

DISEÑO DE UNA MÁQUINA DOBLADORA DE LAMINAS PARA LA CONFORMACIÓN DE CAJAS DE CARTÓN

Juan José Roque Esquinca

Tecnológico Nacional de México en Celaya

juanjo.roque@hotmail.com

Roberto Carlos Saucedo Morales

Polygrapack SA de CV

rocasm88@hotmail.com

Luis Alejandro Alcaraz-Caracheo

Tecnológico Nacional de México en Celaya

alejandro.alcaraz@itcelaya.edu.mx

Resumen

En trabajo se expone la metodología seguida y la revisión bibliográfica necesaria para el diseño conceptual de una máquina dobladora de láminas de cartón con dimensiones menores a las comerciales. Durante el proceso se presta gran atención al mecanismo de doblado debido a que es un aspecto fundamental para la reducción del tamaño de la máquina. Para comprobar el correcto funcionamiento del diseño del mecanismo de doblado se empleó un software de simulación dinámica donde se analizó las velocidades y trayectorias de este. El diseño conceptual de la máquina propuesto abarca la geometría, materiales sugeridos y la selección de motores.

Palabras Clave: Cartón corrugado, Diseño conceptual, Síntesis de mecanismo.

Abstract

This paper presents the methodology followed and the literature review necessary for the conceptual design of a folding machine of cardboard sheets with smaller dimensions than commercial. During the process the bending mechanism

is given great attention because it is a fundamental aspect for the reduction of the size of the machine. In order to verify the correct operation of the design of the folding mechanism, a dynamic simulation software was used where the speeds and trajectories of this were analyzed. The conceptual design of the proposed machine cover geometry, suggested materials and engine selection.

Keywords: *Conceptual design, Corrugated cardboard, Mechanism synthesis.*

1. Introducción

El cartón corrugado es uno de los materiales más utilizados para envase y embalaje debido a sus diversas ventajas como la protección de su contenido durante su transporte y almacenamiento, identificación e imagen, economía, así como su naturaleza reciclable [1]. El cartón corrugado es una estructura formada por un nervio central de papel ondulado, reforzado externamente por dos capas de papel pegadas con adhesivo en las crestas de la onda. Es un material liviano, cuya resistencia se basa en el trabajo conjunto de estas tres láminas de papel.

Las cajas plegadas son paquetes de cartón o cartón corrugado que dependiendo de su diseño son pegadas en uno o más lugares durante el proceso de doblado, como regla las cajas de cartón son producidas a partir de una lámina y esta debe ser pegada por lo menos de un borde [2].

El proceso actual de pegado es solo una pequeña parte de un complejo proceso mecánico, dependiendo del tipo de caja varios dobleces tienen que hacerse en dirección transversal o longitudinal al movimiento de la máquina. Las máquinas de pegado y doblado para conformar cajas a partir de láminas de cartón usualmente tienen al menos las siguientes estaciones de procesamiento [3]:

- Alimentación: Es una unidad, la cual arrastra una lámina del stock para así alimentar individualmente la siguiente estación, cada tiempo la lámina más baja es arrastrada dentro de la máquina mediante bandas, gracias a paletas de altura ajustables la sobrealimentación es prevenida.
- Aplicadora de adhesivo: Es una unidad que generalmente mediante un rodillo aplica una tira de pegamento sobre la ceja que se va a unir.

- Doblado: Estación en donde las partes a las que se le coloraron adhesivos son dobladas 180° con la finalidad de unir las dos partes, generalmente en esta sección se utilizan bandas y guías para realizar el trabajo.

Después de la estación de doblado, es muy común una estación de transferencia, donde las cajas pueden ser contadas y marcadas, consecuentemente una estación de recolección y prensado la cual retiene bajo presión por un determinado tiempo las dos porciones de la caja para que sean unidas por el adhesivo. El transporte de las láminas a través de todas las estaciones se realiza a través de bandas, por defecto dos pares de bandas son usadas por todo el ancho de la máquina y se pueden posicionar transversalmente para ajustarse a diferentes diseños de cajas, en la figura 1 se muestra una maquina MASTERFOLD 110G Folder-gluer.

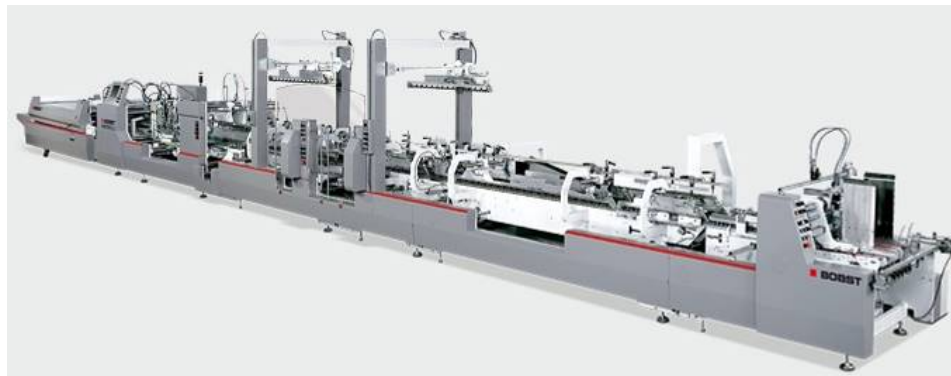


Figura 1 MASTERFOLD 110G Folder-gluer.

2. Métodos

La construcción de esta máquina debe de cumplir con algunos requerimientos técnicos como:

- Capacidad de producción de 3,000 cajas/h
- Automática
- Facilidad de construcción
- Bajo costo de mantenimiento
- Facilidad de operación

Para conocer el orden de importancia de cada una de las especificaciones se desarrolló un matriz de comparación que se muestran en la tabla 1, en la cual se comparan cada una de las especificaciones y se les da un valor de 1 si es más importante y 0 si es menos importante [4].

Tabla 1 Tabla de ponderación de requerimientos.

	a	b	c	d	e	Suma	%
a	x	1	1	1	1	4	40
b	0	x	1	1	1	3	30
c	0	0	X	0	0	0	0
d	0	0	1	x	0	1	10
e	0	0	1	1	x	2	20
Total						10	100 %

Metodología de diseño

El proceso de diseño comienza con la identificación de una necesidad y la decisión de resolverla, después de muchas iteraciones, termina con la presentación de los planes para satisfacerla. De acuerdo con la naturaleza del diseño, algunas fases se repiten durante la vida del producto, desde la concepción hasta la terminación.

Como parte del proceso de diseño se revisaron diferentes metodologías con la finalidad de escoger la que más se adapte a nuestro problema, muchos de estas metodologías se enfatizan más en la necesidad de un mayor trabajo analítico para la generación de una solución [5].

La metodología utilizada en este proyecto está basada en la propuesta de Pahl y Beitz (1984) [4]. En la figura 2 se muestran los pasos de la metodología empleada para el desarrollo del proyecto.

Para el desarrollo de esta metodología la máquina entera se dividió en los principales subsistemas que la conforman como se muestra en la figura 3.

Generación de alternativas

Una vez definidas las diferentes secciones de la máquina en las que está basado su funcionamiento, para poder determinar cuál de las alternativas se

adecuaba más a las necesidades, se desarrolló una matriz morfológica donde se describen cada una de las alternativas de los diferentes subsistemas como se aprecia en la tabla 2, esto se hizo en base a la metodología de Cross [4].

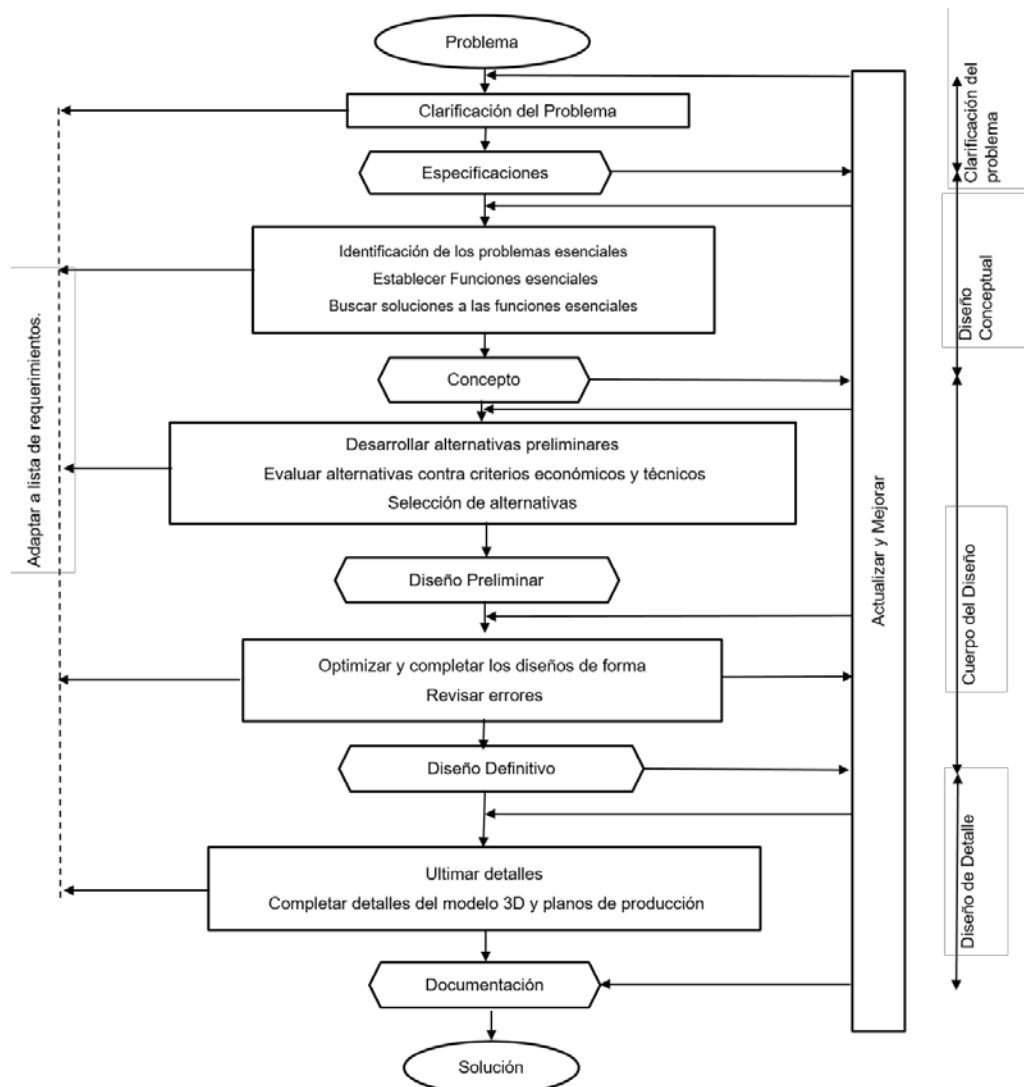


Figura 2 Metodología del proceso de diseño.

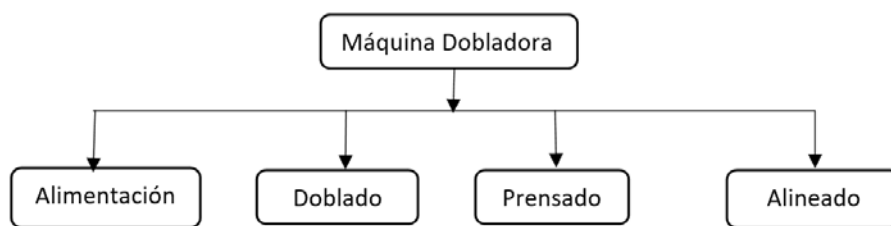


Figura 3 Subsistemas de la máquina.

Tabla 2 Morfológica de funciones.

Soluciones	1° Alternativa	2° Alternativa
Funciones Secundarias		
Sistema de Pegado		
Sistema de Doblado		
Sistema de Prensado		

Evaluación de alternativas

Para proceder a evaluar las alternativas que se desarrollaron, se utiliza la metodología de Cross [4], en el cual se utiliza una suma ponderada de cada una de las alternativas generadas, en ella se toma como referencia una de las alternativas para poder comparar con las demás, teniendo como valores límite 0 y 4, donde 0 es una ponderación débil y 4 es una máxima.

Tabla 3 Evaluación de alternativas.

		Sistema de Pegado				Sistema de Doblado				Sistema de Prensado			
Criterios de selección	Peso (%)	1° Altn.		2° Altn.		1° Altn.		2° Altn.		1° Altn.		2° Altn.	
		Cal.	Ev.	Cal.	Ev.	Cal.	Ev.	Cal.	Ev.	Cal.	Ev.	Cal.	Ev.
Capacidad de producción	40	3	120	4	160	4	160	3	120	3	120	4	160
Automática	30	2	60	4	120	4	120	3	90	3	120	4	120
Facilidad de construcción	0	3	0	3	0	3	0	4	0	2	0	3	0
Bajo costo de mantenimiento	10	1	10	2	20	4	40	3	30	3	30	4	40
Facilidad de operación	20	3	60	3	60	3	60	3	60	4	80	4	80
	Total	250		360		380		300		350		400	

Sistema de alimentación

La función del sistema de alimentación es el de proveer a los siguientes subsistemas de la máquina; la mayoría de las máquinas comerciales utilizan en esta área un sistema de vacío para que el proceso de alimentación sea consecutivo, de esta manera se evita que suceda una sobrealimentación en las siguientes estaciones, de igual manera el uso de guías en esta área previene que las láminas sufran alguna desalineación que afecte el consecuente doblado de la misma.

El sistema generador de vacío es el encargado de succionar la lámina inferior del stock, este sistema debe ser lo suficientemente fuerte para poder arrastrar la lámina debido a que esta última está sometida al peso del stock de láminas.

Un elemento fundamental en el sistema de alimentación es el soporte del stock de láminas, es de importancia ya que con este es posible regular el ángulo y altura de entrada de las cajas, los cuales pueden afectar el estado de la lámina al momento de entrar a la máquina. Esta parte del sistema trabaja en conjunto con una serie de paletas que se adaptan a la altura de la lámina las cuales estarán en la entrada de la máquina como se puede apreciar en la figura 4.

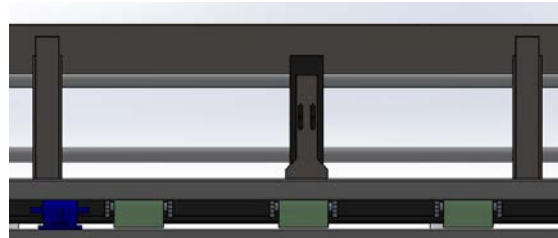


Figura 4 Guías de láminas.

Este sistema de soporte es capaz de adaptarse a los diferentes tamaños de láminas de manera automática apoyándose en un mecanismo de piñón cremallera que tendrá la función de mover la base a apoyo de manera longitudinal.

Sistema de pegado

Una parte esencial en la máquina es la forma de aplicar el adhesivo a la ceja de la lámina, de manera convencional los equipos utilizan una aplicación a base de

rodillos estriados los cuales se encargan de impregnar la ceja con adhesivo, sin embargo, para este diseño se seleccionó un sistema de aplicación presurizado el cual consta de un depósito de adhesivo presurizado y una válvula que es la encargada de proveer el adhesivo a las cejas de las láminas, este sistema tiene la capacidad de moverse de manera transversal por la mitad del sistema de alimentación, de tal manera que sea capaz de adaptarse a los diferentes tamaños de lámina con la que sea capaz de trabajar la máquina, en la figura 5 se muestra este sistema.

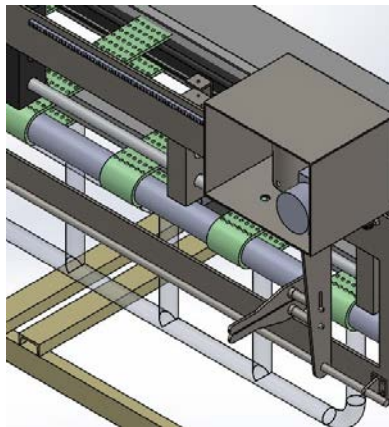


Figura 5 Sistema de aplicación de adhesivo.

Para el subsistema de pegado se seleccionó en base a la matriz de ponderación la segunda alternativa la cual cumple con los requisitos establecidos por el cliente para la máquina. La alternativa seleccionada opera a través de una válvula de pegado con cola fría que opera con aire, la cual al recibir la señal de activación dispensa una pequeña cantidad de pegamento en la ceja. Al funcionar con aire la velocidad de trabajo de la válvula es mayor que un rodillo convencional, así como los requisitos necesarios para su funcionamiento son menores sin mencionar que requiere menor cantidad de mantenimiento.

Sistema de prensado

El sistema de prensado tiene la finalidad de someter a cierta presión la unión de la ceja con el resto de la caja de tal manera que el pegamento sea capaz de unir

ambos extremos de la lámina para que la caja sea conformada. Este sistema está conformado por dos partes, la primera es un sistema de bandas inferiores que son las encargadas de transportar la lámina por todo el sistema, que dependiendo de las dimensiones de la lámina la velocidad está limitada ya que la calidad de las cajas puede llegar a disminuir, la parte superior está compuesto por una serie de rodillos de acero con la finalidad de presionar la unión de ambos extremos de la caja para que el pegamento seque, en la figura 6 se puede apreciar este sistema.

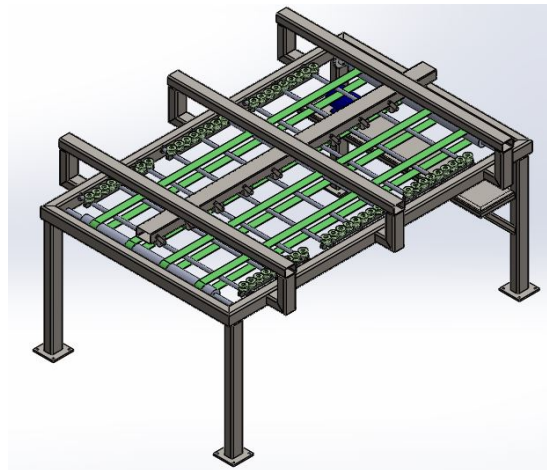


Figura 6 Sistema de prensado.

Para economizar el diseño los rodillos utilizados en este sistema serán fabricados de un acero de baja aleación, debido que no está sometido a ambientes agresivos no requieren de ningún tratamiento superficial simplemente una capa de pintura antioxidante será aplicada.

Otro factor importante de este sistema es el uso de rodillos laterales que ejercen una pequeña fuerza en ambos lados de la caja de tal manera que esta quede completamente alineada y la unión sea la mejor posible, este sistema se ajusta de manera manual debido al costo no es muy factible hacerlo automático.

Sistema de alineado

El sistema de alineado tiene la finalidad de acomodar las cajas que ya se encuentren unidas por el pegamento de tal manera que facilite el manejo de estas

y se agrupen en un determinado número de cajas para que sean flejadas para su posterior transporte al cliente.

El sistema cuenta con un mecanismo de vaivén que tiene la finalidad de empujar las cajas contra una placa para que todas las cajas se encuentren alineadas, en esta parte es posible agregar un subsistema para mantener presionada las cajas que están alineadas a través de un pequeño peso, de esta manera es posible llevar un conteo del número de cajas alineadas, teniendo esto es posible hacer paquetes agrupados en diferentes números.

Sistema de doblado

Esta parte de la maquina es la de mayor peso en las dimensiones de la misma, ya que las máquinas comerciales funcionan a base de bandas y guías de doblado las cuales debido a su naturaleza requieren de dimensiones muy grandes para poder realizar la función correctamente.

Síntesis de mecanismo

Debido a que se dispone de poco espacio para montar la máquina, se propuso cambiar el sistema convencional de doblado y sustituirlo por un mecanismo de 4 barras tipo manivela-balancín, el cual es el encargado de doblar dos extremos de la lámina para conformar la caja.

Un mecanismo de cuatro barras es utilizado para transformar el movimiento rotacional en un movimiento oscilatorio, en algunos casos una alta fuerza es transmitida [6]. La síntesis de mecanismos de cuatro barras ha sido ampliamente estudiada durante las pasadas décadas, en general la síntesis dimensional de un mecanismo de cuatro barras es categorizada en tres clases: generación de función, generación de gráfica y generación de movimientos [7]. Existen dos tipos de generación de graficas nombradas: punto a punto y continua, en caso de un mecanismo planar de cuatro barras, existen al menos nueve parámetros y un valor Booleano los cuales definen el ensamble de los eslabones [8].

En la figura 7 muestra un mecanismo manivela-balancín. El balancín DC oscila entre dos posiciones extremas, DC_1 y DC_2 , con un correspondiente ángulo de

apertura ψ del balancín y las posiciones de la manivela AB_1 y AB_2 . Si la velocidad angular de la manivela es constante, la relación de tiempos K puede ser definida con ecuación 1.

$$K = \frac{T.T.}{T.R.} \quad (1)$$

En donde $T.T.$ es el tiempo de trabajo y $T.R.$ es el tiempo de retorno del balancín.

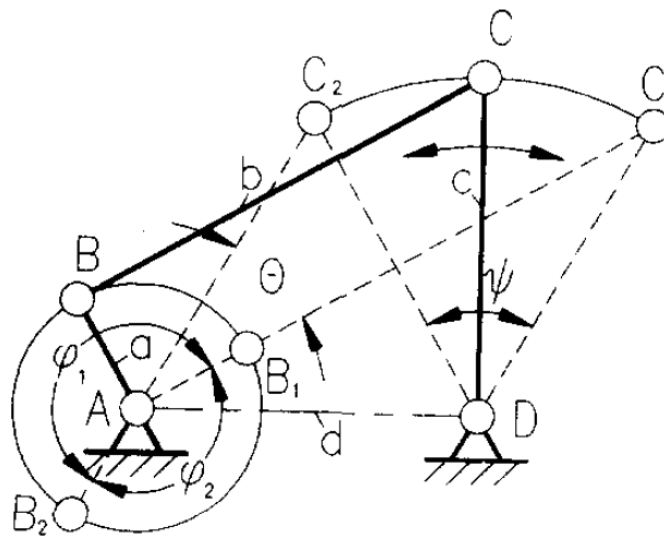


Figura 7 Mecanismo manivela-balancín [9].

En la figura 7 $\theta = \angle C_1AC_2$. Puede ser deducido que cuando $K = \varphi_1/\varphi_2 > 1$, se obtiene ecuación 2 para mecanismos de retorno lento.

$$\theta = \frac{K - 1}{K + 1} \angle 180^\circ \quad (2)$$

En caso de que $K = \varphi_2/\varphi_1 < 1$ para mecanismos de retorno rápido:

$$\theta = \frac{1 - K}{1 + K} \angle 180^\circ \quad (3)$$

Para la aplicación de mecanismo es necesario que el tiempo de retorno sea más rápido al de trabajo, para ello se adecuaron a los siguientes datos: $T.T. = 1$ $T.R. = 0.59$, sustituyendo los datos en la ecuación 1 se obtiene:

$$K = \frac{1}{0.59} = 1.69$$

Sustituyendo el valor de K en (2) se obtiene:

$$\theta = \frac{1.694 - 1}{1.694 + 1} \angle 180^\circ = 46.36^\circ$$

En la figura 8 se muestra un método gráfico de síntesis de mecanismo manivela-balancín con K , ψ y la dimensión del balancín c . Las dos posiciones extremas del balancín DC_1 y DC_2 son dibujadas utilizando el eslabón c y ψ . El ángulo θ es obtenido de las ecuaciones (2) o (3). Una línea OC_1 de C_1 en un ángulo $\angle C_2C_1O = 90^\circ - \theta$ a la línea C_1C_2 es dibujado, la cual intersecta con la perpendicular con la línea C_1C_2 en el punto O. un círculo con radios OC_1 y OC_2 con centro en O es dibujado de esta manera $\angle C_1AC_2 = \theta$ es garantizado cuando el punto A esta en una gráfica circular. De esta manera, el mecanismo obtenido puede satisfacer las condiciones especificadas de K y ψ . Conectando C_1 y F, se dibuja un círculo de diámetro C_1F con centro en O. Este círculo intersecta con la línea AC_1 en B_1 . Así las longitudes de los eslabones AB y BC son obtenidas.

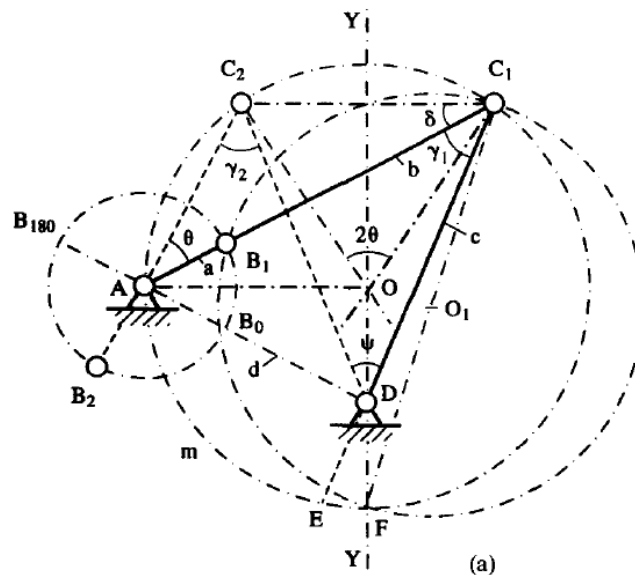


Figura 8 Método gráfico de síntesis [9].

Para un mejor control del movimiento de este mecanismo se optó por seleccionar un servomotor, el cual facilitara su control y ajuste de velocidad del mismo para ajustar la producción de cajas, por cuestiones económicas y familiaridad con el producto se seleccionó un servomotor Delta modelo ECMA-CX60RH [10].

La aplicación de este mecanismo en la máquina pegadora hará reducir en un 30% la longitud de la máquina, sin embargo, el uso de este mecanismo reducirá de manera notoria la velocidad de producción esto es debido a que este tipo de mecanismos no pueden ser sometidos a altas velocidades de funcionamiento, pero para la aplicación a la que lo vamos a someter cumple con la función.

3. Resultados

En la figura 9 se muestra el diseño conceptual el cual fue modelado en un Software CAD para mostrar más a detalle alguno de los componentes del sistema.

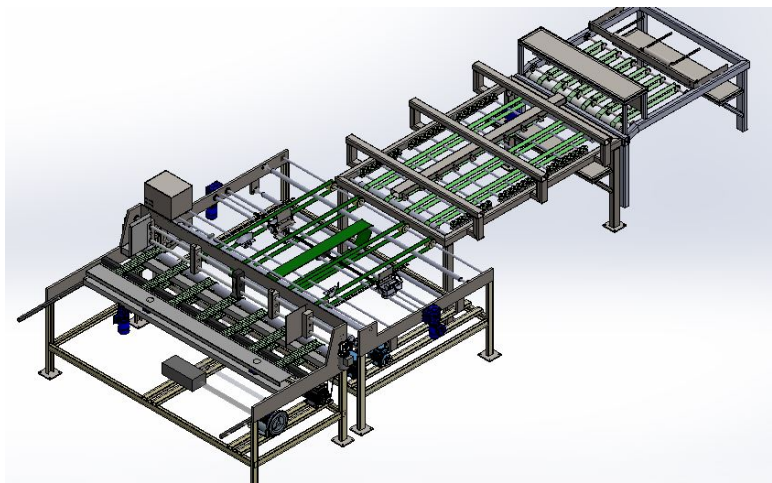


Figura 9 Diseño conceptual de la máquina dobladora.

Para poder validar el diseño del mecanismo doblador, se realizó un análisis de velocidad, posición y aceleración utilizando ADAMS, en donde se simuló únicamente la velocidad máxima de producción. El objetivo de este análisis era comprobar que el mecanismo sintetizado cumpliera con las velocidades máximas de trabajo, así como el movimiento del balancín sea es que se propuso, la figura 10 muestra las condiciones mediante el cual fue realizada la simulación.

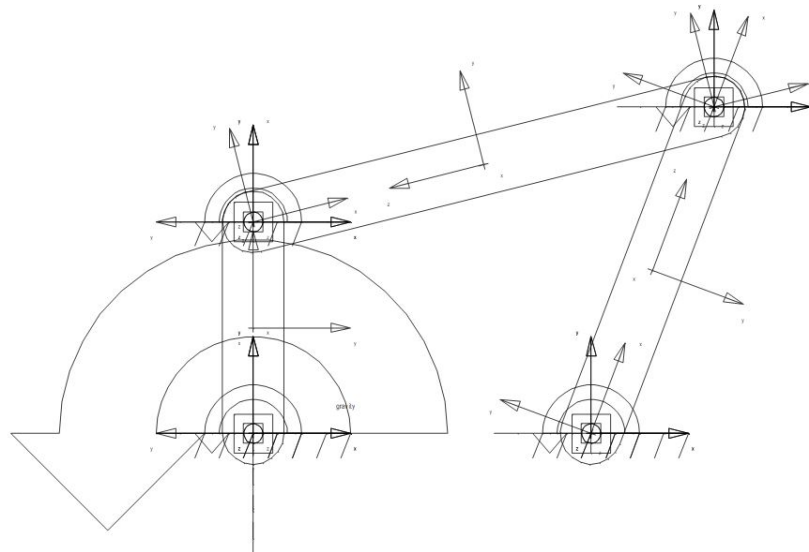


Figura 10 Simulación en ADAMS.

Una vez realizada la simulación en ADAMS se graficó la posición del balancín en base al tiempo, así como también se graficó la velocidad del mismo balancín, los cuales se muestran en la figura 11 y figura 12 respectivamente.

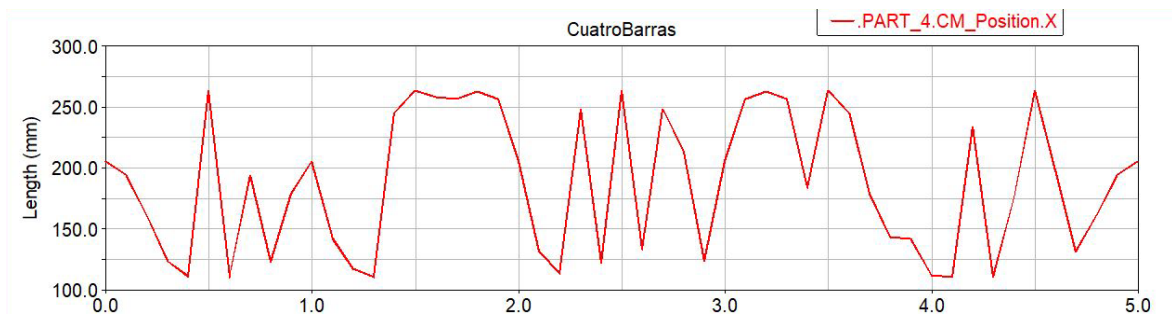


Figura 11 Desplazamiento vs tiempo.

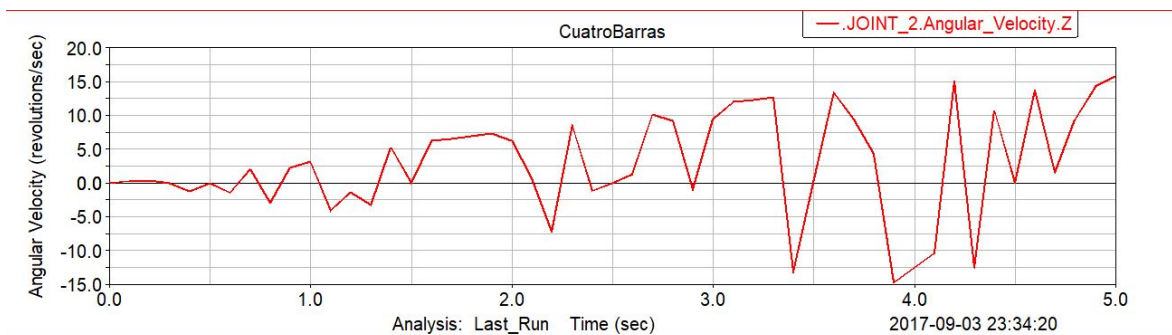


Figura 12 Velocidad vs tiempo.

4. Discusión

Es de vital importancia tomar en cuenta muchas consideraciones cuando se trata de cambiar el principio de funcionamiento de un equipo, debido a que se deben cumplir con las especificaciones ya sea del cliente o de producción. En función de estos requerimientos se propusieron diferentes diseños los cuales se sometieron a una evaluación de función de calidad a través del cliente.

De acuerdo con lo revisado en la bibliografía la mayoría de los equipos comerciales que son capaces de realizar estos trabajos cuentan con los diferentes subsistemas aquí mencionados, de igual manera al reemplazar el sistema convencional de doblado, el equipo tendrá una disminución notable en su longitud la cual es conveniente para lugares con poca disponibilidad de espacio.

Con los resultados que arrojó el análisis del mecanismo se puede observar que el mecanismo sintetizado es capaz de realizar el trabajo al que será sometido pues cumple con los movimientos requeridos y las velocidades necesarias.

5. Bibliografía y Referencias

- [1] Johnson, Shane y Popil, Roman, Corrugated board bonding defect visualization and characterization, *International Journal of Adhesion & Adhesives*. Vol. 59, pp. 105-114, 2015.
- [2] Heidelberger Druckmaschinen Aktiengesellschaft (2013), *Folded Box Gluing Machine For Production Of Folded Boxes From Blanks*, U.S. 8506464 B2
- [3] Heidelberger Druckmaschinen Aktiengesellschaft (2010), *Folded Box Gluing Machine With Improved Accessibility*, U.S. 7678035 B2
- [4] Cross, Nigel, *Engineering Design Methods*. 4° Edición, Pág. 43, 2005.
- [5] Budynas, R. y Nisbett, K, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. 9° edición Pág. 5, 2012.
- [6] Khare, A. K. y Dave, R. K., *Optimizing 4-bar Crank-Rocker Mechanism, Mechanism and Machine Theory*, Vol. 14, pp. 319-325, 1979.
- [7] Hadizadeh, Sahand y Nahvi Ali, *Optimal synthesis of four-bar path generator linkages using Circular Proximity Function*. *Mechanism and Machine Theory*. Vol. 115, pp. 18-34, 2017.

- [8] Lug, Ming y Leu Yonghou, Design of crank-rocker mechanisms with optimum transmission angle over working stroke. *Mech. Mach. Theory*. Vol. 31 No.4, pp. 501-506, 1996.
- [9] Vilas, Pasad y Ghosal, Ashitava, Optimal synthesis of adjustable planar four-bar crank-rocker type mechanisms for approximate multi-path generation. *Mechanism and Machine Theory*. Vol. 69, pp. 263-277, 2013.
- [10] ASDA-M Series User Manual, Delta, 2013.