



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



**POSGRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA  
DISEÑO MECÁNICO**

**DISEÑO CONCEPTUAL DE UN AGITADOR  
QUE REDUZCA EL TIEMPO DE  
ESTERILIZACIÓN EN UNA AUTOCLAVE  
INDUSTRIAL**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE MAESTRO EN INGENIERÍA**

**PRESENTA:**

**Jorge Enrique Uribe Juárez**

**ASESOR:**

**Doctor Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich**

**México Distrito Federal; 10 de Enero de 2012**

## RESUMEN.

En el presente trabajo de tesis se abordan aspectos fundamentales del proceso de esterilización en productos alimenticios, como son: microbiología de los alimentos, historia de la temperatura en un proceso y las desviaciones durante el proceso.

También se presenta el estado del arte actual de las autoclaves utilizadas en la esterilización de productos alimenticios: tipos de autoclaves, patentes, tecnologías convencionales y tecnologías emergentes.

Empleando un software de programación matemática se estudió el comportamiento de la posición, velocidad y aceleración de 3 mecanismos. Con los resultados obtenidos se elaboró una matriz de selección de conceptos.

## ABSTRACT.

This thesis deals with fundamental aspects of the sterilization process in food products, such as: food microbiology, history of a process temperature deviations in the process. It also presents the current state of the art of autoclaves used for sterilization of food products: types of autoclaves, patents, technologies, conventional and emerging technologies.

Using mathematical programming software we studied the behavior of the position, velocity and acceleration of 3 mechanisms. The results obtained are elaborated a concept selection matrix.

## ÍNDICE GENERAL.

RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	I
GLOSARIO.....	II
OBJETIVO GENERAL.....	III
OBJETIVOS.....	III
INTRODUCCIÓN.....	IV
HIPÓTESIS.....	V
CAPÍTULO I.- ESTADO DEL ARTE.....	1
1.1.- ENVASES PARA ALIMENTOS.....	1
1.1.1.- Vidrio.....	2
1.1.2.- Metal.....	4
1.1.3.- Plástico.....	5
1.1.4.- Papel.....	7
1.2.- CONSERVACIÓN POR CALENTAMIENTO.....	8
1.2.1.- Calentamiento óhmico.....	8
1.2.2.- Calentamiento con microondas.....	9
1.3.- OTRAS TECNOLOGÍAS DE CALENTAMIENTO EMERGENTES.....	9
1.3.1.- Calentamiento infrarrojo (IR).....	9
1.3.2.- Calentamiento con radiofrecuencias (RF).....	10
1.4.- CLASIFICACIÓN DE LAS AUTOCLAVES.....	10
1.4.1.- Autoclave continúa.....	10
1.4.2.- Autoclave hidrostática.....	11
1.4.3.- Sistema de esterilización por flama.....	12
CAPÍTULO II.- DEFINICIÓN DE LA NECESIDAD.....	16
2.1.- INTRODUCCIÓN.....	16
2.2.- NECESIDADES MAQUÍNARIA JERSA.....	17
2.3.- NECESIDADES DE LAS EMPRESAS.....	19
2.4.- NECESIDADES DEL PRODUCTO.....	20
CAPÍTULO III.- GENERACIÓN DE CONCEPTOS.....	22
3.1.- INTRODUCCIÓN.....	22
3.2.- GRADOS DE LIBERTAD.....	22

3.3.- ANÁLISIS DE POSICIÓN.....	23
3.3.1.- Matrices de rotación.....	23
3.3.2.- Caso 1.- Punto de vista pasivo.....	23
3.3.3.- Caso 2.- Punto de vista activo.....	25
3.4.- ANÁLISIS DE LA VELOCIDAD.....	26
3.5.- ANÁLISIS DE LA ACELERACIÓN.....	27
3.6.- DETERMINACIÓN DE LAZOS EN MECANISMOS.....	27
3.7.- MECANISMO DE 6 BARRAS Y ENGRANES.....	29
3.8.- MECANISMO DE 4 BARRAS, CORREDERA Y ENGRANES VERTICAL.....	33
3.9.- MECANISMO DE 4 BARRAS, CORREDERA Y ENGRANES HORIZONTAL.....	38
3.10.- MECANISMO BIELA-MANIVELA-CORREDERA HORIZONTAL Y VERTICAL.....	42
3.11.- MECANISMO DE TRES BARRAS Y ENGRANES.....	47
3.12.- MECANISMO DE 4 BARRAS.....	49
CAPÍTULO IV.- COMUNICACIÓN DEL DISEÑO.....	51
4.1.- INTRODUCCIÓN.....	51
4.2.- VENTAJAS DEL PROCESO DE ESTERILIZACIÓN POR CONVECCIÓN FORZADA. ..	54
4.3.- COSTO-FUNCIÓN.....	56
4.4.- EVALUACIÓN DE CONCEPTOS.....	60
4.5.- CONCEPTO FINAL.....	61
RESULTADOS OBTENIDOS.....	62
CONCLUSIONES.....	63
LO QUE SE APRENDIÓ DURANTE EL TRABAJO.....	64
TRABAJO PENDIENTE.....	65
BIBLIOGRAFÍA.....	66

## GLOSARIO.

$h$	Coefficiente de transferencia de calor por convección, $W/m^2\cdot^{\circ}C$ .
$A_s$	Área superficial de transferencia de calor, $m^2$ .
$T_s$	Temperatura de la superficie, $^{\circ}C$ .
$T_{\infty}$	Temperatura del fluido suficientemente lejos de la superficie, $^{\circ}C$ .
$T_p$	Temperatura a la que el proceso se realiza en minutos.
$F_T$	Tiempo que la temperatura se aplica.
$F_0$	Tiempo que se requiere a $250^{\circ}F$ para la destrucción de <i>C. botulinum</i> .
$i_1, j_1$	Base local.
$i_0, j_0$	Base inercial.
$R$	Vector inercial o vector que vive en la base.
$[R]$	Matriz de cambio de base inercial.
$r$	Vector local o vector que vive en la base local.
$[W]R$	Velocidad por cambio de orientación.
$[R_{\theta}]v$	Velocidad por cambio de magnitud.
$[W]$	Matriz de velocidad.
$[A]R$	Aceleración por cambio de orientación
$2[W][R_{\theta}]v$	Aceleración por cambio de orientación y magnitud (Aceleración de Coriolis)
$[R_{\theta}]a$	Aceleración por cambio de magnitud.

## OBJETIVO GENERAL.

Diseñar de manera simple un mecanismo que aumente la eficiencia térmica de un esterilizador mediante el diseño conceptual.

## OBJETIVOS.

- 1.- Realizar una búsqueda bibliográfica del estado de las tecnologías implementadas en mejorar la eficiencia térmica de las autoclaves.
- 2.- Conocer las necesidades de los usuarios implicados en la cadena de producción y consumo de productos enlatados.
- 3.- Obtener de manera gráfica la posición, velocidad y aceleración de algunos mecanismos.
- 4.- Reportar los resultados obtenidos durante la realización del presente trabajo.

## INTRODUCCIÓN.

Aumentar la transferencia de calor durante el proceso de esterilización no es nada nuevo, sin embargo, el diseño de un mecanismo para este fin ha sido estudiado muy poco, debido a la complejidad de combinar las funciones de las velocidades del mecanismo y las velocidades de transferencia de calor por convección.

## HIPÓTESIS.

La zona central del producto contenida en un envase es la última en llegar a la temperatura del proceso de esterilización, al agitar un producto líquido durante el proceso de esterilización aumentamos la transferencia de calor de manera homogénea reduciendo significativamente el proceso de esterilización teniendo así grandes ahorros de tiempo y energía que representen una ventaja competitiva.



## CAPÍTULO I.- ESTADO DEL ARTE.

### 1.1.- ENVASES PARA ALIMENTOS.

Las principales funciones de un envase son contener el producto y protegerlo contra una serie de peligros que puedan afectar adversamente su calidad durante el manejo, distribución y almacenamiento. El empaque también juega un papel importante en la comercialización y venta del producto. Con el contexto, se puede dar la siguiente definición: “El envase es la protección de los materiales por medio de contenedores para aislar el contenido, en cierto modo, de las influencias externas. De esta manera, el producto se encuentra en un entorno adecuado dentro del envase”.

Hoy en día la mayoría de los alimentos se venden al consumidor en una forma compacta. Incluso los alimentos que se venden sin empaquetar, como algunas frutas y verduras, sea en bolsas, en cajas o de otras maneras son envasados crudos en algún momento de su distribución. Es importante tomar en cuenta a los envases como parte importante del proceso y conservación de alimentos. El éxito de los métodos de esterilización depende en gran medida en la utilización del empaque adecuado. Es esencial tener en cuenta al envasado como una etapa temprana en cualquier ejercicio de desarrollo de productos, no solo por su importancia técnica, sino, también por sus consecuencias financieras. El empaque no debe dar lugar a ningún riesgo para la salud del consumidor. El empaque no debe conducir a la proliferación de microorganismos patógenos en condiciones anaeróbicas, se creen dentro del empaque [James G. Brennan (2006)].

Sin embargo, las funciones básicas de los envases se pueden especificar como:

**Tabla 1.1.-** Funciones de los empaques [Richard Coles (2003)].

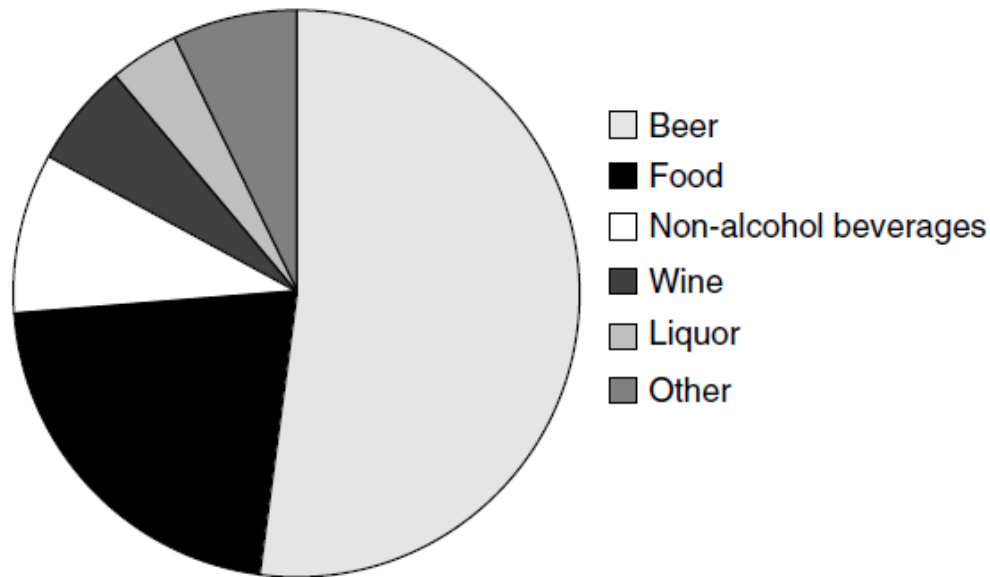
Función	Descripción
Contención	Depende de la forma física del producto y su naturaleza.
Protección	La prevención de daños mecánicos debido a los peligros de la distribución.
Conservación	La prevención de o inhibición de los cambios químicos, bioquímicos y deterioro microbiológico.
Información sobre el producto	Los requisitos legales, los ingredientes del producto, uso, etc.
Comodidad	Para los controladores de carga y el usuario a lo largo de la cadena de envasado.
Presentación	El tipo de material, forma, tamaño, color, artículos de visualización, etc.
Comunicación de la marca	Símbolos, gráficos, publicidad y color, para crear un impacto visual.
Promoción (venta)	Producto adicional gratis, nuevo producto, etc.
Economía	Por ejemplo, la eficiencia en la distribución, producción y almacenamiento.
Responsabilidad ambiental	En la fabricación, uso, reutilización o reciclaje y disposición final.

1.1.1.- Vidrio.

El vidrio es uno de los más antiguos materiales fabricados y uno de los negocios de fabricación por primera vez en el Nuevo Mundo. Sin embargo, el vidrio sigue sirviendo como un importante material de envasado de alimentos.

**Tabla 1.2.-** Ventajas y desventajas de los envases de vidrio [Dennis R. Heldman (2007)].

Ventajas	Desventajas
Inerte	Pesado
Barrera total para: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gas</li> <li>• Vapor de agua</li> <li>• Aroma</li> </ul>	Vulnerable a fractura <ul style="list-style-type: none"> <li>• Por choque térmico</li> <li>• Por choque físico</li> </ul>
Buena resistencia a la compresión	No hay protección para la luz (carente de color)
Buena resistencia al calor	
Permite la visualización del producto	
Microondas	
Percepción del cliente de alta calidad	
Puede volverse a cerrar	
Reciclable	
Recargables	



**Figura 1.1.-** Producción de envases de vidrio por sector del mercado de alimentos [Dennis R. Heldman (2007)].

DISEÑO CONCEPTUAL DE UN AGITADOR QUE REDUZCA EL TIEMPO DE ESTERILIZACIÓN EN UNA AUTOCLAVE INDUSTRIAL.

---



**Imagen 1.1.-** Canastillas para envase de vidrio en una autoclave estática.



**Imagen 1.2.-** Canastilla para envase de vidrio en una autoclave con un mecanismo agitador.

En una autoclave estática los envases de vidrio se acomodan de manera vertical en las canastillas, además de poder encimar los envases y aprovechar la mayor cantidad de espacio posible. En una autoclave con un mecanismo agitador, el vidrio es vulnerable a la fractura, por lo que es necesario unos moldes en para poder sujetar los envases, los moldes y los envases hacen que el espacio de la canastilla aprovechado sea menor.

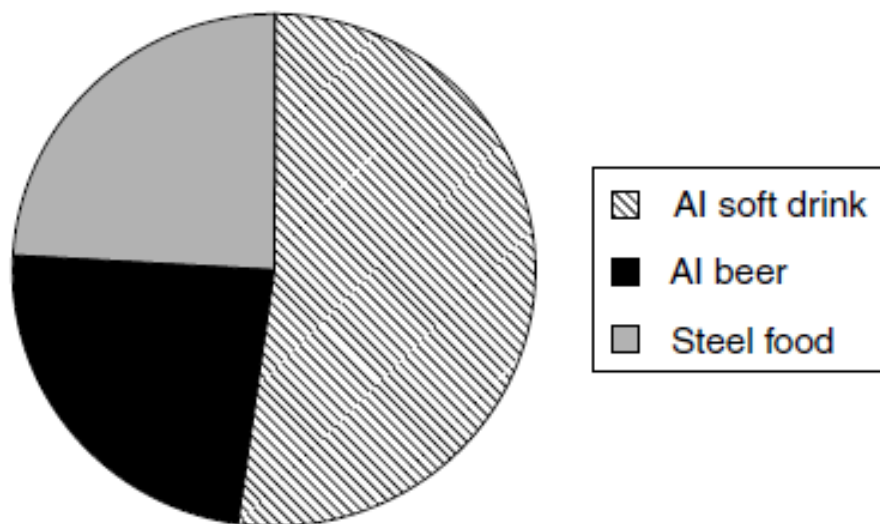
1.1.2.- Metal.

Latas de hierro estañado se han utilizado desde mediados del siglo 18 al conservar los alimentos procesados con calor.

Desde entonces, los grandes avances en la producción de acero y aluminio, revestimiento de estos metales, y la formación en contenedores han dado lugar a su ser material de embalaje importante.

**Tabla 1.3.-** Ventajas y desventajas de los contenedores metálicos [Dennis R. Heldman (2007)].

Ventajas	Desventajas
Barrera total para: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gas</li> <li>• Vapor de agua</li> <li>• Aroma</li> </ul>	No inerte, debe ser recubierto
Buena resistencia a la compresión	Moderadamente pesado
Buena resistencia al choque térmico y físico	Fabricación en múltiples pasos
Protección de la luz	No permite la visualización del producto
Reciclable	



**Figura 1.2.-** Producción de metales de embalaje por sector del mercado de alimentos [Dennis R. Heldman (2007)].



**Imagen 1.3.-** Canastilla para envase de metal en una autoclave con un mecanismo agitador.

El uso de envases metálicos en una autoclave con mecanismo agitador implica el uso de moldes que den sujeción al envase dentro de las canastillas. Debemos tener presente que los metales al ser sometidos a calor se expanden, por lo que los moldes de sujeción deban ser de plástico para permitir las expansiones de los envases y estos no truenen o se deformen.

#### 1.1.3.- Plástico.

Los plásticos son polímeros de alto peso molecular que puede ser moldeado en formas deseadas, tales como películas, bandejas, botellas y frascos con calor y presión. Dos grandes categorías de plásticos existen, los basados en polímeros termoplásticos y los basados en polímeros termoestables.

Los polímeros termoplásticos son lineales o ramificados, pero sin enlaces cruzados entre las cadenas de polímero. Estos polímeros ablandan y se funden al calentarse, volviendo a su estado original al enfriarse. Por lo tanto, pueden ser moldeados o extruidos en varias ocasiones. Esta propiedad permite que los plásticos para ser reciclados para muchos usos después de su uso en el envasado de alimentos. Los polímeros termoplásticos constituyen la categoría más importante de los plásticos utilizados para el envasado de alimentos. Estos plásticos exhiben una amplia gama de mecánicas, la barrera óptica, y las propiedades térmicas, dependiendo del polímero específico, el procesamiento de polímeros y aditivos para polímeros. Aditivos plastificantes pueden incluir para mejorar la FLEXIBILIDAD de plástico, estabilizadores para mejorar la resistencia a la degradación del polímero por el calor y la luz, y agentes antiestáticos para evitar que los plásticos se aferran a equipos de envasado.

Polímeros termoestables reticulares en una red creada cuando se calienta. Así, después de haber tomado en su forma elenco original, no pueden ser recalentados para el moldeado en formas nuevas. Polímeros termoestables desempeñar un papel importante en el envasado de alimentos, a menudo usados para la fabricación de cierres de paquete.

DISEÑO CONCEPTUAL DE UN AGITADOR QUE REDUZCA EL TIEMPO DE ESTERILIZACIÓN EN UNA AUTOCLAVE INDUSTRIAL.

**Tabla 1.4.-** Ventajas y desventajas de los envases plásticos [Dennis R. Heldman (2007)].

Ventajas	Desventajas
Materiales baratos	Componentes de los alimentos pueden absorber el plástico
Bajo costo de conversión a los envases	Baja resistencia a la compresión
Versátil <ul style="list-style-type: none"><li>• Flexible</li><li>• Rígido</li><li>• Semirrígido</li></ul>	Permeable a: <ul style="list-style-type: none"><li>• Gas</li><li>• Vapor de agua</li><li>• Aroma</li></ul>
Moldeable	La migración potencial de: <ul style="list-style-type: none"><li>• Monómeros</li><li>• Aditivos</li></ul>
Ligero	La falta de resistencia al calor (algunos)
No corrosible	No reciclables (algunos)
Resistente a los golpes	
Termosellable	
Transparente	
Puede ser pigmentado	
Microondas (algunos)	
Buena resistencia al calor (algunos)	
Reciclable (algunos)	



**Imagen 1.4.-** Canastilla para envase de plástico en una autoclave estática.



**Imagen 1.5.-** Canastilla para envase de plástico en una autoclave con un mecanismo agitador.

Los envases de plástico deben mantenerse separados, de lo contrario los envases se pegan y se obtiene un producto defectuoso. Las canastillas de las autoclaves estáticas y las autoclaves con mecanismo agitador no difieren mucho. Siendo el plástico el envase que se adapta con más facilidad a una autoclave estática y a una autoclave con mecanismo agitador.

#### 1.1.4.- Papel.

Más de papel se utiliza en el envasado de alimentos más que cualquier otro material. Se puede encontrar en todos los niveles de embalaje (primario, secundario, terciario y cuaternario).

**Tabla 1.5.-** Ventajas y desventajas de los envases de papel [Dennis R. Heldman (2007)].

Ventajas	Desventajas
Versátil <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rígido</li> <li>• Semirrígido</li> <li>• Flexible</li> </ul>	Insignificante resistencia a la: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vapor de agua</li> <li>• Aroma</li> <li>• Gas</li> </ul>
Protección mecánica	No termosellable
Barrera a la luz	No reciclables cuando están revestidos o laminados
Proviene de recursos renovables	
Reciclable	
Biodegradable	

## 1.2.- CONSERVACIÓN POR CALENTAMIENTO.

En esencia, todos los procedimientos de conservación por calentamiento extienden la vida de anaquel al destruir los microorganismos y/o desactivar las enzimas en alimentos frescos que puedan causar descomposición. El proceso incluye rangos de tratamiento muy suave hasta procesos de esterilización muy severos aplicados a algunos alimentos enlatados. El proceso de esterilización comercial por otro lado, se diseñó para destruir todos los microorganismos que podrían crecer en el producto terminado bajo condiciones en las cuales se almacena y distribuye. Desarrollos recientes en el procesamiento térmico se han concentrado en minimizar el daño a las características sensoriales del producto. Los productos más delicados como las sopas, salsas, productos lácteos y jugos de frutas pueden afectarse mucho con un proceso térmico.

Un procesamiento térmico efectivo, se basa en la definición de esterilización comercial emitida por la Food and Drug Administration (FDA, USA): “La aplicación de calor al alimento, antes o después de ser empacado en un contenedor sellado herméticamente, por un periodo de tiempo y a una temperatura determinada, que garantice la destrucción de microorganismos que puedan dañar la salud de los consumidores”. En México, la norma oficial NOM-130-SSA1-1995 define a la esterilización comercial como el tratamiento térmico aplicado al producto para la destrucción de todos los microorganismos viables de importancia en la salud pública y aquellos capaces de reproducirse en el alimento bajo condiciones normales de almacenamiento y distribución.

El desarrollo de procesamientos a temperatura ultra alta (UHT) y temperatura alta por corto tiempo (HTST) en combinación con un llenado aséptico, ha ayudado a resolver estos problemas. El procesamiento UTH logra una esterilidad comercial calentando el producto (generalmente líquidos) a temperaturas muy altas (130-145 °C), y mantener esa temperatura por corto tiempo, generalmente durante unos segundos. El producto se enfría rápidamente y envasa en cartón, botellas, bolsas, etcétera en un ambiente estéril. Esto significa que el producto permanece a una temperatura alta por el tiempo más corto posible lo que minimiza la pérdida de calidad pero maximiza la destrucción bacteriana. Estos sistemas se presentan para productos líquidos pero son más difíciles de aplicar en alimentos que contienen sólidos, como piezas de carne o trozos vegetales.

### 1.2.1.- Calentamiento óhmico.

El calentamiento óhmico genera calor al pasar una corriente eléctrica alterna a través de un alimento que tiene una resistencia eléctrica. El calor se genera directamente y no se necesita transferir calor dentro del alimento a través de la superficie. El rango de calentamiento se determina por el voltaje aplicado y por la conductividad eléctrica del producto. La cantidad de calor que se pueda aplicar depende de cuanta variación de conductividad exista en el producto y por el tiempo de resistencia. Se han investigado varias aplicaciones de calentamiento óhmico, incluyendo pasteurización continua y procesos de esterilización relacionado con un envasado aséptico. Tiene el potencial de producir calor a través de todos los componentes en un producto, aun cuando estén presentes partículas muy grandes.



Por tanto, tiene mucho potencial para alimentos líquidos que contienen sólidos como las sopas y salsas. Los alimentos listos para consumirse y la pasta se procesan de esta forma en Japón, pero en Europa está muy limitado.

**Tabla 1.6.-** Ventajas y desventajas del calentamiento óhmico.

Ventajas	Desventajas
Energéticamente muy eficiente	Alta inversión del equipo
Reduce el riesgo de contaminación	Es necesario controlar la conductividad del producto formulado y el pre-procesamiento
Calentamiento rápido (índices de calentamiento de hasta 1 °C por segundo)	
Control fácil del proceso	

### 1.2.2.- Calentamiento con microondas.

Las microondas generan calor por calentamiento dieléctrico, lo que en términos simples involucra la conversión de energía eléctrica en calor haciendo que las moléculas de agua en el alimento oscilen rápidamente en un campo eléctrico que cambia de dirección. Las moléculas absorben energía alternadamente y posteriormente se libera dentro de del alimento. El resultado es un proceso de calentamiento rápido que puede penetrar en el alimento muy eficazmente. A pesar de que el calentamiento con microondas se ha utilizado durante varios años en ambientes domésticos y restauraneros, el mejor uso comercial del calentamiento con microondas es el descongelamiento de carne a temperaturas justo abajo del punto de congelamiento para permitir cortar o rebanar antes del procesamiento. Grandes cantidades de carne se pueden descongelar en horas o hasta minutos en lugar de días como en los métodos convencionales.

**Tabla 1.7.-** Ventajas y desventajas del calentamiento con microondas.

Ventajas	Desventajas
Calentamiento rápido y relativamente uniforme	Alta inversión en el equipo
Control de proceso fácil	

## 1.3.- OTRAS TECNOLOGÍAS DE CALENTAMIENTO EMERGENTES.

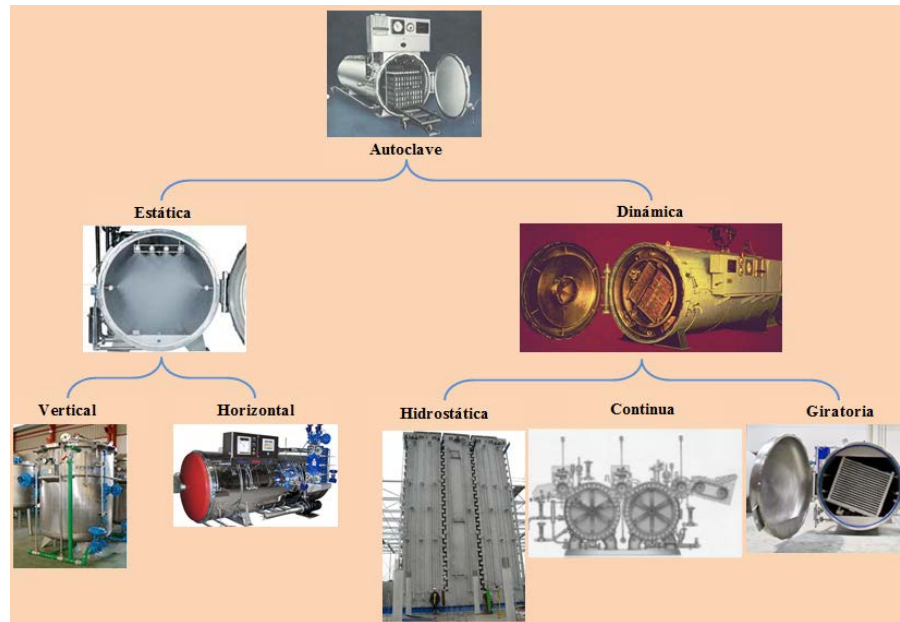
### 1.3.1.- Calentamiento infrarrojo (IR).

La radiación en la parte infrarroja del espectro se puede usar para calentar la superficie de capas de alimentos muy rápida y eficientemente, además se usa en procesos de rostizado, horneado y asado.

### 1.3.2.- Calentamiento con radiofrecuencias (RF).

El calentamiento con radiofrecuencias usa radiación electromagnética a longitudes de onda mayores que las de microondas y el calentamiento se logra principalmente por calentamiento dieléctrico a bajas temperaturas, pero aumentando el calentamiento por conductividad eléctrica conforme la temperatura se eleva. El calentamiento RF es rápido y uniforme y se ha investigado en varias aplicaciones, incluyendo escaldado de vegetales, descongelamiento y pasteurización de carne, aplicaciones de secado y post-horneado de snacks.

### 1.4.- CLASIFICACIÓN DE LAS AUTOCLAVES.



**Figura 1.3.-** Diagrama morfológico de las autoclaves.

#### 1.4.1.- Autoclave continúa.

El esterilizador continuo a presión rotatorio o cocina es una réplica del giratorio horizontal a través del cual se transportan las latas antes de que se gire sobre su propio eje a través de un camino en espiral y el mecanismo de rotación del carrete como se muestra en la vista en corte de la figura 11.6. El tiempo de residencia en el esterilizador está controlado por la velocidad de rotación de la bobina, que puede ser ajustada para alcanzar el tiempo de proceso necesario. Esto, a su vez, establece la velocidad de la línea para todo el sistema. Las latas se transforman de un transportador puede entrantes a través de un dispositivo de alimentación sincronizada con una válvula de transferencia rotativa, que los índices de las latas en el esterilizador al tiempo que evita el escape de vapor de agua y la pérdida de presión. Una vez que las latas han entrado en el esterilizador, viajan en el espacio anular entre el carrete y el depósito. Se llevan a cabo entre las espigas en el carrete y una pista helicoidal o espiral soldada a la cáscara. De esta manera, las latas son transportadas por la

bobina alrededor de la circunferencia interior de la concha, que imparte una rotación sobre su propio eje, mientras que la pista espiral de la concha dirige las latas hacia adelante a lo largo del esterilizador por una longitud puede por cada revolución del carrete. Al final de la esterilización, las latas son expulsados de la bobina a otra válvula rotativa y en la cáscara siguiente, ya sea para cocinar o refrigeración adicionales.

La mayoría de los sistemas comunes requieren por lo menos tres proyectiles en serie como se muestra en la Figura 3.3 para lograr un enfriamiento controlado a través de un depósito de presión, tanto fresco y una cáscara fresca atmósfera después de la cocina o el esterilizador. Para productos fríos de relleno que requieren control de precalentamiento, hasta cinco proyectiles pueden ser necesarios para emitir un precalentamiento de la atmósfera, la presión de precalentamiento, cocción a presión, frío, presión y enfriar la atmósfera. Por la naturaleza de su diseño y principio de funcionamiento, un sistema continuo esterilizador rotatorio se fabrica para adaptarse a un determinado tamaño de una lata y no puede ser fácilmente adaptado a otros tamaños. Por esta razón, no es raro ver a varios sistemas operativos en una planta de conservas de alimentos, cada uno dedicado a un sistema de tamaño puede diferentes [Handbook of food engineering, 752].

#### 1.4.2.- Autoclave hidrostática.

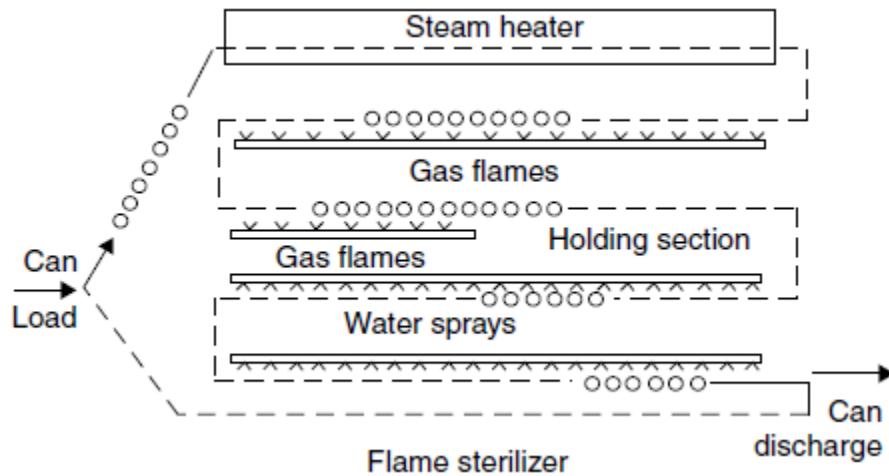
Estos sistemas se llaman así porque la presión de vapor es controlada por la presión hidrostática en la altura de una pierna de agua. Debido a la altura de la pierna de agua necesaria, estos esterilizadores suelen instalarse al aire libre junto a una planta de conservas. Ellos son autónomas estructuras con la apariencia externa de una torre rectangular. Ellos son, básicamente, se compone de cuatro cámaras: una hidrostática poner en marcha la pierna, una cúpula de esterilización por vapor, una hidrostática traer abajo la pierna, y una sección de enfriamiento.

El principio de funcionamiento de un esterilizador hidrostático puede ser explicado con referencia al diagrama de flujo esquemático de la figura 3.4. Los contenedores son transportados a través de la esterilización a las compañías conectadas a un mecanismo de acoplamiento de cadena continua que proporciona un control positivo velocidad de la línea y por lo tanto el control de la residencia de tiempo para alcanzar el tiempo especificado en el proceso de la cúpula de vapor. Los transportistas se cargan automáticamente a partir de los transportadores y entrantes pueden viajar a la parte superior del esterilizador, donde entran el bring-el agua pierna. Viajan a la baja a través de este tramo, ya que encuentro cada vez más caliente del agua. Al entrar en la parte inferior de la cúpula de vapor, la temperatura del agua estará en equilibrio con la temperatura del vapor en la interfaz de sello de agua. En la cúpula de vapor, las latas están expuestas a especificado proceso o réplica de temperatura controlada por la presión hidrostática para la prescrita tiempo de proceso controlado por la velocidad de la línea transportista. Cuando las latas de salir de la cúpula de vapor, que pasar de nuevo a través de la interfaz de sello de agua en la parte inferior y los viajes hacia arriba a través de la apuesta inicial por la pierna, ya que aparece el agua cada vez más frío hasta que salga en la parte superior. Las latas son luego se rocía con el enfriamiento el agua como las compañías de viajes por el exterior del esterilizador a su regreso a la cinta de descarga estación. Los perfiles de presión y temperatura que se experimentan por el agua y el vapor en los distintos cámaras, así como por las propias latas

en un sistema de esterilización hidrostática típica [Handbook of food engineering, 752-753].

#### 1.4.3.- Sistema de esterilización por flama.

El proceso de esterilización por flama se muestra en la Figura 3.5. Después de cerrar con un alto vacío, latas primero se precalienta en vapor y luego calienta más girando rápidamente en contacto directo con las llamas de un quemador de gas. Después de un tiempo de retención necesario para garantizar la esterilización, las latas se enfrían por medio de un chorro de agua, como se muestra en el diagrama esquemático del proceso en la figura 3.5. Un vacuumis es de alta importancia para evitar la distorsión de las costuras, ya que las latas se convierten en sus propios buques presión de réplica cuando se calienta por las llamas de gas. El proceso es de uso frecuente para las hortalizas en conserva, como el maíz, los guisantes, las zanahorias y champiñones en salmuera contenido mínimo se requiere [Handbook of food engineering, 754].



**Figura 1.4.-** Sistema de esterilización por flama [Handbook of food engineering, 758].

**Tabla 1.8.-** Revisión bibliográfica de patentes.

Empresa	Número de patente	Fecha de publicación	Función	Transferencia de calor
	1491031	1924	Agitar	No
	1709175	1929	Sacudir	Si
	2499203	1950	Agitar	Si
	2629312	1953	Girar	No
FMC Corporation	4196225	1980	Continuo	Si
Hisaka Works, Ltd.	4632026	1986		No
Smiths Industries Public Limited Company	5145641	1992	Llenar	Si
Barriquand Steriflow	5381726	1995	Sostener	No
Able Corporation	5626824	1997	Agitar	Si
FMC Corporation	5676047	1997	Agitar	No
Barriquand Steriflow	5770169	1998	Rotar	Si
Barriquand Steriflow	US 6626087 B2	2003	Continuo	No
Aeroform Group PLC	US 6872918 B2	2005	Continuo	Si
	US 2007/0217285 A1	2007	Agitar	Si
Allpax Products LLC	US 7275480 B2	2007		
	US 2007/0258850 A1	2007	Distribuir	Si
FMC Technologies, Inc.	US 7380978 B2	2008	Agitar	No
	US 2008/0253946 A1	2008	Rotar	Si
Allpax Products	US 7712202 B2	2010	Rotar	Si

La búsqueda de patentes arrojó un resultado muy interesante, en 1921 con los primeros estudios de la transferencia de calor se despertó el interés de las empresas e investigadores desarrollar los primeros mecanismos agitadores. La mayoría de las patentes no hacen referencia a la transferencia de calor como la base de sus resultados.

**Tabla 1.9.-** Revisión bibliografica de articulos científicos.

Nombre del articulo	Fecha de publicación	Función	Método de estudio	Medio de estudio	Aumento en la transferencia de calor
A study of the variables that affect heat penetration rates in glass containers	Febrero de 1966	Agitar	Experimental	Líquido con presencia de partículas pequeñas	Si
Applications of computational fluid dynamics (CFD) in the food industry: a review	2005	Recopilar	Computacional	Líquido en diferentes tipos de envase	Si
Control por ordenador del proceso de esterilización de conservas vegetales. 2.- Transmisión de calor por convección	1997	Validar	Experimental	Agua, judías verdes cortadas en tiras y tallos de ajo tierno cortados	No
Heat transfer model performance in simulation of process derivations	1999	Validar	Experimental y computacional	Agua y guisantes en salmuera	Si
New semi-empirical approach to handle time-variable boundary conditions during sterilization of non-conductive heating foods	1995	Validar	Computacional	-	Si
Predicting temperature	2004	Validar	Experimental y computacional	Jugo de naranja,	Si

DISEÑO CONCEPTUAL DE UN AGITADOR QUE REDUZCA EL TIEMPO DE ESTERILIZACIÓN EN UNA AUTOCLAVE INDUSTRIAL.

during the thermal processing of canned high-viscosity liquid food				mezcla de jugos 1, mezcla de jugos 2 y jugo de tomate	
Simulation of sterilization of canned liquid food using sucrose degradation as an indicator		Validar	Experimental y computacional	Una solución de sacarosa con pH 3	No
Thermal sterilization of canned food in a 3-D pouch using computational fluid dynamics	2001	Validar	Experimental y computacional	Sopa de zanahoria y naranja	Si

## CAPÍTULO II.- DEFINICIÓN DE LA NECESIDAD.

*“Escuchar la voz de los clientes”*

[Proverbio Japonés]

### 2.1.- INTRODUCCIÓN.

El ritmo de la vida actual, la incorporación de la mujer al trabajo y la preocupación por alimentarnos de forma sana han influido en los últimos años de forma directa en nuestros hábitos alimentarios y en el tiempo que se dedica a los hogares a cocinar. Actualmente, el consumidor demanda alimentos en los que el tiempo de cocinado o preparación sea lo menor posible pero a la vez, con mayor vida útil.

La evolución de los hábitos se ve reflejada también en los envases, los cuales ya no son meros contenedores de alimentos, sino elementos activos en la conservación o el marketing. Para ello, se desarrollan continuos estudios y diseños con el fin de mantener los alimentos frescos durante más tiempo y a su vez resultar atractivos.

Así, por ejemplo, encontramos ensaladas listas para consumir gracias a un tipo de envasado, envases individuales, también platos precocinados que solo requieran un calentamiento en el microondas, para lo cual, en envase ya viene perfectamente preparado, si percatamos del proceso previo que permite tener a nuestra disposición estos productos preparados para su consumo.

Las empresas alimentarias quieren ofrecer al consumidor nuevos productos que se acoplen al actual ritmo de vida, pero también debido a la gran diversidad, necesitan atraer su atención. Por este motivo, el diseño en los envases adquiere un papel tan importante, además de vender el producto que protegen, se vende el propio envase, buscando otras utilidades al mismo después del consumo: cajas de cereales que pasan a ser un divertido juego de tarros que se convierten en floreros, forman parte de un estudiado proceso de marketing.

La búsqueda de envases que permitan ofertar productos higiénicamente frescos ha llevado a la diversificación de los métodos de envasado, los materiales y los tipos de tratamientos de conservación. A esto se le une el interés de los consumidores por la seguridad alimentaria, lo que ha hecho que en el momento actual, este tema sea centro de atención de todos los agentes que intervienen en la industria alimentaria.

En los países desarrollados se demandan productos más naturales, lo más semejantes posibles desde el punto de vista organoléptico y nutritivo a los productos frescos, sin que hayan sufrido un proceso severo y que a la vez, sean seguros desde el punto de vista higiénico y que posean una vida útil más larga, cualidad que por otra parte resulta ser la preocupación de la mayor parte de los productores, pues de ella depende una eficaz distribución de sus productos.



## 2.2.- NECESIDADES MAQUÍNARIA JERSA.

Maquinaria JERSA es una empresa que desarrolla maquinaria y equipo para la industria alimenticia de nuestro país; y tiene alrededor de 33 años de experiencia.

En esta empresa se trabaja en el diseño y proceso de líneas completas y máquinas para producción de alimentos como lo son las conservas, empaques frescos, congelados; y para procesos de hidrotatamiento y deshidratación de alimentos.

Los diversos equipos desarrollados por JERSA son fabricados en serie la mayoría de las veces, pero también se desarrollan equipos personalizados acorde a las necesidades específicas de cierto cliente o proceso.

En la actualidad JERSA está desarrollando una autoclave la cual es proclive a muchas mejoras tanto mejoras a nivel local como a mejoras en el diseño básico y elemental de la misma autoclave.

El principio de funcionamiento de todos estos equipos es el mismo para todos, valores muy elevados y después enfriar de manera lo más rápida posible. La forma de llevar a cabo la esterilización bajo este principio se basa en dos procesos manejan volúmenes de producción muy elevados, por lo que son equipos muy grandes con subsistemas también muy grandes y estos procesos manejan por lo general empaques de metal o vidrio; por otro lado, los procesos estáticos manejan volúmenes de producción más pequeños y éstos equipos son mucho más pequeños y el producto que manejan es flexible por lo general; como ejemplo hay autoclaves muy pequeñas que son empleadas para esterilizar algunos medicamentos e instrumental médico.

El proceso de esterilización involucra varios aspectos técnicos como lo es la parte térmica, mecánica, la correcta interacción entre los subsistemas y un diseño en el cuál sea mínimo el espacio superficial debido a que es más costoso un equipo el cual ocupe mucha área superficial.

La tendencia actual a nivel mundial en materia de alimentos es esterilizar cada vez mayores cantidades de productos y con la mayor eficiencia, por lo que será necesario rediseñar los equipos actuales y buscar nuevos procesos lo que desembocará en nuevas tecnologías en el campo de la esterilización.

Durante la visita observamos el modelo de autoclave con el que cuenta la empresa, se nos dio una explicación de su funcionamiento. Al finalizar el recorrido hicimos una serie de preguntas obteniendo la siguiente información:

- 1) Están conscientes de las nuevas tecnologías como: alta presión (equipos con un valor de 3 millones de dólares y para aplicaciones específicas), ionización y radiación.
- 2) Autoclave comercialmente viable.
- 3) Las proyecciones de la empresa indican que las autoclaves estarán en el mercado 25 años más.
- 4) La autoclave con que cuentan en estos momentos es capaz de soportar 3 kgf/cm<sup>2</sup> de presión y tiene una capacidad para contenedores de 50x40x40 cm.
- 5) Un punto importante es que las nuevas tecnologías no están basadas en procesos metalmecánicos.

- 6) Las autoclaves de alta presión solo la fabrican 2 empresas en el mundo, una de ellas, tuvo acercamiento con JERSA para entrar en el mercado nacional.

**Tabla 2.1.-** Matriz de evaluación para las necesidades de Maquinaria Jersa.

Mejora de la dirección		Características de ingeniería			
		n/a	n/a	↓	↑
Unidades		Pa	°C	Minutos	Producto/minuto
Requerimientos del cliente	Importancia del factor de peso	Presión	Temperatura	Tiempo	Volumen de producción
Comercialmente viable	5	8	8	10	10
Esterilizar alimentos	5	8	9	10	10
Vida útil	5	10	10	10	
Proceso de fabricación	4	10	10	10	9
Familia de autoclaves	4	7	7	8	10
Nuevas tecnologías	3	6	6	10	10
Puntuación de primas		222	227	262	266
Peso relativo (%)		22.72	23.23	26.82	27.23
Rango de orden		4	3	2	1

Maquinaria JERSA solo esta interesada en seguir vigente dentro del mercado nacional por los próximos 10 años. Con un estudio de mercado se puede dar cuenta de sus debilidades frente a los fabricantes internacionales de autoclaves. Las necesidades de maquinaria JERSA solo van enfocadas a su necesidad de vender productos de la manera más sencilla posible.

### 2.3.- NECESIDADES DE LAS EMPRESAS.

Se realizaron entrevistas a diversas empresas donde se utilizan y trabajan de manera directa con autoclaves o esterilizadores y con cuya información se elaborará toda una serie de necesidades que desembocan en la elaboración de las especificaciones concretas del equipo esterilizador. Algunas de estas especificaciones son por ejemplo los volúmenes de producción, los tiempos de esterilización del producto, el tipo de proceso (dinámico o estático), o si es factible o no hacer cámaras rotatorias o alguna otra disposición de espacio al interior de la cámara de esterilización. A continuación se muestra el formato de la entrevista la cual fue aplicada en las diversas empresas.

La encuesta consistió en tres tipos de preguntas: Valoración numérica de criterios, selección múltiple y preguntas abiertas; y se enfocó en el funcionamiento de las autoclaves, las cuales utilizan vapor de agua a presión para realizar la esterilización. El formato de la encuesta se dividió en tres partes:

- 1.- Identificación de los parámetros y rangos del proceso.
- 2.- Identificación de las características principales de utilización de las autoclaves.
- 3.- Evaluación de la condición actual de las necesidades identificadas en las primeras entrevistas.
- 4.-

**Tabla 2.2.-** Matriz de evaluación para las necesidades de las empresas contactadas.

Mejora de la dirección		Características de ingeniería			
		n/a	n/a	↓	↑
Unidades		Pa	°C	Minutos	Producto/minuto
Requerimientos del cliente	Importancia del factor de peso	Presión	Temperatura	Tiempo	Volumen de producción
Costo	5	8	8	10	10
Crédito para compra	5	8	8	10	10
Instalación	4	7	7	10	7
Ahorro energético	4	5	9	10	10
Vida útil	4	7	7	8	10
Espacio	3	6	6	10	10
Nuevas tecnologías	2	8	8	10	10
Puesta en marcha del equipo	5	9	9	10	9

Tiempo de construcción del equipo	5	7	7	10	7
Tipo de producto (envase)	4	9	9	10	9
Puntuación de primas		306	322	402	374
Peso relativo (%)		21.79	22.93	28.63	26.64
Rango de orden		4	3	1	2

Los factores detonantes para la compra de una autoclave por de las empresas: el costo del equipo y la facilidad de pago (crédito). Las empresas mexicanas no buscan la renovación de sus procesos o de sus equipos, sino que tratan de usarlos al 100 por ciento hasta que el equipo es obsoleto.

Las empresas desconocen que hay equipos en el mercado que cuentan con mecanismos que agitan el producto para reducir los tiempos de esterilización y enfriamiento. En una visita se le comento a una empresa de la existencia de estos procesos, la empresa desconocía estos equipos y al cuestionarla de sus necesidades lo que le interesaba era enfriar rápidamente. El equipo de enfriamiento es caro y aun así la empresa estaba pensando en adquirirlo en los próximos años.

Las empresas no saben que es lo que realmente quieren, sin embargo, si nosotros les damos lo que ellos necesitan, el éxito del producto estará asegurado.

Utilizando un mecanismo agitador en la autoclave podemos reducir el tiempo del proceso de esterilización y el tiempo de enfriamiento del producto.

#### 2.4.- NECESIDADES DEL PRODUCTO.

El producto y el envase deben ser considerados en conjunto, es decir, el concepto total del producto. Una comprensión completa de las características de un producto, el mecanismo intrínseco por el cual se puede deteriorar, su fragilidad durante la distribución las posibles interacciones con los materiales de envasado son esenciales para el diseño y desarrollo de un envase adecuado. Cuanto mayor sea el valor del producto, mayor es la probabilidad de inversión en el envase del producto para limitar el daño o el deterioro, es decir, hay un nivel óptimo de envasado.

**Tabla 2.3.-** Necesidades del producto [Richard Coles (2003)].

Naturaleza del producto	
Física	Gas, líquido, viscoso, bloques sólidos, gránulos, emulsiones, pastas, etc.
Naturaleza química o bioquímica	Ingredientes, valor nutritivo, corrosivo, pegajoso, volátil, perecedero, etc.
Dimensiones	Peso y espesor
Volumen, peso y densidad	Método de rellenado, precisión, obligación legal, etc.

Sensibilidad de daños	Propiedades de resistencia mecánica o fragilidad.
<b>Deterioro del producto: Mecanismos intrínsecos incluyendo los cambios en:</b>	
Cualidades organolépticas	Sabor, olor, color, sonido y textura
Degradación química	Por ejemplo, la vitamina C sufre una ruptura en la guayaba en conserva
Cambios químicos	Por ejemplo, el endurecimiento del pan
Cambios bioquímicos	Por ejemplo, la respiración
Estado microbiológico	Por ejemplo el recuento de bacterias
<b>Vida útil requerida del producto</b>	
Promedio necesario de vida útil	
Necesidad uso-vida	
Vida útil técnica	Por ejemplo, ¿está la migración dentro de los términos legales?

La naturaleza física del producto nos restringe al momento de poder reducir el tiempo del proceso de esterilización. Cuando agitamos el producto en la autoclave estamos recurriendo a la transferencia de calor por convección forzada. La convección forzada se da principalmente en productos líquidos o con presencia de pequeñas partículas solidas.

## CAPÍTULO III.- GENERACIÓN DE CONCEPTOS.

*“Las dificultades del diseñador son, por lo tanto, de dos tipos: entender el problema y encontrar una solución”*

[Nigel Cross (2000)]

### 3.1.- INTRODUCCIÓN.

De los mecanismos estudiados se muestran en este capítulo aquellos que presentan gráficamente menos variaciones en su posición, velocidad y aceleración; así como unos más sencillos poder observar de manera más clara aquellos que presentan mayores variaciones en su posición, velocidad y aceleración. También se analizaron algunos mecanismos en posición horizontal y vertical, viendo que algunos mecanismos generan curvas de posición más suaves de manera horizontal que vertical; las curvas de posición pueden ser suaves en la posición horizontal respecto a la posición vertical, pero, no así las curvas de velocidad o aceleración.

Utilizando cinemática directa en la solución y obtención de trayectorias de los mecanismos, se genera un sistema de ecuaciones a resolver. Para hacer los cálculos de manera rápida y obtener el comportamiento de los elementos del mecanismo con respecto a un dato proporcionado se crea un programa para cada mecanismo. Una de las inquietudes generadas fue el resolver el sistema de mediante el uso de polinomios (polinomios de Lobatto, polinomios de Legendre, etc.), como se hace en el Método de Elemento Finito para poder tener un solución más refinada; sin embargo, en la cinemática directa no se cuenta con este tipo polinomios.

En el presente trabajo se analizaron diferentes mecanismos de manera gráfica para que el diseño se pueda transmitir de una manera clara y simple. Al analizar un mecanismo podemos poner una gran cantidad de datos sobre este como pueden ser: tablas, graficas, animaciones, etc.

### 3.2.- GRADOS DE LIBERTAD.

Durante el funcionamiento de un mecanismo, todos sus elementos con excepción de la base, se desplazan y en cada instante ocupan posiciones definidas. Para determinar todas las posiciones de todos los elementos, es preciso conocer (proponer) las posiciones de algunos de estos.

Las posiciones de estos últimos dependen de parámetros dados. Dichos parámetros puede ser:

- 1.- Ángulos de giro de los elementos (coordenadas de los elementos).
- 2.- Sus desplazamientos lineales (coordenadas lineales).

Las coordenadas angulares y lineales comúnmente reciben el nombre de coordenadas generalizadas del mecanismo.

Las coordenadas generalizadas del mecanismo son cada uno de los parámetros independientes entre sí y que de manera única determinan la posición de los elementos del mecanismo respecto a la base.

El número de coordenadas generalizadas del mecanismo se denomina también número de grados de libertad del mecanismo, ya que indica cuantos parámetros independientes pueden ser dados arbitrariamente.

### 3.3.- ANÁLISIS DE POSICIÓN.

#### 3.3.1.- Matrices de rotación.

[Thomas R. Kane (1985)], [Jens Wittenburg (1977)], [Thomas R. Kane (1985)], [Ronald L. Huston (2001)], [Oleg Vinogradov (2000)], [Jorge Angeles (2003)], [Javier García de Jalón (1994)], [Dan B. Marghitu (2005)], [Dan B. Marghitu (2009)], [J. P. Merlet (2006)], [Parviz E. Nicravesh (2007)], [O. Bottema (1979)], [Reza N. Jazar (2010)], [Parviz E. Nicravesh (1988)], [Ahmed A. Shabana (2005)] y [Joseph Edward Shigley (1988)] utilizan el mismo método de análisis de la posición, no así, el análisis de la velocidad y la aceleración. [Francisco Cuenca Jiménez (2010)] utiliza el mismo método que los autores citados, pero, a diferencia de estos hace un estudio más a fondo de las ecuaciones de posición, velocidad y aceleración; por lo que usamos su método de estudio en la presente tesis.

La cinemática involucra posición y orientación de un cuerpo. La posición debe ser descrita por coordenadas en una base apropiada. La orientación también puede ser descrita en una base apropiada, solo que existen dos puntos de vista para expresar la misma orientación.

#### 3.3.2.- Caso 1.- Punto de vista pasivo.

En este caso se habla de una base inercial fija a la tierra y una base local móvil unida a un cuerpo, para las cuales se construye una matriz de cambio de base que las relaciona.

Los vectores de la base inercial se expresan en la misma base como:

$$\begin{aligned}i_0 &= \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = [1, \quad 0]^T \\j_0 &= \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} = [0, \quad 1]^T\end{aligned}$$

Los vectores de la base local se expresan en la misma base como:

$$\begin{aligned}i_1 &= \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = [1, \quad 0]^T \\j_1 &= \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} = [0, \quad 1]^T\end{aligned}$$

El vector S tiene 2 representaciones, en la base inercial y en la base móvil:

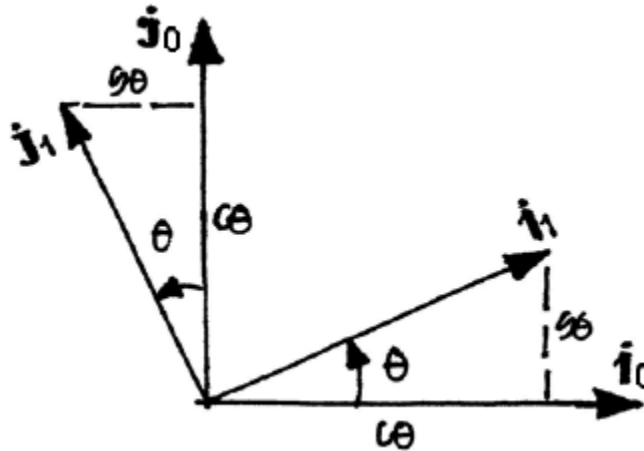
$$S = x_0 i_0 + y_0 j_0 \tag{3.1}$$

$$S = x_1 \mathbf{i}_1 + y_1 \mathbf{j}_1 \quad (3.2)$$

Igualando:

$$x_0 \mathbf{i}_0 + y_0 \mathbf{j}_0 = x_1 \mathbf{i}_1 + y_1 \mathbf{j}_1 \quad (3.3)$$

La base local ( $\mathbf{i}_1, \mathbf{j}_1$ ) puede ser representada como la combinación lineal de la base inercial ( $\mathbf{i}_0, \mathbf{j}_0$ ).



$$\begin{aligned} \mathbf{i}_1 &= \cos\theta \mathbf{i}_0 + \text{sen}\theta \mathbf{j}_0 \\ \mathbf{j}_1 &= -\text{sen}\theta \mathbf{i}_0 + \cos\theta \mathbf{j}_0 \end{aligned}$$

Sustituyendo en la ecuación (3.1)

$$\begin{aligned} x_0 \mathbf{i}_0 + y_0 \mathbf{j}_0 &= x_1 (\cos\theta \mathbf{i}_0 + \text{sen}\theta \mathbf{j}_0) + y_1 (-\text{sen}\theta \mathbf{i}_0 + \cos\theta \mathbf{j}_0) \\ x_0 \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} + y_0 \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} &= (\cos\theta x_1 - \text{sen}\theta y_1) \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} + (\text{sen}\theta x_1 + \cos\theta y_1) \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \cos\theta & -\text{sen}\theta \\ \text{sen}\theta & +\cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} \\ \mathbf{R} &= [\mathbf{R}_\theta] \mathbf{r} \end{aligned} \quad (3.4)$$

Donde:

$$\begin{aligned} \mathbf{R} &= \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} = [x_0, y_0]^T \\ \mathbf{r} &= \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} = [x_1, y_1]^T \\ [\mathbf{R}_\theta] &= \begin{bmatrix} \cos\theta & -\text{sen}\theta \\ \text{sen}\theta & +\cos\theta \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Llamaremos:

$\mathbf{R}$ = Vector inercial o vector que vive en la base.

$[\mathbf{R}]$ = Matriz de cambio de base inercial.

$\mathbf{r}$ = Vector local o vector que vive en la base local.



La ecuación (3.4) establece la proyección  $\mathbf{r}$  del vector en la base inercial. Si se desea proyectar  $\mathbf{R}$  en la base móvil simplemente se procede como:

$$\mathbf{R} = [\mathbf{R}_\theta] \mathbf{r}$$

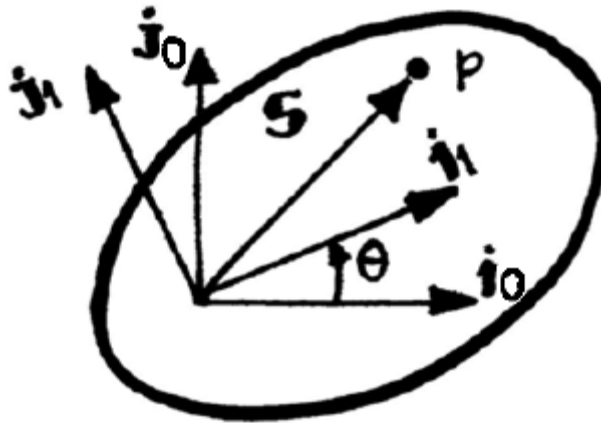
$$[\mathbf{R}_\theta]^{-1} \mathbf{R} = [\mathbf{R}_\theta]^{-1} [\mathbf{R}_\theta] \mathbf{r}$$

$$\mathbf{r} = [\mathbf{R}_\theta]^{-1} \mathbf{R} = [\mathbf{R}_\theta]^T \mathbf{R} \tag{3.5}$$

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \text{sen}\theta \\ -\text{sen}\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} \tag{3.6}$$

### 3.3.3.- Caso 2.- Punto de vista activo.

Este caso habla de una base inercial que está transformada (rotada) mediante la una función para generar la base móvil.



El vector  $\mathbf{S}$  tiene 2 representaciones, en la base inercial y en la base móvil:

$$\mathbf{S} = x\mathbf{i}_0 + y\mathbf{j}_0$$

$$\mathbf{S} = x_1\mathbf{i}_1 + y_1\mathbf{j}_1$$

Igualando:

$$x\mathbf{i}_0 + y\mathbf{j}_0 = x_1\mathbf{i}_1 + y_1\mathbf{j}_1$$

Donde la base móvil se obtiene al rotar la base inercial como:

$$x\mathbf{i}_0 + y\mathbf{j}_0 = x_1([\mathbf{R}_\theta]\mathbf{i}_0) + y_1([\mathbf{R}_\theta]\mathbf{j}_0)$$

$$x\mathbf{i}_0 + y\mathbf{j}_0 = [\mathbf{R}_\theta](x_1\mathbf{i}_0 + y_1\mathbf{j}_0)$$

$$\begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\text{sen}\theta \\ \text{sen}\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{R} = [\mathbf{R}_\theta] \mathbf{r} \tag{3.7}$$

### 3.4.- ANÁLISIS DE LA VELOCIDAD.

Sabemos que la velocidad se escribe como:

$$\mathbf{R} = [R_\theta]\mathbf{r}$$

Para obtener la velocidad derivamos respecto al tiempo la ecuación (3.4)

$$\dot{\mathbf{R}} = [\dot{R}_\theta]\mathbf{r} + [R_\theta]\dot{\mathbf{r}} \quad (3.8)$$

Expresando la ecuación (3.8) en función de la posición actual partiendo de la ecuación (3.4):

$$\mathbf{r} = [R_\theta]^{-1}\mathbf{R} = [R_\theta]^T\mathbf{R} \quad (3.9)$$

La condición  $[R_\theta]^{-1}=[R_\theta]^T$  se cumple para matrices ortogonales (matrices de rotación). Sustituyendo la ecuación (6.9) en (6.8) y renombrando  $\dot{\mathbf{R}} = \mathbf{V}$ , se tiene:

$$\begin{aligned} \mathbf{V} &= [\dot{R}_\theta][R_\theta]^T\mathbf{R} + [R_\theta]\dot{\mathbf{v}} \\ \mathbf{V} &= [\mathbf{W}]\mathbf{R} + [R_\theta]\dot{\mathbf{v}} \end{aligned} \quad (3.10)$$

Llamaremos:

$[\mathbf{W}]\mathbf{R}$ = Velocidad por cambio de orientación.

$[R_\theta]\dot{\mathbf{v}}$ = Velocidad por cambio de magnitud.

Donde  $[\mathbf{W}]$  es la matriz de velocidad. Tal que:

$$\begin{aligned} [\mathbf{W}] &= [\dot{R}_\theta][R_\theta]^T \quad (3.11) \\ [\mathbf{W}] &= \dot{\theta} \begin{bmatrix} -\sin\theta\cos\theta + \cos\theta\sin\theta & -\cos^2\theta - \sin^2\theta \\ \cos^2\theta + \sin^2\theta & \cos\theta\sin\theta - \sin\theta\cos\theta \end{bmatrix} \\ [\mathbf{W}] &= \dot{\theta} \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\dot{\theta} \\ \dot{\theta} & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\omega \\ \omega & 0 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

De la ecuación (6.11), se obtiene la siguiente identidad que será útil en la definición de la ecuación de aceleración:

$$[\dot{R}_\theta] = [\mathbf{W}][R_\theta] \quad (3.12)$$

### 3.5.- ANÁLISIS DE LA ACELERACIÓN.

Para obtener la aceleración derivamos (3.10) respecto al tiempo:

$$\dot{\mathbf{V}} = [\dot{W}]\mathbf{R} + [W]\dot{\mathbf{R}} + [\dot{R}_\theta]\mathbf{v} + [R_\theta]\dot{\mathbf{v}}$$

Donde  $\dot{\mathbf{R}} = \mathbf{V} = [W]\mathbf{R} + [R_\theta]\mathbf{v}$ ,  $\dot{\mathbf{v}} = \mathbf{a}$  y sustituyendo en la ecuación (3.12), se tiene:

$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{V}} &= [\dot{W}]\mathbf{R} + [W]([W]\mathbf{R} + [R_\theta]\mathbf{v}) + [W][R_\theta]\mathbf{v} + [R_\theta]\mathbf{a} \\ \dot{\mathbf{V}} &= ([\dot{W}] + [W][W])\mathbf{R} + 2[W][R_\theta]\mathbf{v} + [R_\theta]\mathbf{a}\end{aligned}\quad (3.13)$$

Desarrollando el término dentro del paréntesis:

$$\begin{aligned}[\dot{W}] + [W][W] &= ([\ddot{R}_\theta][R_\theta]^T) + [W][W] \\ [\dot{W}] + [W][W] &= [\ddot{R}_\theta][R_\theta]^T + ([W][R_\theta])([W][R_\theta])^T + [W][W] \\ [\dot{W}] + [W][W] &= [\ddot{R}_\theta][R_\theta]^T - [W][W] + [W][W] \\ [\dot{W}] + [W][W] &= [\ddot{R}_\theta][R_\theta]^T\end{aligned}\quad (3.14)$$

Donde se utilizó la identidad  $[W]^T = -[W]$ . Sustituyendo la ecuación (3.14) en la ecuación (6.13) y renombrando  $\dot{\mathbf{V}} = \mathbf{A}$ , se tiene:

$$\begin{aligned}\mathbf{A} &= ([\ddot{R}_\theta][R_\theta]^T)\mathbf{R} + 2[W][R_\theta]\mathbf{v} + [R_\theta]\mathbf{a} \\ \mathbf{A} &= [\mathbf{A}]\mathbf{R} + 2[W][R_\theta]\mathbf{v} + [R_\theta]\mathbf{a}\end{aligned}\quad (3.15)$$

Llamaremos:

$[\mathbf{A}]\mathbf{R}$ = Aceleración por cambio de orientación.

$2[W][R_\theta]\mathbf{v}$ = Aceleración por cambio de orientación y magnitud (Aceleración de Coriolis).

$[R_\theta]\mathbf{a}$ = Aceleración por cambio de magnitud.

Donde  $[\mathbf{A}]$  es la matriz general de aceleración. Tal que:

$$\begin{aligned}[\mathbf{A}] &= [\ddot{R}_\theta][R_\theta]^T \\ [\mathbf{A}] &= \begin{bmatrix} -\dot{\theta}^2 & -\ddot{\theta} \\ \ddot{\theta} & -\dot{\theta}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\omega^2 & -\alpha \\ \alpha & -\omega^2 \end{bmatrix}\end{aligned}\quad (3.16)$$

### 3.6.- DETERMINACIÓN DE LAZOS EN MECANISMOS.

Para determinar el número de ecuaciones cinemáticas que representen a un mecanismo, se emplearán las siguientes ideas:

- 1.- Se enumeran arbitrariamente los cuerpos en movimiento en el mecanismo.

- 2.- Se asignan bases locales en cada cuerpo para cada movimiento. Es decir, si el cuerpo gira le corresponde un ángulo  $\theta$  y si el cuerpo se desplaza le corresponde una distancia  $x$ ,  $y$  o  $d$ .
- 3.- Se encuentran todas las variables o incógnitas a determinar.
- 4.- Se calculan los grados de libertad empleando la ecuación de Grueber-Kutzbach. El valor de los grados de libertad es la cantidad de variables que serán conocidas como entradas para la cinemática. Las restantes serán incógnitas a calcular.
- 5.- Se determinan la cantidad de ecuaciones vectoriales y/o escalares. A forma de las ecuaciones cinemáticas, todos los cuerpos en movimiento deben estar incluidos.

Los vectores que representan a dos puntos de un mismo cuerpo, o a dos puntos entre cuerpos diferentes, deben ser representados con ángulos y distancias contadas en las incógnitas. De lo contrario se tendrán más incógnitas que ecuaciones para resolver.

### 3.7.- MECANISMO DE 6 BARRAS Y ENGRANES.

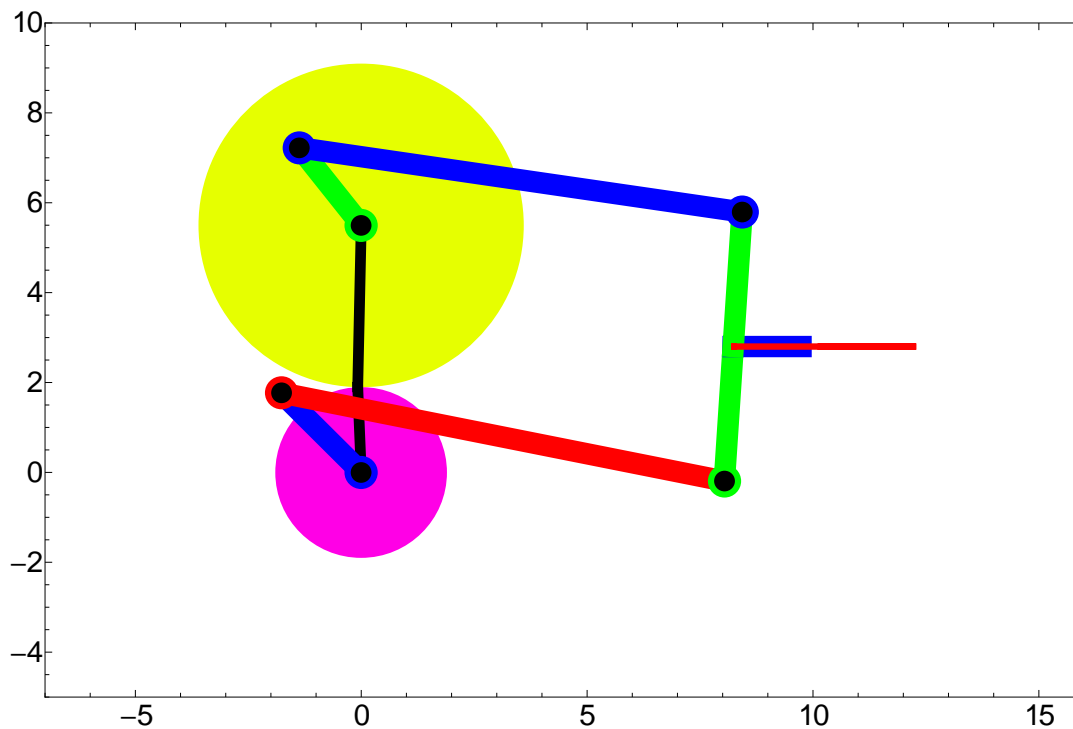


Figura 3.10.- Mecanismo de 6 barras y engranes.

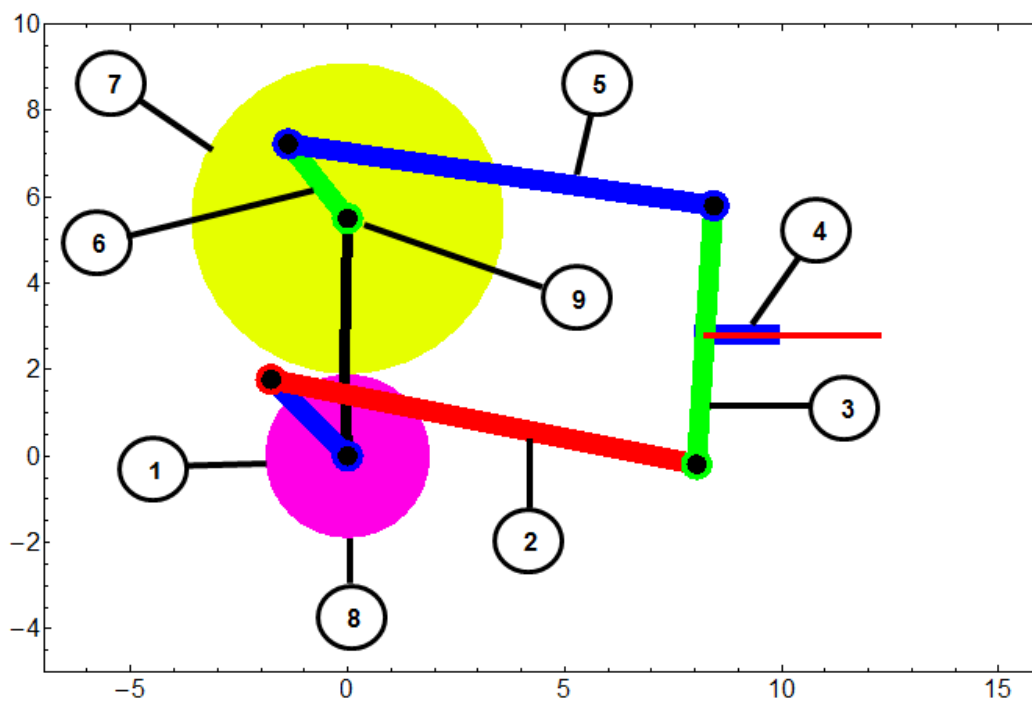
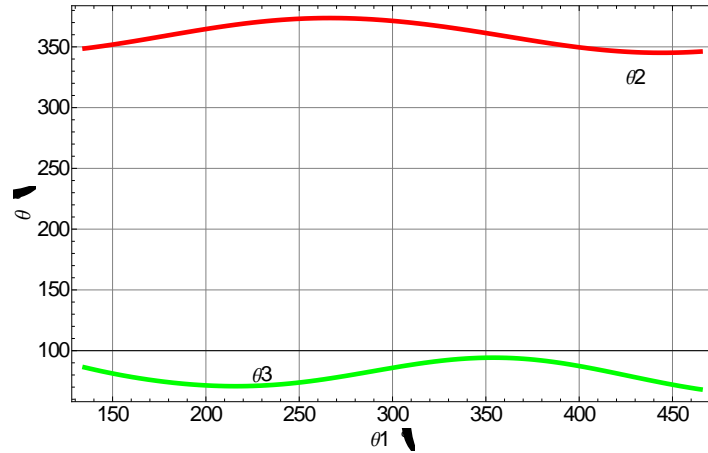
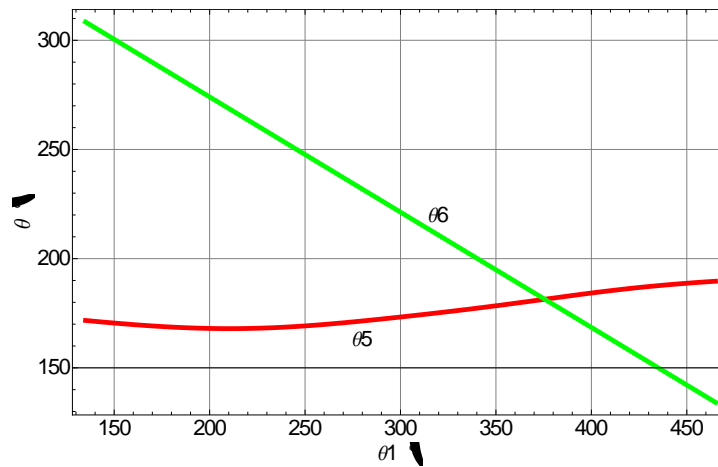


Figura 3.11.- Numeración de cuerpos del mecanismo de 6 barras y engranes.

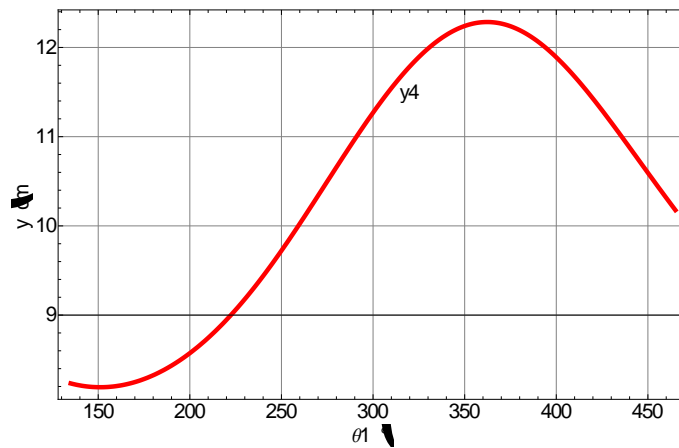
DISEÑO CONCEPTUAL DE UN AGITADOR QUE REDUZCA EL TIEMPO DE ESTERILIZACIÓN EN UNA AUTOCLAVE INDUSTRIAL.



(a)



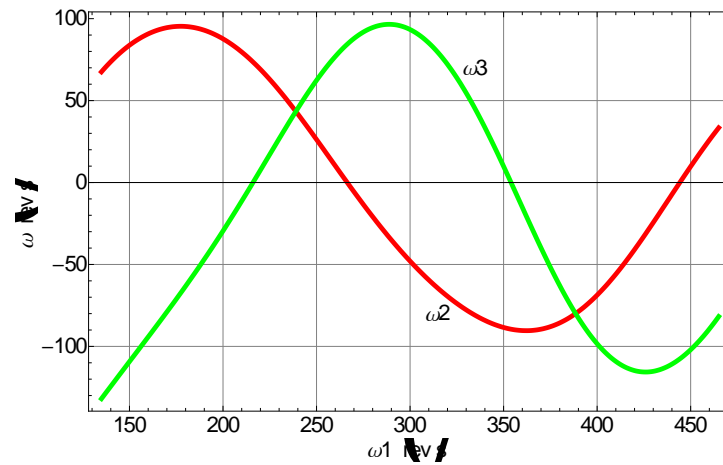
(b)



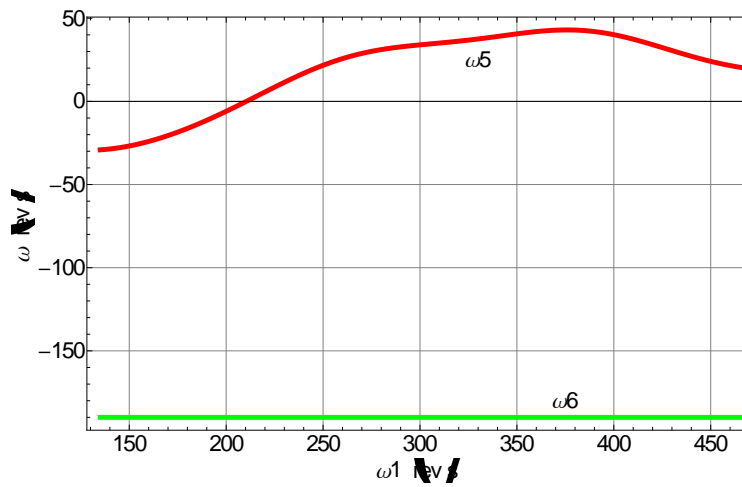
(c)

Figura 3.12.- Graficación de la posición: (a)  $\theta_2$  y  $\theta_3$ ; (b)  $\theta_5$  y  $\theta_6$ ; (c)  $y_4$ .

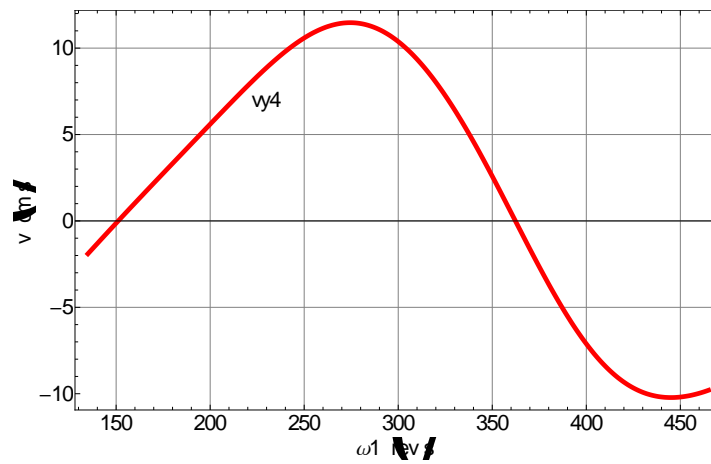
DISEÑO CONCEPTUAL DE UN AGITADOR QUE REDUZCA EL TIEMPO DE ESTERILIZACIÓN EN UNA AUTOCLAVE INDUSTRIAL.



(a)



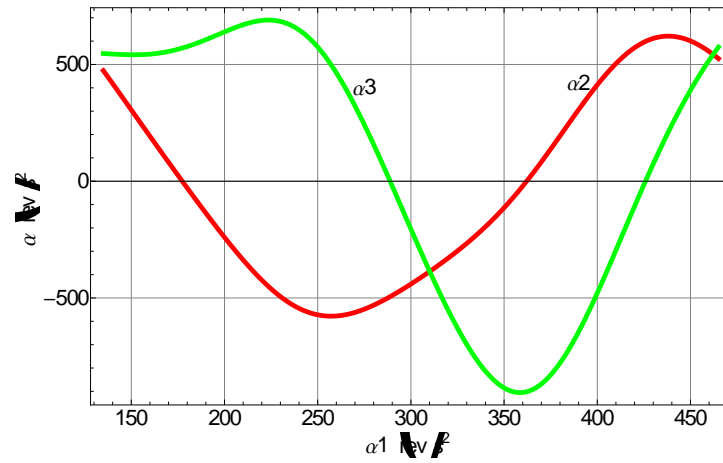
(b)



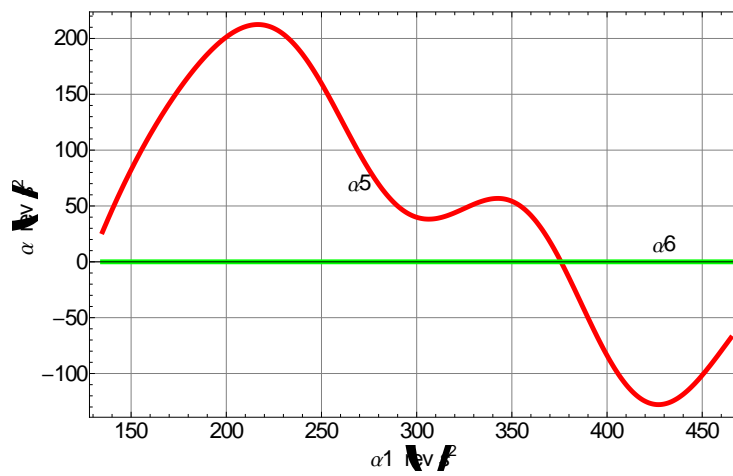
(c)

Figura 3.13.- Graficación de la velocidad: (a)  $\omega_2$  y  $\omega_3$ ; (b)  $\omega_5$  y  $\omega_6$ ; (c)  $v_{y4}$ .

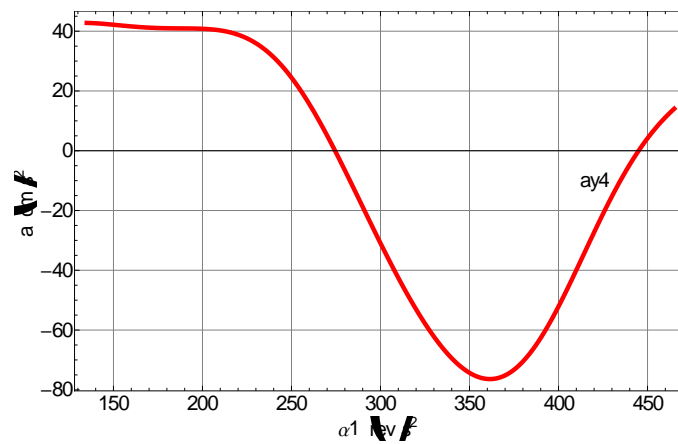
DISEÑO CONCEPTUAL DE UN AGITADOR QUE REDUZCA EL TIEMPO DE ESTERILIZACIÓN EN UNA AUTOCLAVE INDUSTRIAL.



(a)



(b)



(c)

Figura 3.14.- Graficación de la aceleración: (a)  $\alpha_2$  y  $\alpha_3$ ; (b)  $\alpha_6$  y  $\alpha_7$ ; (c)  $a_{y4}$ .



3.8.- MECANISMO DE 4 BARRAS, CORREDERA Y ENGRANES VERTICAL.

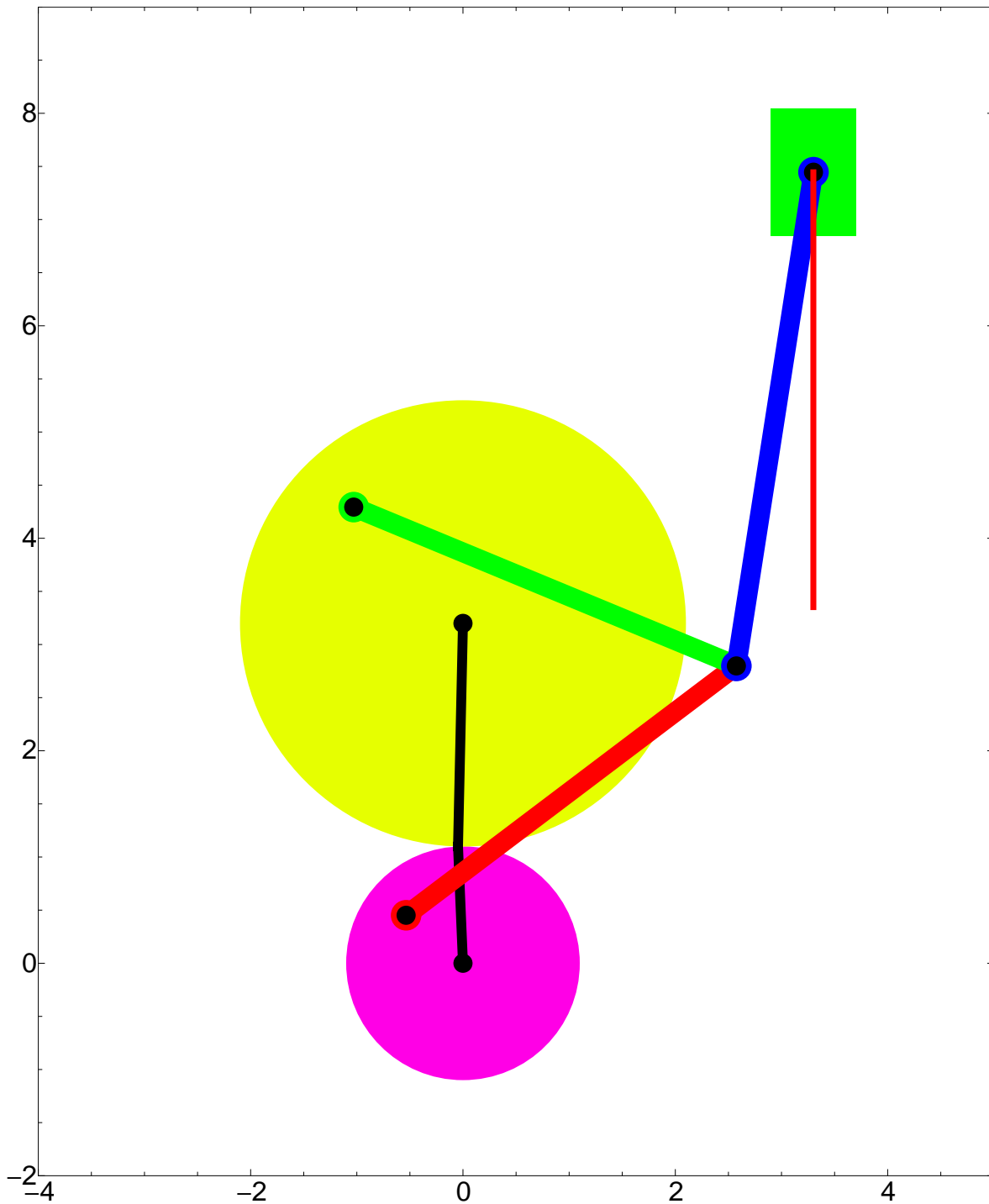
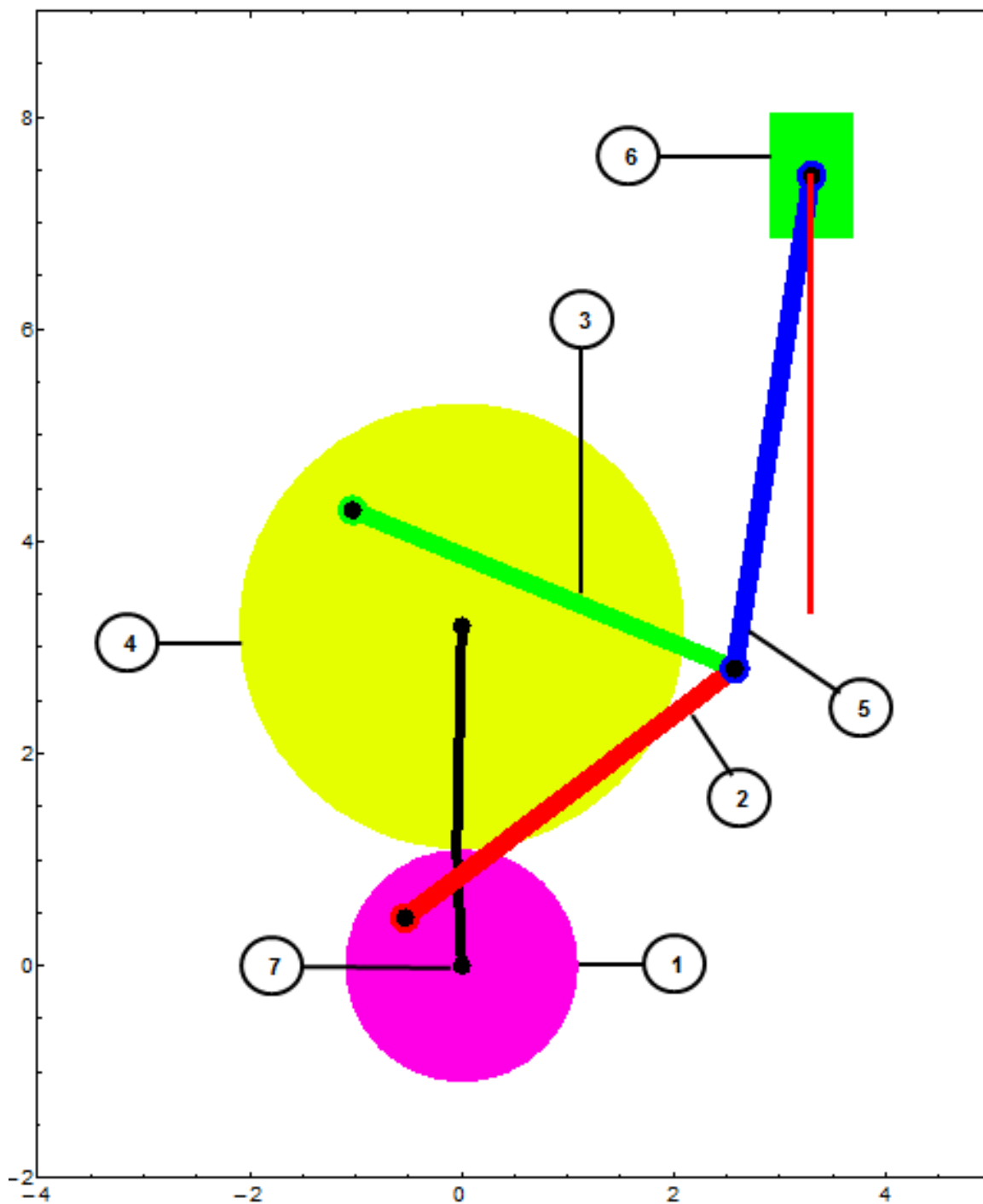
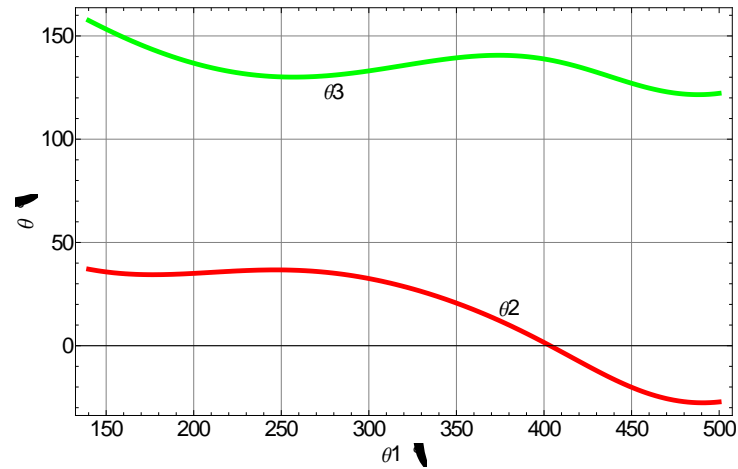


Figura 3.15.- Mecanismo de 4 barras, corredera y engranes vertical.

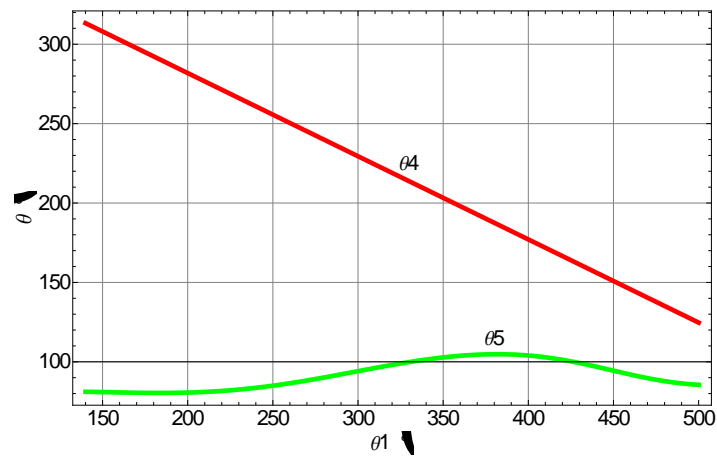


**Figura 3.16.-** Numeración de cuerpos del mecanismo de 4 barras, corredera y engranes vertical.

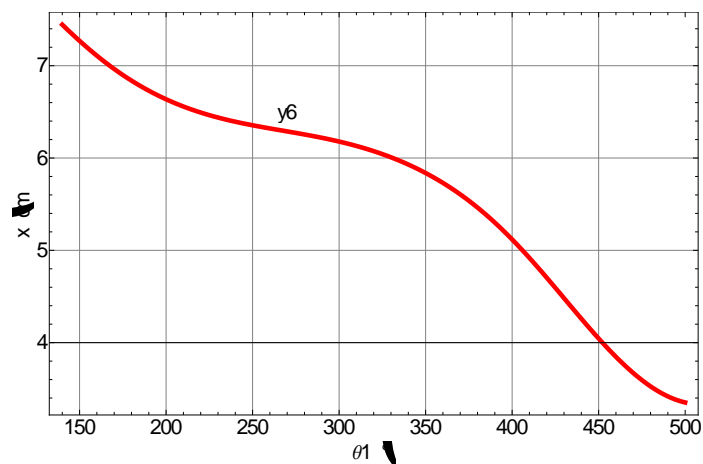
DISEÑO CONCEPTUAL DE UN AGITADOR QUE REDUZCA EL TIEMPO DE ESTERILIZACIÓN EN UNA AUTOCLAVE INDUSTRIAL.



(a)

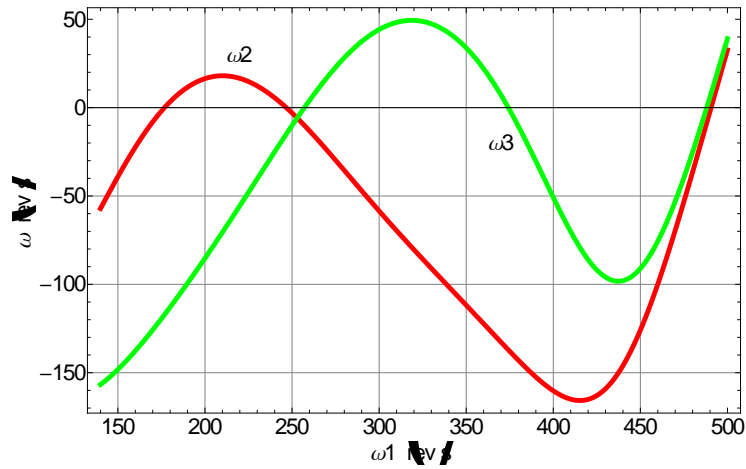


(b)

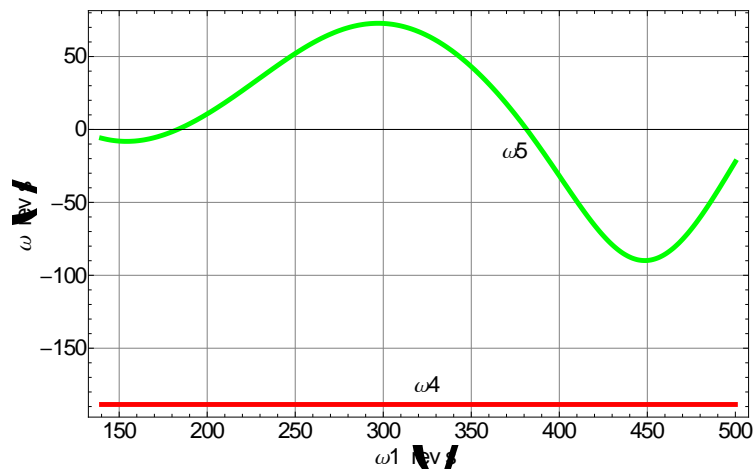


(c)

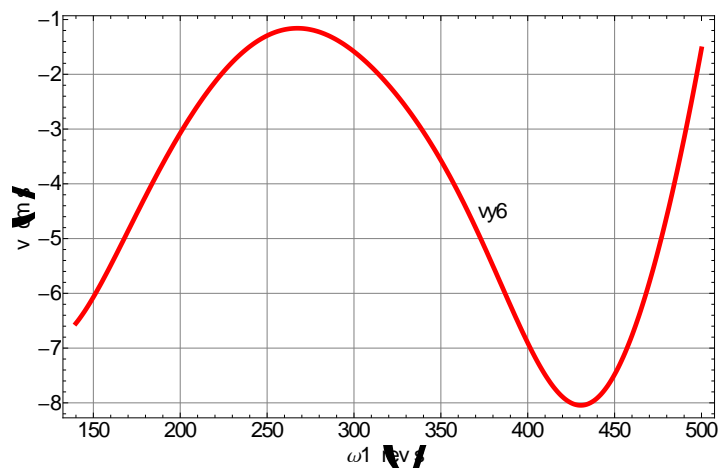
Figura 3.17.- Graficación de la posición: (a)  $\theta_2$  y  $\theta_3$ ; (b)  $\theta_4$  y  $\theta_5$ ; (c)  $y_6$ .



(a)

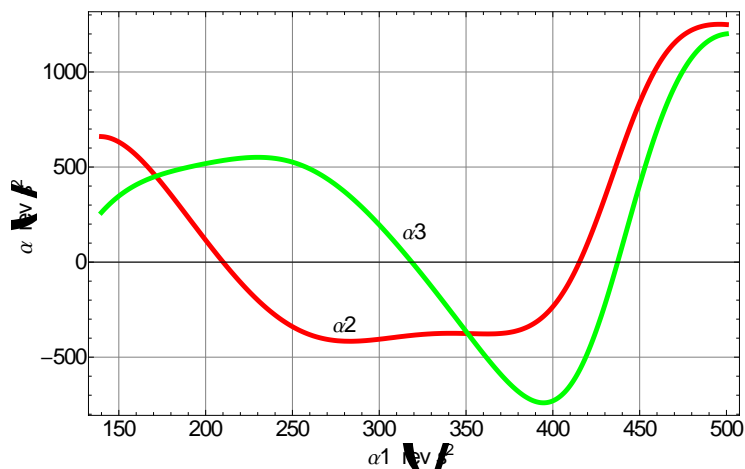


(b)

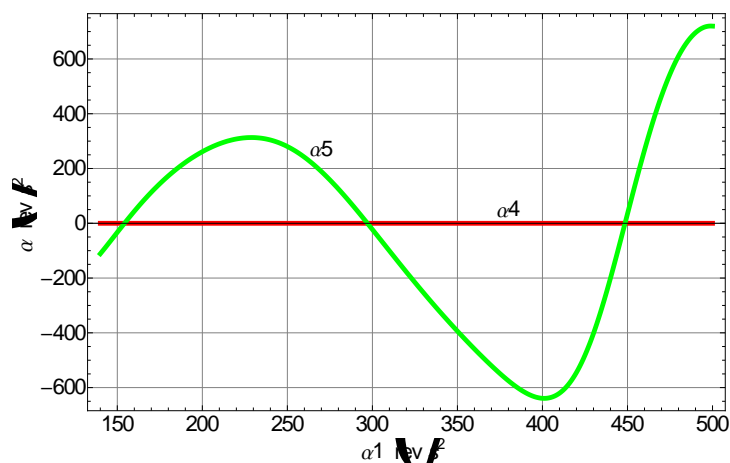


(c)

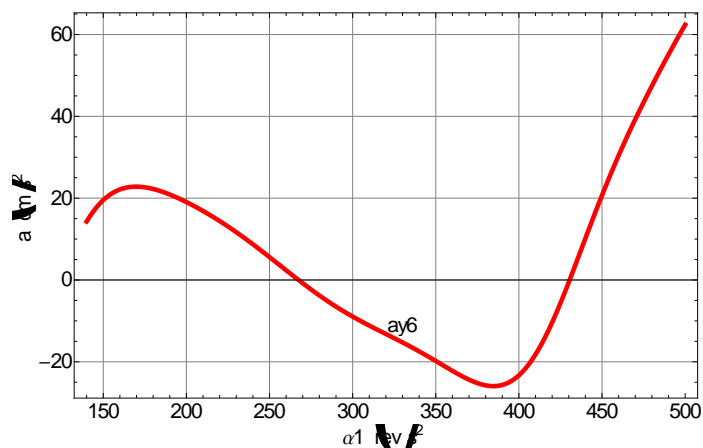
Figura 3.18.- Graficación de la velocidad: (a)  $\omega_2$  y  $\omega_3$ ; (b)  $\omega_4$  y  $\omega_5$ ; (c)  $\omega_6$ .



(a)



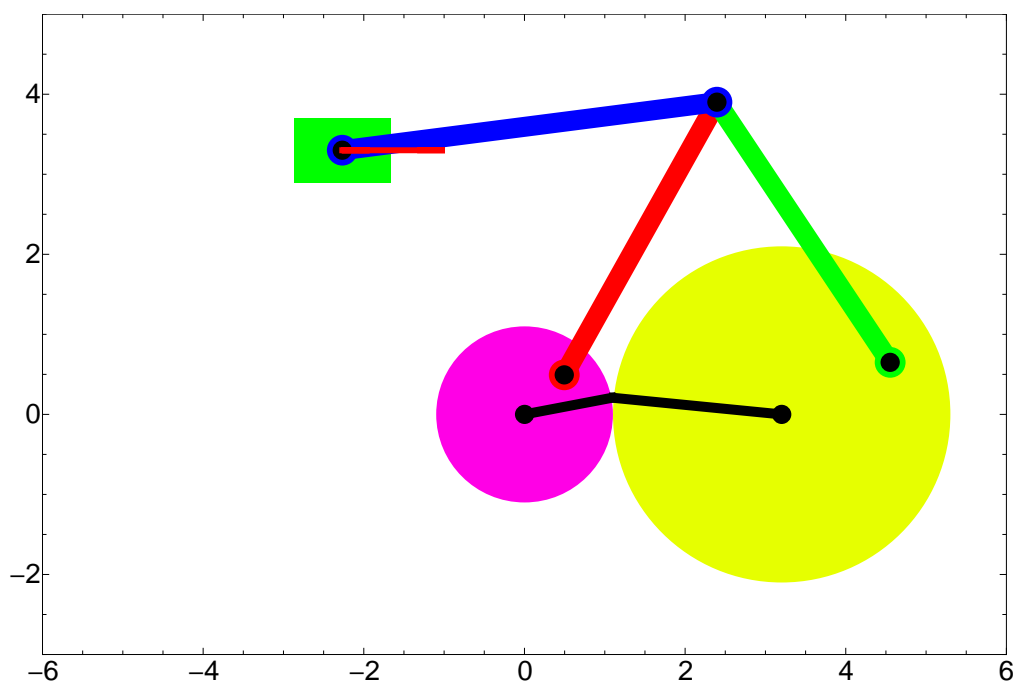
(b)



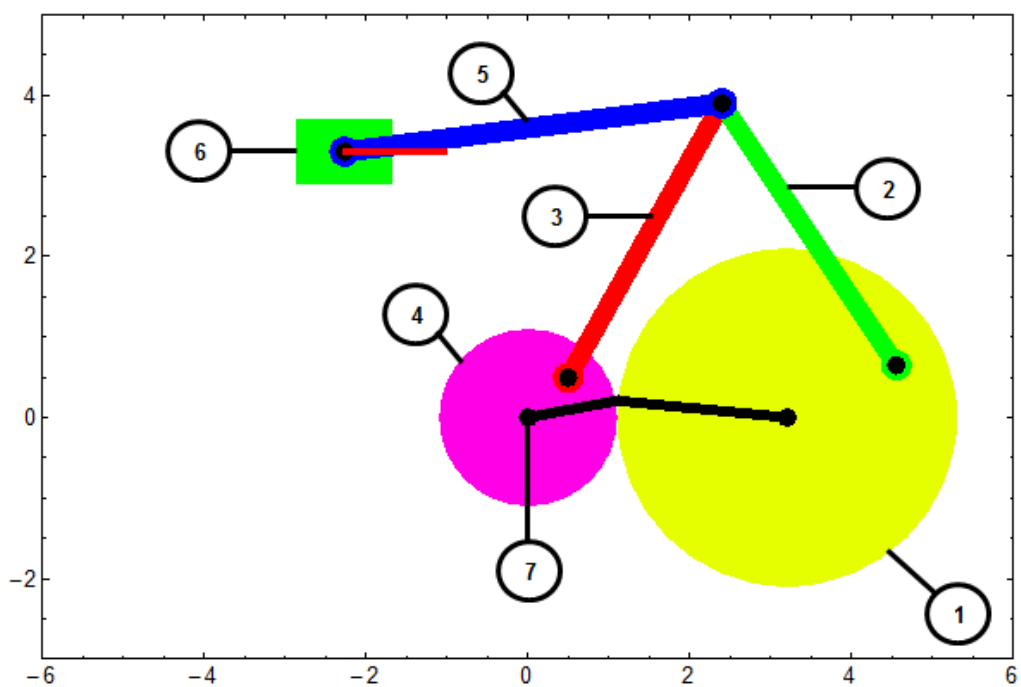
(c)

Figura 3.19.- Graficación de la aceleración: (a)  $\alpha_2$  y  $\alpha_3$ ; (b)  $\alpha_4$  y  $\alpha_5$ ; (c)  $a_{y6}$ .

### 3.9.- MECANISMO DE 4 BARRAS, CORREDERA Y ENGRANES HORIZONTAL.

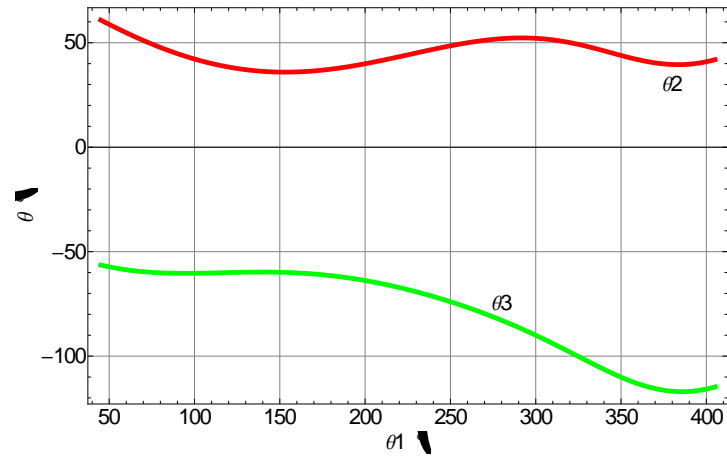


**Figura 3.20.-** Mecanismo de 4 barras, corredera y engranes horizontal.

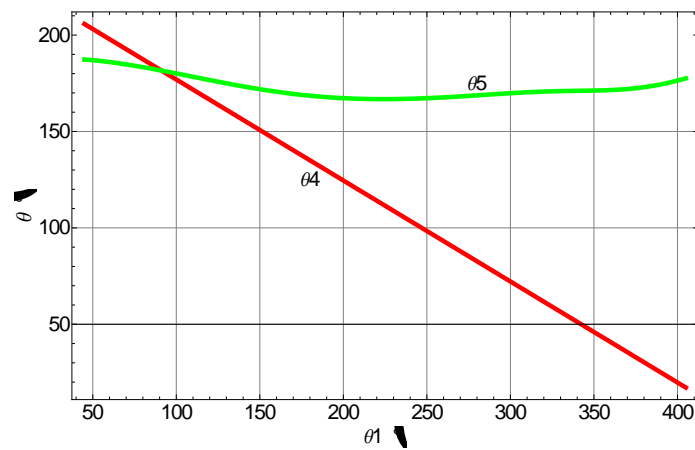


**Figura 3.21.-** Numeración de cuerpos del mecanismo de 4 barras, corredera y engranes horizontal.

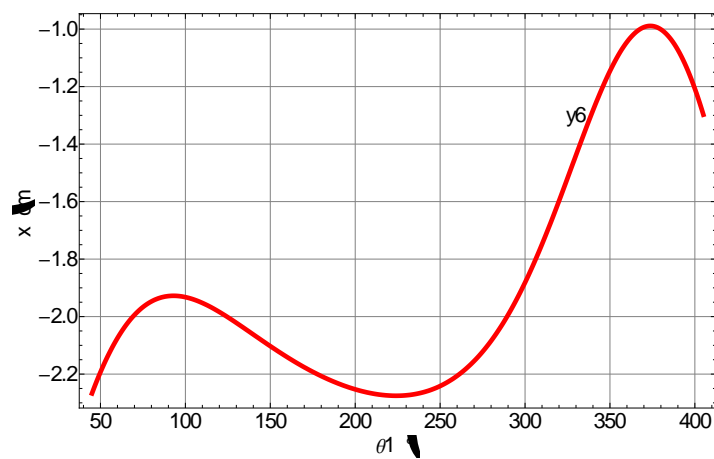
DISEÑO CONCEPTUAL DE UN AGITADOR QUE REDUZCA EL TIEMPO DE ESTERILIZACIÓN EN UNA AUTOCLAVE INDUSTRIAL.



(a)

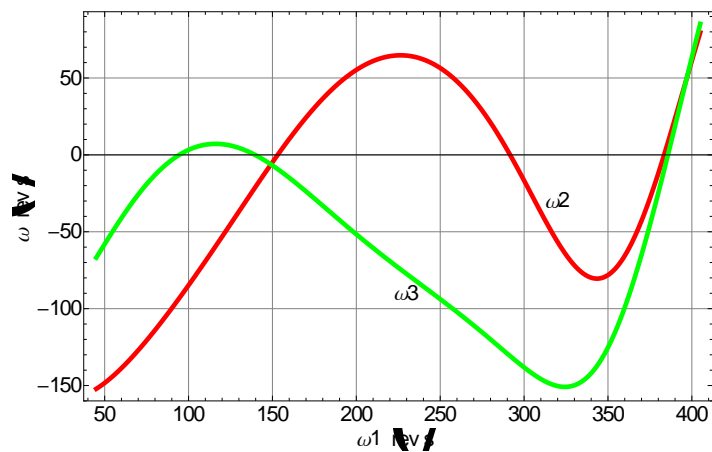


(b)

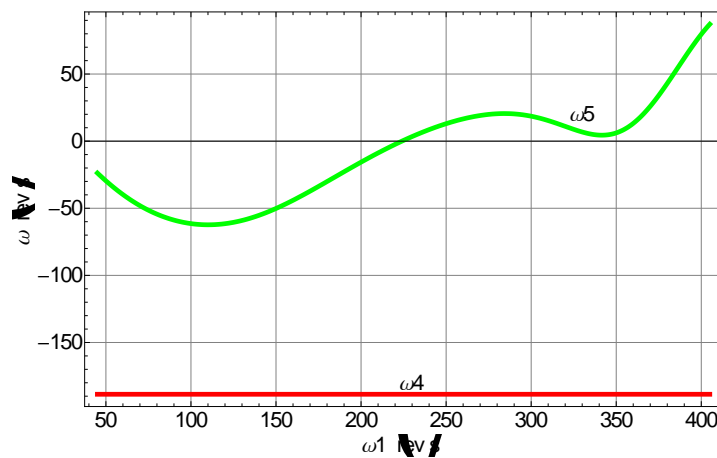


(c)

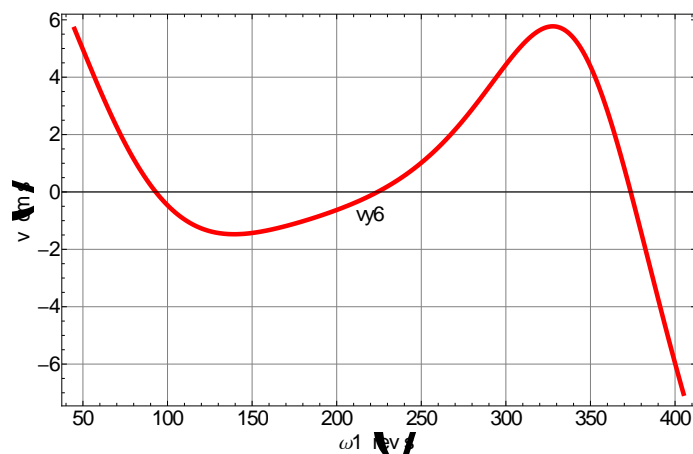
Figura 3.22.- Graficación de la posición: (a)  $\theta_2$  y  $\theta_3$ ; (b)  $\theta_4$  y  $\theta_5$ ; (c)  $y_6$ .



(a)



(b)

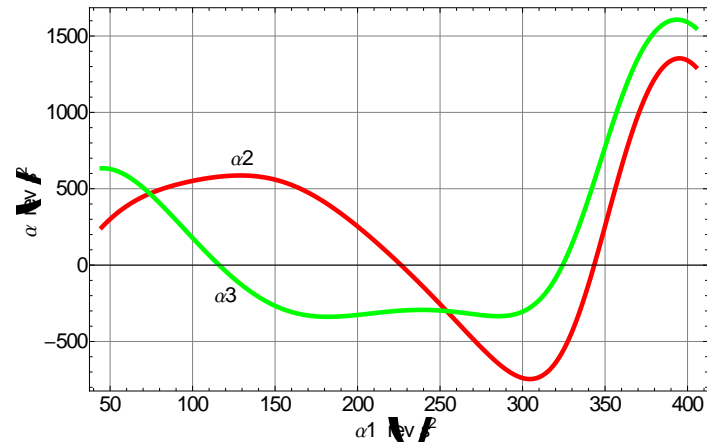


(c)

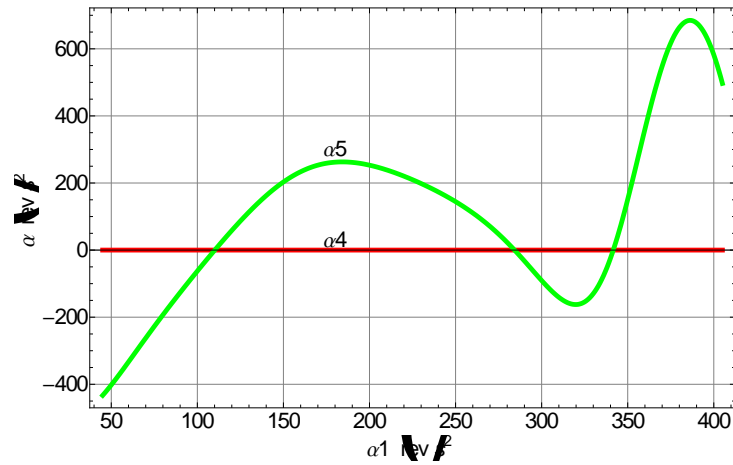
Figura 3.23.- Graficación de la velocidad: (a)  $\omega_2$  y  $\omega_3$ ; (b)  $\omega_4$  y  $\omega_5$ ; (c)  $v_{y6}$ .



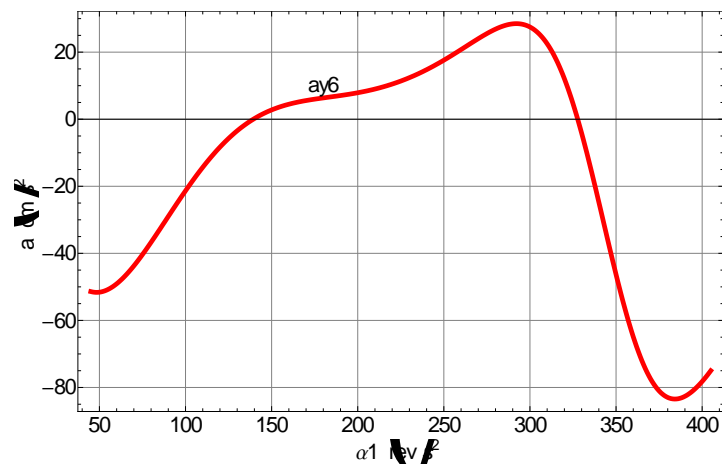
DISEÑO CONCEPTUAL DE UN AGITADOR QUE REDUZCA EL TIEMPO DE ESTERILIZACIÓN EN UNA AUTOCLAVE INDUSTRIAL.



(a)



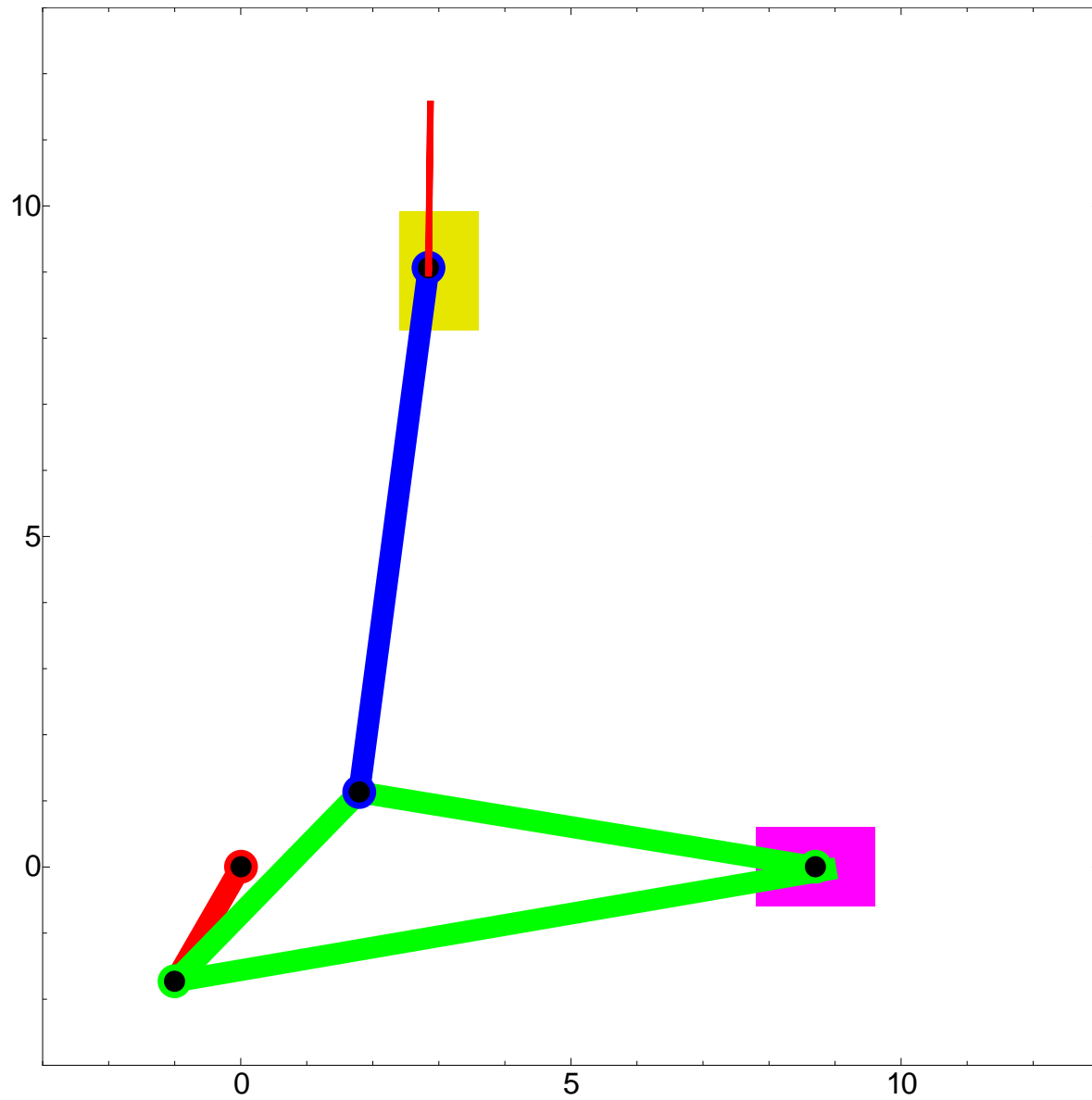
(b)



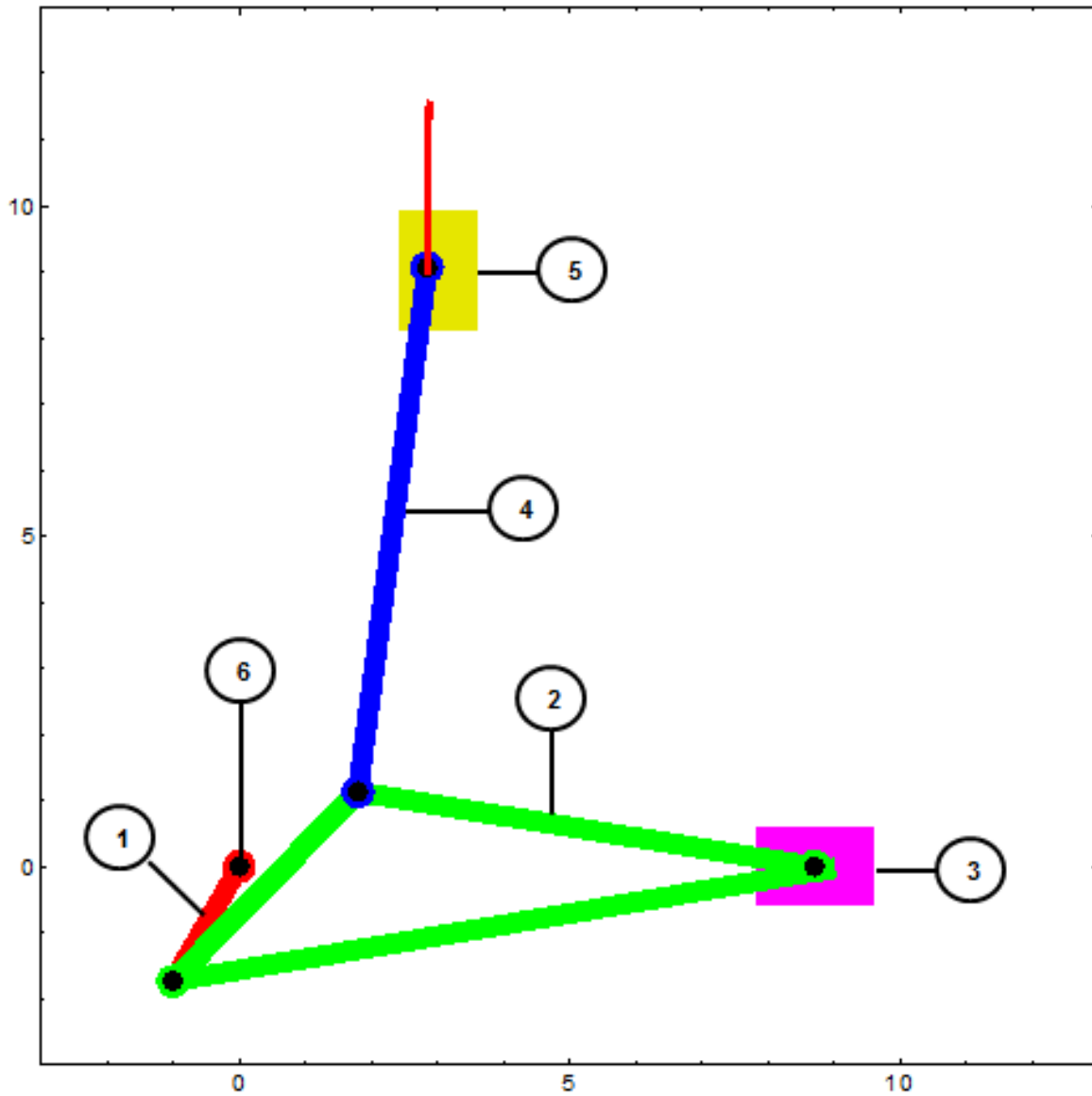
(c)

Figura 3.24.- Graficación de la aceleración: (a)  $\alpha_2$  y  $\alpha_3$ ; (b)  $\alpha_4$  y  $\alpha_5$ ; (c)  $a_{y6}$ .

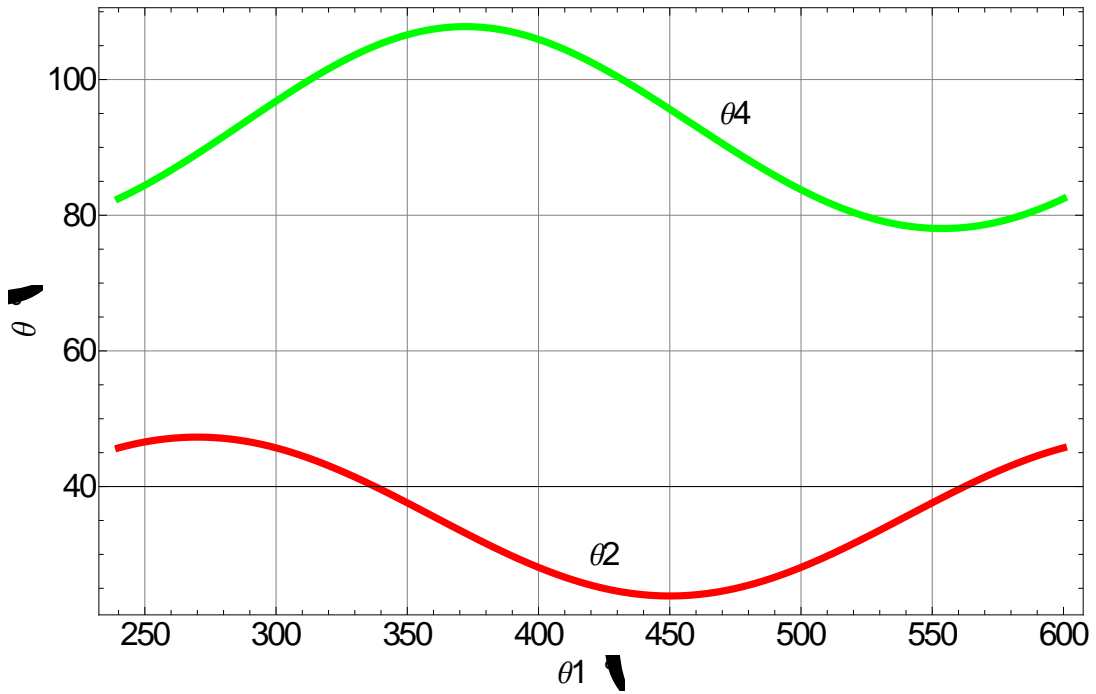
### 3.10.- MECANISMO BIELA-MANIVELA-CORREDERA HORIZONTAL Y VERTICAL.



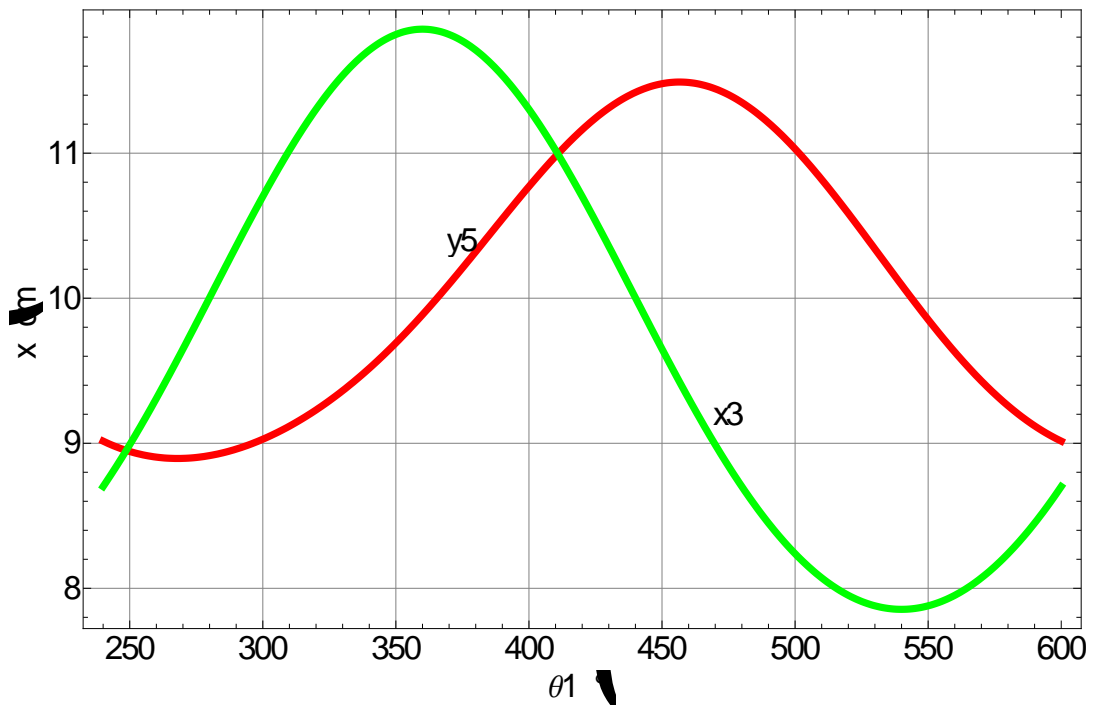
**Figura 3.25.-** Mecanismo biela-manivela-corredera horizontal y vertical.



**Figura 3.26.-** Numeración de cuerpos del mecanismo biela-manivela-corredera horizontal y vertical.



(a)



(b)

Figura 3.27.- Graficación de la posición: (a)  $\theta_2$  y  $\theta_4$ ; (b)  $x_3$  y  $y_5$ .

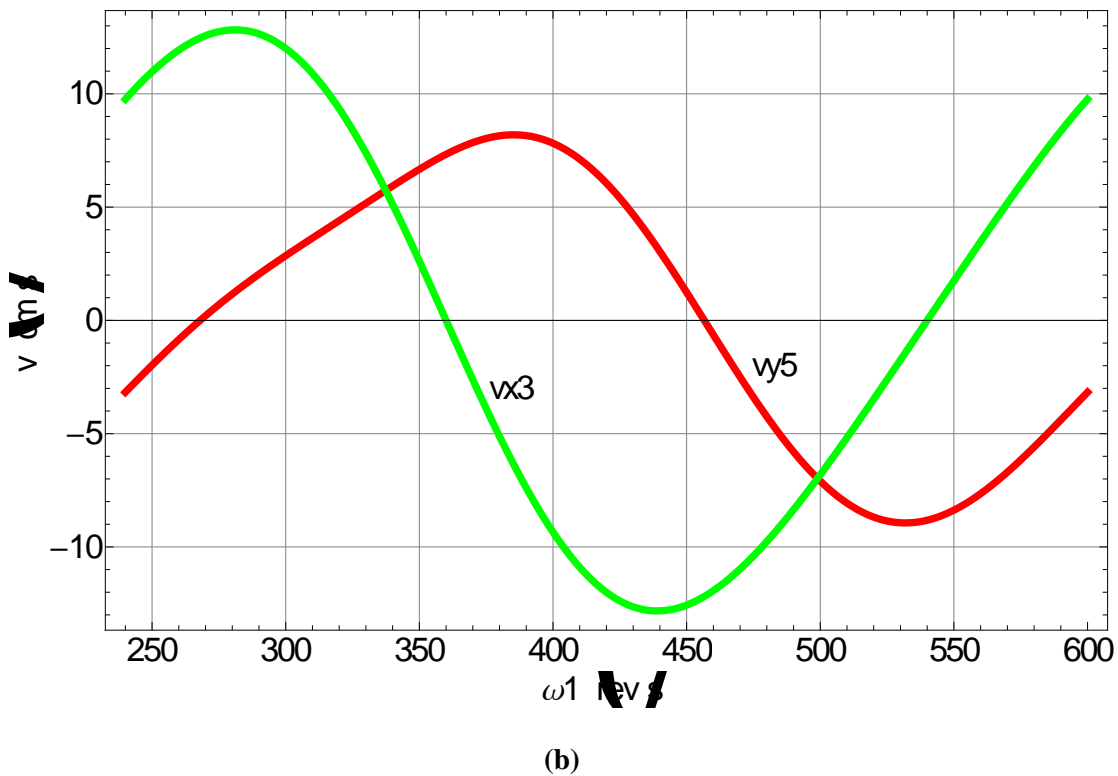
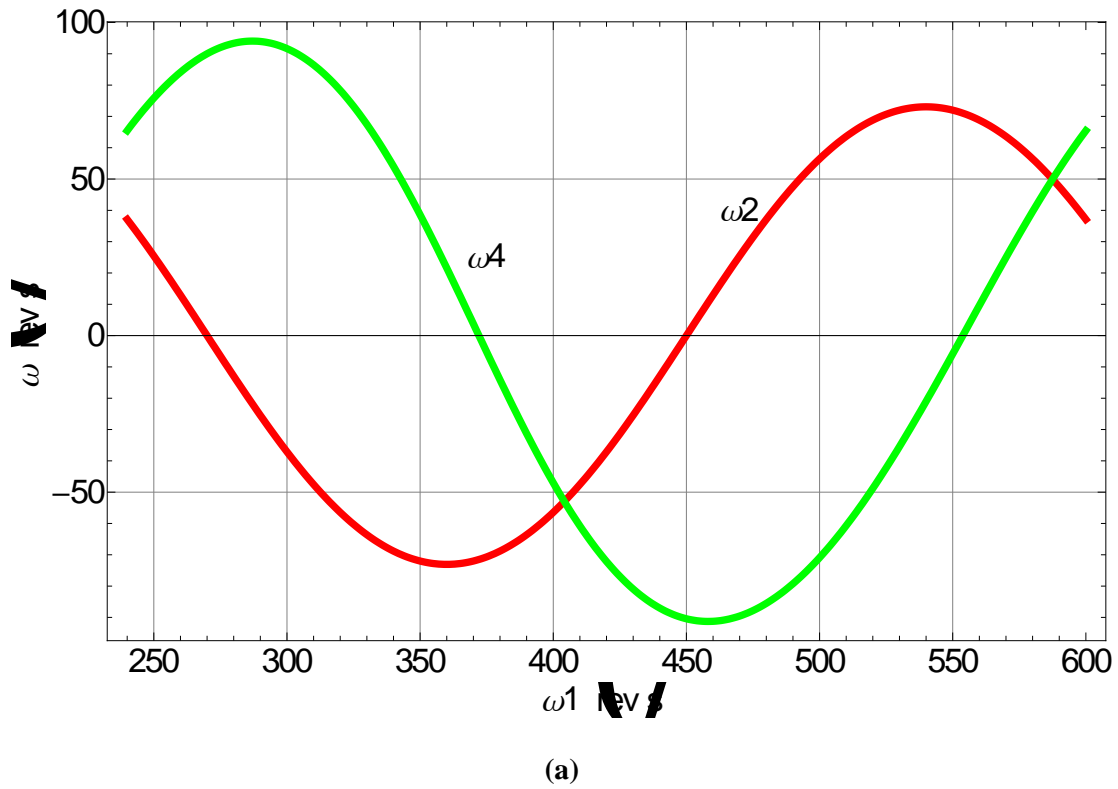
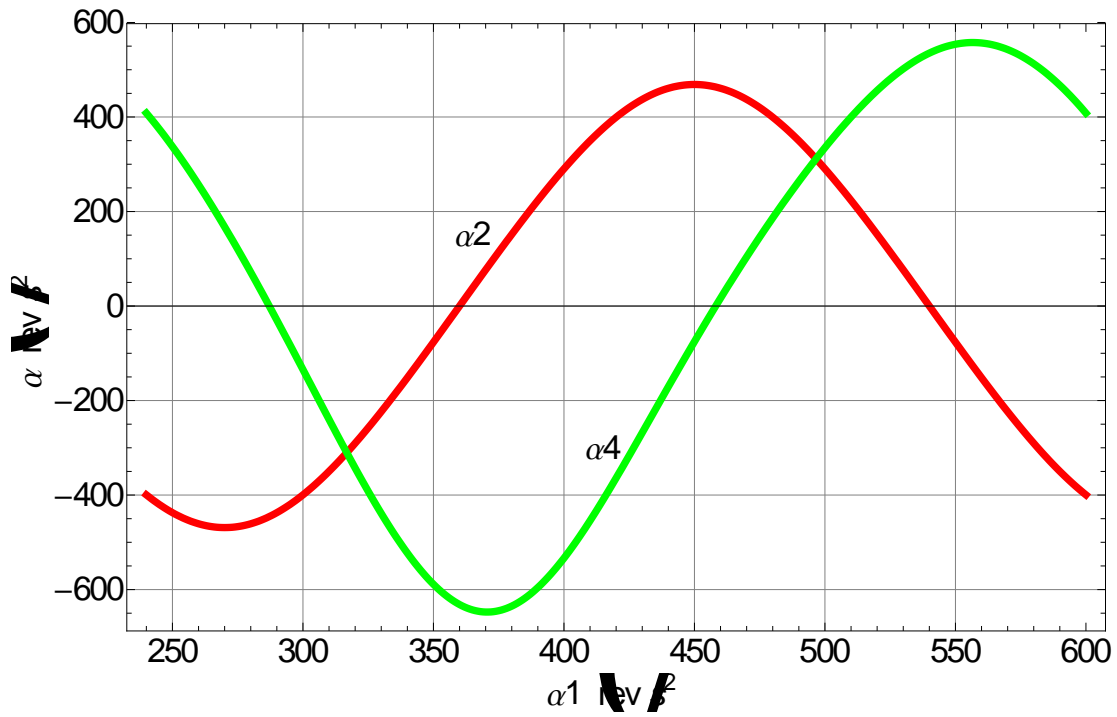
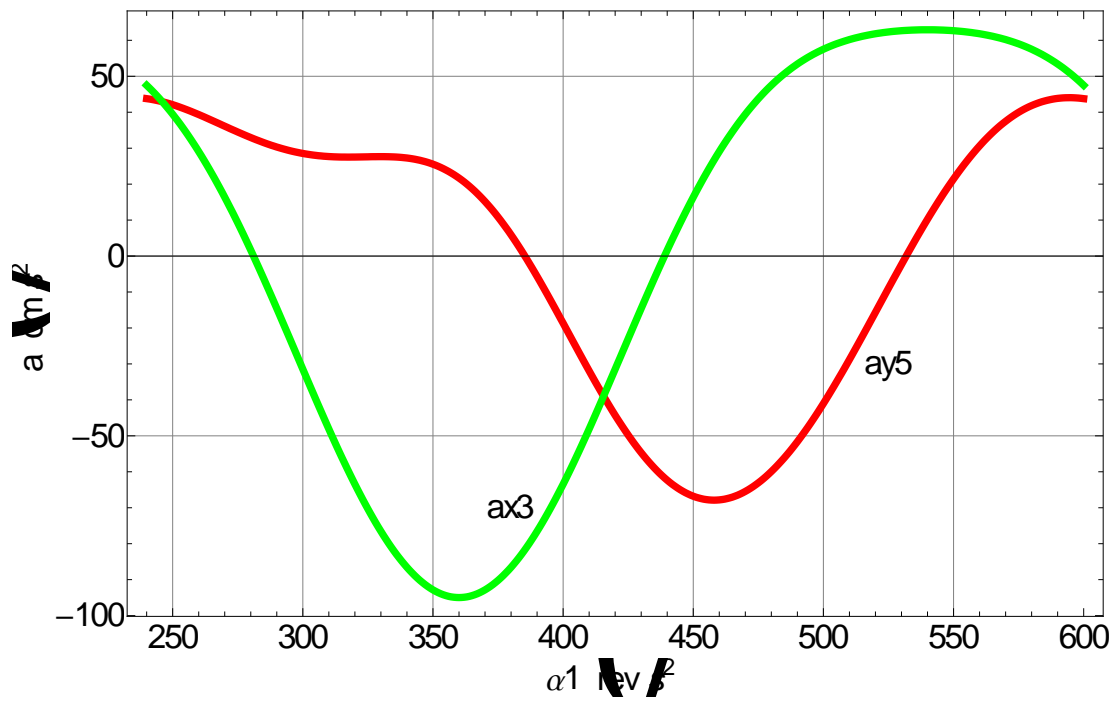


Figura 3.28.- Graficación de la velocidad: (a)  $\omega_2$  y  $\omega_4$ ; (b)  $v_{x3}$  y  $v_{y5}$ .



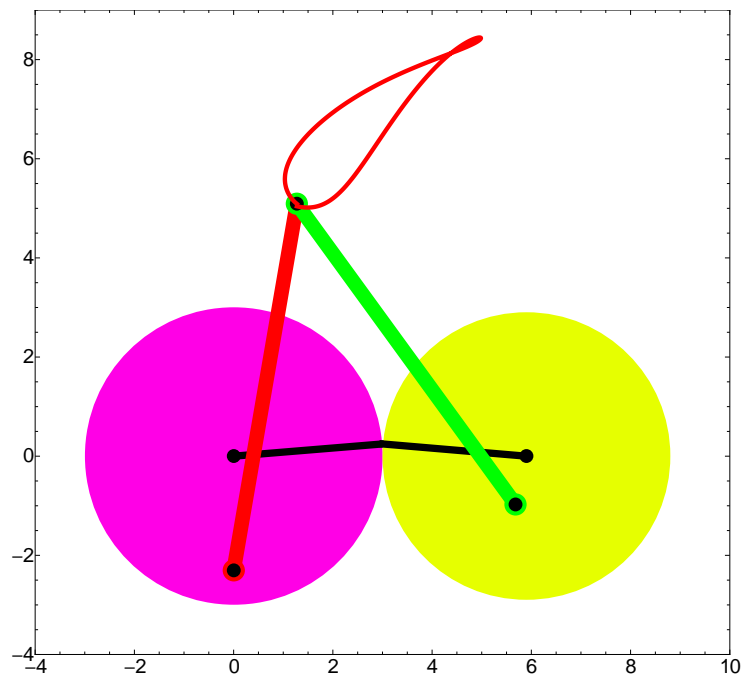
(a)



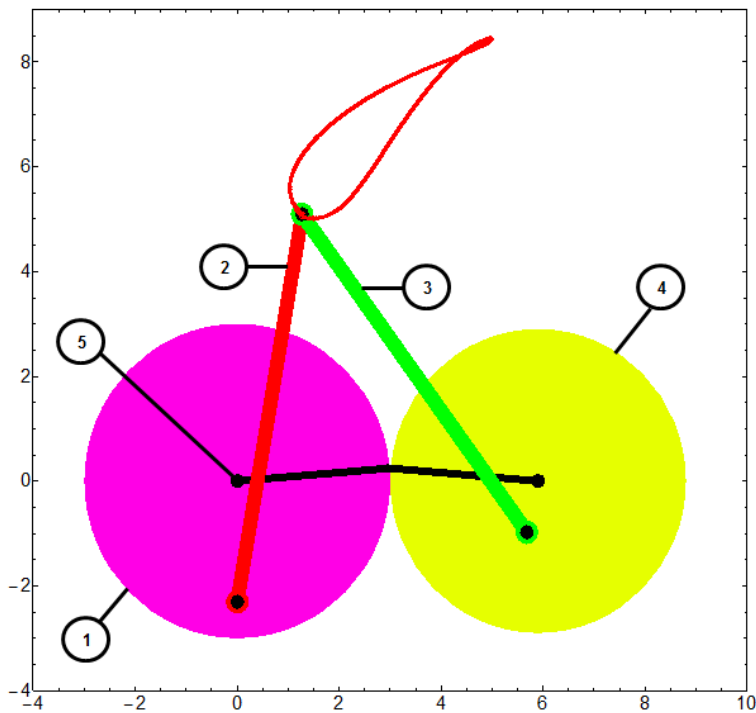
(b)

Figura 3.29.- Graficación de la aceleración: (a)  $\alpha_2$  y  $\alpha_4$ ; (b)  $a_{x3}$  y  $a_{y5}$ .

### 3.11.- MECANISMO DE TRES BARRAS Y ENGRANES.



**Figura 3.30.-** Mecanismo de 3 barras y engranes.



**Figura 3.31.-** Numeración de cuerpos del mecanismo de 3 barras y engranes.

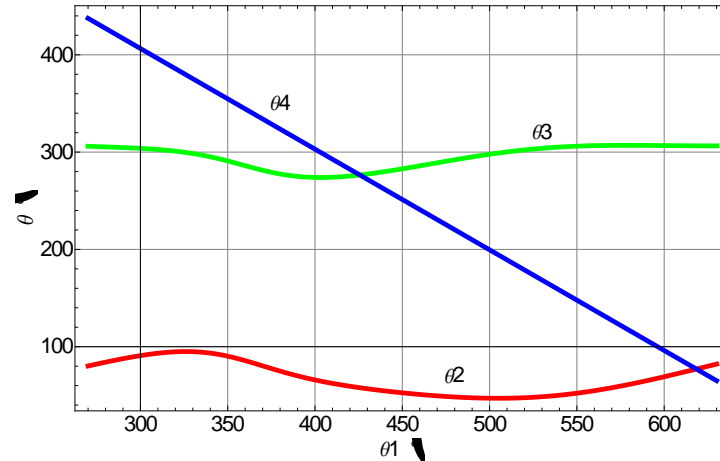


Figura 3.32.- Graficación de la posición:  $\theta_2$ ,  $\theta_3$  y  $\theta_4$ .

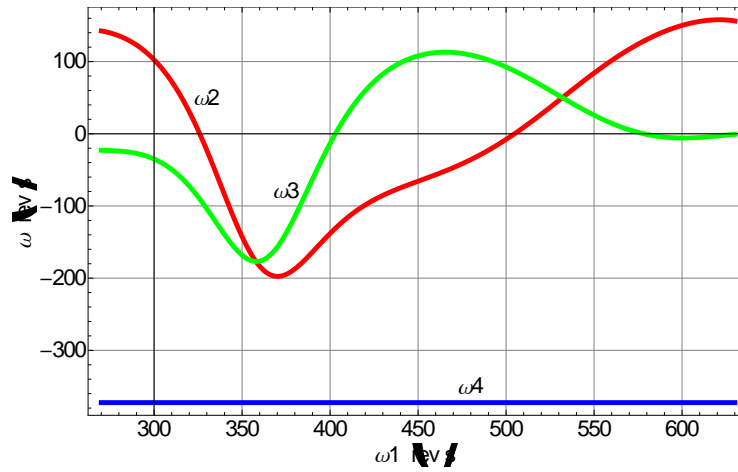


Figura 3.33.- Graficación de la velocidad:  $\omega_2$ ,  $\omega_3$  y  $\omega_4$ .

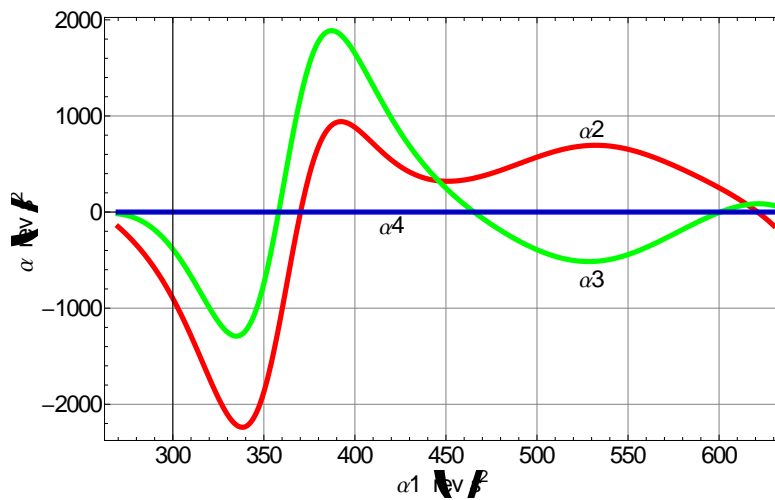


Figura 3.34.- Graficación de la aceleración:  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$  y  $\alpha_4$ .



### 3.12.- MECANISMO DE 4 BARRAS.

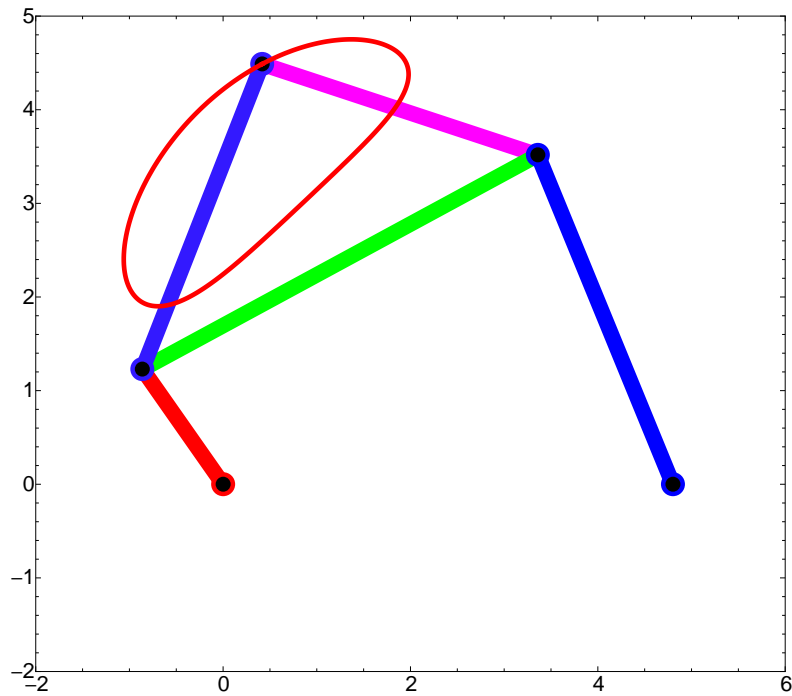


Figura 3.35.- Mecanismo de 4 barras.

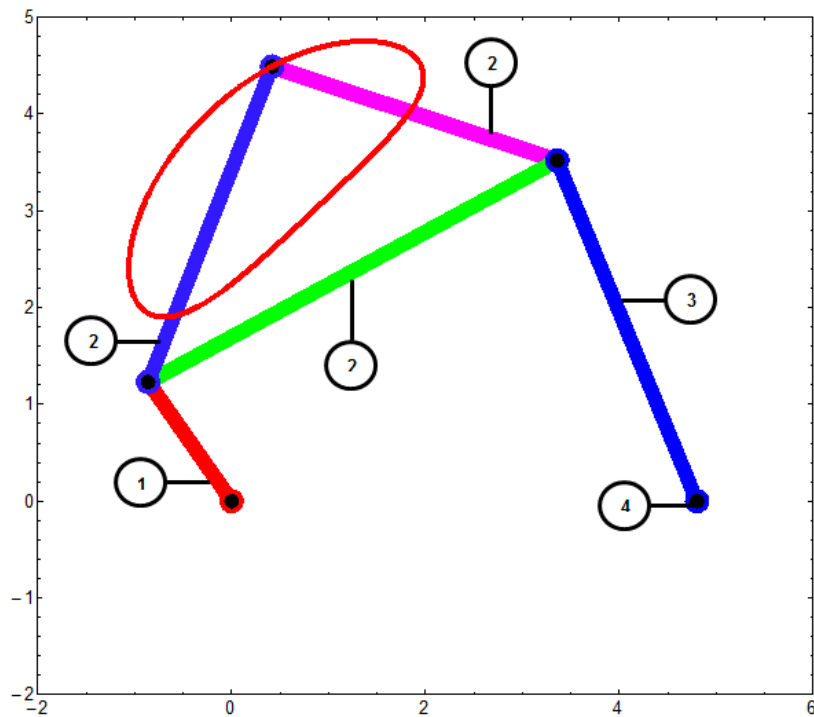


Figura 3.36.- Numeración de cuerpos del mecanismo de 4 barras.

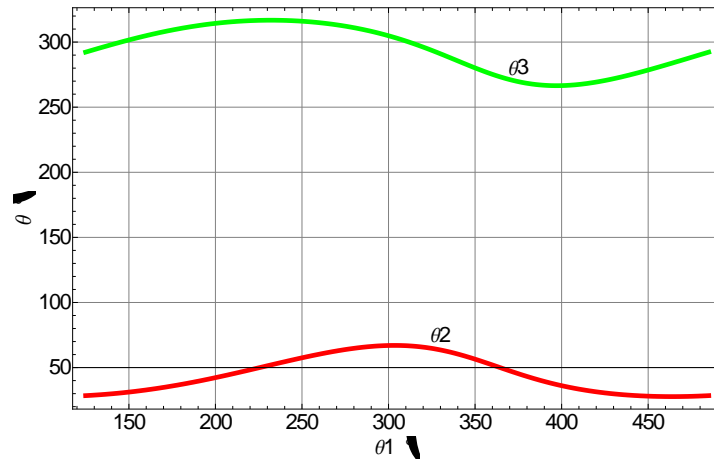


Figura 3.37.- Graficación de la posición:  $\theta_2$  y  $\theta_3$ .

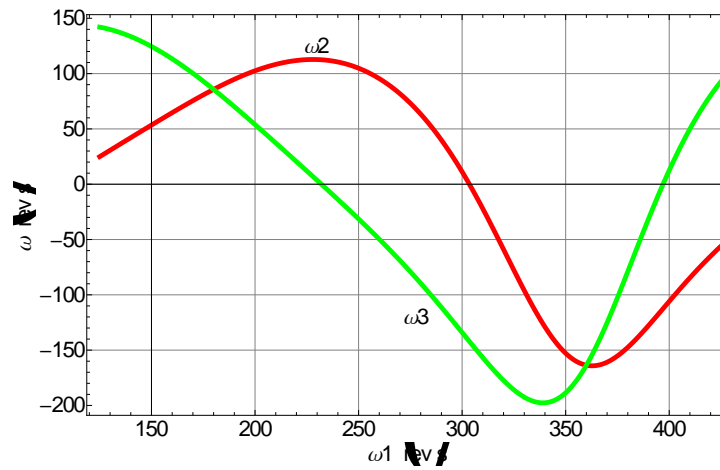


Figura 3.38.- Graficación de la velocidad:  $\omega_2$  y  $\omega_3$ .

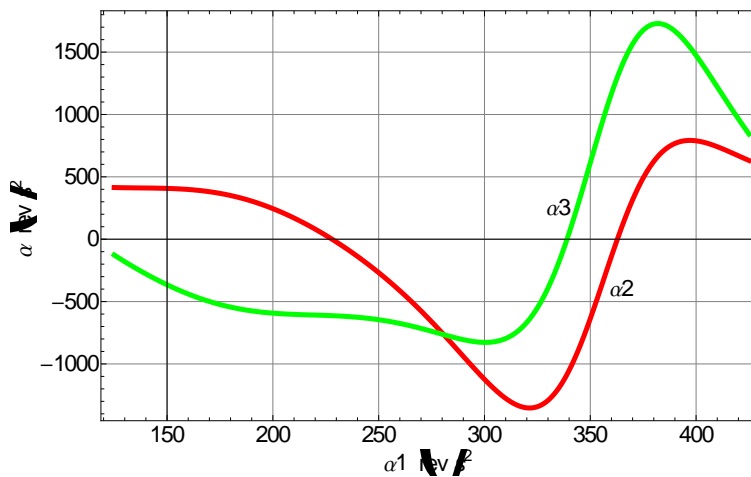


Figura 3.39.- Graficación de la aceleración:  $\alpha_2$  y  $\alpha_3$ .

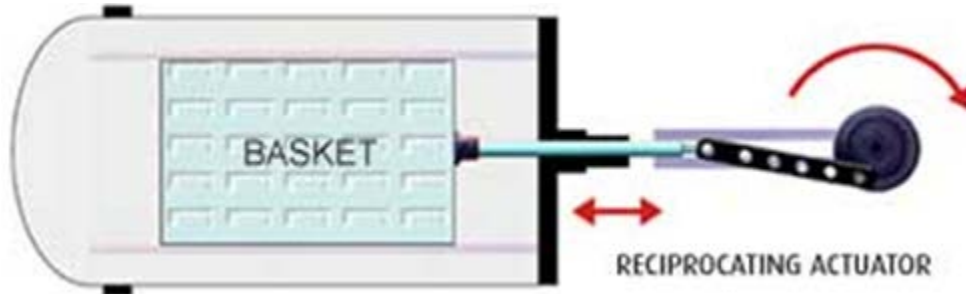
## CAPÍTULO IV.- COMUNICACIÓN DEL DISEÑO.

### 4.1.- INTRODUCCIÓN.

El uso de mecanismos agitadores comenzó en 1921. La idea de este concepto era una olla de presión que costaba de una armadura, el mecanismo giraba la armadura y esto ocasionaba agitación del producto en el interior de la olla de presión.

Aunque hay autoclaves giratorias que usan un mecanismo para girar las canastillas, este mecanismo no se puede considerar como agitador ya que su principal función es girar; si bien es cierto que hay agitación del producto la función girar tiene mayor influencia en estas autoclaves.

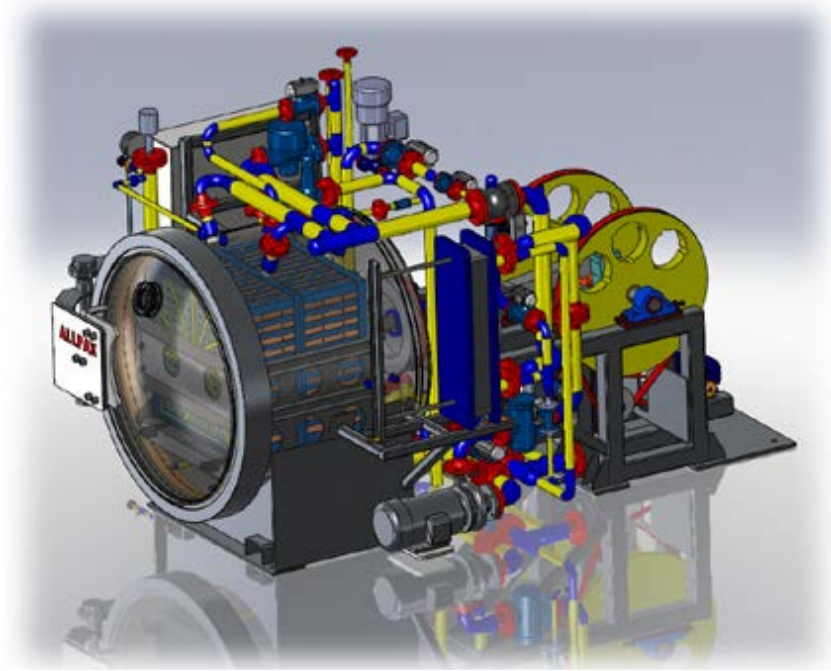
La primera autoclave con mecanismo agitador fue presentada al público en 2006 con el nombre de “process Shaka”.



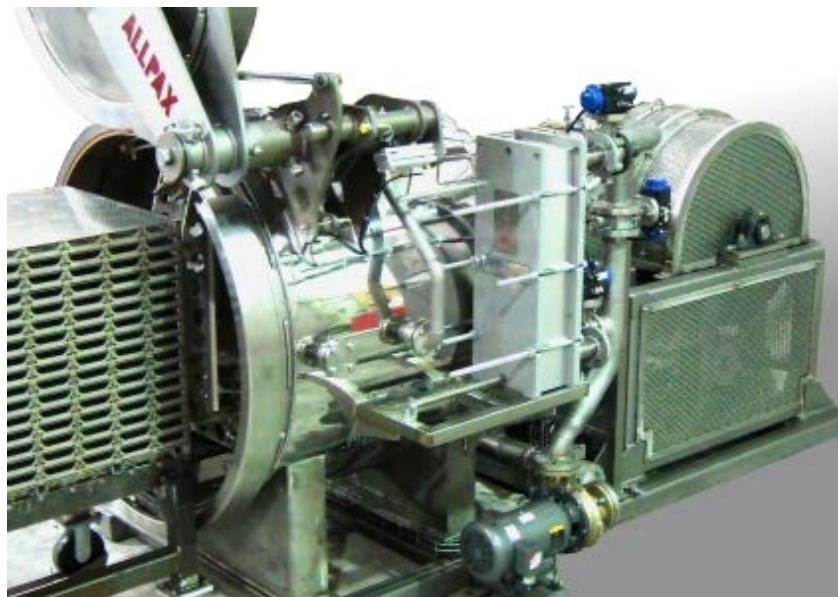
**Figura 4.1.-** Esquema funcional del mecanismo usado en el proceso Shaka.



**Imagen 4.2.-** Modelo CAD de una autoclave equipada con el mecanismo para el proceso Shaka.



**Imagen 4.3.-** Modelo CAD de una autoclave equipada con el mecanismo para el proceso Shaka y las disposiciones de las canastillas.



**Figura 4.4.-** Vista isométrica de una autoclave equipada con un mecanismo agitador.



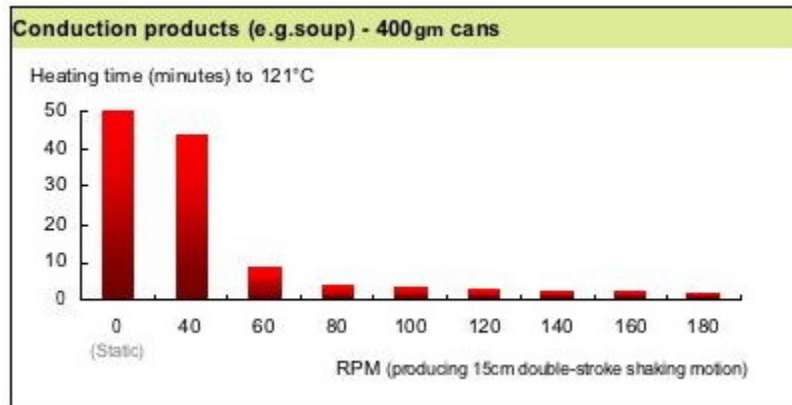
**Figura 4.5.-** Vista frontal de una autoclave equipada con un mecanismo agitador.



**Figura 4.6.-** Vista lateral izquierda de una autoclave equipada con un mecanismo agitador.

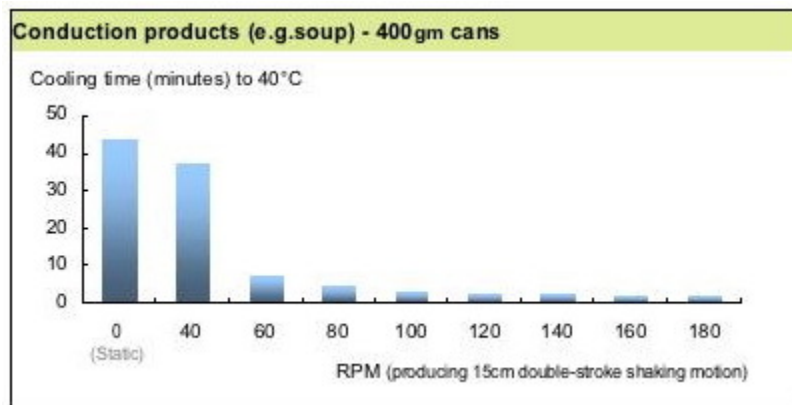
#### 4.2.- VENTAJAS DEL PROCESO DE ESTERILIZACIÓN POR CONVECCIÓN FORZADA.

En la figura 4.7 se puede apreciar la rapidez con la que los envases llegan a la temperatura de esterilización cuando la tasa de agitación supera las 120 rpm, tal como lo utiliza el proceso Shaka ®.



**Figura 4.7.-** Calentamiento durante el periodo de esterilización a diferentes velocidades del proceso Shaka ®.

La siguiente figura muestra la rapidez con la que los envases se enfrían después del proceso de esterilización cuando la tasa de agitación supera las 120 rpm, tal como lo utiliza el proceso Shaka ®.



**Figura 4.8.-** Enfriamiento durante el periodo de esterilización a diferentes velocidades del proceso Shaka ®.

A continuación se muestran algunos tiempos típicos para la esterilización y enfriamiento de productos envasados de 400gm (73mm x 110mm). Se debe tener en cuenta la drástica reducción del tiempo en el ciclo de esterilización con el proceso Shaka ®, dando lugar a una calidad mucho mejor de los alimentos.

DISEÑO CONCEPTUAL DE UN AGITADOR QUE REDUZCA EL TIEMPO DE ESTERILIZACIÓN EN UNA AUTOCLAVE INDUSTRIAL.

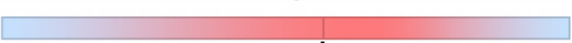







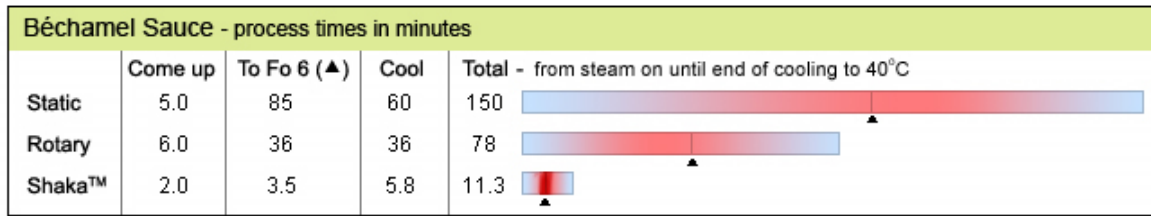
Static Process				Indicative times in minutes:secs	
	Come up	To Fo 6 (▲)	Cool	Total - from steam on until end of cooling to 40°C	
Béchamel	5:00	85:00	60:00	150:00 	
Shaka™ Process - Conduction Products ( Low acid )					
	Come up	To Fo 6 (▲)	Cool	Total - from steam on, to 130°C, until end of cooling to 40°C	
White Sauce	2:20	1:45	4:00	8:05 	
Carbonara	2:45	3:10	3:40	9:35 	
Veg. Soup	2:20	2:15	3:30	8:05 	
Fish Soup	2:20	2:50	3:45	8:55 	
Shaka™ Process - Convection Products ( Low acid )					
	Come up	To Fo 6 (▲)	Cool	Total - from steam on, to 130°C, until end of cooling to 40°C	
Veg. soup	2:15	0:55	1:35	4:45 	
Peas in Brine	2:15	1:30	2:15	6:00 	
Sliced Carrots	2:20	2:10	2:30	7:00 	

Figura 4.9.- Tiempos de esterilización en un proceso estático y en el proceso dinámico Shaka ®.



Figura 4.10.- Dos muestras de salsa bechamel: la de la izquierda fue sometida al proceso de esterilización en una autoclave giratoria y la de la derecha fue sometida al proceso de esterilización con el proceso Shaka ®. Es de notar el que el color del producto esterilizado con el proceso Shaka ® es más claro.

El proceso Shaka ® ofrece un ahorro económico debido a los ciclos de esterilización más cortos, dando como resultado hasta un 50 % de reducción en el consumo de energía y ahorro de espacio en comparación con los procesos por lotes de autoclaves convencionales.



**Figura 4.11.-** Resultados y ahorros energéticos del proceso funcional para el proceso de esterilización.

#### 4.3.- COSTO-FUNCIÓN.

Es importante identificar los factores de costo tan pronto y claramente sea posible en el proceso de diseño [Michael J. French (1999)]. Es importante iniciar la optimización de costos lo más pronto posible, ya que, cualquier cambio de diseño que deba hacerse durante la producción generalmente es muy costoso [Gerhard Pahl (2007)].

En la tabla 4.1 se muestran los costos de algunas autoclaves.

Concepto	Diámetro interior (m)	Longitud (m)	Espesor (mm)	Material de fabricación	Costo de fabricación (\$)
A	1.65	3.05	9.5	Acero inoxidable 304	659,319.60
B	0.51	0.52	3.6	Acero inoxidable 304	180,287.42
C	0.51	0.52	3.6	Acero inoxidable 304	159,554.57
D	1.69	1.56	9.5	Acero inoxidable 304	409,785.50
E	2.21	3.66	7.9	Acero inoxidable 304	285,425.50
F	2.21	3.66	7.9	Acero inoxidable 304	730,468.63

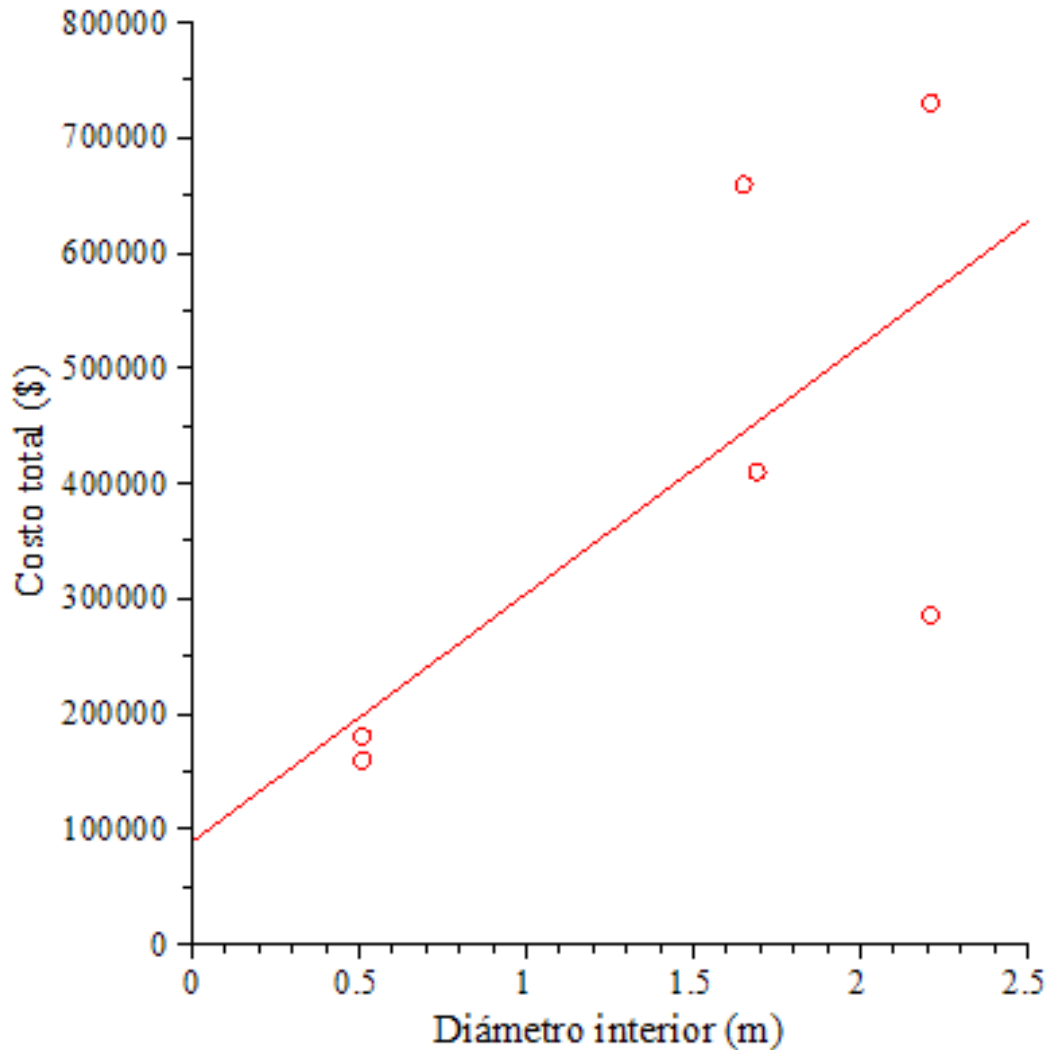
**Tabla 4.1.-** Costo de la autoclave y algunos de sus parámetros de diseño.

Se graficaron los puntos de los parámetros: diámetro interior, longitud y espesor, en función del costo. Se utilizó el software estadístico STATGRAPHICS 5.1 para cada uno de los parámetros de manera que obtenemos un modelo mediante regresión lineal que predecirá el comportamiento de parámetros más altos a partir de los parámetros dados.



**Fiabilidad que predice el modelo**  
47 %

**Ecuación que describe el modelo**  
 $\text{Costo total} = 88,828.2 + 215,474 * \text{Diámetro interior}$



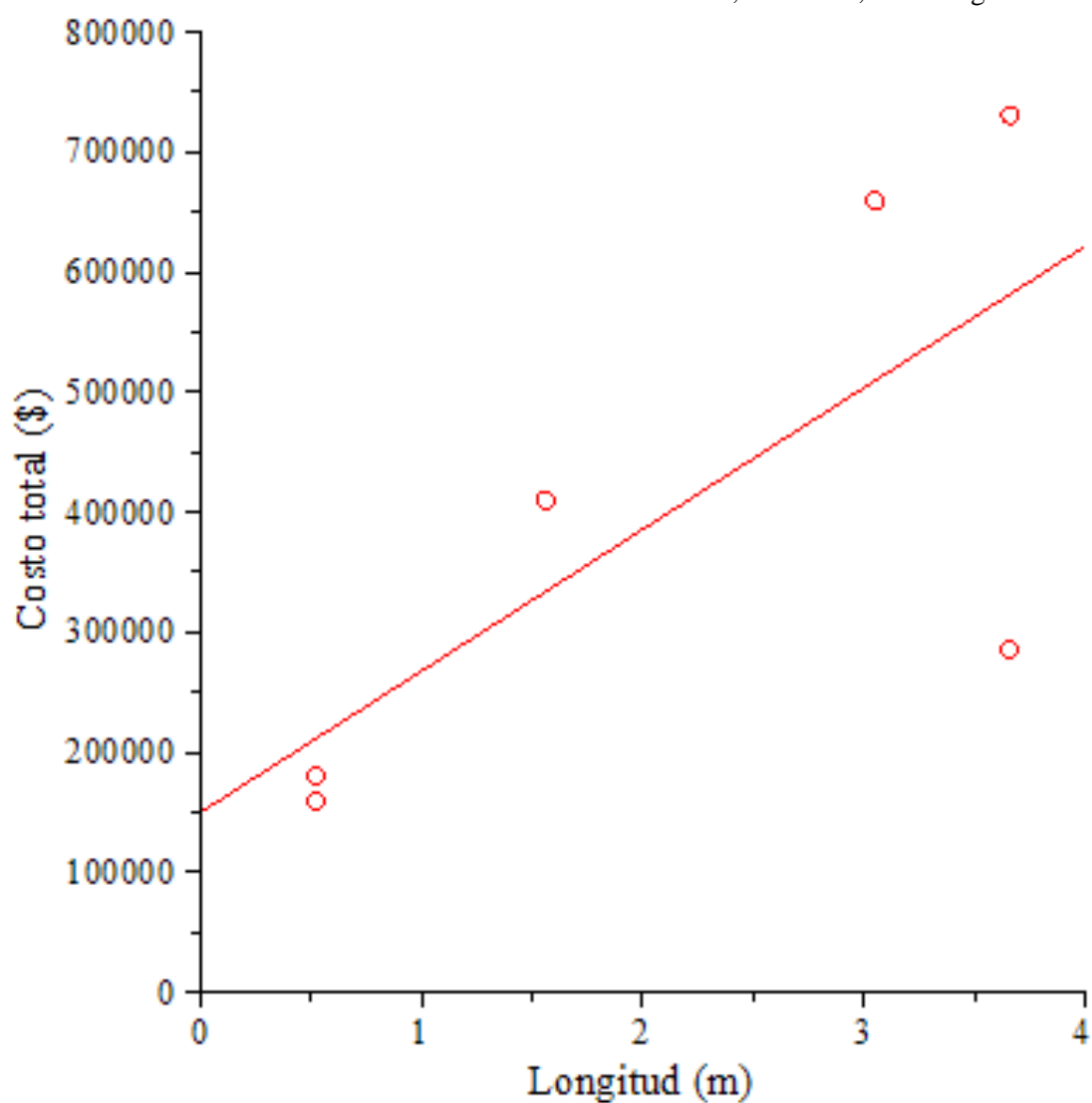
**Figura 4.12.-** Relación del costo total (\$) en función del diámetro interior (m).

**Fiabilidad que predice el modelo**

52 %

**Ecuación que describe el modelo**

Costo total = 148,734 + 118,152\*Longitud



**Figura 4.13.-** Relación del costo total (\$) en función de la longitud (m).

Fiabilidad que predice el modelo  
54 %

Ecuación que describe el modelo  
Costo total = -52,928.3 + 65,295.3\*Espesor

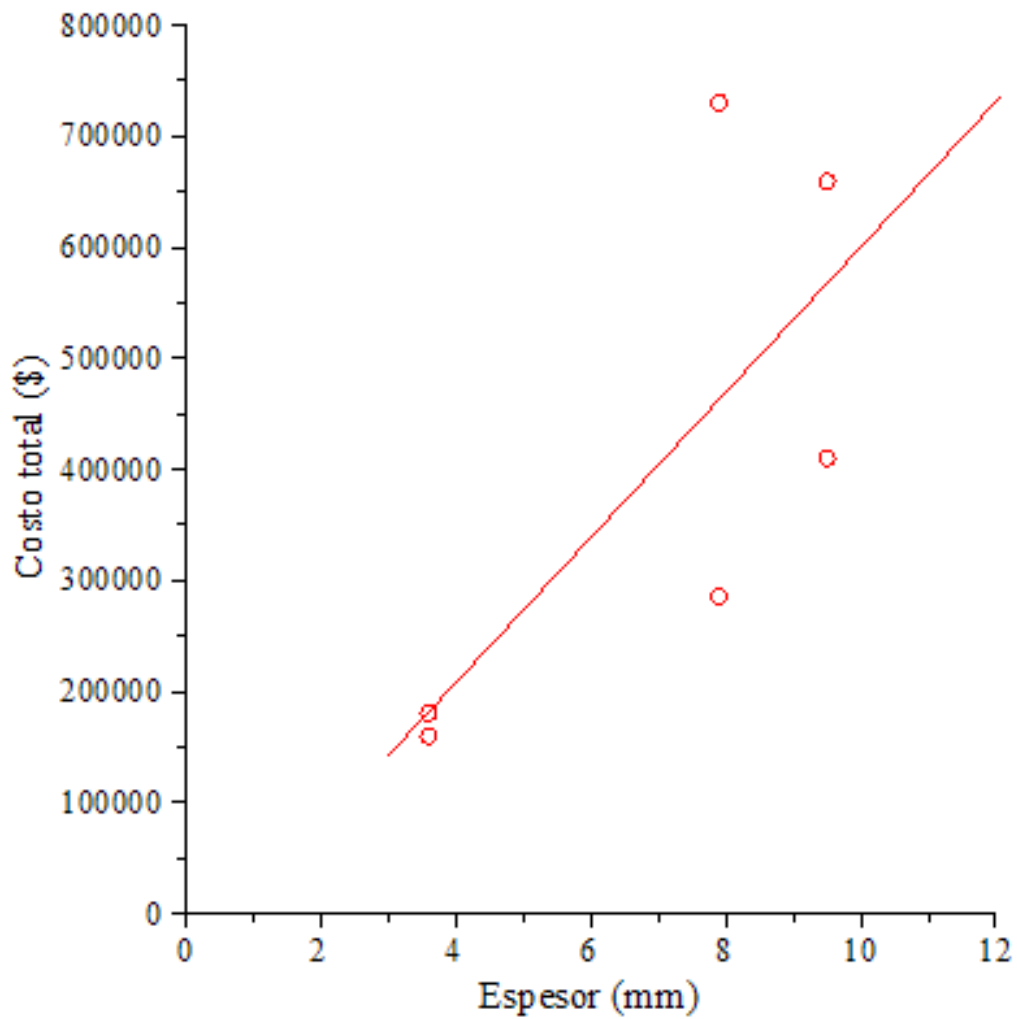


Figura 4.14.- Relación del costo total (\$) en función del espesor (mm).

#### 4.4.- EVALUACIÓN DE CONCEPTOS.

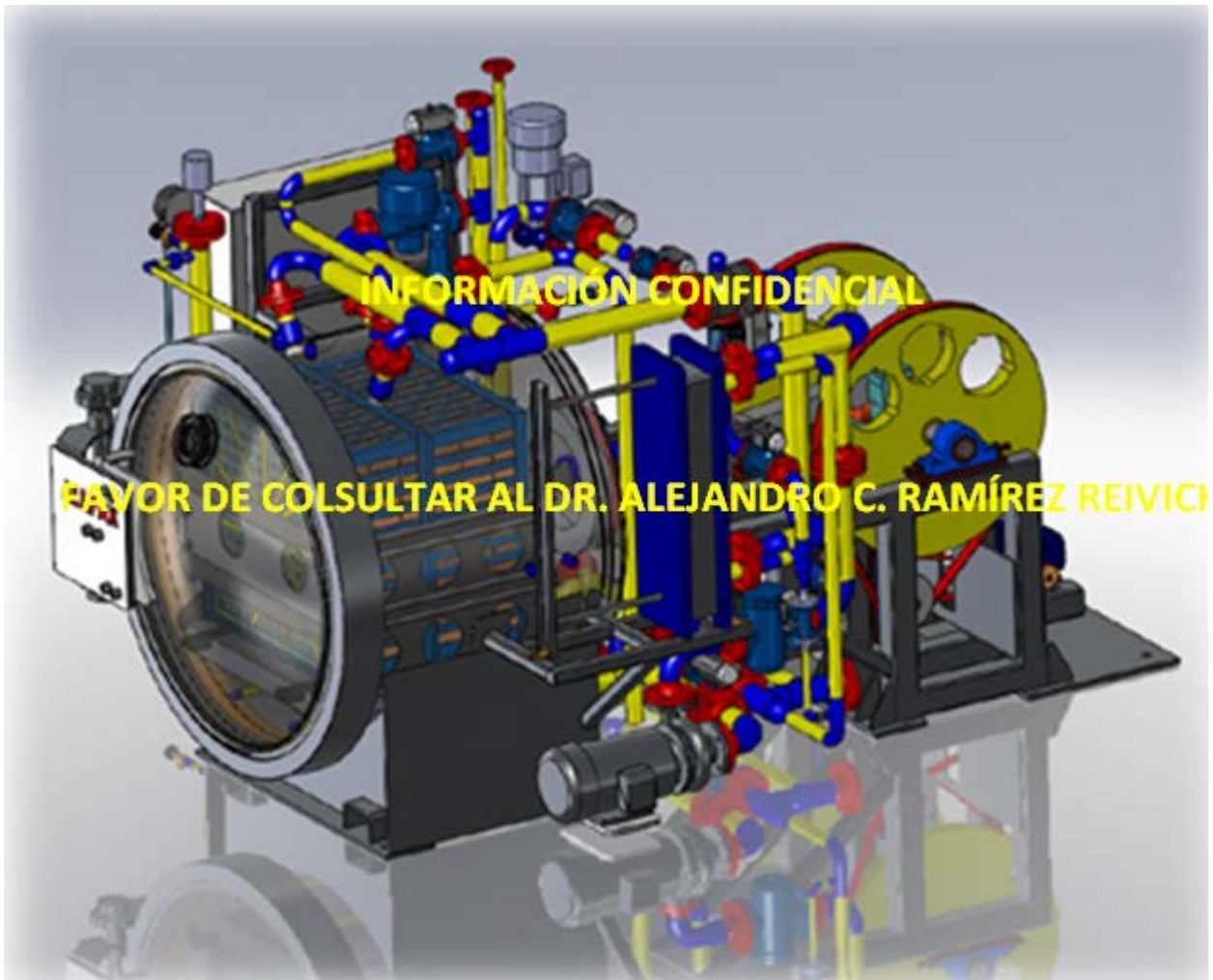
La evaluación de conceptos se usa cuando una mayor resolución va a lograr una mejor diferencia entre conceptos. Se pondera la importancia relativa de los criterios de selección y se enfoca en comparaciones para cada criterio [Karl T. Ulrich (2009)]. [David G. Ullman (2010)], [Gerhard Pahl (2007)], [Karl T. Ulrich (2009)] y [George E. Dieter (2009)] sugieren el uso de una matriz de selección.

		Mecanismos		
Requerimientos del cliente	Importancia del factor de peso	Mecanismo de 6 barras y engranes	Mecanismo de 4 barras y engranes	Biela-manivela-corredera horizontal y vertical
Número de cuerpos	5	7	8	9
Gráficas de posición	4	9	8	8
Gráficas de velocidad	5	8	8	8
Gráficas de aceleración	5	8	8	8
Cuerpos sometidos a fricción	5	9	9	8
Desplazamientos horizontales o verticales	3	9	8	7
Puntuación de primas		223	221	218
Peso relativo (%)		33.69	33.38	32.93
Rango de orden		1	2	3

**Tabla 4.2.-** Matriz de evaluación de conceptos.

La matriz de evaluación arroja que el mecanismo de 6 barras y engranes es la mejor solución a nuestras necesidades. Si bien es el mecanismo que posee el mayor número de cuerpos de los conceptos seleccionados sus gráficas de posición, velocidad y aceleración presentan un comportamiento consistente con respecto a los otros dos conceptos.

4.5.- CONCEPTO FINAL.



## RESULTADOS OBTENIDOS.

- 1.- La frontera natural del problema se encontró agitando agua en un envase transparente de diferentes formas y agregándole un colorante hecho a base de pintura vegetal, sal y agua; lo que permitió observar el comportamiento del producto en el interior del envase.
- 2.- Sin necesidad de elaborar planos de diseño a detalle podemos transmitir de manera sencilla el diseño a las demás personas.
- 3.- De manera muy sencilla y entendiendo el cómo funciona el proceso de esterilización podemos diseñar un buen mecanismo de agitación.
- 4.- No se debe pensar en el cómo sino el que durante las primeras etapas del proceso de diseño. Si no ponemos a pensar en el cómo dejaremos fuera la parte esencial del diseño y resolveremos de una manera errónea el problema.

## CONCLUSIONES.

- 1.- El mercado Mexicano debe de crecer un 8.5 % en el 2012 para poder competir con el mercado Asiático, de lo contrario, se quedará estancado por varios años más.
- 2.- México solo produce alimentos básicos para el consumo de su población,
- 3.- La incertidumbre de una nueva recesión mundial por los problemas financieros de España, Grecia, Italia y Portugal en la Unión Europea afectan los pronósticos de crecimiento para 2013.
- 4.- La constitución microbiana de los alimentos nos ayuda a elegir el mejor método de esterilización ya que conocemos las fortalezas y debilidades de los microorganismos.
- 5.- En el proceso de esterilización se debe asegurar la destrucción de todos los microorganismos, de lo contrario, el riesgo sería fatal para el consumidor final.
- 6.- Las sensaciones juegan un papel importante a la hora de comprar un producto, entre más sean las sensaciones que el producto le transmita al cliente, mayor será el deseo de adquirirlo.
- 7.- La mayoría de veces el cliente no sabe lo que quiere, se deja llevar solo por la etiqueta del producto y no se pone a pensar si realmente es lo que necesita.
- 8.- El usuario final es el que determina el éxito de un producto dentro del mercado. La mayoría de veces el usuario solo compra la marca del producto sin detenerse a pensar si este cubre o no realmente sus necesidades.
- 9.- Las ecuaciones de transferencia de calor por convección, no dependen de una función que varíe como lo hacen la posición, velocidad y aceleración de los mecanismos por lo que es complicado establecer modelos matemáticos más exactos.
- 10.- No hay normas de recipientes a presión en las que se indiquen los criterios que se deben tomar en cuenta al acoplar un mecanismo en un recipiente a presión.

## LO QUE SE APRENDIÓ DURANTE EL TRABAJO.

- 1.- Las metodologías de diseño solo nos sirven de guía al final, cada persona es un diseñador único y con su propia metodología de diseño.
- 2.- La falta de experiencia en el ámbito laboral hace más difícil el proceso de diseño aumentando de manera significativa el tiempo que me tomo para solucionar el problema.
- 3.- El diseño es otra cosa totalmente distinta a lo que me esperaba, al ir descubriendo que es en realidad el diseño me iba interesando más en aplicarlo y entenderlo.
- 4.- Cuesta bastante trabajo dejar de pensar como ingeniero y empezar a pensar como diseñador.



## TRABAJO PENDIENTE.

- 1.- Construir y acoplar el mecanismo al bando de pruebas que posee la UNAM, colocándolo de manera horizontal y vertical, para establecer criterios de configuración entre la autoclave y el mecanismo.
- 2.- Hacer una búsqueda más exhaustiva de las ecuaciones de transferencia de calor por convección para establecer un modelo matemático que asocie la posición, velocidad y aceleración del mecanismo con la convección.
- 3.- Una vez obtenidos los primeros resultados en el banco de pruebas realizar un mecanismo más elaborado y buscar que una empresa lo utilice para que pueda observar la reducción del proceso de esterilización.

## BIBLIOGRAFÍA.

A. A. Teixeira, M. O. Balaban. S. P. M. Germer (1999). *Heat transfer model performance in simulation of process derivations*, Journal of food science, Volumen 64, No. 3, 1999.

A.G. Abdul Ghani, M. M. Farid, X. D. Chen (2001). *Thermal sterilization of canned food in a 3-D pouch using computational fluid dynamics*, Journal of Food Engineering 48 (2001) 147-156.

A. G. Abdul Ghani Al-Baali, Mohamed M. Farid (2006). *Sterilization of food in retort pouches*, Spriger, 140.

Adrian Bejan, Allan D. Kraus (2003). *Heat transfer handbook*, JOHN WILEY & SONS, 395-436.

Agriculture and agri-food Canada (2010). *Packaged foods in the United States*, Market indicator report, 2(2).

Ahmed A. Shabana (2005). *Dynamics of multibody systems*, CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, Tercera edición, 3-6.

Albert Ibarz, Gustavo V. Barbosa-Canóvas (2003). *Unit operations in food engineering*, CRC Press, 366-465.

Anita Regmi, Mark Jonathan Gehlhar (2005). *New directions in global food markets*, United States Department of Agriculture, Agriculture Information Bulletin Number 794, 62-65

Ansel C. Ugural (2004). *Mechanical design: An integrated approach*, McGraw-Hill Higher Education, 1-31.

Anthony Ulwick (2005). *What customer s want*, McGraw-Hill,

Beatrice H. Lado, Ahmed E. Yousef (2002). *Alternative food-preservation technologies: efficacy and mechanisms*, Microbes and Infection 4 (2002) 433-440.

Bertil Hultén, Niklas Broweus, Marcus van Dijk (2009). *Sensory marketing*, Palgrave MacMillan, Primera edición,

Bin Xia, Da-Wen Sun (2005). *Applications of computational fluid dynamics (CFD) in the food industry: a review*, Computers and Electronics in Agriculture, 34 (2005) 5-24.

Charles H. Kepner, Benjamin B. Tregoe (1981). *The new rational manager*, Princeton Research Press,

Charles M. Futrell (2011). *Fundamentals of selling: Customers for live through service*, McGraw-Hill doceava edición, 2, 62, 72, 113, 443.

Clayton M. Christensen (1997). *The innovator's dilemma: When new technologies cause great firms to fail*, Harvard Business School Press,

Dan B. Marghitu (2001). *Mechanical engineer's handbook*, ACADEMIC PRESS, 52-87.

Dan B. Marghitu (2005). *Kinematic chains and machine components design*, ELSEVIER ACADEMIC PRESS, 51-70, 109-117, 141-155.

Dan B. Marghitu (2009). *Mechanisms and robots analysis with MATLAB*, Springer, 1-20, 42-53, 109-116.

David G. Ullman (2010). *The mechanical design process*, McGraw-Hill International Edition, Cuarta edición, 1-433.

Dennis Moss (2004). *Pressure vessel design manual: Illustrated procedures for solving major pressure vessel design problems*, Gulf Professional Publishing, Tercera edición, 166-177.

Dennis R. Heldman, Daryl B. Lund (2007). *Handbook of food engineering*, CRC Press, Segunda edición, 860-887.

Donatello Annaratone (2010). *Engineering heat transfer*, Springer, 63-138.

Eduardo Cao (2010). *Heat transfer in process engineering*, McGraw-Hill, 35-77.

Edward D. Schmidt, I. J. Pflug (1966). *A study of the variables that affect heat penetration rates in glass containers*, Article 48-86, Febrero de 1966.

Eugene F. Megyesy (1992). *Manual de recipientes a presión: Diseño y cálculo*, Editorial Limusa, 13-30, 84-85.

Euromonitor international (2006). *Packaged food in the world*.

F. Hannay (2002). *Rigid packaging-materials, processes and applications*, Rapra review reports, report 151, Volume 13, Number 7,

Francisco Jiménez Cuenca (2010). *Notas del curso estática y dinámica de multicuerpos rígidos*, Capítulo 1.- Cinemática plana, 1-66.

Frank Kreith (2000). *The CRC handbook of thermal engineering*, CRC Press, 261-315.

Gerhard Pahl, Wolfgang Beitz (2007). *Engineering design: A systematic approach*, Springer, Tercera edición, 1-569.

George E. Dieter, Linda C. Schmidt (2009). *Engineering design*, McGraw-Hill Higher Education, Cuarta edición, 1-817.

Harold Rothbart, Thomas H. Brown (2006). *Mechanical design handbook*, McGraw-Hill Handbooks, Segunda edición, 1.1-1.21, 3.1-3.69.

J. Noronha, M. Hendrickx, A. Van (1995). *New semi-empirical approach to handle time-variable boundary conditions during sterilization of non-conductive heating foods*, Journal of Food Engineering 24 (1995) 249-268.

J. P. Holman (1986). *Heat transfer*, McGraw-Hill, Sexta edición, 271-311.

J. P. Merlet (2006). *Parallel robots*, Springer, Segunda edición, 105-119, 153-162.

James G. Brennan (2006). *Food processing handbook*, WILEY-VCH Verlag, 291-346

James M. Jay, Martin J. Loessner, David A. Golden (2005). *Modern food microbiology*. New York, NY. 220-230.

Javier García de Jalón, Eduardo Bayo (1994). *Kinematic and dynamic simulation of multibody systems: The real-time challenge*, Springer-Verlag, 71-108.

Jean-Paul Bardier (1994). *Nicolas Appert inventeur et humaniste*, éditions Royer.

Jorge Angeles (2003). *Fundamentals of robotic mechanical systems: Theory, methods, and algorithms*, Springer, Segunda edición, 19-37.

José María Llamas (2010). *Alimentos enlatados*, Asociación Nacional de Tiendas de Autoservicio y Departamentales, A.C.

Joseph Edward Shigley, John Joseph Uicker (1988). *Teoría de máquinas y mecanismos*, McGraw-Hill, Primera edición, 23-25.

Joseph Kerry, Paul Butler (2008). *Smart packaging technologies for fast moving customer goods*, WILEY,

Juan Luengo L. (1999). Nicolás Appert (1752-1841). *Antecedentes históricos de la preservación de alimentos*, TECNO VET: Año 5 N°1

Juan Manuel León Estrada (2001). *Diseño y cálculo de recipientes a presión*, edición 2001, 14-17, 20-23, 120-130.

Karl T. Ulrich, Steven D. Eppinger (2009). *Diseño y desarrollo de productos*, McGraw-Hill, Segunda edición, 1-404.

Kau-Fui Vincent Wong (2003). *Intermediate heat transfer*, Marcell Dekker, 138-160, 203-231.

Matt Tripodi (2010). *Outlook of US food products consumption and export trends*, EUROMONITOR INTERNATIONAL

Michael J. French (1999). *Conceptual design for engineers*, Springer, Tercera edición, 1-252.

Mike Tooley (2010). *Design engineering manual*, Butterworth-Heinemann, 69 (principios: el proceso de diseño en ingeniería), 77-78 (especificación del diseño).

Mundo alimentario (2005). *El envasado de alimentos: función, tecnologías y futuro*, Mayo/Junio, 22(1).

Murray S. Spiegel (1982). *Theory and problems of theoretical mechanics*, McGraw-Hill, 1-10, 33-38.

Nigel Cross (2000). *Engineering design methods: Strategies for product design*, JOHN WILEY & SONS, Tercera edición, 18.

Noboru Sakai, Jian Wen Tang, Chang Min Liu (2004). *Predicting temperature during the thermal processing of canned high-viscosity liquid food*, Food Science Technology, 10 (1), 79-85.

O. Bottema, B. Roth (1979). *Theoretical kinematics*, DOVER PUBLICATIONS, INC., 7-9, 13-15, 35 y 36.

Oleg Vinogradov (2000). *Fundamentals of kinematics and dynamics of machines mechanisms*, CRC Press, 15-60.

P. Virseda, J. Abril, J. Moure (1997). *Control por ordenador del proceso de esterilización de conservas vegetales. 2.- Transmisión de calor por convección*, Información Tecnológica, Vol. 8 No. 5 – 1997.

Parviz E. Nicraves (1988). *Computer-aided analysis of mechanical systems*, Prentice-Hall, INC., 77-92, 101-114.

Parviz E. Nicraves (2007). *Planar multibody dynamics: Formulation, programming, and applications*, CRC Press, 47-65, 73-85.

Patrick H. Oosthuizen, David Naylor (1999). *An introduction to convective heat transfer analysis*, McGraw-Hill, 157-220, 304-337, 426-477.

R. López Alonso, T. Torres Zapata y G. Antonio Giraldo. *Tecnología de envasado y conservación de alimentos*, laboratorio de procesos químicos CARTIF.

Reza N. Jazar (2010). *Theory of applied robotics: Kinematics, dynamics, and control*, Springer, Segunda edición, 33-44, 529-566, 580-626.

Richard Coles, Derek McDowell, Mark J. Kirwan (2003). *Food packaging technology*, CRC Press, 7-29.

Robert Soliva Fortuny, Olga Martín Belloso (2007). *Nuevas tecnologías en la conservación de alimentos*, TPV-CeRTA, Departament de Tecnologia d'Aliments, diapositivas 1-15.

Robert W. Serth (2007). *Process heat transfer: Principles and applications*, Academic Press, 43-70.

Ronald L. Huston, C. Q. Liu (2001). *Formulas for dynamic analysis*, Marcel Dekker, INC., 70-90.

S. Siriwattayanotin, T. Yoovidhya, T. Meepandung . *Simulation of sterilization of canned liquid food using sucrose degradation as an indicator*.

Shri K. Sharma, Steven J. Mulvaney, Syed S. H. Rizvi (2003). *Ingeniería de alimentos. Operaciones unitarias y prácticas de laboratorio*, Limusa Wiley, 96-113.

Stephen T. Thornton, Jerry B. Marion (2004). *Classical dynamics of particles and systems*, Thomson Brooks/Cole, Quinta edición, 1-9, 30-37.

Thomas R. Kane, David A. Levinson (1985). *Dynamics: Theory and applications*, McGraw-Hill Series in Mechanical Engineering, 15-30.

Yunus A. Cengel (2007). *Transferencia de calor y masa: Un enfoque práctico*, McGraw-Hill, tercera edición, 356-374.