostat de Carson en California. En este contexto la evaluación económica incluye la selección del método de producción de estas piezas, así como la adquisición del equipo nuevo o usado. Esta evaluación se considera trabajo previo al proyecto.

La evaluación económica de esta componente del proyecto considera las aletas CQ de 6 in (152,4 mm) nominales, ya que son las de mayor demanda en el mercado local.

En la perspectiva productiva se consideran 3 métodos para fabricar las aletas CQ:

- i. El formado clásico (FC), que consiste en usar una prensa plegadora y prensas para corte y para perforado. El proceso incluye la formación de fleje para obtener 6 aletas, a continuación el corte longitudinal a 6 in y, por finalmente, la ejecución de 2 perforaciones.
- ii. Otro método a considerar es el corte y perforado integrados (CPI) en una sola matriz que, con un alimentador, corta y perfora las piezas; para luego ser formadas en una prensa plegadora de a 6 a la vez, y
- iii. Por último, está el uso de un Roll Former (RF) con prensa de corte y perforado integrada (el método desarrollado).

La metodología de evaluación del proyecto se basa en la construcción del flujo de ahorros anualizados (A_i) que se obtiene al considerar un proceso clásico (formado por corte, plegado y perforado) en comparación con procesos de matrizado y de Roll Forming.

Asumiendo que el precio de venta del producto es invariable (dado por el mercado), el flujo de ahorros viene dado por:

$$A_i = C_{pi} - C_{po} \quad 6.1$$

Siendo C_{pi} el costo de producción del proceso i (matrizado & Roll Forming) y C_{po} el costo de producción del proceso de referencia (corte, plegado y perforado clásico).

Para un periodo de evaluación de n años, los indicadores del proyecto son:

$$PRI = I/A_i \text{ (Periodo de recuperación de la inversión)} \quad 6.2$$

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{A_i}{(1+k)^t} - I \text{ (Valor actual neto del flujo de ahorros)} \quad 6.3$$

$$TIR = \frac{-I + \sum_{i=1}^n A_i}{\sum_{i=1}^n iA_i} \text{ (Tasa interna de retorno)} \quad 6.4$$

Siendo I la inversión del proyecto y k la tasa de descuento (10-15% para condiciones actuales del mercado financiero local).

Para construir la estructura de costos de producción de cada proceso se estima que los costos de material, energía, mantenimiento y otros son similares y comunes a todos los métodos de fabricación considerados. Como consecuencia de este supuesto, resulta que el costo relevante es el de la mano de obra (es decir la componente de costo fijo).

La estimación de los tiempos y costos de proceso se basa en datos de la empresa, que mantiene tablas de tiempos y costos para los procesos no automatizados (formado clásico) para cotizar pedidos especiales. En la tabla 6.1, con datos de la empresa, se evalúa el tiempo y el costo de mano de obra para cada una de las alternativas analizadas. En la primera columna de esta tabla se informa la operación a efectuar, a continuación el tiempo que se emplea en la operación medido en segundos, luego prosigue la unidad que es la cantidad de piezas para la cual se efectúa la operación, el tiempo unitario es el que se asigna a cada unidad y el Valor Unitario es el costo del tiempo unitario considerando el costo del operario de USD 16 por hora.

Tabla 6.1: Costo de la mano de obra de las alternativas de producción

Proceso	Tiempo de la operación (s)	Unidades obtenidas	Tiempo Unitario (s)	Valor Unitario (USD)
Formado Clásico (FC)				
Formado	12,0	6	2,0	
Corte	6,0	1	6,0	
Perforado	10,0	1	10,0	
Total			18,0	0,080
Corte y Perforado Integrado (CPI)				
Corte y Perforado	2,5	1	2,5	
Formado	24,0	6	4,0	
Total			6,5	0,029
Formado en Roll Former (RF)				
Ciclo	2,5	1	2,5	0,011

Sobre la base de la tabla 6.1 se construye la tabla 6.2 de proyección de ahorros anuales de los procesos productivos que se pretende comparar.

Para desarrollar esas estimaciones se asume que cada proceso posee un rendimiento que castiga la producción máxima teórica, cuyos valores estimados son los indicados en la tabla y afectan a la producción anual de aletas CQ. Para hacer la comparación de costos y la estimación de ahorros, se emplea el % de uso anual de la tecnología que indica el uso anual de la tecnología productiva actual para lograr la misma producción que se logra con la tecnología base. El costo anual de cada opción productiva corresponde al producto del costo unitario, por el número de unidades producidas y por el % de uso. El ahorro se calcula directamente haciendo la diferencia de costos entre la tecnología actual y la tecnología base.

Tabla 6.2: Estimados de costos anuales y de ahorros para las alternativas de producción

Proceso/Tecnología	Eficiencia proceso %	Unidades/hora	Unidades/año	% uso anual	Costo anual, USD	Ahorro anual, USD
Formado clásico	60%	200	288.000	100,0%	23.040	0
Corte y perforado integrado	80%	554	1.063.385	27,08%	8.352	-14.688
Formado en Roll Former	95%	1.440	3.283.200	8,77%	3.168	-19.872

Como cabía esperar, las tecnologías CPI & RF exhiben interesantes ahorros con respecto a la tecnología base considerada (FC).

Tabla 6.3: Inversión en equipamiento para las alternativas de producción

Proceso	Valor en USD			
	Equipo	Modificación	Uillaje	Total
Formado Clásico				
Prensa Dobladora	10.600	2.200	2.000	14.800
Prensa de corte	4.200	1.100	1.000	6.300
Prensa Perforadora	4.200	1.100	1.000	6.900
Subtotal Total USD				27.400
Corte y Perforado Integrado				
Prensa Dobladora	10.600	2.200	2.500	15.300
Prensa corte y perforado	6.400	5.200	3.000	14.600
Alimentador	2.200	1.200	0	3.400
Subtotal Total USD				33.300
Roll Former				
Subtotal Total USD	10.000	6.000	11.500	27.500

El estimado de inversiones para las 03 tecnologías productivas analizadas se muestra en la tabla 6.3 considerando sus componentes: Equipo básico, modificaciones y utillajes (matricería). Se trata de equipos de segunda mano, bien conservados; que la empresa puede adquirir a través de sus proveedores habituales.

Como referencia un Roll Former nuevo tiene un valor de mercado de unos USD 61.000 incluyendo los rodillos formadores y la matriz de corte/perforado, que al ser comparado con el valor de equipo usado; muestra que este último, incluyendo las modificaciones, requiere de una inversión inferior a la mitad de la del equipo nuevo.

Con esos antecedentes, el análisis de los indicadores de proyecto procede como se muestra en la tabla 6.4.

Tabla 6.4: Indicadores de proyecto para el análisis marginal de flujo de ahorros e inversiones de procesos CPI & RF

Tecnología	CPI											
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Flujo (USD)	-33.300	14.688	14.688	14.688	14.688	14.688	14.688	14.688	14.688	14.688	14.688	
PRI	2,3	Años										
VAN (12%)	49.690	USD										
TIR	42,9	%										
Tecnología	RF											
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Flujo (USD)	-27.500	19.872	19.872	19.872	19.872	19.872	19.872	19.872	19.872	19.872	19.872	
PRI	1,4	Años										
VAN (12%)	84.781	USD										
TIR	71,9	%										

Los resultados de este análisis muestran que:

- i. La tecnología CPI desarrolla flujos anuales de ahorros de unos USD 14.700, que para una inversión de USD 33.000 recupera la inversión en unos 2,3 años con indicadores TIR y VAN muy buenos,
- ii. La tecnología RF desarrolla flujos anuales de ahorros de unos USD 19.900, que para una inversión de USD 27.500 recupera la inversión en 1,4 años con muy buenos indicadores TIR y VAN, y
- iii. La tecnología de mejores perspectivas económicas corresponde a RF, por lo cual claramente se justifica su selección para la producción de esta clase de productos intermedios.

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- La configuración y la puesta a punto del proceso productivo señala un muy buen término del proyecto. En efecto, con el control modificado el equipo permite fabricar las aletas CQ en forma continua y automática; por lo que se cumple con el objetivo general de este trabajo.
- La verificación de cumplimiento de los objetivos específicos permite señalar que: i. Se logra desarrollar el control del equipo RFEC, ii: Se logra modificar el equipo y, iii. Se materializa la integración de los equipos componentes y la línea RFEC se pone a funcionar.
- El sistema de control de corte que se elige, basado en el método registro piloto, con el tope TDL produce las aletas CQ con una tolerancia de las medidas mejor que la solicitada por el proyecto.
- El nuevo control y las modificaciones realizadas, permiten ajustes rápidos con los cambios de tamaño de aleta CQ.
- Como método para variar la velocidad de los Roll Formers los variadores de frecuencia prueban ser no solo de menor costo, sino también de un manejo fácil y eficiente. La empresa considera implementar este sistema en otros equipos de la planta.
- Se cuantifica, tanto en tiempo como en dinero, que la producción mediante Roll Former tiene costos de fabricación fuertemente más bajos que otras alternativas de producción. También se aprecian ahorros por reducciones en el movimiento y almacenaje de materiales, ya que se reduce el inventario de piezas a medio procesar.
- La tasa de producción que se logra al término de las modificaciones, de 1,25 s, para producir una pieza de 6 in de largo nominal; es la mitad de la que se usa para evaluar el proyecto. Al estar el equipo a cargo de producción, la velocidad baja; pero se mantiene más alta que la velocidad de evaluación
- La evaluación de inversiones para desarrollar el proyecto también es favorable, ya que el costo de un equipo usado es bastante inferior al de un equipo nuevo. El Roll Former es robusto y se predice un buen funcionamiento por unos 20 años. La prensa no tiene tan buen pronóstico, pero funciona mejor de lo esperado.
- Los gastos de modificación se mantuvieron dentro del presupuesto asignado. La inversión total se redujo, principalmente por USD 1.000 de descuento del equipo.
- Un estudio de costos más completo podría arrojar todas las ventajas del uso del Roll Former, pero la empresa no quiere usar recursos en demostrar con más exactitud lo ya demostrado.

8. CONCLUSIONES

- Con el control automático modificado el equipo permite fabricar aletas CQ en forma continua y automática; por lo que se cumple con el objetivo general de este trabajo.
- El sistema de control de corte, basado en el método registro piloto, con el tope TDL produce las aletas CQ con una tolerancia dimensional mejor que la solicitada por el proyecto.
- El nuevo control y las modificaciones realizadas, permiten ajustes rápidos con los cambios de tamaño de aleta CQ.
- Como método para variar la velocidad de los Roll Formers, los variadores de frecuencia prueban ser no solo de menor costo sino también de un manejo más fácil y eficiente de los equipos. La empresa patrocinadora considera implementar este sistema en otros equipos de la planta.
- Se cuantifica, tanto en tiempo como en dinero, que la producción mediante Roll Former tiene costos de fabricación fuertemente más bajos que otras alternativas de producción. Más difícil de cuantificar, hay también, un ahorro el movimiento y almacenaje de material al no tenerse piezas a medio procesar.
- El uso de Roll Former tiene un costo de inversión más bajo en equipos que los procesos alternativos y aunque no se evalúa, hay un ahorro en el espacio que ocupa la instalación.
- La prensa de corte tiene una mesa pequeña, por lo que la matriz de corte tiene un tramo corto para accionar la parada de emergencia, por lo que se acciona con pequeñas rebabas cosa que no pasa si el tramo de fuese mayor. Se puede considerar una mejoría al proyecto usar una prensa de mesa más larga
- El uso de fines de carrera en operaciones normales es poco aconsejable ya que su vida útil es limitada. El reemplazarlos por sensores es una mejor solución. En la parada de emergencia, que no se activa tan frecuentemente, el fin de carrera tiene la ventaja de que es más fácil de inspeccionar.
- Un estudio de costos más completo, podría arrojar todas las ventajas del uso del Roll Former, pero como empresa no quieren usar recursos en demostrar con más exactitud lo ya demostrado.

BIBLIOGRAFÍA

[1] RFC. Roll Forming Corporation. www.rfcorp.com

[2] CAIN, Eric. Producing an Angle

Reimpreso de FMA's Journal of the fabricator, 1978 (Illinois)

HALMOS, George T. (Ed.) High-Production Roll Forming 1ra Edición, Michigan-EEUU, Society of manufacturing Engineers, 1983, pag. 19

[3] ALVAREZ, William Roll Form Tool Design Fundamentals. New York, Industrial Press, 2006, 117p.

[4] CAIN, Eric. Roller Material and Length Control System.

Reimpreso de FMA's Journal of the fabricator, 1978 (Illinois)

HALMOS, George T. (Ed.) High-Production Roll Forming 1ra Edición, Michigan-EEUU, Society of manufacturing Engineers, 1983, pag. 11-13

[5] HALMOS, George T. Roll Forming Handbook. CRC Press, 2006, 549 p.

[6] AMS Controls www.amscontrols.com/products/controls/xl200-series-controls

[7] Schneider Electric/Telemecanic. Altivar 31 Variadores de velocidad ajustables, Guía de puesta en marcha, 2004.