

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA LLENADORA FORMADORA
PARA QUESADILLOS

JULIÁN DAVID TAPIAS RODRIGUEZ
FREDY ARTURO ORDÓÑEZ ZABALA

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE MECATRÓNICA
BOGOTÁ, D.C.
2005

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA LLENADORA FORMADORA
PARA QUESADILLOS

JULIÁN DAVID TAPIAS RODRIGUEZ
FREDY ARTURO ORDÓÑEZ ZABALA

Trabajo entregado para optar por el título de
Ingeniero Mecatrónico

Director
LEONARDO RODRÍGUEZ
Ingeniero Mecatrónico

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE MECATRÓNICA
BOGOTA, D.C.

2005

RESUMEN ANALÍTICO DE ESTUDIO

FECHA DE ELABORACIÓN: Enero de 2006

AUTORES: TAPIAS RODRÍGUEZ, Julian David, juliant_ing@hotmail.com
ORDOÑEZ ZABALA, Fredy Arturo, arturo.ing@gmail.com

TÍTULO: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA LLENADORA-FORMADORA PARA QUESADILLOS

ÁREA DE INVESTIGACIÓN: AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS DE FABRICACIÓN.

DESCRIPCIÓN: El presente desarrollo, alcanzado con este trabajo de grado, es consecuencia de mejorar el proceso de fabricación de un producto autóctono colombiano como es el quesadillo. La empresa Campo Real Ltda., es una empresa productora de derivados lácteos, que se enfoca en la producción de alimentos autóctonos colombianos; la compañía esta interesada en implementar tecnología en la fabricación del quesadillo, este proceso de producción a excepción del empaque (que se realiza al vacío) es totalmente manual.

El proyecto se orienta a la fase del llenado y formado del quesadillo, esta fase del proceso consiste en ubicar el bocadillo dentro del queso y posteriormente colocarlo dentro de un molde para darle la forma apropiada y característica del producto. Esta parte del proceso es crucial para darle la forma final al producto, así como también para la dosificación de la cantidad de materia prima en cada unidad de quesadillo. Como el proceso de fabricación es manual el operario a cargo de esta tarea comete varios errores, lo que provoca que todas las unidades

del producto no queden totalmente iguales, es decir no se gasta la misma cantidad de materia prima por cada quesadillo. Por lo anterior. Campo Real tiene la necesidad de optimizar esta fase del proceso con el fin de lograr un estándar de su producto y aumentar el nivel de producción.

CONTENIDO: La investigación se compone de doce (12) capítulos. Los siete (7) primeros capítulos dan a conocer, tema, antecedentes, descripción de la situación problemática, delimitación del problema, objetivos y justificación.

El capítulo ocho (8) explica la base teórica para el desarrollo de la investigación; que comprende desde la descripción del proceso de fabricación del quesadillo Campo Real hasta la descripción del control autónomo, pasando por reología, procesos de fabricación utilizados en la solución ingenieril.

El capítulo nueve (9) expone el desarrollo de la investigación y la solución ingenieril para el problema planteado. Se realizó una investigación sobre algunas características reológicas del queso *provolone*, usado por Campo Real en la elaboración del quesadillo, se muestra el diseño mecánico y la implementación del control automático. Por último se realizan las conclusiones de la investigación y se anexan planos mecánicos, neumáticos y eléctricos, entre otros.

METODOLOGÍA: La primera parte consistió en la aplicación de métodos experimentales para la medición de la viscosidad y la densidad del queso provolone a 80 °C. Para esto se buscaron diferentes laboratorios a nivel nacional que realizaran estas mediciones encontrando que los institutos Colombianos de investigación competentes en el área de alimentos están en capacidad de medir la densidad mas no la viscosidad, por lo tanto para esta prueba se construyó un instrumento casero con el fin de realizar la medición. Estas medidas fueron necesarias para el diseño mecánico.

Posteriormente se selecciona el tipo de proceso adecuado para la solución ingenieril a continuación se realiza el diseño mecánico utilizando software CAD que permite la realización de simulaciones de movimiento y de resistencia mecánica.

En la parte final se implementa el control automático y de temperatura a través del PLC, también se realiza un estudio para observar la factibilidad de la inversión y el costo de construcción y operación de la máquina.

CONCLUSIONES:

Se miden dos (2) propiedades: densidad y viscosidad. La medición de la densidad se realiza de forma casera y se comprueba a través del Instituto de Ciencia y Tecnología de alimentos ICTA; los resultados son similares. La densidad del queso *provolone* en condiciones de la fase de llenado y formado es 1090 Kg/m^3 . El queso *provolone* bajo las condiciones de llenado y formado se comporta como un fluido no newtoniano del tipo pseudoplastico. La viscosidad se describe usando la ley de la potencia usando dos parámetros: $n = 0,7684$ y $K' = 122,917$ (índice y constante de la ley de la potencia respectivamente).

Para cumplir con los requerimientos impuestos por Campo Real se opta por la realización de una maquina de inyección con pistón automatizada de cuatro (4) boquillas, alcanzando nivel de producción de 2100 unidades/hora. Otro de los objetivos del la investigación fue mantener espacialmente centrado el bocado dentro del molde, para cumplirlo, se utilizan dos agujas que perforan el mismo durante el proceso de inyección, impidiendo su movimiento. También se diseña una unidad de almacenamiento de bocadillos que esta en capacidad de acumular 2140 unidades de los mismos.

Respecto de la viabilidad de la construcción de la máquina se realizó un estudio que determinó que para un volumen de ventas de 50000 unidades mensuales de quesadillo, que significan 3,4 días de trabajo al mes, la inversión se pagaría en un periodo menor a 6 meses.

Nota de aceptación:

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Bogotá, D.C., _____, _____, _____

Dedicatoria:

La vida es un gran proyecto y para tener éxito, se necesita de esfuerzo, sacrificio y dedicación. Cuando el sacrificio se hace por el conocimiento, es satisfactorio, pues con este se alcanza la sabiduría. Dedico este trabajo, que representa la finalización de la primera etapa de mis estudios profesionales, primero a mi Señor, mi Dios, que nunca me ha desamparado. Segundo a mi Familia: A mi padre, Ismael, por su esfuerzo, juicio y buen ejemplo; A mi madre, Ana, por ser el ser más abnegado, sabio, amoroso y dedicado con sus hijos; y a mi hermano, Cesar. Muchas gracias,

Julian.

*Cada paso que se da en el camino, tiene sus riesgos y sus bondades, no importa que tan largo y pedregoso sea, siempre se debe de calzar con fortaleza, paciencia y constancia y seguir, para algún día llegar a todos los lugares que han sido demarcados en este gran viaje. Es por eso que dedico este gran trabajo al guía que me acompaña siempre, **Dios**, y a mis padres, muy especialmente a mi madre Yolanda y mi abuela Maria Ignacia, hermanos y amigos que han hecho de mí un gran caminante para poder llegar como lo he hecho y haré,*

Fredy.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

LUZ MARINA MORA, gerente general de Campo Real Ltda., por la oportunidad de desarrollar este proyecto y la colaboración que brindo para este.

LEONARDO RODRIGUEZ, director de este proyecto y docente de la universidad de San Buenaventura sede Bogotá, por su asesoría y dedicación al proyecto.

CESAR FERNANDEZ, director del programa Ingeniería Mecatrónica de la universidad de San Buenaventura sede Bogotá, por creer y apoyar a sus alumnos.

JAIRO RODRIGUEZ, gerente general de Soteing Ltda., por su asesoría y atención con el proyecto.

ALVARO JIMENEZ, laboratorista del ICTA, por la accesoria y gran colaboración prestada para la realización de las pruebas de viscosidad y densidad para el queso.

DANIEL DURAN, Ingeniero de alimentos anteriormente a cargo del proceso de producción de Campo Real, por su orientación e ideas aportadas.

RICARDO RIOS, docente de Ingeniería mecánica de la universidad Libre, por su ilimitado apoyo en la realización de algunas simulaciones.

NELSON ZUESCA, colaborador del laboratorio de aeronáutica y mecatrónica, por la colaboración prestada.

INTRODUCCIÓN

En la industria se tiene la necesidad de masificar un producto, invirtiendo menos tiempo en su elaboración y buscando construir un estándar con calidad y características específicas. Se opta por mejorar los procesos productivos a través de los conocimientos proporcionados por las nuevas formas de pensamiento ingenieril dadas por los diferentes cambios en el avance de la tecnología.

En la actualidad la industria colombiana esta forjando su futuro, con base en la aplicación de los conocimientos específicos adquiridos en nuevos campos de aplicación de la ingeniería, resultantes de la convergencia ventajosa de la electrónica, la mecánica y la informática, como son la automatización, la robótica y el control, aplicados directamente por la mecatrónica.

El presente desarrollo, alcanzado con este trabajo de grado, es consecuencia de mejorar el proceso de fabricación de un producto autóctono colombiano como es el quesadillo. Se investigo sobre las diferentes opciones del proceso a utilizar para el llenado del quesadillo, teniendo en cuenta la velocidad de producción en cada una de estas y las posibles perdidas de material durante el proceso.

Para el diseño de la máquina se miden dos propiedades importantes, densidad y viscosidad del queso *provolone* en las condiciones específicas de la fase de llenado y formado para el quesadillo, esto logró definir en gran medida las características reológicas del material y alcanzar un diseño óptimo. Gracias a esta investigación se consigue una máquina pionera en el campo de la producción de productos derivados lácteos, en este caso el quesadillo.

TABLA DE CONTENIDO

1. TEMA	23
1.1. CONTROL Y DESARROLLO DE PROCESOS DE MANUFACTURA	23
1.2. APLICACIÓN ORIENTADA A LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS	23
2. TÍTULO	24
3. ANTECEDENTES	25
4. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	26
4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	26
4.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	28
5. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	29
6. OBJETIVOS	30
6.1. OBJETIVO GENERAL	30
6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	30
7. JUSTIFICACIÓN	31
8. MARCO TEÓRICO	32
8.1. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL QUESADILLO EN CAMPO REAL	32
8.1.1. Quesadillo Campo Real	32
8.1.2. Fases para la elaboración del quesadillo	33
8.2 REOLOGÍA	38
8.2.1 Fluidos independientes del tiempo	39
8.2.2 Fluidos dependientes del tiempo	41
8.2.3 Flujo viscoso a través de canales de sección transversal simple	41
8.2.4 Medición de la viscosidad	44
8.3 INYECCIÓN	47
8.3.1 Unidad de inyección	47
8.3.2 Unidad de cierre	50
8.3.3 Unidad de potencia	52
8.3.4 Unidad de control	53
8.3.5 Clasificación de las máquinas inyectoras	53
8.3.6 Boquilla de inyección	58

8.4 AUTOMATIZACIÓN	59
8.4.1 Estructura de un sistema automatizado	59
8.4.2 Clasificación de los controladores	61
8.5 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)	62
8.5.1 CPU	62
8.5.2 Memoria	63
8.5.3 Comunicación con el proceso	64
8.5.4 Comunicación con el usuario	64
8.6 SENSORES	64
8.6.1 Sensor capacitivo	64
8.6.2 Sensor magnéticos	65
8.6.3 Sensores de temperatura PT 100	65
9 SOLUCIÓN INGENIERIL	66
9.1 PROCESO DE PRODUCCIÓN USADO PARA EL LLENADO DEL QUESADILLO EN LA MÁQUINA	66
9.2 MEDICIÓN DE LA DENSIDAD Y LA VISCOSIDAD	68
9.2.1 Medición de la densidad	68
9.2.2 Medición de la viscosidad	70
9.3 MATERIALES USADOS EN LA MÁQUINA	81
9.4 UNIDAD DE INYECCIÓN	82
9.4.1 Capacidad mínima de inyección	83
9.4.2 Geometría	84
9.4.3 Cilindro del pistón de inyección	91
9.4.4 Embolo	92
9.4.5 Tolva	93
9.4.6 Válvula de cierre	97
9.5 UNIDAD DE CIERRE	98
9.5.1 Molde	99
9.5.2 Paredes laterales	100
9.5.3 Eyector y tapa	101
9.5.4 Aguja de retención	101
9.6 UNIDAD DE ALMACENAMIENTO DEL BOCADILLO	102
9.7 UNIDAD DE CORTE Y POSICIONAMIENTO DEL BOCADILLO	107
9.7.1 Corte del bocadillo	108
9.7.2 Unidad de desplazamiento 1	108
9.7.3 Unidad de rotación	110
9.7.4 Unidad de desplazamiento 2	110
9.8 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA MÁQUINA PARA LLENADO Y FORMADO DE QUESADILLOS	112

9.9 SELECCIÓN DE ELEMENTOS PARA AUTOMATIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO	113
9.9.1 Selección de actuadores, válvulas y sensores de posición	113
9.9.2 Selección de PLC	115
9.9.3 Descripción del ciclo de llenado y formado en la máquina	115
9.10 UNIDAD DE CONTROL	117
9.10.1 Control de temperatura	117
9.10.2 Control de nivel de agua y nivel de queso	127
9.11 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD	128
9.11.1 Costo de construcción de la máquina	128
9.11.2 Costo de operación de la máquina	130
9.11.3 Estimación de la tasa interna de retorno y el valor presente neto de la inversión	131
10 CONCLUSIONES	133
11 BIBLIOGRAFÍA	134
12 ANEXOS	137

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de bloques fase de llenado y formado del quesadillo.	27
Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de elaboración del quesadillo.	34
Figura 3. Fluidos independientes del tiempo.	41
Figura 4. Características de flujo de canal de sección transversal circular.	42
Figura 5. Características de flujo de canal de sección transversal rectangular.	43
Figura 6. Esquema de un reómetro rotacional.	45
Figura 7. Esquema de un reómetro capilar.	46
Figura 8. Unidad de cierre mecánico-neumático con palancas articuladas.	51
Figura 9. Unidad de cierre hidráulico con pistón central.	51
Figura 10. Máquina de inyección con pistón.	54
Figura 11. Máquina de inyección con sistema de preplastificación de pistón.	55
Figura 12. Máquina de inyección con sistema de preplastificación de tornillo.	55
Figura 13. Máquina de inyección con tornillo alternativo.	56
Figura 14. Controlador en configuración lazo abierto.	60
Figura 15. Controlador en configuración en lazo cerrado.	61
Figura 16. Prueba piloto con jeringa.	68
Figura 17. Reómetro capilar casero.	73
Figura 18. Grafica de esfuerzo de corte vs. velocidad de corte en el queso.	80
Figura 19. Unidad de inyección.	83
Figura 20. Boceto de la geometría de la unidad de inyección.	84
Figura 21. Esquema sección 5: bebedero.	85
Figura 22. Esquema sección 4: boquilla.	86
Figura 23. Esquema sección 3: sección de transición.	87
Figura 24. Esquema sección 2: sección divisora.	88
Figura 25. Esquema sección 1: cilindro del pistón de inyección.	90
Figura 26. Geometría del embolo.	93

Figura 27. Esquema de montaje para la medición del ángulo en la tolva.	95
Figura 28. Geometría de la tolva.	96
Figura 29. Geometría de la válvula de cierre,	97
Figura 30. Unidad de cierre.	99
Figura 31. Presión de inyección sobre las paredes laterales.	100
Figura 32. Unidad de almacenamiento.	103
Figura 33. Unidad de posicionamiento.	107
Figura 34. Unidad de desplazamiento 1.	108
Figura 35. Unidad de rotación.	110
Figura 36. Unidad de desplazamiento 2.	111
Figura 37. Esquema etapa de calentamiento 1.	117
Figura 38. Simulación función de transferencia etapa de calentamiento 1.	121
Figura 39. Simulación función de transferencia etapa de calentamiento 1 detallada.	121
Figura 40. Respuesta del sistema para el punto de operación etapa de calentamiento 1.	122
Figura 41. Esquema etapa de calentamiento 2.	123
Figura 42. Simulación función de transferencia etapa de calentamiento 2.	126
Figura 43. Simulación función de transferencia etapa de calentamiento 2 detallada.	126
Figura 44. Respuesta del sistema para el punto de operación etapa de calentamiento 2.	127
Figura 45. Altura para los sensores de nivel de queso y agua en la tolva.	128

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Dimensiones del bocadillo.	32
Tabla 2. Descripción física quesadillo Campo Real.	33
Tabla 3. Tipos de memoria en el PLC.	63
Tabla 4. Comparación por puntaje para las opciones del proceso de producción.	67
Tabla 5. Lista de materiales para la medición de la densidad.	69
Tabla 6. Medición de la densidad del queso provolone a 80 °C.	70
Tabla 7. Lista de materiales para la medición de la viscosidad.	74
Tabla 8. Tiempos resultantes en la prueba de viscosidad.	77
Tabla 9. Resultados de la prueba de viscosidad.	80
Tabla 10. Comparación por puntaje para la selección del material polimérico.	82
Tabla 11. Lista de materiales para la medición del ángulo en la tolva.	95
Tabla 12. Características técnicas de la máquina para el llenado y formado de quesadillos.	113
Tabla 13. Selección de actuadores, válvulas y sensores de posición.	114
Tabla 14. Características de los posibles PLC's para la máquina.	116
Tabla 15. Propiedades del queso a temperatura promedio (72,5 °C).	118
Tabla 16. Propiedades del aire a temperatura promedio (52,5 °C).	124
Tabla 17. Costo de materiales de la máquina.	129
Tabla 18. Costo de procesos de fabricación.	130
Tabla 19. Costo de operación mensual.	131

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Montaje para la prueba de viscosidad.	75
Ilustración 2. Resultado de la prueba de viscosidad con una masa de 0,7 Kilogramos.	75
Ilustración 3. Prueba empírica 1 de sujeción del bocadillo.	109
Ilustración 4. Prueba empírica 2 de sujeción del bocadillo.	111

LISTA DE ANEXOS

- Anexo A. Pruebas para la determinación de la densidad y la viscosidad en el ICTA.
- Anexo B. Propiedades de los materiales usados en el diseño.
- Anexo C. Geometrías, diagramas de fuerzas y estados de esfuerzos combinados.
- Anexo D. Plano neumático de la máquina.
- Anexo E. Plano eléctrico de la máquina.
- Anexo F. Programación de la ecuación de movimiento.
- Anexo G. Planos mecánicos de la máquina.

GLOSARIO

ACIDIFICACIÓN DE LA LECHE: proceso que consiste en la adición de la enzima renina, que transforma la mayor parte del contenido proteínico de la leche en requesón o caseína. El residuo líquido recibe el nombre de suero.

BOCADILLO: el bocadillo es una pasta sólida obtenida por cocción de una mezcla de pulpa de fruta(s) y azúcares. Tradicionalmente en Colombia se prepara el de guayaba, aunque tecnológicamente se puede preparar a partir de cualquier fruta. El bocadillo puede estar moldeado en capas definidas de producto preparado con guayaba de las variedades rosada y blanca.

BOQUILLA: conducto que permite la conexión entre el cilindro y el molde con el efecto de reducir el área del cilindro a la entrada del molde es decir, comunica la unidad de inyección con la unidad de cierre. Puede tener diferentes diseños entre los cuales están: boquilla extendida, cónica, de conicidad invertida, de cierre con aguja.

CASEÍNA: grupo de proteínas que se producen por precipitación cuando la leche se acidifica. La caseína constituye casi el 80% del total de las proteínas presentes en la leche de vaca, y el 3% de su peso. Es el ingrediente principal del queso

CNC: Control Numérico Computarizado.

CUAJO: sustancia presente en el jugo gástrico de los mamíferos lactantes. Contiene una enzima que coagula la leche, llamada renina o quimosina, el principio activo de las preparaciones de cuajo utilizadas en la fabricación de queso

y dulce de leche cuajada. Los preparados comerciales de extractos de cuajo se elaboran a partir de la capa más interna del cuarto estómago de los terneros.

ELEMENTO FINAL DE CONTROL: realiza los movimientos mecánicos en la máquina en correspondencia a una señal del tipo hidráulica, neumática o electrónica.

EMPASTADO: en quesería es equivalente al hilado.

EXTRUSIÓN: es la operación que consiste en hacer pasar a un fluido newtoniano o no newtoniano, a través de una geometría generalmente cónica, por medio de presión suministrada proveniente de cualquier agente externo.

HILADO: consiste en amasar y estirar una porción de queso en forma uniforme y continua con el fin de que tome la consistencia del queso pera.

LECHE: es el producto de la secreción normal de la glándula mamaria de animales bovinos sanos, obtenida por uno o varios ordeños diarios, higiénicos, completos e ininterrumpidos.

LIRA: Hilo metálico muy delgado, que al tensarse de sus extremos, se utiliza como herramienta de corte de alimentos blandos.

MATLAB: software usado en el cálculo de operaciones matemáticas y simulaciones de algoritmos de control análogo o digital.

MOLDE: conjunto de piezas, encargado de dar forma al material fundido. La forma se obtiene cuando el fluido llena por completo el espacio libre y solidifica.

ORGANOLÉPTICAS: referente a las propiedades de los cuerpos que se pueden percibir a través de los sentidos.

PAR: definen dos fuerzas que tienen la misma magnitud, líneas de acción paralelas y sentidos opuestos.

PASTA: estado del queso que se presenta por el aumento en su temperatura, que lo hacen de consistencia espesa y blanda.

PERTURBACIÓN: señal que tiende distorsionar el valor de salida de un sistema. Generalmente suministrada por fuentes desconocidas.

PRESIÓN RESIDUAL: presión que permanece debida a la inyección de una parte del material almacenado en el cilindro.

PLC: Controlador Lógico Programable

QUESADILLO: es un producto alimenticio, derivado lácteo, autóctono colombiano, se compone de queso y bocadillo. El quesadillo consiste en el recubrimiento total del bocadillo con queso, generalmente tiene forma rectangular. Su sabor, color y olor dependen del tipo de queso usado en su fabricación. Este producto es altamente comercializado en Colombia.

QUESO: es un producto alimenticio procedente de leche, generalmente la de ganado vacuno. Consiste en fermentar y cuajar la leche con distintos microorganismos según la textura y sabor deseados. Posteriormente se sala y por último se hace un proceso de escurrido y secado. El queso puede tomar varias formas, tamaños, colores, olores y sabores.

SALMUERA: mezcla de agua con sal; en quesería se utiliza para efectuar el salado del queso.

SÁNDWICH: hace referencia al producto conformada por una o varias capas compactas y un núcleo o centro espumado.

SENSORIALES: todo lo relativo a los sentidos del ser humano. En cuanto al queso se refiere, se tienen como características sensoriales: olor, sabor, color, consistencia, textura.

STARTER: microorganismos encargados de facilitar el proceso de acidificación de la leche.

TOLVA: elemento mecánico, que tiene la finalidad de almacenar por un corto tiempo además de dirigir, el material que se va a procesar hacia el cilindro. Tiene diferentes formas, generalmente cónica.

TORPEDO: barra de sección transversal circular metálica y sólida, que en sus dos extremos tiene conicidad; se encuentra en las unidades de inyección de pistón de una fase en el centro del cilindro. Tiene como función es esparcir el material para mejorar la transferencia de calor.

1. TEMA

1.1 CONTROL Y DESARROLLO DE PROCESOS DE MANUFACTURA

Pilar esencial para la aplicación del diseño mecatrónico en el desarrollo de procesos de automatización industrial.

1.2 APLICACIÓN ORIENTADA A LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS

Desarrollo de maquinaria para la automatización del proceso de producción de productos derivados lácteos.

2. TÍTULO

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA LLENADORA-FORMADORA PARA QUESADILLOS

3. ANTECEDENTES

El queso es un producto del que se tienen indicios desde hace varios miles de años, hasta antes de la revolución industrial el queso era un producto propio de cada región y su elaboración era un proceso netamente manual. Gracias al desarrollo que se dio con la revolución industrial, en Norte América y sobre todo en el continente Europeo se industrializó el proceso de elaboración del queso para convertirlo en un producto altamente comercializado.

En Colombia y en la Región Andina existen varias empresas procesadoras de leche y sus derivados, entre estas una de las más destacadas es Alpina, esto porque ha implementado tecnología con el fin de industrializar el proceso de procesamiento de leche y sus derivados incluyendo el queso.

El proceso de fabricación del queso es similar para la gran cantidad de variedades que existen, por esta razón las máquinas desarrolladas en este campo son muy parecidas, también. Pero hasta este momento, la maquinaria desarrollada, ha sido para las diferentes fases de producción del queso y no para la elaboración del quesadillo, ya que este es un producto autóctono colombiano y su proceso de elaboración es manual y no se ha industrializado aún. Por esta razón este proyecto es pionero en este campo.

4. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

4.1 PROBLEMA

La empresa Campo Real Ltda., es una empresa productora de derivados lácteos, que se enfoca en la producción de alimentos autóctonos y de alto valor agregado para poder comercializar a nivel nacional e internacional. Esta empresa de capital netamente colombiano fabrica principalmente quesadillo y queso pera.

La compañía Campo Real esta interesada en implementar tecnología en la fabricación del quesadillo, este proceso de producción a excepción del empaque (que se realiza al vacío) es totalmente manual. En la elaboración del quesadillo se tienen varias fases que le dan las características organolépticas propias del producto, estas fases se exponen detalladamente en el Marco Teórico*.

El proyecto se orienta a la fase del llenado y formado del quesadillo, esta fase del proceso consiste en ubicar el bocadillo dentro del queso y posteriormente colocarlo dentro de un molde para darle la forma apropiada y característica del producto.

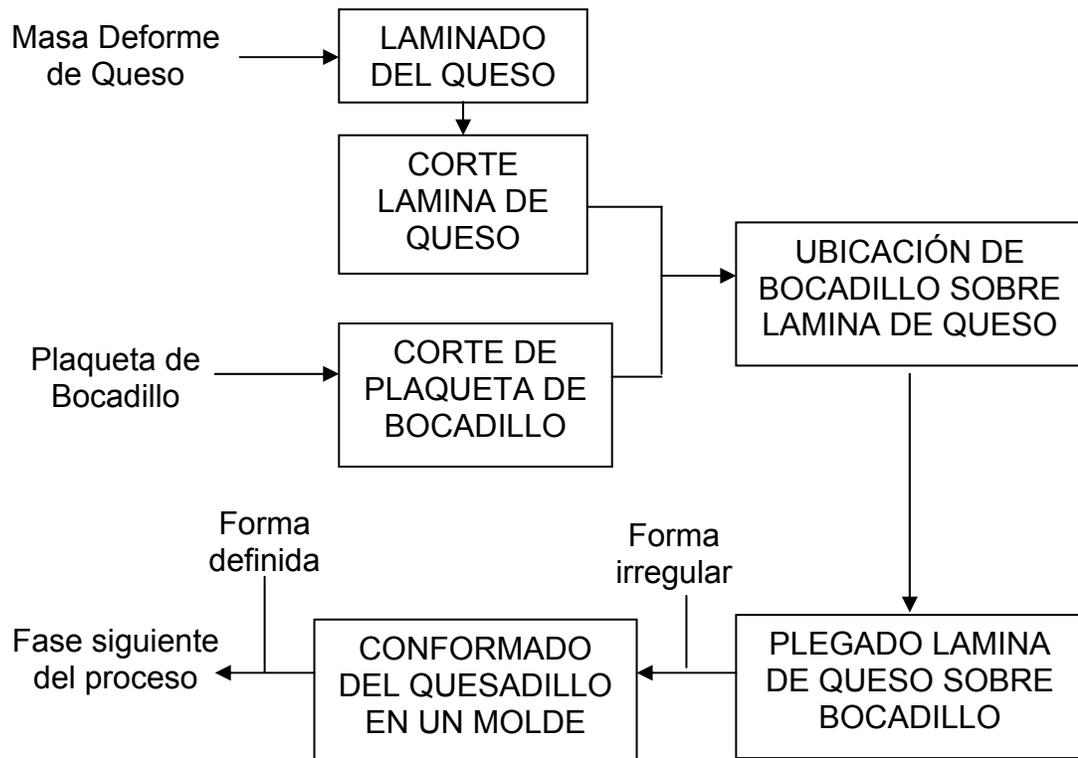
El queso proviene de la etapa de hilado y hasta el momento es una masa deformable y caliente, por lo que primero se debe laminar (con un rodillo de madera) para luego cortar la cantidad necesaria para cada unidad. El bocadillo se suministra a la compañía en forma de láminas rectangulares con un espesor determinado, este también se corta en porciones para cada unidad del producto en la cantidad necesaria.

* Ver Marco Teórico: proceso de fabricación del quesadillo. Numeral 8.1 del documento.

Posteriormente el bocadillo se ubica encima de la lámina de queso (este debe colocarse en todo el centro de la misma), el operario corta y pliega la lamina de queso para cubrir con esta el bocadillo; después se coloca dentro de un molde en acero inoxidable y con una tapa del mismo material el operario presiona el quesadillo por un tiempo determinado hasta que tome exactamente la forma del molde y que además cierren muy bien los pliegues para que no se noten (figura 1).

Esta fase toma aproximadamente un (1) minuto por unidad para cada operario y todas las unidades del producto no quedan totalmente iguales, es decir no se gasta la misma cantidad de queso y bocadillo por cada quesadillo. Por lo anterior la compañía Campo Real esta en la necesidad de optimizar el proceso con el fin de lograr un estándar de su producto y aumentar el nivel de producción.

Figura 1. Diagrama de bloques fase de llenado y formado del quesadillo



Los autores.

4.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo optimizar la fase de llenado y formado del quesadillo para lograr estandarizar y aumentar el nivel de producción en una fábrica de productos derivados lácteos?

5. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

El proyecto esta orientado al diseño y simulación de la máquina con el fin de proponerla a la empresa Campo Real Ltda, para el desarrollo del proyecto se simularan movimientos y esfuerzos mecánicos más relevantes en la misma. También se simulará las entradas y salidas del controlador para verificar la secuencia de accionamiento de los actuadores que se utilicen. Para esto se requiere de software especializado CAD/CAE que la universidad nos pueda facilitar (ANSYS, Solid Edge, MdSolids, MATLAB).

Para la propuesta a la compañía Campo Real se calculara el costo de fabricación de la máquina en base a cotizaciones dadas por los posibles proveedores de los elementos y materiales para la misma. También se calculara el costo de operación de la máquina de acuerdo con la cantidad de energía que esta consume vs. costo en la mano de obra para realizar esta fase del proceso de producción, organizando los datos en un cuadro comparativo.

Las personas que nos colaboran en el desarrollo de este proyecto son el Ing. Leonardo Rodríguez, Ingeniero Mecatrónico y docente de la Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá y director del proyecto de tesis de grado. En la primera parte del desarrollo del proyecto, que consistió en la investigación del proceso de fabricación usado para el llenado del quesadillo, el Ing. Daniel Duran, Ingeniero de Alimentos de la Universidad de Los Andes, quien estuvo encargado del proceso de producción del quesadillo en Campo Real, nos asesoro.

6. OBJETIVOS

6.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y simular una máquina automatizada para el llenado y formado de quesadillos.

6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar las propiedades físicas y reológicas del queso en las condiciones de la fase de llenado y formado, que se necesiten en el proceso de diseño de la máquina.
- Medir las propiedades físicas y reológicas del queso, necesarias para el proceso de diseño.
- Diseñar y simular un sistema mecánico automatizado que permita formar y cortar el queso para más de una línea de producción.
- Diseñar y simular un mecanismo automatizado para el corte de las plaquetas de bocadillo en más de una línea de producción.
- Diseñar y simular un sistema automatizado que permita la ubicación espacial precisa del bocadillo dentro del queso.
- Diseñar y simular un mecanismo que permita recubrir con queso el bocadillo.
- Calcular el valor real de la máquina incluyendo el ahorro por mano de obra y la puesta en funcionamiento de la misma con el fin de proponerla a la compañía Campo Real Ltda., es decir realizar un estudio de factibilidad con el fin de verificar la viabilidad de construcción del proyecto.

7. JUSTIFICACIÓN

En el proceso de producción del quesadillo en la fábrica Campo Real se desea cumplir con los estándares que el mercado y la legislación exigen, por esta razón se buscan alternativas de optimización y con ello disminuir el costo de producción, aumentar la eficiencia y alcanzar un estándar del producto.

En la fase de llenado y formado del quesadillo, la compañía desea optimizar el proceso de producción, esto porque no se corta exactamente las mismas porciones de queso y bocadillo, ya que el operario no mide cantidades exactas para cada unidad además de que el tiempo que el operario presiona el quesadillo dentro del molde también es variable. Todo lo anterior hace que el producto no tenga un estándar bien definido.

El nivel de producción tampoco es alto, porque el proceso de producción es netamente manual, como se ha venido explicando, y en algunos casos es necesario comenzar con un pedido de quesadillos con bastante anterioridad para cumplir con la fecha de entrega.

Por estas razones la compañía ve la necesidad de implementar tecnología para optimizar esta etapa de su proceso de producción. Esto representa para la compañía alcanzar los objetivos propuestos: aumento de la eficiencia y del nivel de producción y alcanzar el estándar en su producto. Los investigadores realizarán el diseño y simulación de una máquina automatizada para el proceso de llenado y formado del quesadillo con el fin de proponerla a la compañía Campo Real para que esta evalúe la viabilidad de su construcción.

8. MARCO TEÓRICO

8.1 PROCESO DE FABRICACIÓN DEL QUESADILLO EN CAMPO REAL

8.1.1 Quesadillo Campo Real. El quesadillo fabricado por esta compañía posee las siguientes características:

QUESO. Es de la variedad *Provolone*, de la familia *Pasta Filata*, de origen italiano. Este es un queso duro de cuajada hilada o empastada, que se elabora con diversas formas. Algunas de sus características son: *Corteza*, de color amarillo oro, suave, fina, brillante y a veces encerada; *masa*, compacta de color blanco cremoso; *textura*, bastante firme y de consistencia uniforme que tiende a ser quebradiza (generalmente no posee ojos); *sabor y aroma* suave y agradable al principio, que se hace más intenso a medida que aumenta el grado de maduración.

BOCADILLO. El bocadillo usado en Campo Real se provee a la compañía en paquetes de tiras de varios bocadillos que están previamente cortados en porciones para cada unidad de quesadillo con las dimensiones de la tabla 1.

Tabla 1. Dimensiones del bocadillo

DIMENSIÓN	LARGO [mm]	ANCHO [mm]	ALTO [mm]	PESO [g]
VALOR POR UNIDAD	55	22	10	15

LÁCTEOS CAMPO REAL LTDA. Manual de Buenas Prácticas de Manufactura. Bogotá, 2005.

QUESADILLO. Este producto es empacado al vacío y refrigerado, tiene un alto valor nutricional y es ideal para el consumo infantil. La descripción física del quesadillo Campo Real se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Descripción física quesadillo Campo Real

DIMENSIÓN	LARGO [mm]	ANCHO [mm]	ALTO [mm]	PESO [g]
VALOR POR UNIDAD	79	41	18	70

LÁCTEOS CAMPO REAL LTDA. Manual de Buenas Prácticas de Manufactura. Bogotá, 2005.

8.1.2 Fases para la elaboración de quesadillo. Las fases para la elaboración de los diferentes productos de Campo Real se exponen en el Manual de Buenas Prácticas de Manufactura elaborado por la compañía*.

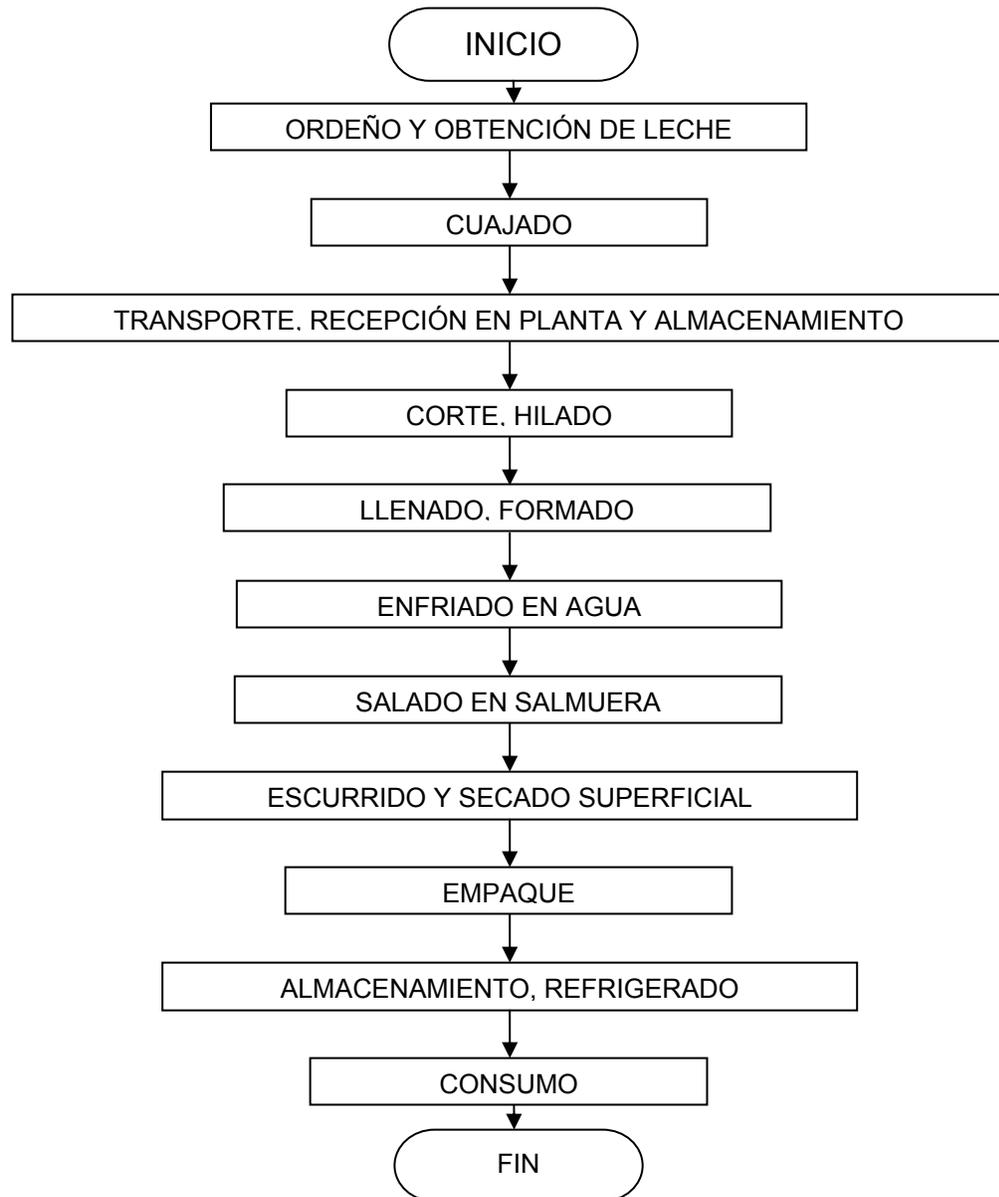
En la figura 2 se muestra el diagrama de flujo con las diferentes fases de elaboración del quesadillo, por supuesto la de interés para el proyecto es la de llenado y formado.

ORDEÑO Y OBTENCIÓN DE LA LECHE. Esta etapa actualmente se está realizando fuera de las instalaciones de la empresa Campo Real, es por esto que se requiere realizar un control de calidad al queso que ingresa a la planta, para verificar las características químicas y sensoriales de la materia prima. Se debe verificar en visita a campo las condiciones de la obtención de la leche y si se está manejando de forma incorrecta, además de realizar una capacitación a las personas encargadas con el fin de obtener una mejor calidad de leche. La leche

* Las fases para la elaboración del quesadillo tienen condiciones específicas que aparecen en el Manual de Buenas Prácticas de Manufactura, solamente las de interés para la investigación, se exponen en este documento. Esto por motivos de seguridad industrial.

recién obtenida, debe como mínimo filtrarse y verificar su acidez por algún método eficiente, para posteriormente realizar el cuajado.

Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de elaboración del quesadillo



LÁCTEOS CAMPO REAL LTDA. Manual de Buenas Prácticas de Manufactura. Bogotá, 2005.

CUAJADO. Antes de realizar el cuajado de la leche, se realiza una pasteurización de la misma y posteriormente se procede a enfriarla a la temperatura adecuada. Para dar el sabor característico y promover la acidificación de la leche se puede agregar un *starter*, que son microorganismos necesarios para la maduración del queso. La selección del starter y el tiempo de maduración dependen de la receta (diferente en cada fábrica para el mismo tipo de queso).

Después se procede con la adición del cuajo. El cuajo actúa sobre las moléculas de la *caseína* en la leche permitiendo la coagulación. La acidez o PH de la leche en el momento de la adición del cuajo determina la velocidad de coagulación. La elección del tipo de cuajo esta a cargo el quesero al igual que en la concentración y la temperatura de coagulación.

TRANSPORTE, RECEPCIÓN EN PLANTA Y ALMACENAMIENTO. Dependiendo de las características del transporte el producto llegará en óptimas condiciones para el proceso. El medio de transporte debe ser adecuado para evitar algún tipo de contaminación en el producto, evitando el calentamiento y la alteración de la cuajada. Se requiere calcular las cantidades necesarias para consumir toda la cuajada en el día de producción y no almacenarla por más de 24 horas en el cuarto frío.

Al recibir la cuajada en la planta se deben verificar las condiciones higiénicas de transporte, medir la acidez del suero en porcentaje de ácido láctico, características sensoriales y realizar la prueba de hilado. Para los demás insumos se confirma las fechas de elaboración y el vencimiento. Una vez recibida y colocada la cuajada en los recipientes apropiados se procede a almacenarla en el cuarto frío en las condiciones adecuadas.

CORTE, HILADO O EMPASTADO. Esa etapa del proceso es muy importante, porque es la que nos va a dar la textura y el sabor característico del queso para

(hilado). Para este proceso, se debe retirar la cuajada del cuarto frío y proceder a pesarla sin suero. El proceso de corte actualmente se está realizando de forma manual, cortando trozos pequeños con un cuchillo y colocándolos en recipientes apropiados. La persona encargada del corte debe ir suministrando al empastador o hilador las cantidades adecuadas de queso para evitar cuellos de botella.

Para el hilado o empaste, que actualmente se realiza en recipientes plásticos, en los cuales se agregan unos 4 litros de agua caliente y unos 2 a 3 kilogramos de queso que manualmente se empasta hasta lograr una pasta uniforme y elástica. Esta operación debe ser realizada por personas con experiencia y conocimiento, para lograr la *textura de pera en el producto final*. La temperatura ideal para el hilado está entre 75 y 78 °C y que el queso hilado estire hasta la longitud de 1 metro sin romperse. Se debe siempre mantener una temperatura de la pasta (queso amasado o hilado) entre los 75 y 78°C y además verificar que no halla recalentamiento ni tiempo excesivo en el hilado.

LLENADO Y FORMADO. En esta etapa del proceso, la persona que empasta, le suministra al *pesador o formador*, las cantidades requeridas según el consumo. Siempre hay que tener en cuenta que la pasta debe permanecer caliente (57 a 65°C) para realizar el llenado y formado.

Para los quesadillos, se deben proporcionar partes iguales de pasta de 55 a 60 gramos y mantener en agua caliente para introducir el relleno de forma manual. El relleno debe ser porcionado con anterioridad y pesar cantidades de 12 a 15 gramos en el caso del bocadillo. El relleno de bocadillo debe ser colocado en el centro del producto, para evitar que este se observe desde el exterior y el quesadillo se marque o se oscurezca. La velocidad de producción en esta fase del proceso por persona, es de 350 unidades por hora, actualmente se cuenta con dos (2) operarios, para dar un total de 700 unidades por hora.

ENFRIADO EN AGUA. Esta es muy importante debido a que el producto debe sufrir un choque de temperatura para que mantenga la forma y se disminuya el riesgo de contaminación microbiana. Inmediatamente después del formado, el producto debe pasar al agua fría (de 8 a 10 °C) para que el producto mantenga la forma y llegue pronto el frío a la parte interna.

SALADO EN SALMUERA. En este paso, el queso es salado por un proceso de osmosis, en la que el producto se introduce en una salmuera al 20% por un tiempo determinado. La salmuera debe tratarse con especial cuidado y reponerse las pérdidas que sufre durante el proceso.

El objeto de esta fase del proceso es conseguir en el queso una concentración de sal de 1,5 a 2,5 %. De esta forma se detiene la acidificación, por lo que después de esto el PH ya no desciende. La penetración de la sal hacia el interior del queso prosigue durante algunos días.

ESCURRIDO Y SECADO SUPERFICIAL. En esta etapa del proceso, se retira la humedad superficial del producto para promover la conservación cuando es empacado. Actualmente se realiza con trapos que son desinfectados diariamente y se coloca el producto sobre estos por un tiempo determinado. Es importante en esta etapa agregar por aspersion una sustancia anti-hongos. Esta solución se debe preparar a diario y procurar que se agregue a toda la parte exterior de los productos. Inmediatamente después de que es retirada la humedad superficial, se procede a empacar el producto.

EMPAQUE. Esta es una etapa muy importante en el proceso, debido a que se puede recontaminar el producto si no se maneja de la forma adecuada. El producto, inmediatamente es secado, se debe proceder a empacarlo, teniendo en cuenta que debe estar frío a una temperatura interna de 17°C como máximo. El empaque debe ser continuo y evitar que el producto se exponga al ambiente por

más de 1 hora. En esta etapa además hay que tener en cuenta que se debe verificar la fecha de vencimiento, el tipo de empaque, y la calidad de vacío y de sellado en el proceso.

ALMACENAMIENTO Y REFRIGERACIÓN. Cuando el producto es empacado, con sus respectivos sellos de fecha y código de barras, se procede a almacenarlo en el cuarto frío y a organizarlo según los pedidos que existan. La temperatura operacional del cuarto debe ser controlada a diario, 2 veces, para garantizar un correcto funcionamiento del mismo. La temperatura operacional debe estar entre los 3 y 5°C, esto debido a que los supermercados reciben la mercancía en un rango de 3 a 6°C para que el producto tenga una mayor vida útil. Entre menos producto se tenga en el cuarto es mejor para la calidad y la frescura, eso sí, se debe prever el stock mínimo para tener y no sufrir por falta de existencias.

8.2 REOLOGÍA

Es la ciencia que se ocupa del estudio de la deformación y flujo de los materiales, teniendo en cuenta esfuerzos, deformaciones y tiempo considerando el movimiento en términos de flujo laminar. Las propiedades reológicas de un material determinan la manera en que este fluye en respuesta a los esfuerzos aplicados, clasificándolos según su comportamiento en *fluidos newtonianos* o *fluidos no-newtonianos*, a través de una de las propiedades reológicas más relevantes de un fluido la *viscosidad*.

La viscosidad se define como la resistencia interna de un material a fluir cuando es aplicado un esfuerzo de corte al mismo. Se expresa cuantitativamente en términos

de dos parámetros básicos: el esfuerzo de corte y la velocidad de corte, esto se expresa matemáticamente por la *Ley de Newton* como⁵:

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (1)$$

Donde,

η → Viscosidad [s·Pa]

τ → Esfuerzo de corte [Pa]

$\dot{\gamma}$ → Velocidad de corte [s⁻¹]

Lo anterior se aplica para cualquier tipo de fluido. Cuando la viscosidad de un fluido es una razón constante entre el esfuerzo de corte y la velocidad de corte el fluido es llamado newtoniano. Los fluidos que no muestran el comportamiento expresado por la anterior relación matemática se les conoce como fluidos no newtonianos. En general, se conocen dos clases de comportamiento de flujo para fluidos no newtonianos que son: *fluidos independientes del tiempo* y *fluidos dependientes del tiempo*.

8.2.1 Fluidos independientes del tiempo. Son fluidos cuya viscosidad es independiente del tiempo, pero dependen de la velocidad de corte y de la temperatura. La relación entre el esfuerzo de corte y la velocidad de corte para esta clase de fluidos se expresa mediante la *Ley de la Potencia*⁶, dada por la siguiente expresión:

⁵ SANCHEZ, Saúl; YÁNEZ, Isaura y RODRÍGUEZ, Oliverio. Moldeo por inyección de termoplásticos: propiedades reológicas de los plásticos. México: Limusa, 2001. p. 42.

⁶ RAMOS DE VALLE, Luis Francisco. Extrusión de plásticos principios básicos: propiedades de flujo principios básicos. México: Limusa, 1999. p. 13.

$$\tau = K' \left(\dot{\gamma} \right)^n \quad (2)$$

Donde,

K' → Constante de la Ley de la Potencia

n → Índice de la Ley de la Potencia

Por definición, la viscosidad es la razón entre esfuerzo de corte y velocidad de corte (Ley de Newton), para los fluidos no newtonianos esa relación se denomina viscosidad aparente (se dice viscosidad aparente debido a que no es constante), entonces se tiene:

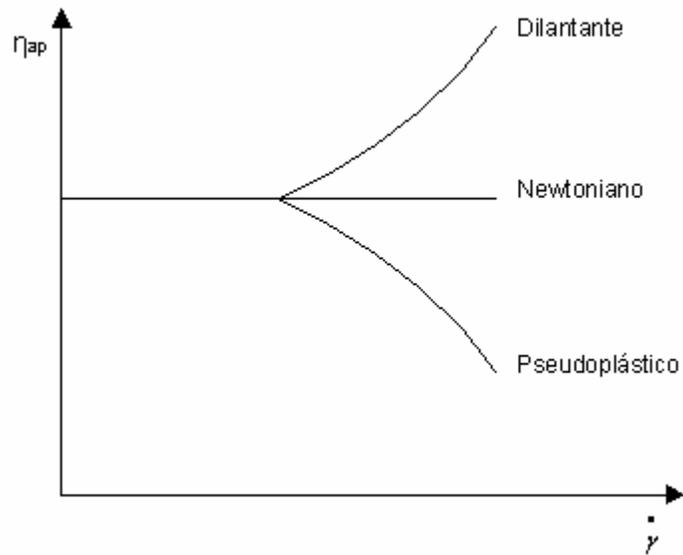
$$\eta_a = K' \cdot \dot{\gamma}^{n-1} \quad (3)$$

Donde,

η_a → Viscosidad aparente [s·Pa]

El valor numérico del índice de la Ley de Potencia es una medida del comportamiento del fluido no newtoniano, este relaciona la viscosidad con la velocidad de corte. Para cuando el índice $n = 1$ la ley de potencia se transforma en la ley de Newton de la viscosidad, entonces K' es igual a la viscosidad; cuando $n < 1$, se tendrá un fluido no newtoniano de tipo *pseudoplástico*, en el cual la viscosidad disminuye al aumentar la velocidad de corte y cuando $n > 1$, se tendrá un fluido no newtoniano de tipo *dilatante*, en el cual la viscosidad aumenta al aumentar la velocidad de corte (figura 3).

Figura 3. Fluidos independientes del tiempo



Los autores.

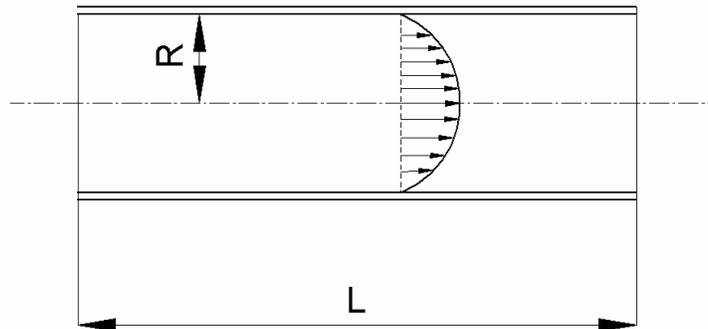
8.2.2 Fluidos dependientes del tiempo. Son aquellos cuya viscosidad cambia con el tiempo durante la constante aplicación de un esfuerzo o una deformación, estos fluidos se subdividen en fluidos *tixotropicos* y fluidos *reopecticos*. En los fluidos *tixotropicos* su viscosidad disminuye con el tiempo durante la aplicación constante de un esfuerzo o deformación, mientras que para los fluidos *reopecticos* la viscosidad aumenta con el tiempo durante la aplicación constante de un esfuerzo o una deformación.

8.2.3 Flujo viscoso a través de canales de sección transversal simple. A continuación se muestra la influencia de la viscosidad en los parámetros de flujo de presión en canales para un fluido viscoso. Con el fin de hacerlo más general las ecuaciones siguientes son para fluidos no newtonianos que se describen bajo la ley de la potencia. En el análisis de estas ecuaciones se hicieron las siguientes suposiciones:

- No hay deslizamiento del fluido en la pared del canal, lo que quiere decir que en ese punto del perfil de velocidades la velocidad es nula.
- El fluido es incompresible.
- El patrón de flujo es constante en todo el canal.
- El flujo es isotérmico.

CANALES DE SECCIÓN TRANSVERSAL CIRCULAR. La figura 4 muestra las características del flujo de un fluido viscoso en un canal de este tipo.

Figura 4. Características de flujo en un canal de sección transversal circular



Los autores.

El flujo volumétrico se calcula de la siguiente forma⁷:

$$Q = \left(\frac{\pi \cdot n R^3}{3n + 1} \right) \left[\frac{R \cdot \Delta P}{2L \cdot K'} \right]^{1/n} \quad (4)$$

Donde,

⁷ RAMOS DE VALLE, Luis Francisco. Extrusión de plásticos principios básicos: flujo de presión a través de canales de sección transversal simple. México: Limusa, 1999. p. 38-40.

$Q \rightarrow$ Flujo volumétrico o caudal $[\text{m}^3/\text{s}]$
 $R \rightarrow$ Radio de la sección transversal circular $[\text{m}]$
 $L \rightarrow$ Longitud de la sección transversal circular $[\text{m}]$
 $\Delta P \rightarrow$ Caída de presión en la longitud L $[\text{Pa}]$

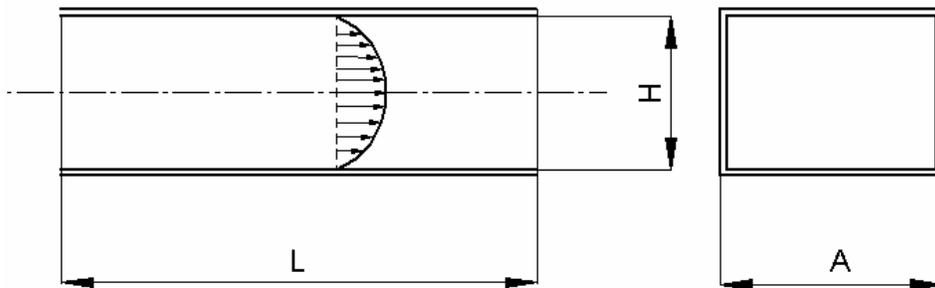
El esfuerzo de corte (τ) y la velocidad de corte ($\dot{\gamma}$) se calculan así:

$$\tau = \frac{R \cdot \Delta P}{2L} \quad (5)$$

$$\dot{\gamma} = \frac{3n+1}{\pi \cdot nR^3} Q \quad (6)$$

CANALES DE SECCIÓN TRANSVERSAL RECTANGULAR. La figura 5 muestra las características del flujo de un fluido viscoso en un canal de este tipo.

Figura 5. Características de flujo en un canal de sección transversal rectangular



Los autores.

El flujo volumétrico se calcula de la siguiente forma⁸:

$$Q = \left(\frac{n \cdot A \cdot H^3}{4n + 2} \right) \left[\frac{H \cdot \Delta P}{2L \cdot K'} \right]^{1/n} \quad (7)$$

⁸ RAMOS DE VALLE, Luis Francisco. Extrusión de plásticos principios básicos: flujo de presión a través de canales de sección transversal simple. México: Limusa, 1999. p.41-43.

Donde,

Q → Flujo volumétrico o caudal [m³/s]

A → Ancho de la sección transversal rectangular [m]

H → Altura de la sección transversal rectangular [m]

L → Longitud de la sección transversal rectangular [m]

ΔP → Caída de presión en la longitud L [Pa]

El esfuerzo de corte (τ) y la velocidad de corte ($\dot{\gamma}$) se calculan así:

$$\tau = \frac{H \cdot \Delta P}{2L} \quad (8)$$

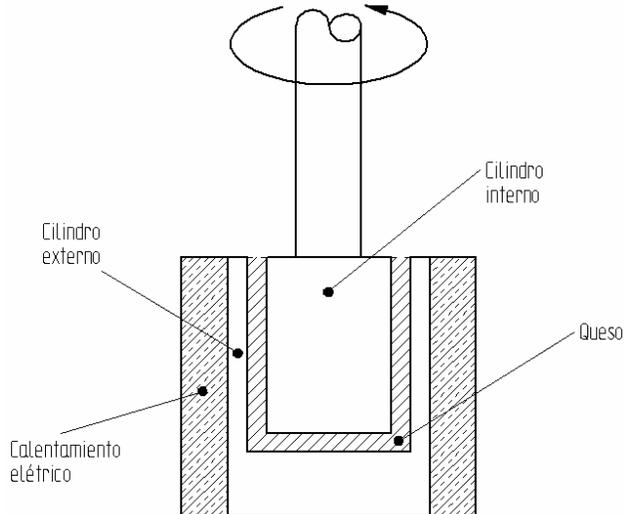
$$\dot{\gamma} = \frac{4n + 2}{n \cdot A \cdot H^2} Q \quad (9)$$

8.2.4 Medición de la viscosidad. La viscosidad es medida, en fluidos como polímeros o alimentos, a partir de pruebas realizadas con un instrumento conocido como reómetro del cual existen dos clases: *reómetros rotacionales* y *reómetros capilares*. En los polímeros los reómetros capilares operan a velocidades de corte entre 10 y 100000 s⁻¹ y los reómetros rotacionales a velocidades de corte entre 0,001 y 10000 s⁻¹, la selección del tipo de reómetro depende de las velocidades de corte a las que el fluido se encuentra expuesto.

REÓMETRO ROTACIONAL. Se conoce también como viscosímetro de Couette. Consiste en un mecanismo en donde se colocan dos cilindros coaxiales. El fluido se sitúa en medio de los dos cilindros, el cilindro interno se coloca en rotación, mientras el cilindro externo permanece fijo, esto induce en el fluido un esfuerzo cortante. El instrumento también posee un sistema de calentamiento eléctrico para efectuar un control de temperatura (figura 6). Se mide el valor del momento torsor

o par resistente que ejerce el fluido sobre el cilindro móvil, para que este gire a una velocidad angular determinada.

Figura 6. Esquema de un reómetro rotacional

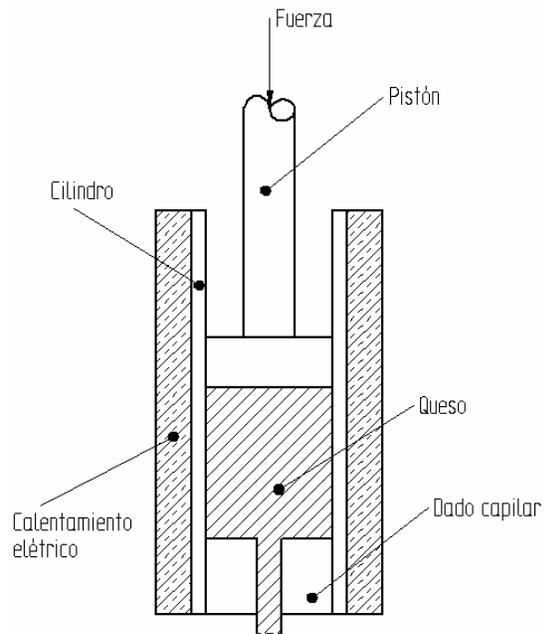


Los autores.

REÓMETRO CAPILAR. Consiste de un mecanismo cilindro-pistón, posee un calentamiento eléctrico alrededor del cilindro (para efectuar un control de temperatura), en el extremo se coloca un dado capilar a través del cual se hace pasar el material fundido por acción del pistón (ver figura 7). La prueba consiste en medir la fuerza que se necesita aplicar al pistón para empujar el material a una velocidad determinada, es decir que el pistón baja a lo largo del cilindro a velocidad constante gracias a la acción de una fuerza constante. El dado capilar es el elemento que define los diferentes esfuerzos de corte a los que va estar sometido el material, para una determinada relación L/R (longitud/radio) del capilar se tendrá un esfuerzo de corte específico en el fluido.

Para el análisis del flujo a través de un capilar se usan las ecuaciones expuestas en el anterior numeral para un flujo viscoso en un canal de sección transversal circular.

Figura 7. Esquema de un reómetro Capilar



Los autores.

Para el cálculo del esfuerzo de corte (τ), ecuación (5), la variación de presión en el capilar (ΔP) se calcula así:

$$\Delta P = \frac{F}{A_c} \quad (10)$$

Donde,

F → Fuerza impuesta al pistón [N]

A_c → Area transversal del cilindro [m²]

En la prueba efectuada con el reómetro se coloca una masa, previamente medida, sobre el pistón y se mide la velocidad del mismo. Se calcula el flujo volumétrico de fluido (Q) que sale por el capilar de esta forma:

$$Q = V_p \cdot A_c \quad (11)$$

Donde,

$V_p \rightarrow$ Velocidad del pistón [m/s]

Después se utilizan las ecuaciones (5) y (6) para calcular el esfuerzo y la velocidad de corte. Posteriormente se calcula la viscosidad aparente con la ecuación (1).

8.3 INYECCIÓN

Posee el mismo principio de funcionamiento de la extrusión, consiste en hacer fluir un material previamente fundido a través de la boquilla conectora hacia el molde bajo la acción de la presión proporcionada por un pistón o un tornillo que tiene un movimiento alternativo axial para luego llenar el molde en donde el material solidifica tomando la forma del mismo, posteriormente se recupera la pieza al abrir el molde. Este ciclo también se conoce como moldeo por inyección.

Existen diferentes tipos de máquinas para el proceso de inyección, cada una se diseñada respecto de las propiedades reológicas del material que va a utilizarse en el proceso. Una máquina de moldeo por inyección tiene las siguientes partes: unidad de inyección, unidad de cierre, unidad de potencia y unidad de control.

8.3.1 Unidad de inyección. Cumple las funciones de cargar el material, transportarlo, fundirlo e inyectarlo, para llenar las cavidades del molde. El empuje del material se lleva a cabo por la acción de un pistón o tornillo que preside un movimiento axial, además el elemento actuante debe mantener la presión hasta

que el molde ha llenado y la pieza ha solidificado. En muchos casos es utilizada una válvula solidaria a la boquilla o al tornillo que sostiene la presión permitiendo en este lapso una nueva carga de material disminuyendo los tiempos en el proceso de inyección.

La unidad de inyección consta de uno o dos cilindros en los cuales se carga el material a través de una tolva; están contruidos de un material capaz de soportar altas presiones y cumplir con las especificaciones requeridas, además en torno al diseño que se tenga, el cilindro donde se almacena la sustancia fundida para inyectar, puede contener un pistón o tornillo que proporciona la acción, también tiene una boquilla que une el cilindro con el molde y conduce el fluido. El, o los cilindros están cubiertos con bandas calefactoras que utilizan generalmente energía eléctrica, se encargan de mantener la temperatura o fundir el material a medida que se desplaza.

Existen tres tipos importantes de unidades de inyección: Unidad de pistón de una fase, unidad de dos fases pistón-tornillo y unidad en línea con tornillo alternativo* .

UNIDAD DE PISTÓN DE UNA FASE. Constan de un cilindro, pistón, y una boquilla que comunica a la unidad con el molde; en el interior del cilindro se carga, calienta y funde el material debido a la energía entregada por las bandas calefactoras que están ubicadas alrededor del cilindro; posteriormente el material es inyectado por el movimiento del pistón llenando de esta manera el molde. En algunos casos, además, el cilindro contiene un torpedo concéntrico que permite extender el material mejorando la transferencia de calor por conducción, este procedimiento es aplicado cuando el material presenta una baja conductividad térmica.

* Actualmente, la mayoría de las inyectoras son construidas con el sistema de tornillo alternativo, sin embargo el sistema de dos fases pistón-tornillo se sigue usando con frecuencia en la industria.

UNIDAD DE DOS FASES PISTÓN-TORNILLO. La conforma un cilindro principal y un cilindro secundario; en el cilindro principal se encuentra la boquilla, que enlaza con el molde y el pistón que se encarga de inyectar el material previamente fundido, también esta cubierto por bandas calefactoras que ayudan a mantener la temperatura a medida que se almacena e inyecta. El cilindro secundario contiene un tornillo giratorio que recibe, dosifica y funde el material por el calor suministrado de las bandas calefactoras ubicadas alrededor de este; además el movimiento de giro del tornillo facilita la transferencia de calor, por la turbulencia que se genera por la trayectoria del material dentro de las hélices del tornillo, logrando una temperatura más uniforme benéfica para el proceso. Inmediatamente después se transporta la sustancia fundida hacia el cilindro principal donde se alista para ser inyectada. Los dos cilindros comparten una válvula que realiza el control de flujo de ambas cámaras y el molde, bloqueando en un comienzo la entrada de flujo al molde cuando el cilindro principal esta preparándose para la inyección, después la válvula cierra la comunicación con el cilindro secundario y permite el paso de flujo hacia el molde, repitiendo este proceso por cada ciclo de inyección

UNIDAD EN LÍNEA CON TORNILLO ALTERNATIVO. Poseen una boquilla que une al molde con el cilindro, en el interior del cilindro se encuentra un tornillo giratorio que recibe, transporta, funde, dosifica e inyecta la sustancia plastificada hacia las cavidades del molde; la energía necesaria para fundir el material es igualmente transmitida por las bandas calefactoras instaladas alrededor del cilindro y al calor de fricción suministrado por el motor a través del giro del tornillo. Durante la fase de plastificación, el tornillo gira almacenando suficiente material delante de el, luego se detiene y retrocede para inyectar la sustancia plastificada con un movimiento axial, que se sostiene hasta que la pieza sea eyectada esto con la ayuda de una válvula que se encuentra en la punta del tornillo.

8.3.2 Unidad de cierre. Es básicamente un conjunto de placas complementarias montadas sobre un mecanismo que cierra y abre con un sistema de presión neumático, hidráulico o mecánico. Tiene como función principal sujetar el molde de inyección, suministrar el movimiento y la fuerza necesaria para mantener cerradas y abiertas las dos mitades del molde. La fuerza de cierre que debe tener la unidad debe ser lo suficientemente grande para evitar que el molde se separe en el momento de inyectar el material. Las principales partes son: El molde y mecanismo de cierre.

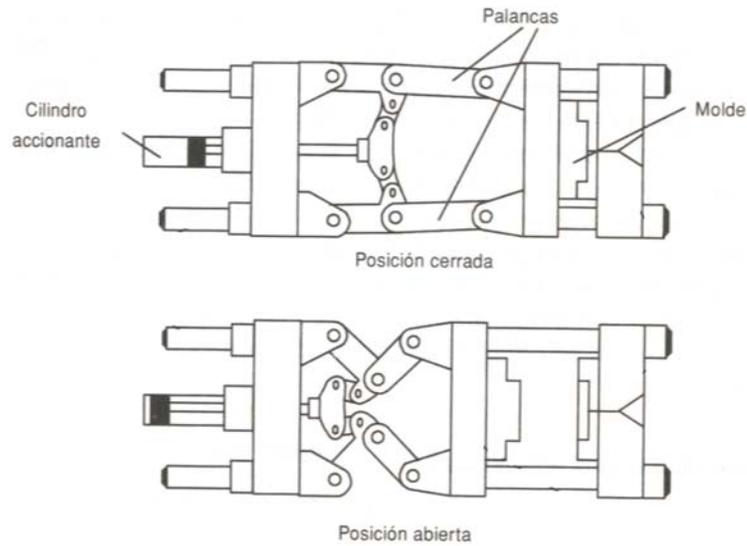
MOLDE. Lo conforman dos piezas complementarias que dan forma al producto y que son montadas mecánicamente en la unidad de cierre, es intercambiable permitiendo de este modo el moldeo de diferentes productos. Su construcción puede ser fácil o compleja*, se realiza en aceros muy duros y en máquinas herramientas casi siempre del tipo CNC.

MECANISMO DE CIERRE. Es el conjunto de elementos mecánicos solidarios que transmiten la fuerza necesaria para mantener unidas las dos partes del molde, puede utilizar uno o dos diferentes sistemas de cierre; que se usan en relación con el costo y velocidad de los movimientos. El primero es el sistema mecánico con palancas articuladas simples o dobles y el segundo es el sistema hidráulico. El sistema mecánico es accionado por un cilindro neumático, que multiplica su fuerza (necesaria para cerrar el mecanismo), por medio del conjunto de palancas articuladas que pueden ser simples o dobles (figura 8); el segundo sistema imprime la fuerza con un cilindro central o dos cilindros laterales hidráulicos que requieren de altas presiones (figura 9). Las principales diferencias entre los sistemas de cierre radican en la efectividad de cierre del molde. Generalmente, el sistema mecánico de palancas articuladas es superior en velocidad con que realiza los movimientos, pero por otro lado las fuerzas de extracción de la pieza

* La construcción del molde radica en la geometría de la pieza que se requiere formar.

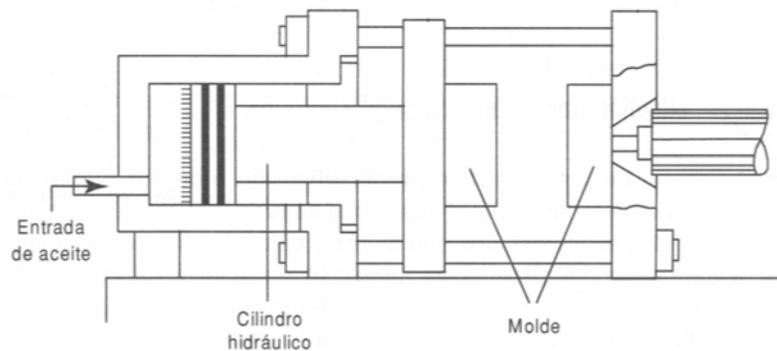
que se alcanzan son mas bajas; ambos sistemas tienen sus ventajas y desventajas.

Figura 8. Unidad de cierre mecánico-neumático con palancas articuladas



SÁNCHEZ, Saúl; YÁNEZ, Isaura y RODRÍGUEZ, Oliverio. Moldeo por inyección de termoplásticos.

Figura 9. Unidad de cierre hidráulico con pistón central



SÁNCHEZ, Saúl; YÁNEZ, Isaura y RODRÍGUEZ, Oliverio. Moldeo por inyección de termoplásticos.

8.3.3 Unidad de potencia. La fuerza motriz necesaria para la realización de labores de la unidad de inyección y cierre es suministrada por diferentes tipos de sistemas de potencia, el uso depende de la aplicación de cada máquina, los principales tipos de sistemas de potencia se pueden clasificar en: sistema de potencia eléctrico, sistema de potencia neumático y sistema de potencia hidráulico.

SISTEMA DE POTENCIA ELÉCTRICO. Se utiliza por lo general en máquinas relativamente pequeñas, esta compuesto por dos motores eléctricos que desarrollan un gran par y giran en ambos sentidos; uno de ellos se emplea para transmitir la potencia necesaria para la rotación del tornillo a través de una caja de engranajes en el caso de la unidad de inyección con tornillo alternativo y el otro para manejar un mecanismo de palancas articuladas que permiten la apertura y cierre del molde. De esta manera el giro en un sentido cierra el molde que permite la inyección de material aplicando una alta fuerza de cierre y en el otro sentido se abre el molde para expulsar la pieza. Del mismo modo el otro motor acciona los engranajes que suministran la potencia de movimiento circular al tornillo.

SISTEMA DE POTENCIA NEUMÁTICO. Transmiten la potencia desde una fuente de energía a los elementos actuadores (motores neumáticos, pistones, etc.) de la unidad de inyección y unidad de cierre, por medio de tuberías flexibles que llevan aire previamente preparado a presión hasta 6 bar. El aire disponible en el sistema es tomado del ambiente, se acondiciona retirando las impurezas y el exceso de humedad que es corrosivo para las tuberías y actuadores; luego de usado es devuelto al ambiente haciendo al sistema limpio y económico. Con frecuencia se utiliza para tener altas velocidades de respuesta en los movimientos de los dispositivos actuadores teniendo en consideración la máxima fuerza que se puede ejercer a partir de la presión permitida de trabajo y el área de los actuadores en su

50

embolo; estos son manipulados y accionados a través de otro tipo de componentes tales como válvulas estranguladoras de aire, electroválvulas, etc.

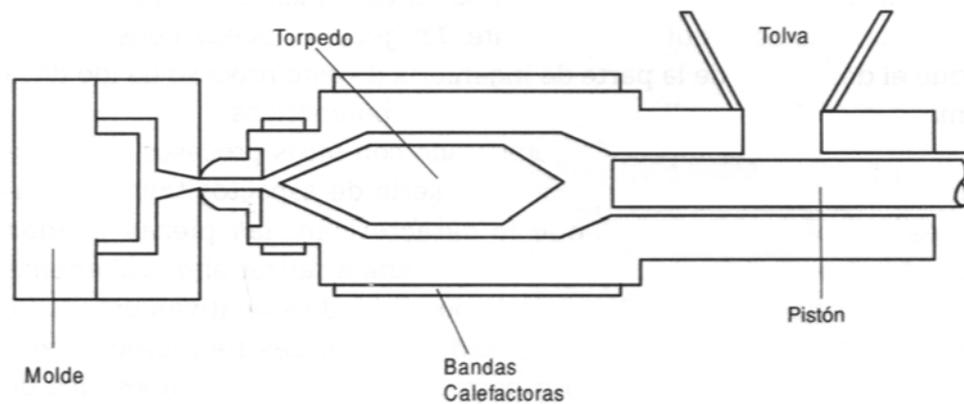
SISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICO. Utiliza aceite como elemento conductor de potencia; el sistema ha predominado en la mayoría de las máquinas de inyección, debido a que este soporta grandes cargas provenientes del equipo de bombeo permitiendo entregar una cantidad de fuerza mas alta; además su compresibilidad es baja por ende el porcentaje de reducción de volumen también es baja evitando perdidas de potencia. Los elementos actuadores son robustos lo que hace que el sistema no sea aplicable a máquinas físicamente pequeñas.

8.3.4 Unidad de control. Es la concatenación de elementos neumáticos o hidráulicos o eléctricos y electrónicos (sensores, PLC, etc.) en forma lógica para cumplir con diversas tareas específicas programadas. El control está ligado con la unidad de potencia por medio de señales electrónicas enviadas por el controlador a los elementos finales de control.

8.3.5 Clasificación de las máquinas inyectoras. Esta en función del tipo de unidades (inyección y cierre) que use, la cantidad y la ubicación espacial de cada una de ellas, estas son: máquina de inyección con pistón, máquina con sistema de preplastificación, máquina de inyección con tornillo alternativo, máquina para inyección multicolor, máquina giratorias, máquina para la inyección de espumas rígidas, máquina de coinyección; además cada una puede presentar diferentes posiciones en sus unidades diferentes a las convencionales que le dan facilidad de manejo, accesibilidad a los dispositivos, facilidad de montaje del molde, accesibilidad para el mantenimiento, entre otras.

MÁQUINA DE INYECCIÓN CON PISTÓN. Este sistema consta de una unidad de inyección de pistón de una fase que tiene un torpedo en el interior del cilindro y una unidad de cierre, todos se encuentran ubicados horizontalmente, el torpedo es un elemento indispensable en el intercambio de calor del barril con el material, ya que este último se expande mejorando la absorción de energía calorífica, proporcionada por las bandas calefactoras al exterior del barril, para su fundición (figura 10).

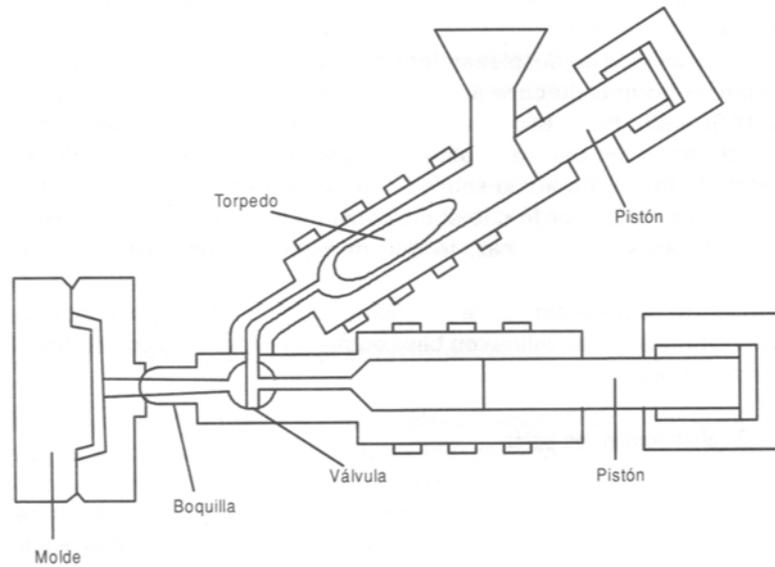
Figura 10. Máquina de inyección con pistón



SÁNCHEZ, Saúl; YÁNEZ, Isaura y RODRÍGUEZ, Oliverio. Moldeo por inyección de termoplásticos.

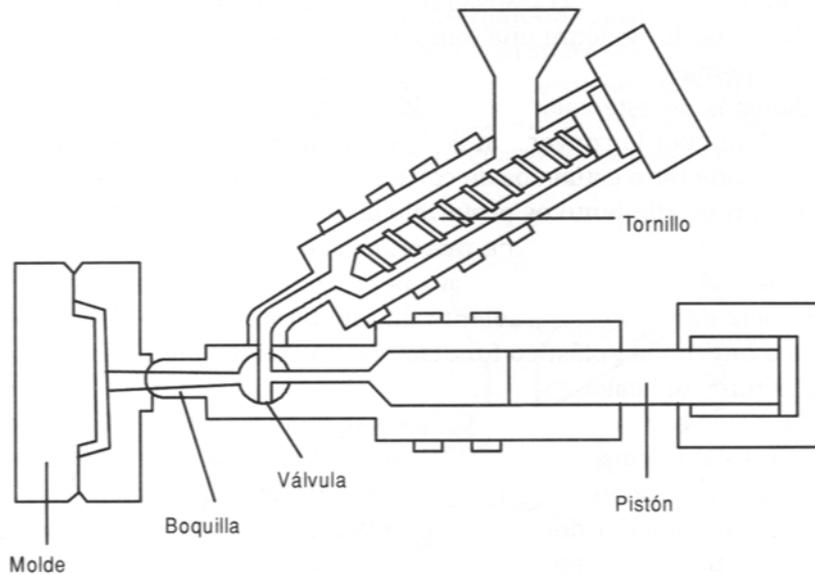
MÁQUINA CON SISTEMA DE PREPLASTIFICACIÓN. La conforman una unidad de cierre y la unidad de inyección de dos fases pistón-pistón (figura 11) o pistón-tornillo (figura 12), esta última tiene en el cilindro secundario un pistón con torpedo que cumple la misma función que el tornillo; con este sistema pueden controlarse más adecuadamente la temperatura, presión y volumen de inyección, lo cual permite alcanzar mayores velocidades de inyección. Además las condiciones de llenado del molde no se ven afectadas por la falta de regularidad producida por fluctuaciones en la alimentación del material sólido.

Figura 11. Máquina de inyección con sistema de preplastificación de pistón



SÁNCHEZ, Saúl; YÁNEZ, Isaura y RODRÍGUEZ, Oliverio. Moldeo por inyección de termoplásticos.

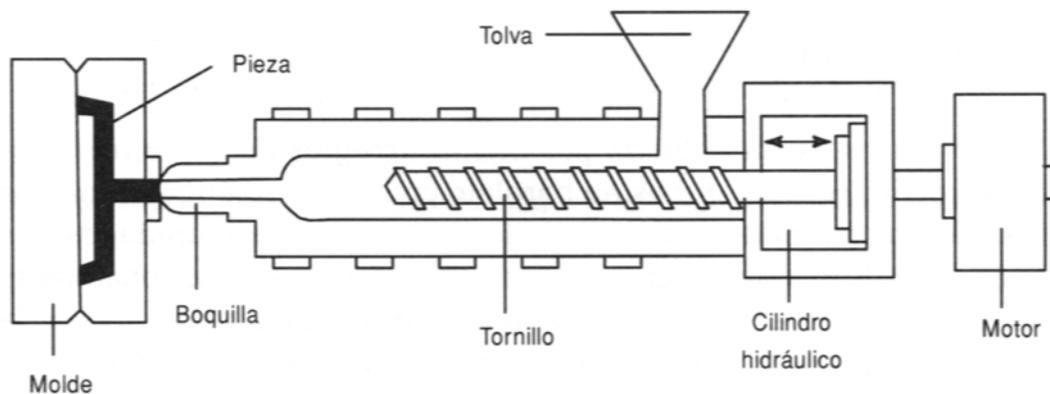
Figura 12. Máquina de inyección con sistema de preplastificación de tornillo



SÁNCHEZ, Saúl; YÁNEZ, Isaura y RODRÍGUEZ, Oliverio. Moldeo por inyección de termoplásticos.

MÁQUINA DE INYECCIÓN CON TORNILLO ALTERNATIVO. Se aplica para materiales de difícil fusión; cuenta con una unidad de cierre, y una unidad en línea con tornillo alternativo; el movimiento de giro del tornillo transporta al material hacia adelante mientras va fundiendo, al tiempo que gira, retrocede para dejar espacio delante de él, al material fundido; cuando se tiene el volumen necesario para la inyectada, el tornillo deja de girar y se mueve sobre el eje horizontal, actuando como pistón para inyectar el material (figura 13).

Figura 13. Máquina de inyección con tornillo alternativo



SÁNCHEZ, Saúl; YÁNEZ, Isaura y RODRÍGUEZ, Oliverio. Moldeo por inyección de termoplásticos.

MÁQUINAS PARA INYECCIÓN MULTICOLOR. Son utilizadas para la elaboración de productos que estén compuestos por más de un material, como es el caso de micas para luces traseras multicolores en la industria automotriz. Pueden considerarse dos categorías: Diseño Horizontal y diseño vertical. El diseño horizontal se caracteriza por incluir arreglos de dos o tres unidades de inyección colocadas paralelamente, cuenta con una unidad de cierre que esta fabricada para la ubicación de las respectivas boquillas de las unidades inyectoras; regularmente este tipo de máquina es ensamblada con unidades de inyección de tornillo alternativo. El diseño vertical difiere a que esta puede tener tres o cuatro unidades de inyección acomodadas alrededor de la unidad de cierre,

además tiene la particularidad de que la parte superior del molde gira alrededor del eje vertical haciendo que el producto moldeado se mueva desde la primera unidad inyectora hasta la última.

MÁQUINAS GIRATORIAS. Son construidas con el fin de lograr una reducción en el tiempo de enfriamiento que debe tener la pieza antes de ser expulsada por el molde, esto para tener un ciclo más corto de inyección. El funcionamiento consiste en que la unidad giratoria que tiene montada una cantidad mínima de unidades de cierre rota a medida que la única unidad inyectora deposita y llena el molde con el material fundido. Esta máquina es adecuada para la producción de un gran número de piezas.

MÁQUINAS PARA LA INYECCIÓN DE ESPUMAS RÍGIDAS. Se utiliza para la elaboración de productos que requieren de alta rigidez como las carcasas de equipos electrónicos, esto se cumple aumentando el espesor de la pieza. Esta conformada por una unidad de inyección de dos fases pistón-tornillo y una unidad de cierre, la técnica que emplea esta máquina la constituye la expansión del material fundido dentro del molde por un gas que reacciona al tener un cambio de presión al momento de salir de la unidad de inyección y entrar al molde, este gas puede estar disuelto o ser producido por la descomposición de un reactivo químico a la temperatura del fundido.

MÁQUINAS DE COINYECCIÓN. Son empleadas para la elaboración de productos compuestos con una estructura "sándwich" conformada por una o varias capas compactas y un núcleo espumado (resistente). La técnica necesita como mínimo el uso de dos unidades de inyección de tornillo alternativo, y una unidad de cierre lo suficientemente espaciosa para ubicar las unidades que inyectan el material al interior del molde.

8.3.6 Boquilla de inyección. Se encuentra ubicada en el extremo del cilindro opuesto a la tolva conectándola con el molde. El diseño depende del tipo de material fundido a formar y del molde. La boquilla no debe convertirse en una gran restricción para el fluido, también debe mantener una temperatura conveniente para evitar que la sustancia solidifique y forme un tapón. Además no se debe presentar goteo a la salida, para que el material no se tire y se desperdicie; el problema es a causa de la presión residual y se corrige usando un sistema de obstrucción o desplazando hacia atrás el elemento inyector liberando presión, esto puede ocasionar que el material fundido se llene de aire. Existen diferentes diseños de boquillas de los cuales los más conocidos son: Boquilla cónica, boquilla de flujo libre y boquilla de conicidad invertida.

BOQUILLA CÓNICA. En este tipo de diseño, la forma geométrica por donde avanza el material hacia el molde es cónica; la conicidad facilita el desprendimiento del material, sin embargo permite que el fluido aumente su velocidad haciendo que pierda presión, esto se hace mas notorio si la boquilla es larga ofreciendo una mayor resistencia convirtiéndose en un problema para el proceso de inyección.

BOQUILLA DE FLUJO LIBRE. Este diseño permite mantener la presión hasta un cierto valor como consecuencia de su configuración, es constituida por un orificio muy pequeño a la salida de longitud muy corta, y un orificio muy grande a la entrada con una gran longitud tan extensa como sea necesaria, lo que ayuda además, a facilitar la colocación de las bandas calefactoras.

BOQUILLA DE CONICIDAD INVERTIDA. Se utilizan para el moldeo de materiales de muy baja viscosidad; esta clase de boquilla trabaja a una temperatura un poco mas baja que las demás, también tiene un estrechamiento, lo que permite que el material solidifique mientras no se esta inyectando, evitando así el problema de

goteo. El tapón formado es eliminado por fricción, logrando volver a continuar con el ciclo de inyección.

8.4 AUTOMATIZACIÓN

Es la técnica, que se encarga de eliminar parcial o completamente, la intervención humana en diferentes laborales como, las industriales, domésticas, militares, administrativas, etc. La automatización busca aumentar la productividad disminuyendo costos, mejorando la calidad de los productos, aumentando la disponibilidad de las máquinas y adaptándose con rapidez en los cambios de estrategia productiva.

La automatización actualmente se encuentra, en tareas básicas como la regulación de temperatura de un horno, igualmente en máquinas herramientas CNC, también en tareas tan complejas como el manejo de una planta química entre otras.

8.4.1 Estructura de un sistema automatizado. Se encuentra compuesto por diferentes elementos que interactúan de forma lógica, para cumplir con una función específica; estos son clasificados como: Planta, elemento primario de control, elemento final de control y controlador.

PLANTA. Sistema físico (mecánico, eléctrico, neumático, etc.) al cual se le controlan, una o mas variables pertenecientes a un proceso.

ELEMENTO PRIMARIO DE CONTROL. Capta el valor de la variable de salida proveniente de la planta y la convierte en otra variable manejable generalmente electrónica; físicamente a este dispositivo se le conoce como sensor.

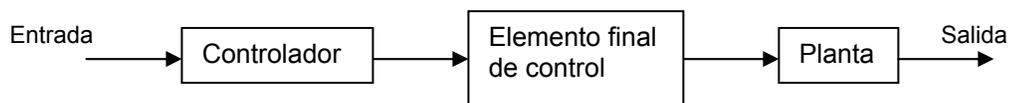
ELEMENTO FINAL DE CONTROL. Es un dispositivo de potencia, que suministra la entrada a la planta en relación con la señal de control proporcionada por el controlador, actúa directamente sobre la variable a controlar dentro de un proceso. Físicamente se encuentra como un motor, válvula neumática, cilindro neumático, entre otros.

CONTROLADOR. Es el encargado de enviar las diferentes instrucciones en forma de señal electrónica, neumática, hidráulica, al elemento final de control, dependiendo del tipo de entrada que se le suministre, para que ejecute una acción correctiva o acción secuencial.

Físicamente se implementa a través de un computador, PLC, microcontrolador o cualquier dispositivo que tenga la capacidad de manipular una variable para mantenerla en un valor deseado, respecto a la entrada dada por un usuario, suministrando una señal al elemento final de control.

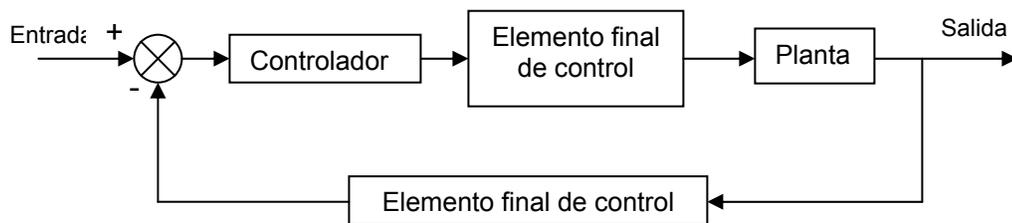
Las diferentes configuraciones en las que se pueden encontrar, dependen del tipo de relación existente entre la entrada y salida de un sistema. Cuando la salida no se compara con la entrada, la configuración es de lazo abierto (figura 14); por otro lado, si se compara la salida con la entrada la configuración es de lazo cerrado. (figura 15)

Figura 14. Controlador en configuración lazo abierto



Los autores.

Figura 15. Controlador en configuración en lazo cerrado



Los autores.

Las configuraciones con lazo cerrado, permiten controlar el sistema con la comparación de la señal de entrada con la señal de salida, esto con el fin de mantener la salida lo más próxima a un valor deseado de la entrada.

8.4.2 Clasificación de los controladores. Los controladores son clasificados de acuerdo al tipo de acción de control que realicen; comúnmente en la industria se encuentran: Controladores on-off y controladores proporcionales-integrales-derivativos.

CONTROLADORES ON-OFF. Se caracteriza por que el elemento final de control, tiene solo dos posiciones fijas, que pueden ser, un valor máximo y un valor mínimo o un estado de encendido y apagado; esto conlleva a que el controlador de acuerdo a una entrada suministrada por el usuario, permanece solo en alguna de las anteriores posiciones y no en intermedias. Este tipo de controladores son muy usados en la realización de procesos industriales secuenciales, por que los elementos finales de control como cilindros neumáticos tiene solo dos posiciones.

CONTROLADORES PROPORCIONALES-INTEGRALES-DERIVATIVOS. Esta conformado por la combinación de la acción de control proporcional, la acción de control integral y la acción de control derivativa, este tipo de controladores a diferencia de los on-off, toma la señal dada por el usuario, la compara con la señal

suministrada por el elemento primario de control (sensor) y manda una señal correctiva al elemento final de control, teniendo este la posibilidad de manejar diferentes valores hasta llegar al valor apropiado. La manera en que el valor de la variable cambie a través del tiempo hasta su posición final, se consigue de acuerdo al tipo de sintonización que se lleve a cabo; lo ideal es que el valor de la variable a controlar, no eleve inicialmente demasiado su valor, muy por encima del valor deseado, debido a que el sistema presentará muchas oscilaciones, aumentando así, el tiempo en el cual la variable se estabilice. Este tipo de controladores responde de manera efectiva cuando se presentan perturbaciones procedentes del exterior o interior del proceso a controlar, además son fáciles de implementar.

8.5 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)

Es un dispositivo electrónico digital de uso industrial, compuesto básicamente por cuatro bloques que interactúan entre si para controlar máquinas y procesos. Estos bloques se denominan: CPU, memoria, comunicación con el proceso y comunicación con el usuario.

8.5.1 CPU. Es la unidad de procesamiento central del PLC, allí es donde se procesa toda la información proveniente del proceso y del usuario, tomando diferentes decisiones, en correspondencia con la programación previamente asignada, situada en la memoria. La velocidad con que la CPU puede procesar la información, se mide en kilohertz (KHz), esta determinará el costo y la aplicación en procesos del PLC, de la misma forma, se debe tener en cuenta la capacidad de procesamiento, refiriéndose esta, a la cantidad de programas que puede ejecutar en forma simultánea.

8.5.2 Memoria. Es el lugar donde se almacena todos los datos que requiere el PLC para su funcionamiento y para la toma de decisiones de la CPU. La manera en que la memoria cataloga esta clase de información, la hace de acuerdo a la utilidad. La memoria esta particionada para su efecto, en memoria para sistema y memoria para usuario.

MEMORIA PARA SISTEMA. En esta parte de la memoria, se encuentran los datos correspondientes al funcionamiento y operación del PLC, tales como decodificación de señales, codificación de señales, auto chequeo entre otras y que son cargadas desde la fabricación del PLC. Esta memoria es inmodificable lo que la hace una memoria permanente por lo tanto no puede alterarse.

MEMORIA PARA USUARIO. Contiene la información relacionada con el proceso a controlar y que es introducida por el usuario de diferentes maneras en lista de instrucciones, forma grafica entre las más importantes.

La capacidad de almacenamiento de datos de la memoria es medida en Kilobyte, y su tamaño depende del tipo de proceso a controlar, debido a la cantidad de funciones que puede albergar en memoria el PLC. Las diferentes clases de memorias existentes, en un PLC se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Tipos de memoria en el PLC

TIPO DE MEMORIA	BORRADO	PROGRAMACIÓN	SIN VOLTAJE LA MEMORIA ES
RAM	Eléctrico	Eléctrica	Volátil
ROM	Imposible	Por máscaras en fabrica	No volátil
EEPROM	Eléctrico	Eléctrica	No volátil

Los autores.

8.5.3 Comunicación con el proceso. Este bloque maneja todo lo concerniente a entradas y salidas del PLC. Generalmente el PLC puede tener desde 8 hasta más de 1024 entradas y salidas; recibe y envía diferentes tipos de señales, como análogas con valores entre 4 – 20 mA, discretas, pulsos, entre otras.

8.5.4 Comunicación con el usuario. Este bloque se encarga de captar y enviar, toda la información o instrucciones suministradas por el usuario a partir de diferentes formas de entrada (teclado, PC, touch-screen, etc). La manera en que el usuario remite las instrucciones de cómo el PLC debe funcionar, se realiza a través de lenguajes que son catalogados informáticos y gráficos. Entre los informáticos se conocen lenguajes de programación como Basic, Pascal, C y los gráficos como diagrama de escalera (ladder), Grafcet.

8.6 SENSORES

Son dispositivos que convierten una variable física (Presión, temperatura, velocidad, etc.), en otra variable que es manejable y diferente, generalmente una señal electrónica.

8.6.1 Sensor capacitivo. El funcionamiento se basa en la medición de los cambios de capacitancia eléctrica de un condensador en un circuito resonante RC, ante la ubicación de un material (metal, plástico, vidrio, madera, agua) en la zona activa de conmutación. Los cambios en la capacitancia radican en las dimensiones del medio, la constante dieléctrica del material y la distancia entre el medio y la superficie activa del sensor. La distancia en el que el sensor puede detectar un material, se ajusta por medio de un potenciómetro, de esta manera se puede lograr la detección de ciertos medios.

8.6.2 Sensores magnéticos. Detectan cualquier tipo de campo magnético proveniente de imanes permanentes y de electroimanes. Están constituidos por láminas hechas de material ferromagnético que se encuentran sumergidas en un gas inerte, dentro de un pequeño tubo de vidrio; las láminas se unen por magnetismo ante la presencia de un campo magnético, que produce un contacto eléctrico y envía una señal hacia el dispositivo al cual esta conectado.

8.6.3 Sensor de temperatura PT 100. Tiene elementos sensitivos basados en conductores metálicos, que cambian su resistencia eléctrica debido a cambios proporcionados en la temperatura de los mismos. La variación lineal presente en la resistencia se encuentra entre los 100 Ω para 0 °C y 138 Ω para 100 °C. El uso de la PT 100 radica en el alto grado de precisión que se requiere en la medición, además del rango de valores que se deben encontrar por debajo de los 400 °C.

9. SOLUCIÓN INGENIERIL

9.1 PROCESO DE PRODUCCIÓN USADO PARA EL LLENADO DEL QUESADILLO EN LA MÁQUINA

Para el proceso de producción usado en el llenado del quesadillo se tienen tres (3) posibilidades:

- Laminar el queso para posteriormente plegarlo o troquelarlo.
- Sistema de moldeo por inyección con tornillo alternativo.
- Sistema de moldeo por inyección con pistón.

El sistema de moldeo por inyección con tornillo alternativo se utiliza cuando es necesario fundir el material, en este caso no es necesario porque el material ya está caliente desde antes de entrar en la fase de llenado y formado*. Lo anterior lleva a pensar que solamente es necesario el movimiento alternativo del tornillo, que es equivalente al de un pistón que ejecuta la inyección, por lo que se puede reemplazar esta opción por el sistema de inyección con pistón; además la construcción del tornillo es compleja y necesita una gran inversión económica.

En el proceso de laminado-troquelado, se lamina primero el queso a través de varios rodillos, posteriormente se debe posicionar el bocado sobre la lamina, para luego obtener la forma final del quesadillo por medio de un dado troquelador. Los dados para troquelado son complicados y costosos pero se justifican económicamente en partes complejas donde se requieren operaciones múltiples a

* Ver Marco Teórico: proceso de fabricación del quesadillo. Numeral 8.1 del documento.

altas velocidades de producción⁵. En el corte de la lámina de queso con el dado troquelador se pierde materia prima que no es reutilizable. La cantidad de queso que se pierde cuando se realiza el troquelado depende del diseño del dado troquelador, para lograr un óptimo diseño consiguiendo la menor pérdida de material y haciendo la construcción lo menos complicada y costosa posible se requiere de amplia experiencia en este campo.

En los procesos de inyección, en general, las piezas pueden producirse con alta rapidez alcanzando altos volúmenes de producción; estas requieren poco o ningún acabado, también permite mantener buena tolerancia dimensional además de moldear piezas con inserciones. El costo de fabricación del molde es relativamente alto, pero en este caso debido a que el quesadillo posee una forma básica rectangular y no se requieren cuchillas de corte, como en el caso del dado troquelador, su construcción es sencilla y económica.

Entonces se comparan la primera y la tercera opción a través de puntajes promedio (0-10 puntos) de varios ítems relevantes (tabla 4), dando como resultado que el proceso de producción más viable para el diseño de la máquina es el que ofrece la tercera opción: *moldeo por inyección con pistón*.

Tabla 4. Comparación por puntaje para las opciones del proceso de producción.

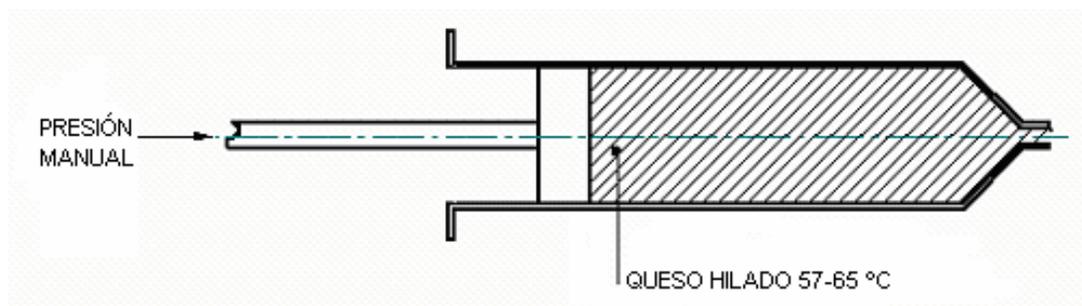
ITEM	Laminado plegado/troquelado [0 -10 puntos]	Moldeo por Inyección con pistón [0 -10 puntos]
Velocidad de producción	9,8	9,5
Facilidad de diseño y construcción	7,0	9,0
Promedio	8,4	9,25

Los autores.

⁵ GROOVER, Mikell P. Fundamentos de manufactura moderna, materiales, procesos y sistemas. México : Prentice Hall, 1997.

Para confirmar el resultado se realizó una prueba piloto para observar el comportamiento del queso, con las características del llenado y formado (57 y 65 °C), ya que en estas condiciones es como ingresará al pistón. Consistió en hacer fluir a través de una jeringa el queso en este intervalo de temperatura, simulando de este modo la acción de un pistón de inyección con una boquilla cónica (figura 16).

Figura 16. Prueba piloto con jeringa



Los autores.

El procedimiento fue el siguiente: primero, se hilo el queso de acuerdo con las especificaciones mostradas en el marco teórico; posteriormente se sumerge en agua a una temperatura en el intervalo mencionado con anterioridad y se deja que el queso llegue a esta temperatura (Bajo estas condiciones se observa una apariencia viscosa); por último se escurre y se introduce en la jeringa. Aplicando manualmente una baja presión, se observó que el queso fluía con facilidad. También se observó que a mayor temperatura el queso fluye más fácilmente.

9.2 MEDICIÓN DE LA DENSIDAD Y LA VISCOSIDAD

Las propiedades necesarias para el diseño son:

- La densidad (diseño por resistencia mecánica).

- La viscosidad del queso (determina la presión de inyección).

El ingeniero a cargo del proceso de producción en Campo Real comenta que la temperatura ideal del queso para el llenado y formado es más alta que la actual (hasta 80 °C, porque temperaturas superiores deterioran la materia prima), pero debido a que el proceso de producción es manual y el queso es manipulado con guantes, esta fase se realiza entre 57 y 65 °C.

Para efectuar la medición de la densidad y la viscosidad se tuvo en cuenta lo anterior y las pruebas se realizaron a 80 °C, ya que en este caso se observó en la prueba piloto que la viscosidad disminuye con el aumento de temperatura y fluye más fácilmente. Para realizar este control de temperatura se debe sumergir la materia prima en agua con la temperatura que se desee alcanzar. En la unidad de inyección, se controlará la temperatura del queso manteniéndose a 80 °C.

9.2.1 Medición de la densidad. La medición de la densidad se efectuó en el laboratorio de química de la Universidad de San Buenaventura sede Bogotá. La temperatura ambiente en la prueba fue de 21 °C aproximadamente y se usaron muestras de 10 gramos de queso que después de ser hilado se sumergía por 3 min en agua a 80 °C. Los materiales para el laboratorio se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Lista de materiales para medición de la densidad

ITEM	CANTIDAD
Muestra de queso Campo Real	1 Kg
Probeta (50 ml)	1
Gramera digital	1
Recipiente refractario (500 ml)	1

Los autores.

Para determinar la densidad se siguió el procedimiento descrito a continuación:

- Se cortan y separan muestras de 10 gramos de queso Campo Real, pesadas en la gramera digital.
- Se toma una muestra de 10 gramos de queso y se hila, según el procedimiento descrito en el marco teórico, luego se sumerge por 3 min en agua a 80 °C.
- Se coloca la probeta vacía en la gramera digital para medir su masa (M_{Probeta}).
- Después del hilado se escurre el queso y luego se vierte en la probeta.
- Se mide el volumen del queso (V_{Queso}) con ayuda de la escala en la probeta.
- Se mide la masa de la probeta y el queso juntas ($M_{\text{Probeta-Queso}}$), colocándose sobre la gramera digital.
- Se determina la densidad del queso (δ_Q) de la siguiente forma:

$$\delta_{\text{Queso}} = \frac{M_{\text{Probeta-Queso}} - M_{\text{Probeta}}}{V_{\text{Queso}}} = \frac{M_{\text{Queso}}}{V_{\text{Queso}}} \quad (12)$$

- Se realiza el anterior proceso 3 veces y luego se promedian los resultados.

La densidad promedio es $\bar{\delta}_{\text{Queso}} = 1,003 \text{ g/cm}^3 = 1003 \text{ kg/m}^3$ (tabla 6).

Tabla 6. Medición de la densidad del queso provolone a 80 °C

MUESTRA	M_{Probeta} [g]	V_{Queso} [cm ³]	$M_{\text{Probeta-Queso}}$ [g]	δ_{Queso} [g/cm ³]
1	17,6	6	23,5	0,983
2	17,6	8	25,6	1,0
3	17,6	4	21,7	1,025
Densidad promedio				1,003

Los autores.

Para corroborar el resultado se certificó la medida de la densidad del queso en condiciones del hilado, para esto se acudió al *Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos-ICTA*, que es una unidad académica de interfacultades de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, especializado en el área de alimentos. El valor final de la densidad del queso en condiciones del hilado es $\delta_{\text{Queso}} = 1090 \text{ Kg/m}^3$ (ver anexo A: REPORTE DE ANÁLISIS).

9.2.2 Medición de la viscosidad. Para la medición de la viscosidad se hizo averiguaciones en varios centros de investigación de Universidades en Colombia, para ver cual de estos puede realizar o certificar una prueba para la medición de la viscosidad del queso Campo real en las condiciones para la fase de llenado y formado.

En primera instancia se contacto al *Centro de Investigación en Procesamiento de Polímeros-CIPP*, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes, sede Bogotá. En la entrevista con el director del laboratorio el *Ing Jorge Medina* se le explicó el proyecto y se le cuestionó sobre la posibilidad de hacer la prueba en esta institución. El explicó que el laboratorio a su cargo estaba equipado con un reómetro capilar, pero que este instrumento es especial para medir la viscosidad en asfalto y que por lo tanto no era el adecuado para medir la viscosidad del queso.

Posteriormente se investigó en el Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos-ICTA. Se dialogo con el *laboratorista de Análisis Físico-Químico Alvaro Jimenez*, se le explicó el proyecto y la necesidad de encontrar el instrumento adecuado para la prueba. El comentó que en este laboratorio se contaba con un reómetro rotacional, con un amplio rango de velocidades de corte y que además el laboratorio esta en capacidad de certificar la prueba, si esta es satisfactoria.

El día 11 de Agosto de 2005 se realizó una prueba con este reómetro rotacional para el queso en las condiciones de la fase del llenado y formado. El control de temperatura del instrumento se colocó a 80 °C, se tomó una muestra de queso en condiciones del hilado a esta misma temperatura y se introdujo en el mismo.

Al principio la prueba funcionó, pero después de aplicar un pequeño intervalo de velocidades de corte al fluido, se observó que el queso se pega a las paredes del cilindro móvil y se desliza sobre el cilindro estático, por lo que es imposible medir el par resistente del fluido sobre el cilindro móvil y por consiguiente la viscosidad*. Por esta razón el laboratorista Alvaro Jimenez manifestó que no se puede certificar la prueba para la medición de la viscosidad del queso con este instrumento, debido a que este tampoco es el adecuado**.

Se aconsejó que para el diseño de la máquina no se requiere una medición rigurosa de la viscosidad y que en algunos casos, para alimentos, se realizan pruebas empíricas para medirla en intervalos de velocidades de corte pequeños. Por ejemplo si se tratase de una máquina de inyección con tornillo alternativo el diseño final se consigue a prueba y error, construyendo y mejorando lo anterior hasta llegar a un buen resultado.

Se investigó sobre otros centros de investigación en Bogotá y no se halló ningún otro especializado en alimentos que pueda desarrollar la prueba. De lo anterior se decide realizar la medición de la viscosidad empíricamente, construyendo un reómetro capilar casero, para esto se sigue un ejemplo de medición de la viscosidad de un fluido con un reómetro capilar, encontrado en el libro de Luis Francisco Ramos de Valle: *Extrusión de plásticos principios básicos*⁶.

* Ver Marco Teórico: Reología, Medición de la viscosidad. Numeral 8.2.4 del documento.

** Ver REPORTE DE ANÁLISIS expedido por el ICTA. Anexo A.

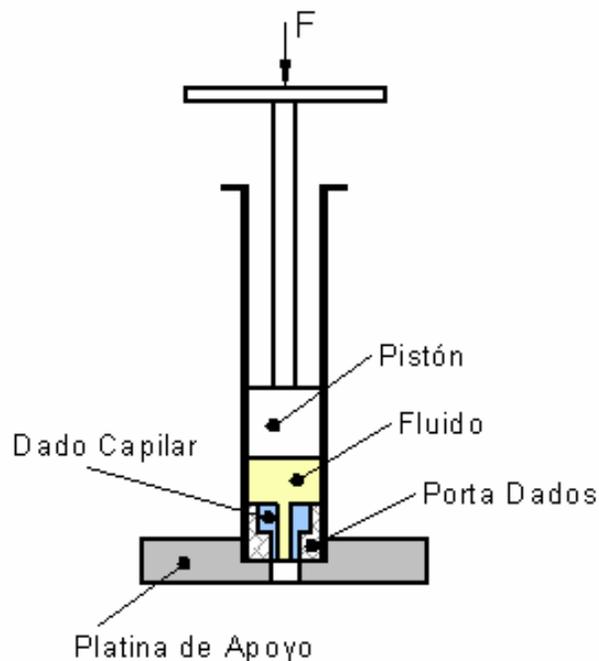
⁶ RAMOS DE VALLE, Luis Francisco. *Extrusión de plásticos principios básicos* : reometría capilar-aplicaciones. México : Limusa, 1999. p. 57-66.

REÓMETRO CAPILAR CASERO. El instrumento casero se construyó en el laboratorio de máquinas y herramientas de la Universidad de San Buenaventura sede Bogotá.

Este consta de un mecanismo cilindro-pistón, el cilindro es de un material polimérico, transparente, para que se pueda medir la velocidad de avance del pistón. En la parte inferior del cilindro se colocó un porta dados, para que se permita cambiar la relación L/R (longitud/radio) del dado capilar (figura 17).

Para la medición de la viscosidad se realizó un montaje en el laboratorio de química de la Universidad de San Buenaventura sede Bogotá, con ayuda de algunos instrumentos del laboratorio de ciencias básicas; se utilizaron muestras de 10 gramos de queso que después de ser hilado se sumergía por 3 min en agua a $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Los implementos usados en este laboratorio se muestran en la tabla 7.

Figura 17. Reómetro capilar casero



Los autores.

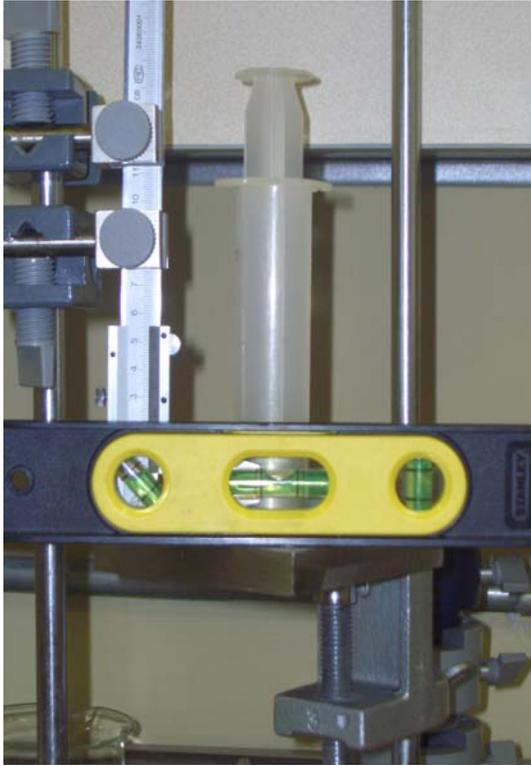
Tabla 7. Lista de materiales para medición de la viscosidad

ITEM	CANTIDAD
Muestra de queso Campo Real	1 Kg
Gramera digital	1
Reómetro Capilar	1
Dado capilar relación L/R = 20/2,5	1
Dado capilar relación L/R = 20/1,5	1
Trípode nivelable en A	1
Contrapeso	1
Barra de anclaje	2
Prensa de anclaje	1
Pinza	2
Sujetador	2
Calibrador-Vernier	1
Nivel	1
Juego de pesas	2
Termómetro (-10 a 110 °C)	1
Recipiente refractario (500 ml)	1
Cronómetro	2

Los autores.

Las ilustraciones 1 y 2 se muestran el montaje realizado, así como el resultado de prueba par una masa de 0,7 kilogramos.

Ilustración 1. Montaje para la prueba de viscosidad



Los autores.

Ilustración 2. Resultado de la prueba con una masa de 0,7 Kilogramos



Los autores.

La prueba consistió en medir la velocidad de avance del pistón para un grupo de pesas determinado. Con un cronómetro se mide el tiempo de avance del pistón durante los primeros 2 mm y con el otro cronómetro se mide el tiempo de avance durante los segundos 2 mm, de esta forma se promedian ambos tiempos y se determina la velocidad de avance del pistón que es equivalente a la del fluido. Se realizó una prueba piloto con el instrumento y se determinó que el dado óptimo para la prueba era el de relación $L/R = 20/2,5$ y que las pesas están entre los 500 y 1500 gramos. Para describir el comportamiento viscoso del fluido se utilizó la ley de la potencia.

Para realizar el control de temperatura a los elementos metálicos (pistón y dado) se les aplicó calor a través de una resistencia eléctrica hasta alcanzar la temperatura óptima del queso para el proceso (80 °C), para evitar que estos elementos perdieran temperatura el cilindro se calentó al baño maría. El procedimiento seguido en la prueba es el siguiente:

- Se cortan y separan muestras de 10 gramos de queso Campo Real, pesadas en la gramera digital.
- Se toma una muestra de 10 gramos de queso y se hila, según el procedimiento descrito en el marco teórico, luego se sumerge por 3 min en agua a 80 °C.
- Se vierte agua a 80 °C en el reómetro y se suministra calor al dado y el pistón, esto mientras se realiza el paso anterior.
- Se coloca el dado capilar en el reómetro.
- Se escurre el queso hilado y se vierte en el reómetro.
- Se coloca el pistón y encima de este la o las pesas correspondientes.
- Se mide y registra el tiempo de avance del pistón en los primeros 2 mm.
- Se mide y registra el tiempo de avance del pistón en los segundos 2 mm.
- Se determina el tiempo promedio y luego la velocidad promedio del pistón como:

$$V_p = \frac{0,002}{t_p} \quad (13)$$

Donde,

$t_p \rightarrow$ Tiempo promedio [s]

- Se realiza el procedimiento anterior con varios conjuntos de pesas (mínimo 2).

Los tiempos resultantes se muestran en la tabla 8, en la medición de los tiempos se descuenta el tiempo promedio de reacción de parada del cronómetro que es de 0,25 s. Para determinar la viscosidad se utilizan las ecuaciones expuestas en el marco teórico, en la sección de reología, para el análisis del flujo viscoso a través de canales de sección transversal circular. Entonces como ejemplo para la masa de 0,7 kilogramos se tiene:

Tabla 8. Tiempos resultantes en la prueba de viscosidad

Masa [kg]	Tiempo [s]		V_p [m/s]
0,7	t1	8,56	$2,29 \cdot 10^{-4}$
	t2	8,93	
	t_p	8,75	
0,9	t1	4,75	$4,18 \cdot 10^{-4}$
	t2	4,83	
	t_p	4,79	
1,3	t1	3,97	$5,12 \cdot 10^{-4}$
	t2	3,84	
	t_p	3,91	

Los autores.

Se determina el caudal con la ecuación (11):

$$A_C = \pi \cdot (13,25 * 10^{-3})^2 = 5,515 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$Q = V_p \cdot A_C = 2,29 * 10^{-4} \cdot 5,515 * 10^{-4}$$

$$Q = 1,260 * 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$$

Se determina la variación de presión en el capilar con la ecuación (10):

$$F = m \cdot g = 0,7 \cdot 9,81 = 6,867 \text{ N}$$

$$\Delta P = \frac{F}{A_C} = \frac{6,867}{5,5154 * 10^{-4}} = 12450,460 \text{ Pa}$$

Se determina el esfuerzo de corte con la ecuación (5):

$$\tau = \frac{R \cdot \Delta P}{2L} = \frac{0,0025 \cdot 12450,46}{2 \cdot 0,02} = 778,150 \text{ N/m}^2$$

Usando la ecuación (6) se determina la velocidad de corte:

$$\dot{\gamma} = \frac{3n+1}{\pi \cdot n R^3} Q = \frac{3n+1}{\pi \cdot n \cdot (0,0025)^3} 1,26 * 10^{-7} \text{ s}^{-1}$$

Para determinar la constante y el índice de la ley de la potencia se resuelve un sistema de 2 ecuaciones con 2 incógnitas, entonces, siguiendo el mismo procedimiento, para la masa de 1,3 Kilogramos se tiene:

$$\tau = 1445,14 \text{ N/m}^2$$

$$\dot{\gamma} = \frac{3n+1}{\pi \cdot n R^3} Q = \frac{3n+1}{\pi \cdot n \cdot (0,0025)^3} 2,820 * 10^{-7} \text{ s}^{-1}$$

Usando la ecuación (2) se tiene:

$$\tau = K' \left(\dot{\gamma} \right)^n$$

$$\text{Para la masa de 0,7 kg} \rightarrow 778,150 = K' \left(\frac{3n+1}{\pi \cdot n \cdot (0,0025)^3} 1,26 \cdot 10^{-7} \right)^n$$

$$\text{Para la masa de 1,3 kg} \rightarrow 1445,140 = K' \left(\frac{3n+1}{\pi \cdot n \cdot (0,0025)^3} 2,82 \cdot 10^{-7} \right)^n$$

Usando MATLAB se resuelve el sistema quedando:

$$K' = 122,9175$$

$$n = 0,7684$$

La viscosidad aparente para la masa de 0,7 Kilogramos se determina de la ecuación (3) así:

$$\eta_a = K' \cdot \dot{\gamma}^{n-1}$$

$$\eta_a = 122,9175 \cdot \left(\frac{3 \cdot 0,7684 + 1}{\pi \cdot 0,7684 \cdot (0,0025)^3} 1,26 \cdot 10^{-7} \right)^{0,7684-1} = 70,480 \text{ s.Pa}$$

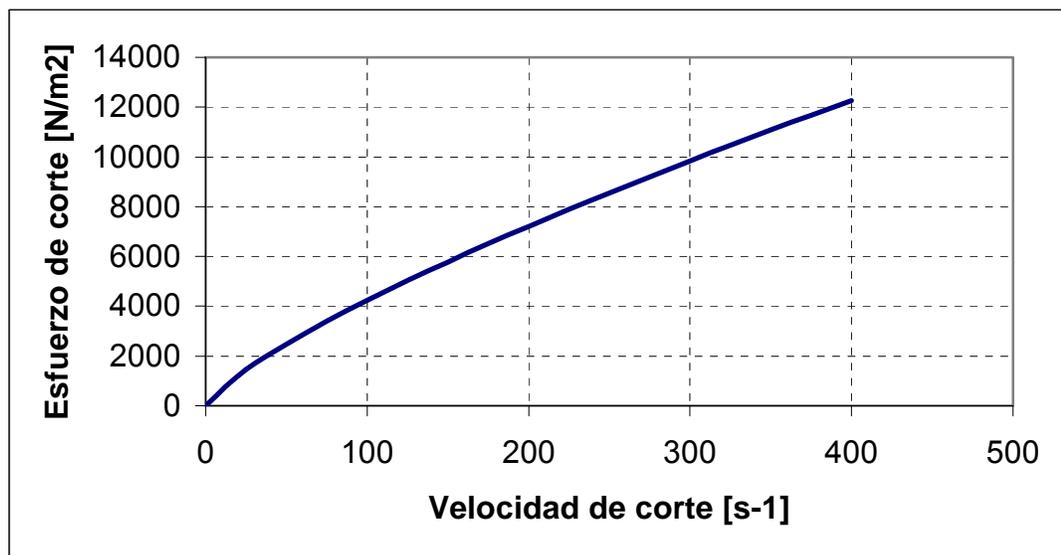
Los resultados de la prueba se muestran en la tabla 9. Del análisis de los resultados se encuentra que el queso provolone a 80 °C, clasificándolo según la ley de la potencia, es un fluido no newtoniano independiente del tiempo del tipo **pseudoplástico** ($n = 0,7684 < 1$).

Tabla 9. Resultados de la prueba de viscosidad

Masa [kg]	Tiempo [s]		V [m/s]	R [m]	L [m]	Q [m ³ /s]	ΔP [Pa]	τ [N/m ²]	γ [s ⁻¹]	η ^a [s.Pa]
0,7	T1	8,56	2,29*10 ⁻⁴	0,005	0,02	1,26*10 ⁻⁷	12450,46	778,154	11,053	70,460
	T2	8,93								
	t _p	8,75								
0,9	T1	4,75	4,18*10 ⁻⁴	0,005	0,02	2,30*10 ⁻⁷	16007,74	1000,483	20,180	61,291
	T2	4,83								
	t _p	4,79								
1,3	T1	3,97	5,12*10 ⁻⁴	0,005	0,02	2,82*10 ⁻⁷	23122,28	1445,143	24,753	58,459
	T2	3,84								
	t _p	3,91								

Los autores.

Figura 18. Gráfica esfuerzo de corte versus velocidad de corte en el queso



Los autores.

9.3 MATERIALES USADOS EN LA MÁQUINA

En la industria de alimentos se deben usar materiales que permitan la manipulación y buena higiene. Dentro del grupo de los materiales que cumplen esta especificación se encuentran el acero inoxidable y los polímeros tales como el nylon y sus derivados, acetal, teflón entre otros.

El acero inoxidable de más fácil acceso, así como el de más bajo costo en la industria en Colombia, es el de clasificación AISI 304, por lo tanto este será el utilizado en la máquina para todas las piezas que requieran la mayor resistencia mecánica, sus propiedades se muestran en el anexo B-1.

En las piezas que se requiere contacto deslizante se necesita tener un bajo coeficiente de fricción y se debe evitar la lubricación con aceites, porque si entran en contacto con el queso o el bocadillo contaminaría el producto. Dentro del grupo de materiales usados para la construcción de cojinetes de contacto deslizante el nylon, acetal y teflón relleno, se pueden usar en este caso, gracias a su condición de auto-lubricamiento no se necesita usar aceites para disminuir la fricción y además con estos se puede manipular alimentos sin contaminarlos. De los anteriores se prefiere el nylon, debido a que presenta las mejores propiedades mecánicas, alta dureza y alta temperatura de fusión. Para la selección se utiliza derivados del nylon que son comparados a través de diferentes ítems a los cuales se les da una puntuación de 1-10, esto se muestra en la tabla 10. El material seleccionado es el MOLY, sus propiedades se muestran en el anexo B-2 (este polímetro se distribuye en Colombia).

En algunos elementos de automatización que no están en contacto con el queso o el bocado se utiliza el aluminio*. **”La selección de los actuadores, válvulas y sensores, se muestran en el numeral 9.9.”**

Tabla 10. Comparación por puntaje para selección del material polimérico

Material	NYLON 6 [0 - 10 puntos]	MOLY [0 – 10 puntos]	O.F.N. [0 - 10 puntos]	OILON [0 - 10 puntos]	HS Blue [0 - 10 puntos]
Coeficiente de fricción	75	90	93	95	75
Resistencia mecánica	75	85	70	75	80
Temperatura de operación	80	80	85	85	88
Resistencia a la humedad	70	85	87	90	72
Costo	90	90	75	75	85
Promedio	78	86	82	84	80

Los autores.

9.4 UNIDAD DE INYECCIÓN

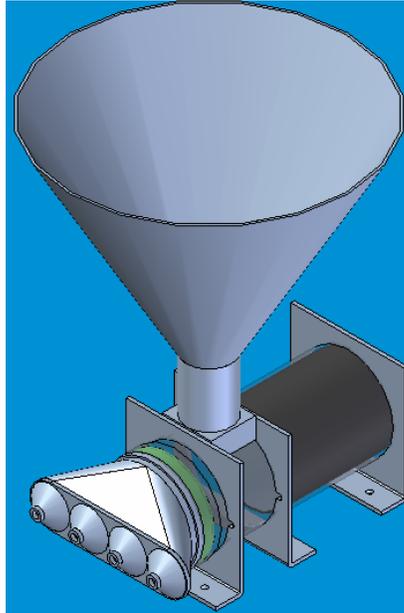
Esta unidad contiene una tolva por donde ingresa el queso a la máquina después del hilado, posteriormente un pistón inyecta el material hacia el molde. En la figura 19 se muestra un esquema de la unidad**.

Se empieza por calcular una capacidad mínima de inyección en la máquina, para posteriormente determinar la geometría de la unidad.

* Las propiedades de todos los materiales mecánicos usados en la máquina se muestran en el anexo B.

** Ver anexo F: planos mecánicos de la máquina, planos 3 - 14.

Figura 19. Unidad de inyección



Los autores.

9.4.1 Capacidad mínima de inyección. Se desea aumentar el nivel de producción actual de 700 unidades por hora como mínimo tres (3) veces, es decir a 2100 unidades/hora. De las tabla 1 y 2 (Dimensiones del bocadillo y descripción física del quesadillo Campo Real) se conoce el volumen de queso por quesadillo:

$$V_{\text{Queso}} = \frac{P_{\text{Queso}} [\text{kg}]}{\delta_{\text{Queso}} [\text{kg}/\text{m}^3]}$$
$$V_{\text{Queso}} = \frac{0,07 - 0,015}{1003} = 55 * 10^{-6} \text{ m}^3 \equiv 55 \text{ cm}^3$$

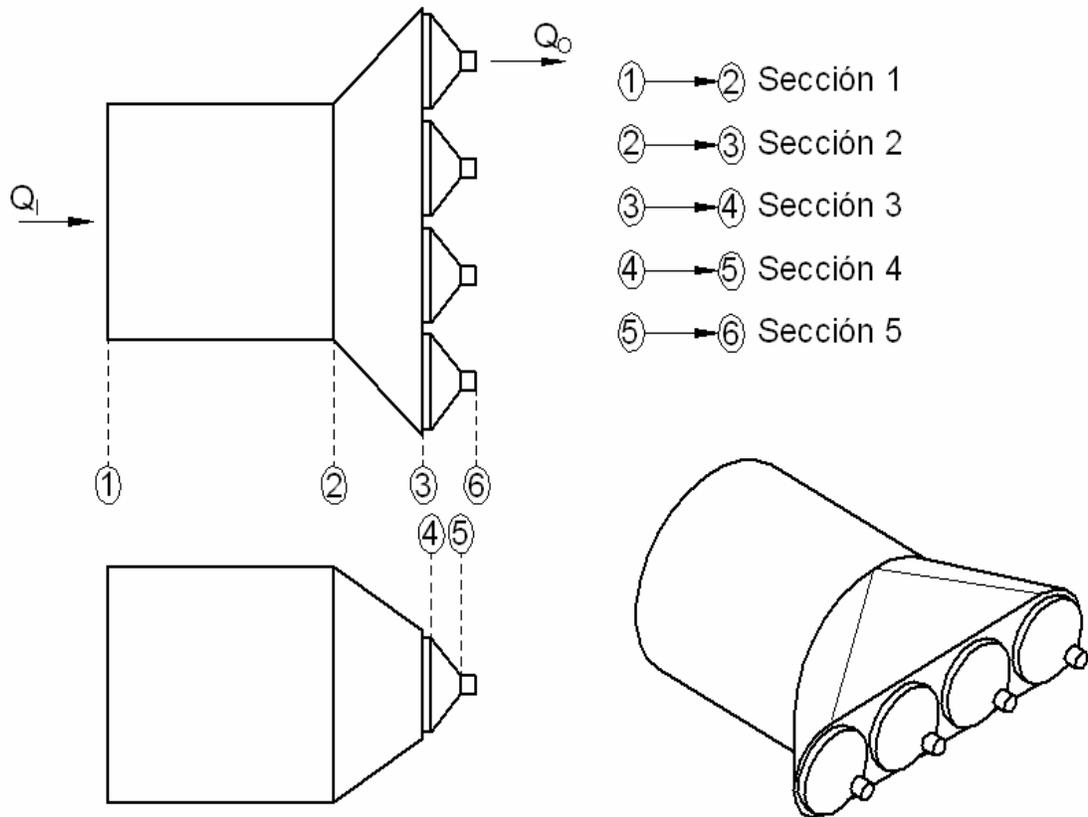
Para 2100 unidades/hora (0,58 unidades por segundo), se tiene una capacidad mínima de:

$$C_{\text{min}} = 2100 \cdot 55 * 10^{-6}$$
$$C_{\text{min}} = 0,1155 \text{ m}^3/\text{h} = 32 * 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} \equiv 32 \text{ cm}^3/\text{s}$$

La capacidad mínima de inyección es un valor usado para el diseño de la geometría de esta sección de la máquina.

9.4.2 Geometría. La unidad de inyección se divide en cinco secciones. La primera es el cilindro de guía para el embolo del pistón de inyección, la segunda es una sección transversal variable que divide, la tercera es la sección de acople, la sección cuatro es la boquilla y la quinta es el bebedero de salida hacia al molde (figura 20). Se puede observar en la geometría que se elige tener 4 líneas de producción, es decir 4 boquillas con sus respectivos bebederos al molde a la salida de la unidad de inyección.

Figura 20. Boceto de la geometría de la unidad de inyección



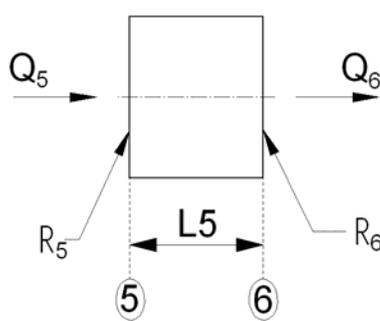
Los autores.

El caudal a la salida de cada molde se calcula a partir de la capacidad mínima como:

$$Q_o = \frac{32 * 10^{-6}}{4} = 8 * 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{s}$$

SECCIÓN 5. La sección es mostrada en la figura 21. Se asume $R_5 = R_6 = 3 \text{ mm}$ y $L5 = 5 \text{ mm}$. Por ley de la conservación de la materia, se tiene:

Figura 21. Esquema sección 5: bebedero



Los autores.

$$\dot{m}_5 = \dot{m}_6$$

$$Q_5 \rho_5 = Q_6 \rho_6$$

$\rho_5 = \rho_6 \rightarrow$ fluido incompresible

$$Q_5 = Q_6 = Q_o$$

Entonces se determina la variación de presión en la sección (ΔP_5) con la ecuación 4:

$$Q_5 = Q_6 = 8 * 10^{-6} = \left(\frac{\pi(0,768)(0,003^3)}{(3)(0,768)+1} \right) \left(\frac{0,003\Delta P_5}{(2)(0,005)(122,917)} \right)^{1/0,7684}$$

$$\Delta P_5 = 41364 \text{ Pa} = 41,364 \text{ kPa}$$

Posteriormente, se halla la presión P_5 necesaria para proporcionar el caudal Q_0 a través de la sección así:

$$P_5 = P_6 + \Delta P_5$$

$$P_6 = P_{\text{atm}} = 560,75 \pm 2,5 \text{ mmHg}$$

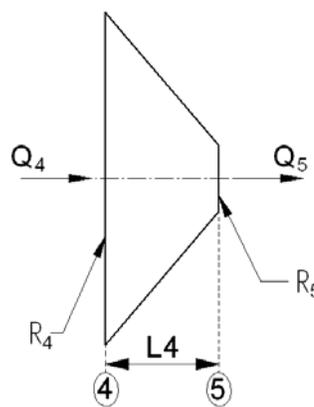
$$P_6 = 74,760 \text{ kPa}$$

$$P_5 = 74,760 + 41,364 = 116,124 \text{ kPa}$$

Donde P_{atm} es la presión atmosférica a la altura de Bogotá⁷.

SECCIÓN 4. Para esta sección se asumen las dimensiones $R_4 = 15 \text{ mm}$ y $L_4 = 10 \text{ mm}$; $R_3 = 3 \text{ mm}$ se determinó anteriormente. Se muestra en la figura 22. Se encuentra la variación de presión en la sección a través de una aproximación, usando la ecuación 4. Esta ecuación, se usa para secciones transversales circulares uniformes, debido a que el área transversal en la boquilla es variable, es necesario calcular la variación de presión en la sección promediando las variaciones de presión halladas para R_4 y R_5 ($\Delta P_{4_{\text{prom}}}$).

Figura 22. Esquema sección 4: Boquilla



Los autores.

⁷ Biblioteca Virtual Luis Ángel Arango. Crónicas de Bogotá [online]. Bogotá : Banco de la República, [citado 17 de Octubre de 2005]. Disponible desde Internet : <www.banrep.gov.co/blaavirtual/letra-c/cronidos/cap1.htm>.

Para R₅ se tiene:

$Q_4 = Q_5 \rightarrow$ Ley de conservación de la materia

$$Q_5 = 8 * 10^{-6} = \left(\frac{\pi(0,768)(0,003^3)}{(3)(0,768)+1} \right) \left(\frac{0,003\Delta P4}{(2)(0,01)(122,917)} \right)^{1/0,7684}$$

$$\Delta P4 = 82728,119 \text{ Pa} = 82,728 \text{ kPa}$$

Para R₄ se tiene:

$$Q_4 = 8 * 10^{-6} = \left(\frac{\pi(0,768)(0,015^3)}{(3)(0,768)+1} \right) \left(\frac{0,015\Delta P4}{(2)(0,01)(122,917)} \right)^{1/0,7684}$$

$$\Delta P4 = 404,965 \text{ Pa} = 0,405 \text{ kPa}$$

$$\Delta P4_{\text{prom}} = \frac{82,728 + 0,405}{2} = 41,566 \text{ kPa}$$

La presión necesaria en la entrada de la boquilla es la siguiente:

$$P_4 = P_5 + \Delta P4_{\text{prom}}$$

$$P_4 = 116,124 + 41,566 = 157,690 \text{ kPa}$$

SECCIÓN 3. Se observa en la figura 23. Tiene forma cilíndrica, se asume L₃ = 3 mm, R₄ = R₃ = 30 mm; la variación de presión existente se calcula a partir de la ecuación 4 así:

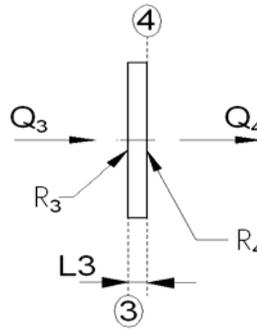
$$Q_3 = Q_4 = 8 * 10^{-6} = \left(\frac{\pi(0,768)(0,015^3)}{(3)(0,768)+1} \right) \left(\frac{0,015\Delta P3}{(2)(0,03)(122,917)} \right)^{1/0,7684}$$

$$\Delta P3 = 121,489 \text{ Pa} = 0,121 \text{ kPa}$$

$$P_3 = P_4 + \Delta P3$$

$$P_3 = 157,69 + 0,121 = 157,811 \text{ kPa}$$

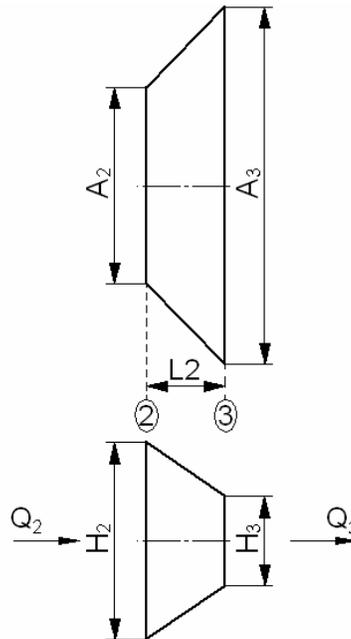
Figura 23. Esquema Sección 3: Sección de transición



Los autores.

SECCIÓN 2. Se muestra en la figura 24. Para el diseño de esta geometría se hace una aproximación, suponiendo que el área de entrada es cuadrada, calculando una variación de presión promedio (de la misma forma que la anterior sección), para un canal de sección transversal rectangular variable. Lo anterior requiere hacer una equivalencia para convertir el área circular de entrada en un área cuadrada.

Figura 24. Esquema sección 2: Sección divisora



Los autores.

Se asume $L_2 = 30$ mm, $A_3 = 134$ mm, $H_3 = 32$ mm, $R_2 = 37,5$ mm. Se debe tener en cuenta que en esta sección, el caudal Q'_3 , es la suma de los 4 caudales disponibles en los bebederos. Usando la ecuación 7, para calcular ΔP_2 con A_3 y H_3 :

$$Q'_3 = 4 \cdot Q_3$$

$$Q'_3 = 4 \cdot 8 \cdot 10^{-6} = 32 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q'_3 = \left(\frac{(0,768)(0,134)(0,032^2)}{4(0,768) + 2} \right) \left(\frac{0,032 \Delta P_2}{(2)(0,03)(122,9175)} \right)^{1/0,7684}$$

$$\Delta P_2 = 321,1 \text{ Pa} = 0,321 \text{ kPa}$$

Para A_2 y H_2 se tiene:

$$(A_2)^2 = \pi(R_2)^2$$

$$(A_2)^2 = \pi(0,0375^2)^2$$

$$c = 0,0665 \text{ m}$$

$$H_2 = A_2$$

$$Q'_3 = 32 \cdot 10^{-6} = \left(\frac{(0,768)(0,0665)(0,0665^2)}{4(0,768) + 2} \right) \left(\frac{0,0665 \Delta P_2}{(2)(0,03)(122,9175)} \right)^{1/0,7684}$$

$$\Delta P_2 = 86,02 \text{ Pa} = 0,086 \text{ kPa}$$

Entonces:

$$\Delta P_{2, \text{prom}} = 0,2 \text{ kPa}$$

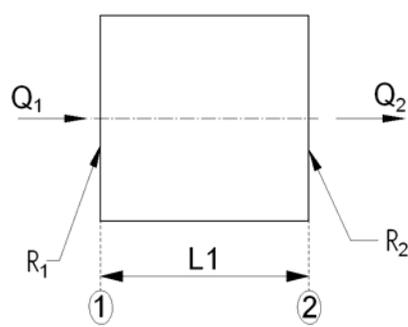
$$P_2 = P_3 + \Delta P_{2, \text{prom}}$$

$$P_2 = 157,81 + 0,2 = 158,01 \text{ kPa}$$

En esta sección de la geometría se hacen agujeros de 0,25 mm de diametro para extraer los exesos de agua y aire antes de inyectar el queso al molde.

SECCIÓN 1. En el diseño de la geometría de esta sección, se debe considerar el volumen total de queso suficiente para llenar los moldes y las secciones previas, con el fin de que esta tenga como mínimo este mismo volumen. Un esquema de esta sección es mostrado en la figura 25.

Figura 25. Esquema sección 1: cilindro del pistón de inyección



Los autores.

Usando el software CAD Solid Edge, se calcula el volumen de las secciones previas:

$$V_{\text{sec.5}} + V_{\text{sec.4}} + V_{\text{sec.3}} + V_{\text{sec.2}} = 166,947 \text{ cm}^3$$

El volumen total V_T en esta sección, se calcula como:

$$V_T = V_{\text{moldes}} + V_{\text{sec.5}} + V_{\text{sec.4}} + V_{\text{sec.3}} + V_{\text{sec.2}}$$

$$V_T = (55)(4) + (166,947) = 386,947 \text{ cm}^3 = 386,947 * 10^{-6} \text{ m}^3$$

Entonces:

$$V_T = \pi(R_2^2)L1$$

$$L1 = \frac{386,94 * 10^{-6}}{(\pi)(0,0375^2)} = 0,0876 \text{ m} = 87,6 \text{ mm}$$

Debido a que el queso cae en forma irregular desde la tolva, dentro del cilindro existe un pequeño volumen de aire, por lo tanto la variación de presión se calcula para $L_1 = 90$ mm, con el fin de tener en cuenta estas irregulares, de la siguiente forma:

$$Q_1 = Q_2 = 32 * 10^{-6} = \left(\frac{\pi(0,768)(0,0375^3)}{(3)(0,768)+1} \right) \left(\frac{0,0375\Delta P_1}{(2)(0,09)(122,917)} \right)^{1/0,7684}$$

$$\Delta P_1 = 511 \text{ Pa} = 0,511 \text{ kPa}$$

La presión a la entrada de la sección se calcula como:

$$P_1 = P_2 + \Delta P_1$$

$$P_1 = 158 + 0,511 = 158,521 \text{ kPa}$$

9.4.3 Cilindro del pistón de inyección.

MATERIAL. Acero inoxidable AISI 304.

DISEÑO. Se calcula como un recipiente de presión de pared delgada, con sus extremos abiertos⁸. Para considerarse como de pared delgada se debe cumplir que el espesor de pared (t), sea menor a un décimo ($1/10$) del radio interno del recipiente de presión (r_i), se desea tener un espesor de pared $t = 2$ mm.

$$r_i = \frac{D_i}{2} = \frac{75}{2} = 37,5 \text{ mm}$$

$$\left(\frac{1}{10} \right) (37,5) = 3,75 > 2$$

⁸ NORTON, Robert L. Diseño de máquinas : esfuerzo, deformación y deflexión. México : Pearson-Prentice Hall, 1999. p. 249-251.

El esfuerzo tangencial (σ_t) se calcula como:

$$\sigma_t = \frac{P \cdot r_i}{t} \quad (14)$$

Donde,

$P = 158,521 \text{ KPa} \rightarrow$ Presión interna en el cilindro

$$\sigma_t = \frac{158,521 \cdot 10^3 \cdot 0,0375}{0,002} = 2,972 \text{ MPa}$$

Como el recipiente es de pared delgada el esfuerzo radial (σ_r) = 0. También como el recipiente es abierto en sus extremos, el esfuerzo axial (σ_a) = 0. Mediante el software MDSolids, se grafica el círculo de Mohr para un punto en la superficie interna del cilindro que se muestra en el anexo C-1, resultando:

$$\tau_{\text{Abs.-max}} = 1,485 \text{ MPa}$$

$$\sigma_1 = 2,970 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = 0 \text{ MPa}$$

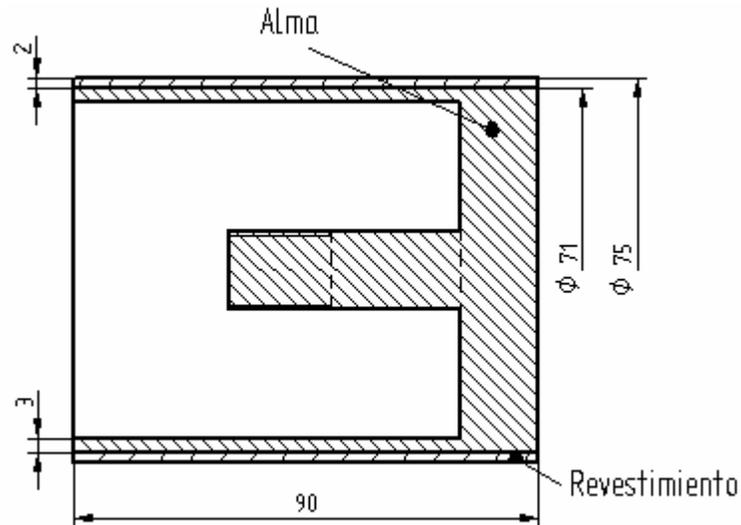
Se observa que con el material seleccionado y un espesor de 2 mm, se soportan los esfuerzos a los que esta expuesto el cilindro del pistón de inyección.

9.4.4 Embolo.

MATERIAL. El embolo tiene un revestimiento que se utiliza para disminuir la fricción con la camisa, este revestimiento se construye en MOLY. El alma del embolo se fabrica en acero inoxidable AISI 304.

DISEÑO. Presenta la geometría que se muestra en la figura 26. El embolo actúa también como válvula para cerrar el paso de queso desde la tolva al cilindro del pistón de inyección, mientras se realiza el proceso, por lo tanto su longitud es igual a la sección 1 de la geometría de la unidad (90 mm).

Figura 26. Geometría del embolo



Los autores.

9.4.5 Tolva.

MATERIAL. Acero inoxidable AISI 304.

DISEÑO. De acuerdo al proceso de hilado para 3 Kilogramos de queso corresponde un volumen de 4 litros de agua. El volumen necesario para un ciclo de inyección es*:

* Ver Solución Ingenieril: características técnicas de la máquina para llenado y formado de quesadillos. Numeral 9.8 del documento.

$$V_{\text{Queso}} = 220 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$M_{\text{Queso}} = V_{\text{Queso}} \cdot \delta_{\text{Queso}} = 220 \cdot 10^{-6} \cdot 1090 = 0,240 \text{ Kg}$$

Se desea tener una capacidad en la tolva de mínimo 5 ciclos de inyección. Lo anterior equivale a una masa de queso en la tolva de:

$$M_{\text{Queso-Tolva}} = 0,240 \cdot 5 = 1,200 \text{ Kg}$$

Haciendo una equivalencia con el proceso de hilado, para esta masa corresponde un volumen de agua en la tolva de:

$$V_{\text{Agua-Tolva}} = \frac{4}{3} 1,2 = 1,600 \text{ L} = 1,600 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

El volumen total en la tolva es:

$$V_{\text{Tolva}} = V_{\text{Queso-Tolva}} + V_{\text{Agua-Tolva}}$$

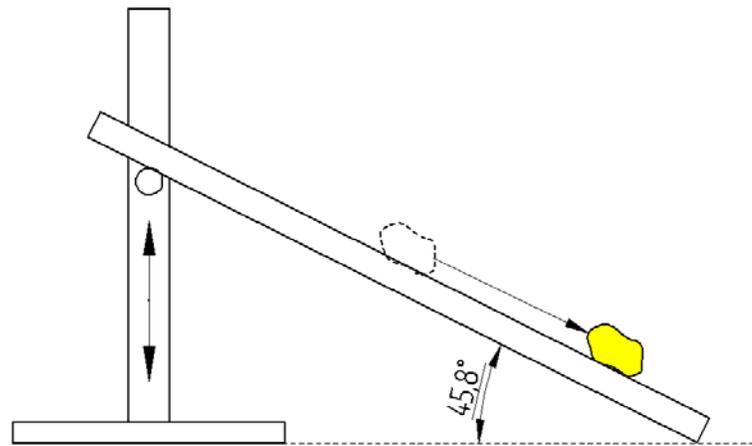
$$V_{\text{Queso-Tolva}} = \frac{M_{\text{Queso}}}{\delta_{\text{Queso}}} = \frac{1,2}{1090} = 1,100 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$V_{\text{Agua}} = 1,600 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$V_{\text{Tolva}} = 2,700 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Para la medición del ángulo al cual el queso vence el coeficiente de fricción estático, se realizó un montaje en el laboratorio de química de la Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá, con ayuda de instrumentos del laboratorio de ciencias básicas. El esquema del montaje y la lista de los implementos utilizados se observan en la figura 27 y tabla 11.

Figura 27. Esquema del montaje para la medición del ángulo en la tolva



Los autores.

Tabla 11. Lista de materiales para la medición del ángulo en la tolva

ITEM	CANTIDAD
Muestra de queso Campo Real	10 g
Plataforma en acero inoxidable	1
Goniómetro	1
Nivel	1
Trípode nivelable en A	1
Contrapeso	1
Barra de anclaje	2
Prensa de anclaje	1
Termómetro (-10 a 110 °C)	1
Recipiente refractario (500 ml)	1

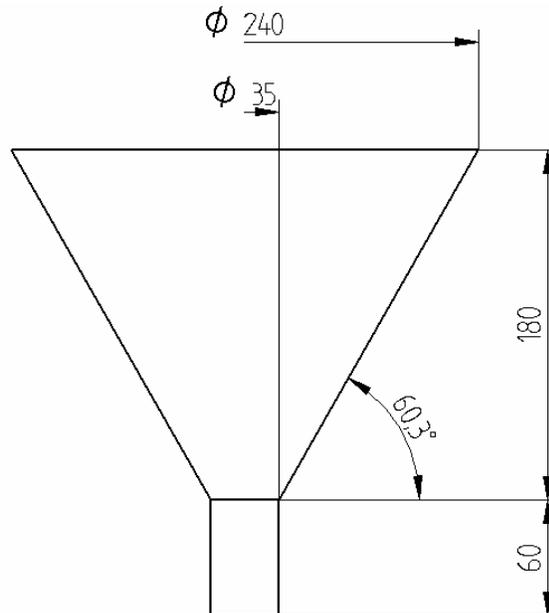
Los autores.

La prueba consistió en colocar 10 gramos de queso, previamente sumergido por 3 min en agua a 80 °C, en una plataforma de acero inoxidable. El montaje está hecho de tal forma que la plataforma puede variar su inclinación respecto a la

horizontal. La plataforma inicialmente se ubicó con una inclinación de 0° , posteriormente se incrementa lentamente su inclinación, hasta que el queso comienza a desplazarse sobre la plataforma venciendo así el coeficiente de fricción estático. El ángulo resultante fue de $45,8^\circ$. Este ángulo es el mínimo requerido en la tolva.

La geometría final para la tolva se muestra en la figura 28.

Figura 28. Geometría de la tolva



Los autores.

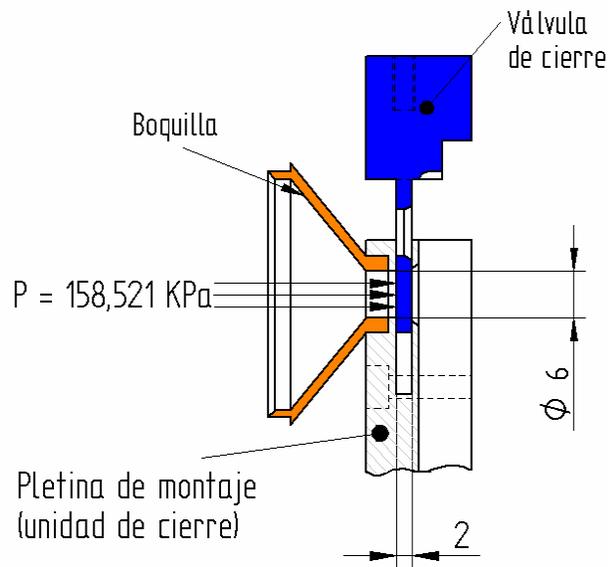
De acuerdo a la geometría mostrada anteriormente, el ángulo proporcionado es $60,3^\circ$. Con ayuda del software CAD Solid Edge se halló el volumen total en la tolva resultando de $3,230 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$. Debido a que se cumplen las especificaciones requeridas, el diseño es aceptable. La continuidad de alimentación de la masa de queso desde la tolva hacia el cilindro de inyección, se realiza por gravedad, cada vez que se inicia el ciclo de inyección.

9.4.6 Válvula de cierre. Permite o detiene el paso de flujo de caudal de queso a la unidad de cierre.

MATERIAL. MOLY.

DISEÑO. Se encuentra sometido a un esfuerzo cortante que es proporcionado por la fuerza resultante dada por la presión de inyección, la válvula de cierre se monta sobre la unidad de cierre. En la figura 29, se muestra la geometría de la válvula con la presión a la que esta sometida.

Figura 29. Geometría de la válvula de cierre



Los autores.

El área de presión en la válvula es el área de la sección transversal del bebedero (A_5)*:

$$A_5 = \pi \cdot 0,003^2 = 28,274 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

* Ver Solución ingenieril: unidad de inyección, geometría-sección 5. Numeral 9.4.2 del documento.

La fuerza que efectúa el esfuerzo cortante en la válvula (F_5) es:

$$F_5 = 158,521 \cdot 10^3 \cdot A_5 = 158,521 \cdot 10^3 \cdot 28,274 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 = 4,482 \text{ N}$$

El esfuerzo cortante a que esta sometida la válvula es:

$$\tau_{\text{perm}} = \frac{F_5}{\pi \cdot (0,003) \cdot (0,002)} = 0,238 \text{ MPa}$$

Aplicando el criterio de falla del esfuerzo cortante máximo (τ_{max})⁹, el factor de seguridad (FS) es:

$$\tau_{\text{max}} = \frac{\sigma_y}{2} = \frac{215}{2} = 107,5 \text{ MPa}$$
$$FS = \frac{\tau_{\text{max}}}{\tau_{\text{perm}}} = \frac{107,5}{0,238} = 451,680$$

Se observa que para un espesor de la válvula, pequeño (2 mm), entonces por efectos de construcción el factor de seguridad es elevado, el diseño es aceptable.

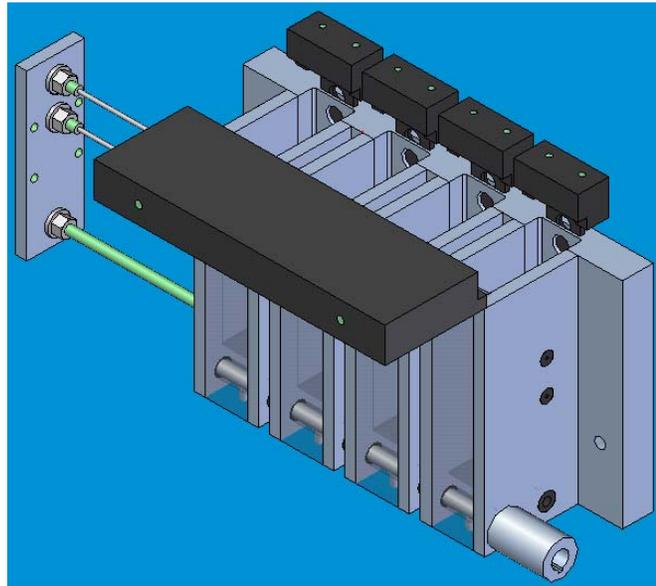
9.5 UNIDAD DE CIERRE

Se divide en 4 partes que son: El molde, las paredes laterales, la tapa, eyector y agujas de retención. La cavidad o espacio conformado al cerrar todas las partes de la unidad, es lo que representa físicamente al molde. En la figura 30 se muestra la unidad, se pueden ver cuatro (4) cavidades equivalentes al número de moldes*.

⁹ HIBBELER, R. C. Mecánica de materiales: transformación de la deformación unitaria, teorías de falla. México: Pearson-Prentice Hall. p. 530.

* Ver anexo F: planos mecánicos de la máquina, planos 15 - 30

Figura 30. Unidad de cierre



Los autores.

9.5.1 Molde. El volumen del molde debe ser más grande en comparación con las dimensiones del quesadillo final, esto debido a que el queso se encuentra caliente y aumenta su volumen. El volumen de queso en cada molde debe ser 55 cm^3 *. El volumen del bocadillo se calcula como:

$$V_{\text{Bocadillo}} = (2,2) \cdot (1) \cdot (5,5) = 12,1 \text{ cm}^3 = 12,1 * 10^{-6} \text{ m}^3$$

Entonces, el volumen final en el molde es:

$$V_{\text{Molde}} = V_{\text{Queso}} + V_{\text{Bocadillo}} = 55 + 12,1 = 67,1 \text{ cm}^3 = 67,1 * 10^{-6} \text{ m}^3$$

Para alcanzar el volumen total, las dimensiones finales en el molde son de 42 x 82 x 19 mm (L x A x H).

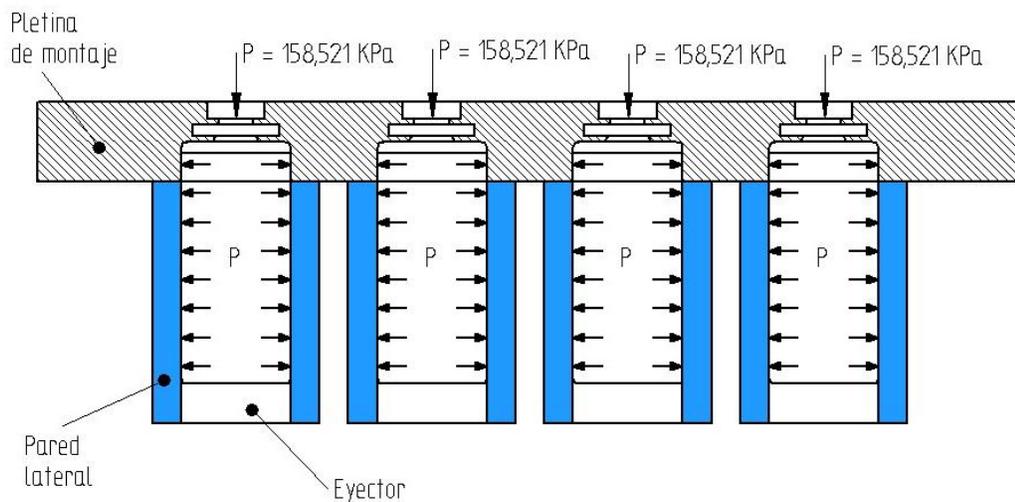
* Ver Solución Ingenieril: unidad de inyección, cálculo de la capacidad mínima de inyección. Numeral 9.4.1 del documento.

9.5.2 Paredes laterales. Son las partes fijas de la unidad y limitan la cavidad de molde.

MATERIAL. Acero inoxidable AISI 304.

DISEÑO. Las paredes están sometidas a la presión que suministra el embolo al queso, para su análisis se toma una de las paredes. En la figura 31 se muestra la presión de inyección que produce el esfuerzo sobre las paredes laterales, su diagrama de cuerpo libre y su geometría se muestran en el anexo C-2. Se diseña como una viga apoyada en un extremo (pletina de montaje), sometida a una carga distribuida¹⁰.

Figura 31. Presión de inyección sobre las paredes laterales



Los autores.

Se utiliza el software CAD MDSolids para encontrar el punto donde la pared está sometida al mayor valor de estado de esfuerzos combinados, arrojando los siguientes esfuerzos:

¹⁰ BODINI, Giani y CARCHI PESAN, Franco. Moldes y máquinas de inyección para la transformación de plásticos, tomo 2 : principios para diseño y construcción de moldes, esfuerzos en moldes y sus correspondientes deformaciones. México : McGrawHill, 1992. p. 362-366.

$$\tau_{\max} = 3,730 \text{ MPa}$$

$$\sigma_1 = 7,461 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = 0 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad (FS) para esta pared por tensión es:

$$FS = \frac{\sigma_Y}{\sigma_{\text{perm.}}} = \frac{215}{7,461} = 28,816$$

Se determina la deflexión máxima con ayuda del software CAD Solid Edge-Knowledge Center, resultando una deflexión aceptable de 27,3 μm .

9.5.3 Ejector y tapa. El ejector presenta un movimiento rotacional y se encarga de expulsar el quesadillo, la tapa sella el molde en la parte superior. Ambos se construyen en MOLY debido a que son partes móviles sometidas a fricción.

9.5.4 Agujas de retención. Sirven para retener o sujetar el bocadillo dentro del molde evitando que se mueva de su posición final mientras se termina la inyección. las agujas deben ser lo mas delgadas posibles con el fin de evitar que el bocadillo se erosione y por lo tanto no sea apto para la formación del quesadillo

MATERIAL. Acero inoxidable AISI 304 endurecido.

DISEÑO. Las agujas están sometidas a la presión de inyección, para su análisis se toma una de las agujas. Sus cargas y su geometría se muestran en el anexo C-3. Se utiliza el software CAD MDSolids para encontrar el punto donde la aguja esta sometida al mayor valor de estado de esfuerzos combinados, determinando:

$$\tau_{\max} = 16,237 \text{ MPa}$$

$$\sigma_1 = 0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = -32,474 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad (FS) por tensión es:

$$FS = \frac{\sigma_Y}{\sigma_{\text{perm.}}} = \frac{215}{32,474} = 6,62$$

Se determina la deflexión máxima con ayuda del software CAD Solid Edge-Knowledge Center, resultando una deflexión aceptable de 8,4 μm .

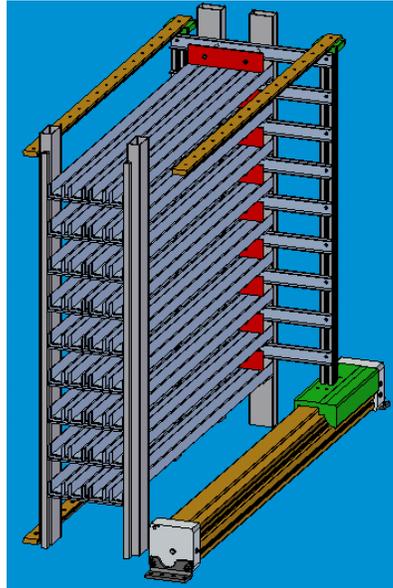
9.6 UNIDAD DE ALMACENAMIENTO DEL BOCADILLO

Su función es la de almacenar las plaquetas de bocadillos que se requieren para el corte. La capacidad de almacenamiento esta acorde al tiempo mínimo que se desea tener para la carga de plaquetas de bocadillo. Debido a que el nivel de producción es de 2100 quesadillos/hora, se quiere cargar la unidad en intervalos no menores de 1 hora, por lo tanto la cantidad mínima de bocadillos en la unidad debe ser 2100 unidades/hora. La figura 32 se muestra la unidad.

Para lograr la capacidad mínima de almacenamiento, se dispone de plaquetas de 59 bocadillos, organizadas en 4 columnas con 9 filas, para un total de almacenamiento de 2124 bocadillos.

MATERIAL. Se construye en acero inoxidable AISI 304 a excepción de la columna 2 en la que se usa un perfil en aluminio.

Figura 32. Unidad de almacenamiento



Los autores.

VIGA 1. Soporta el peso de las plaquetas de bocadillo, sus cargas y su geometría se muestran en el anexo C-4. Se utiliza el software CAD MDSolids para encontrar el punto donde la viga esta sometida al mayor valor de estado de esfuerzos combinados, arrojando los siguientes esfuerzos:

$$\tau_{\max} = 2,308 \text{ MPa}$$

$$\sigma_1 = 0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = -4,616 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad (FS) para esta viga por tensión es:

$$FS = \frac{\sigma_Y}{\sigma_{\text{perm.}}} = \frac{215}{4,616} = 46,577$$

Se determina la deflexión máxima con ayuda del software CAD Solid Edge-Knowledge Center, resultando una deflexión aceptable de 73,3 μm .

PLETINA. Sirve de apoyo para la viga 1, las cargas que soporta y su geometría son mostradas en el anexo C-5. Se utiliza el software CAD MDSolids para encontrar el punto donde la pletina esta sometida al mayor valor de estado de esfuerzos combinados, arrojando los siguientes esfuerzos:

$$\tau_{\max} = 3,191 \text{ MPa}$$

$$\sigma_1 = 0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = 6,382 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad (FS) para esta viga por tensión es:

$$FS = \frac{\sigma_y}{\sigma_{\text{perm}}} = \frac{215}{6,382} = 33,688$$

Se determina la deflexión máxima con ayuda del software CAD Solid Edge-Knowledge Center, resultando una deflexión aceptable de 37,7 μm .

COLUMNA 1. Sostiene toda la estructura. La carga soportada por esta es mostrada en el anexo C-6. Se usa una sección transversal rectangular de 40 X 20 mm, según norma UNI 7813. La columna se diseña por pandeo usando el procedimiento para columnas de acero estructural¹¹. Se calcula el esfuerzo permisible en la columna con ayuda del software CAD MDSolids, resultando valida la teoría de la ecuación empírica desarrollada por la American Institute of Steel Construction (AISC), ya que la columna se clasifica como de longitud corta. Se encuentra que el esfuerzo permisible en la columna es:

$$\sigma_{\text{perm}} = 34,089 \text{ MPa}$$

¹¹ HIBBELER, R. C. Mecánica de materiales: pandeo de columnas, diseño de columnas cargadas axialmente. México: Pearson-Prentice Hall. p. 689.

Por lo tanto la carga soportada por la columna antes de pandearse es:

$$P = \sigma_{perm} \cdot A = 34,089 \cdot 10^6 \cdot 138,24 \cdot 10^{-6} = 7,636 \text{ KN}$$

Donde,

$$A = 138,24 \cdot 10^{-6} \rightarrow \text{Area transversal de la columna 1 [m}^2\text{]}$$

Debido a que la carga soportada por la columna es 114,75 N, la columna soportará la carga.

VIGA 2. Empuja las plaquetas de bocadillo, en la figura 32 en color rojo, en total son nueve (9). Las cargas que soporta y su geometría son mostradas en el anexo C-7. Se utiliza el software CAD MDSolids para encontrar el punto donde la viga esta sometida al mayor valor de estado de esfuerzos combinados, arrojando los siguientes esfuerzos:

$$\tau_{max} = 1,541 \text{ MPa}$$

$$\sigma_1 = 3,081 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = 0 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad (FS) para esta viga por tensión es:

$$FS = \frac{\sigma_y}{\sigma_{perm}} = \frac{215}{3,081} = 69,782$$

Se determina la deflexión máxima con ayuda del software CAD Solid Edge Knowledge Center, resultando una deflexión aceptable de 4 μm .

COLUMNA 2. Sostiene las vigas que empujan el bocado (viga 2) y las fijan al actuador lineal sin vástago. Las cargas que soporta y su geometría son mostradas en el anexo C-8. Primero se calcula como una viga, porque tiene cargas horizontales. Se utiliza el software CAD MDSolids para encontrar el punto donde la columna esta sometida al mayor valor de estado de esfuerzos combinados, arrojando los siguientes esfuerzos:

$$\tau_{\max} = 4,89 \text{ MPa}$$

$$\sigma_1 = 0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = -9,78 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad (FS) para esta viga por tensión es:

$$FS = \frac{\sigma_y}{\sigma_{\text{perm}}} = \frac{215}{9,78} = 21,98$$

Se determina la deflexión máxima con ayuda del software CAD Solid Edge Knowledge Center, resultando una deflexión aceptable de 63 μm . Para esta columna también se calculan los efectos por pandeo, las cargas soportadas por esta, igualmente se muestran en el anexo C-8. Usando el procedimiento para columnas de aleación de aluminio 6061-T6. Se determina el esfuerzo permisible en la columna con ayuda del software CAD MDSolids. Se encuentra que el esfuerzo permisible en la columna es:

$$\sigma_{\text{perm}} = 3,24 \text{ MPa}$$

Por lo tanto la carga soportada por la columna antes de pandearse es:

$$P = \sigma_{\text{perm}} \cdot A = 3,24 * 10^6 \cdot 169,9 * 10^{-6} = 550,5 \text{ N}$$

Donde,

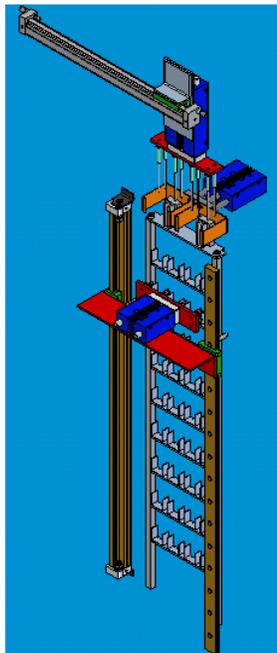
$$A = 169,9 * 10^{-6} \rightarrow \text{Area transversal de la columna 1 [m}^2\text{]}$$

Debido a que la carga soportada por la columna es 83,434 N, la columna soportará la carga.

9.7 UNIDAD DE CORTE Y POSICIONAMIENTO DEL BOCADILLO

Esta conformada por 3 unidades que se encargan de desplazar de a 4 bocadillos desde la unidad de almacenamiento del bocadillo hasta la unidad de cierre, efectuando el corte en uno de sus movimientos. Esta unidad se divide en las siguientes partes: unidad de desplazamiento 1, unidad de rotación y unidad de desplazamiento 2. La figura 33 muestra un esquema general de la unidad.

Figura 33. Unidad de posicionamiento.



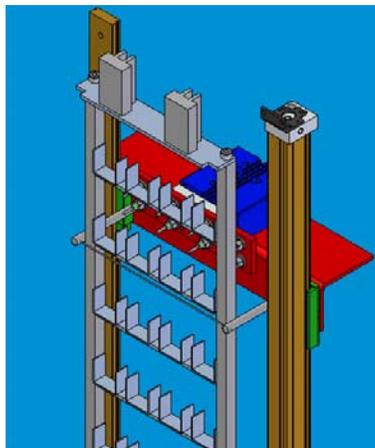
Los autores.

Los mecanismos de esta unidad se forman acoplando actuadores neumáticos, que se seleccionan de acuerdo a la fuerza que deben proporcionar (calculada con la masa que debe mover cada actuador) y también con la longitud máxima del movimiento que se debe realizar. Los resultados se muestran en la tabla 13 (selección de actuadores, válvulas y sensores de posición), en el numeral 9.9.1 del documento.

9.7.1 Corte del bocadillo. Para determinar la fuerza de corte del bocadillo, fue necesario que el proveedor del bocadillo de la empresa suministrara este dato. El valor de la fuerza aplicada con una hoja de acero inoxidable con espesor de 0,5 mm aproximadamente, utilizada para el corte de los mismos, es cerca de 10 N. Para el corte de las plaquetas de bocadillo, se desea utilizar una lira de 0,5 mm de diámetro en acero inoxidable. La lira se implementa en junto con la unidad de desplazamiento 1.

9.7.2 Unidad de desplazamiento 1. Se encarga de sujetar y transportar 4 bocadillos cortados previamente, en forma vertical, desde la unidad de almacenamiento hasta la unidad de rotación (ver figura 34).

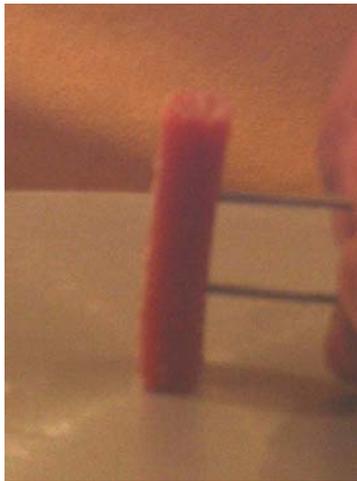
Figura 34. Unidad de desplazamiento 1



Los autores.

Se desea sujetar el bocado a través de agujas que lo atraviesen en sentido transversal. Para ver si este método de sujeción es válido se realizó una prueba empírica que consistió en colocar una muestra de bocado usado en Campo Real sobre una mesa de acero inoxidable, posteriormente, se introdujeron las agujas ubicándolas horizontalmente. Manualmente se desplazó a lo largo de la mesa, observando que el bocado se deslizaba sobre la misma y no se salía de las agujas (Ilustración 3). Debido a que las agujas no se salen del bocado, es válido el método de sujeción.

Ilustración 3. Prueba empírica 1 de sujeción del bocado



Los autores.

DISEÑO DE AGUJAS. Se construyen en acero inoxidable AISI 304 endurecido, en el anexo C-9 se muestra la geometría y sus cargas. Se utiliza el software CAD MDSolids para encontrar el punto donde la aguja está sometida al mayor valor de estado de esfuerzos combinados, arrojando los siguientes esfuerzos:

$$\tau_{\max} = 1,666 \text{ MPa}$$

$$\sigma_1 = 3,332 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = 0 \text{ MPa}$$

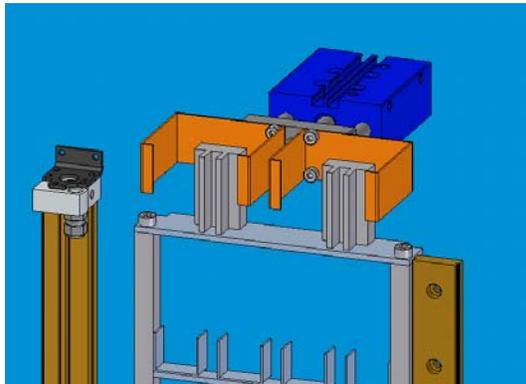
El factor de seguridad (FS) por tensión es:

$$FS = \frac{\sigma_y}{\sigma_{perm}} = \frac{215}{3,332} = 64,525$$

Se determina la deflexión máxima con ayuda del software CAD Solid Edge-Knowledge Center, resultando una deflexión aceptable de 2,6 μm .

9.7.3 Unidad de rotación. Tiene el objetivo de girar el bocado 90° para su posicionamiento dentro del molde. En la figura 35 se muestra el esquema de la unidad. Esta consta de dos pivotes, uno fijo (en plateado en la figura 35) y otro móvil (en naranja en la figura 35), el pivote móvil se desplaza en sentido transversal obligando a rotar el bocado debido a que este se apoya sobre el pivote fijo, tomando este último como punto de giro. En esta unidad se emplea acero inoxidable.

Figura 35. Unidad de rotación

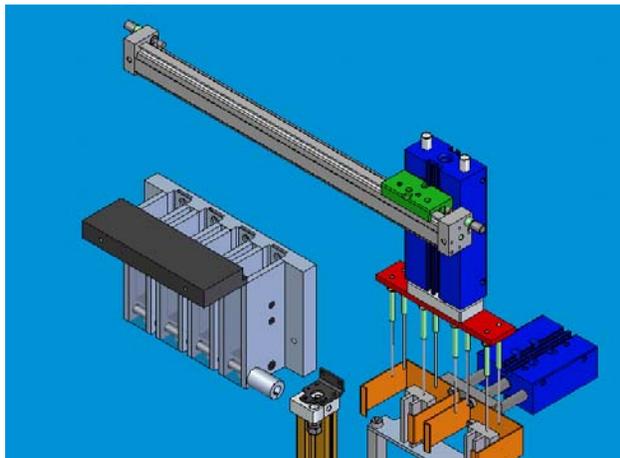


Los autores.

9.7.4 Unidad de desplazamiento 2. Transporta el bocado desde la unidad de rotación hasta la unidad de cierre. La figura 36 muestra el esquema de la unidad.

Se desea sujetar el bocado a través de agujas que lo atraviesen en sentido vertical. Para ver si el bocado se logra sujetar de esta manera se realizó una prueba empírica que consistió en atravesar 2 agujas verticalmente al bocado con el fin de elevarlo. La prueba fue satisfactoria las 2 agujas sostienen en el aire al bocado (Ilustración 4).

Figura 36. Unidad de desplazamiento 2



Los autores

Ilustración 4. Prueba empírica 2 de la sujeción del bocado



Los autores.

Estas agujas al igual que las descritas anteriormente Se fabrican en acero inoxidable AISI 304 endurecido, con sección transversal circular de diámetro 1,5 mm atravesando totalmente el cuerpo del bocado.

9.8 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA MÁQUINA PARA LLENADO Y FORMADO DE QUESADILLOS

Estas se refieren a parámetros técnicos que describen en forma general la máquina, con el fin de poder medir su capacidad en comparación a otras máquinas de inyección o de automatización. Se deben producir 2100 unidades/hora y se tienen cuatro (4) boquillas, es decir que por cada boquilla se deben producir por hora:

$$\frac{2100}{4} = 525 \text{ unidades/hora} = 0,146 \text{ unidades/s}$$

Esto resulta en que una unidad de quesadillo se debe producir en:

$$\frac{1}{0,146} = 6,85 \text{ s/unidad}$$

Por lo tanto 6,85 s es el tiempo máximo para el ciclo de inyección, o también se puede decir:

$$\frac{1}{6,85} = 0,146 \text{ ciclos/s} = 8,760 \text{ ciclos/min}$$

Por cada ciclo de inyección se debe inyectar el volumen de cuatro (4) unidades de quesadillo (55 cm^3)*, es decir 220 cm^3 , esto representa la capacidad de inyección de la máquina. Las características técnicas se reúnen en la tabla 12.

Tabla 12. Características técnicas de la máquina para llenado y formado de quesadillos

Presión de inyección [KPa]	158,521
Capacidad de inyección [m^3]	$220 \cdot 10^{-6}$
Ciclos por minuto [ciclos/min]	8,760
Capacidad de producción [unidades/hora]	2100
Capacidad máxima de queso en la tolva [Kg]	1,2
Capacidad máxima de agua en la tolva [L]	1,6
Capacidad de almacenamiento de bocadillos [unidades]	2140

Los autores.

9.9 SELECCIÓN PARA ELEMENTOS DE AUTOMATIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO

9.9.1 Selección de actuadores, válvulas y sensores de posición. La selección de los actuadores se realiza según la carrera y la fuerza que estos deben suministrar. Para actuadores con más de dos (2) posiciones se utilizan válvulas de cinco (5) vías-tres (3) posiciones con centro cerrado, en los demás se utilizan válvulas de cinco (5) vías-dos (2) posiciones**.

* Ver solución ingenieril: unidad de inyección, capacidad mínima de inyección. Numeral 9.4.1 del documento.

** Ver Anexo D: plano neumático de la máquina.

En algunos actuadores lineales sin vástago se construye, para detectar las posiciones intermedias, un encoder lineal, usando una pletina con ranuras y un sensor óptico. Este sensor se monta sobre el patín del actuador sin vástago, detectando una posición cuando pasa por una ranura.

Para evitar la inercia se utilizan bajas velocidades. Aunque algunos actuadores traen integrado el encoder lineal, este se construye con el fin de disminuir costos. En el resto de actuadores se utilizan sensores tipo Reed para sensar posición, por lo tanto estos actuadores deben tener un vástago imantado. En la tabla 13 se muestran los resultados.

Tabla 13. Selección de actuadores, válvulas y sensores de posición

UNIDAD		Función	Descripción	Fuerza requerida [N]	Carrera mínima [mm]	Número de posiciones	Sensor de posición	Válvula	Designación
Unidad de inyección	Pistón de inyección	Inyecta el queso hacia el molde	Lineal doble efecto	750	90	4	Reed	5/3 centro cerrado	1A
	Válvula	Abre y cierra la válvula a la salida de la unidad.	Actuador doble efecto de carrera corta.	140	10	2	Reed	5/2	2A
Unidad de cierre	Tapa	Abre y cierra la cavidad superior del molde.	Lineal con guías doble efecto	10	85	2	Reed	5/2	3A
	Eyector	Gira 180° para sacar el quesadillo del molde.	Actuador giratorio	1 N.m	180°	2	Reed	5/2	4A
	Agujas de retención	Sujeta el bocadillo dentro del molde	Lineal con guías doble efecto	10	140	2	Reed	5/2	5A
Unidad de almacenamiento		Empuja las placas de bocadillo para efectuar el corte	Actuador lineal sin vástago	345	590	60	Encoder lineal	5/3 centro cerrado	6A

Unidad de posicionamiento	Desplazamiento 1	Sujeta el bocadillo cortado, usando agujas.	Lineal con guías doble efecto	10	20	2	Reed	5/2	7A
		Efectúa el corte y eleva el bocadillo hasta la unidad de rotación.	Actuador lineal sin vástago	20	560	10	Encoder lineal	5/3 centro cerrado	8A
	Rotación	Gira el bocadillo 90°.	Lineal con guías doble efecto	5	30	3	Reed	5/3 centro cerrado	9A
	Desplazamiento 2	Sujeta el bocadillo una vez es rotado.	Lineal con guías doble efecto	10	70	2	Reed	5/2	10A
		Lleva el bocadillo de la unidad de rotación hasta la unidad de cierre.	Actuador lineal sin vástago(Amortiguado)	20	250	2	Reed	5/2	11A

Los autores.

9.9.2 SELECCIÓN DEL PLC. El PLC se selecciona a partir del número de entradas y salidas que se necesiten para controlar el proceso, además de la capacidad en memoria que este contenga que por lo general debe ser como mínimo de 128 Kilobytes. Para la automatización de la maquina, se requieren 32 entradas y 24 salidas binarias. Para realizar el control de temperatura PID, se deben tener 2 entradas análogas con sus respectivas salidas. El proceso esta compuesto por tres (3) secuencias simultáneas, de acuerdo a esto el PLC debe funcionar en condiciones de multitarea. Para la selección del PLC se tienen en cuenta cuatro (4) diferentes proveedores con características similares que se muestran en la tabla 14. La selección de los PLC's se realiza de acuerdo al costo, por esta razón se prefiere el PLC UNITRONIC.

9.9.3 DESCRIPCIÓN DEL CICLO DE LLENADO Y FORMADO. El ciclo comienza por cargar la unidad de almacenamiento de bocadillos con las 2140

unidades. Una vez es precalentado el cilindro de inyección*, se vierte una masa de 1,2 kilogramos de queso hilado en la tolva, cargada con 1,6 litros de agua previamente**.

Tabla 14. Características de los posibles PLC's para la máquina

Proveedor	Referencia	E/S digitales	E/S análogas	Referencia Modulo de Expansión	E/S digitales modulo
FESTO	FEC-FC620	32/16	3/1	-	-
BOSCH	Indralogic L40	32/16	2/1	-	-
SIEMENS	CPU 224 XP	14/10	2/1	EM223	16/16
UNITRONIC	M91-2-R6C	20/12	2/1	IO-TO16 IO-DI16	16/16

Los autores.

Debido a la complejidad del proceso y para mayor entendimiento se realizó una simulación de movimiento, que se adjunta en el CD. En el ciclo de la máquina se observa que la unidad de inyección y la unidad de cierre efectúan una secuencia independiente de la que realizan la unidad de almacenamiento, la unidad de desplazamiento 1 y la unidad de rotación. Estas dos (2) secuencias se conectan a través de la secuencia de movimiento realizada por la unidad de desplazamiento 2. Lo anterior sugiere la condición de multitarea que debe ser realizada por el PLC, que se tuvo en cuenta en su selección. La programación de la ecuación de movimiento se hace en lenguaje Ladder y se muestra en el anexo E.

* Ver solución ingenieril: unidad de control, control de temperatura. Numeral 9.10.1 del presente escrito.

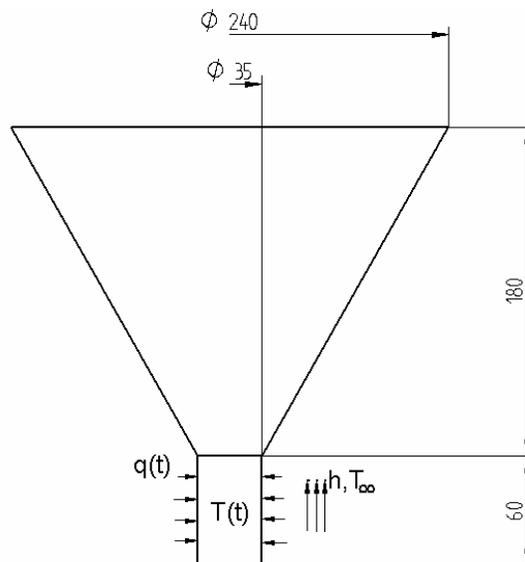
** Ver solución ingenieril: unidad de inyección, tolva. Numeral 9.4.5 del presente escrito.

9.10 UNIDAD DE CONTROL

9.10.1 Control de temperatura. La temperatura que debe mantener el queso en la máquina desde que ingresa en la tolva, hasta su salida por las boquillas es de 80°C , para esto, se desea implementar 2 etapas de calentamiento que suministren la energía necesaria al queso. La primera etapa entrega calor desde el cuello de la tolva y la segunda en el cilindro del pistón de inyección. Se implementa desde el PLC.

ETAPA DE CALENTAMIENTO 1. La identificación del modelo matemático que describe el comportamiento, se realiza por leyes fundamentales. La figura 37 muestra el esquema para el modelo.

Figura 37. Esquema etapa de calentamiento 1



Los autores.

Para el modelamiento de la etapa de calentamiento 1 se tienen las siguientes condiciones:

- Volumen de control \equiv Cuello de la tolva.
- $T(0) = 65 \text{ }^\circ\text{C} = 338,15 \text{ }^\circ\text{K}$, Temperatura inicial en el queso.
- $T_\infty = 25 \text{ }^\circ\text{C} = 298,15 \text{ }^\circ\text{K}$, Temperatura en el ambiente.
- Se asume conducción unidimensional.
- Resistencias de contacto insignificantes.
- Resistencias internas despreciables.
- Se desprecia la transferencia de calor por radiación tanto interna como externa.
- Se suponen propiedades constantes.
- No existe generación interna de calor.

El queso esta a $T_{\text{Prom}} = 72,5 \text{ }^\circ\text{C} = 345,65 \text{ }^\circ\text{K}$, sus propiedades se muestran en la tabla 15¹².

Tabla 15. Propiedades del queso a temperatura promedio (T_{Prom})

$\rho \rightarrow$ Densidad [Kg/m^3]	1090
$C \rightarrow$ Calor especifico [$\text{J}/\text{kg}^\circ\text{C}$]	2648,01

Los autores.

Realizando un balance de energía:

$$\dot{E}_{\text{ent}} = \dot{E}_{\text{alm}} + \dot{E}_{\text{sal}} \quad (15)$$

Donde,

\dot{E}_{ent} \rightarrow Energía que entra al sistema.

\dot{E}_{alm} \rightarrow Energía almacenada

\dot{E}_{sal} \rightarrow Energía que sale del sistema

¹² URSCHEL LABORATORIOS CORPORATE. Cheese. [online]. Estados Unidos [25 de Octubre de 2005]. Disponible desde Internet: <www.urschel.com>

De la ecuación 15, reemplazando en cada termino se obtiene:

$$q(t) = C_T \frac{d(T)}{dt} + hA(T(t) - T_\infty) \quad (16)$$

Donde,

$q \rightarrow$ Calor suministrado al sistema [W]

$C_T \rightarrow$ Capacitancia termica [J/°K]

$t \rightarrow$ Tiempo [s]

$T(t) \rightarrow$ Temperatura del sistema a través del tiempo [°K]

$h \rightarrow$ Coeficiente de transferencia de calor por conveccion [W/m²°K]

$A \rightarrow$ Area de contacto con el aire [m²]

Las constantes para la ecuación 16 son:

$$C_T = C_{T-Acero} + C_{T-Queso}$$

$$C_{T-Acero} = \rho_{Acero} \cdot V_{Acero} \cdot C_{Acero} = (8000) \left[(\pi/4)(0,039^2 - 0,035^2)(0,06) \right] (500) = 55,8 \text{ J/°K}$$

$$C_{T-Queso} = \rho_{Queso} \cdot V_{Queso} \cdot C_{Queso} = (1090) \left[(\pi/4)(0,035^2)(0,036) \right] (2648) = 166,62 \text{ J/°K}$$

$$C_T = 55,8 + 166,62 = 222,4 \text{ J/°K}$$

$$A = \pi(0,049)(0,06) = 9,24 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

El coeficiente de transferencia de calor por convección (h) es 25 W/m²°K¹³.

Aplicando transformada de Laplace a la ecuación (16), la forma general de la función de transferencia es:

$$\frac{T(s)}{q(s)} = \frac{[C_T \cdot T(0) + h \cdot A \cdot T_\infty]s + q}{q \cdot C_T \cdot s + q \cdot h \cdot A} \quad (17)$$

¹³ INCROPERA, Frank P. Fundamentos de Transferencia de Calor: conducción unidimensional de estado estable, la pared plana- ejemplo 3.1. Mexico: Prentice, 1999. p. 82.

Reemplazando valores, la función de transferencia es:

$$\frac{T(s)}{q(s)} = \frac{75,28 * 10^3 \cdot s + q}{q \cdot 222,4 \cdot s + q \cdot 0,231} \quad (18)$$

En esta etapa se debe proporcionar calor para que una masa de 220 cm³, llegue a una temperatura de 80 °C en un tiempo no mayor de 6,86 s^{*}. Utilizando el modulo Simulink de MATLAB, simulando el modelo matemático de la etapa, ecuación (18), con diferentes valores de entrada (q), se determina que para alcanzar la temperatura de 80 °C en el tiempo de 6,86 s, el valor del calor suministrado debe estar alrededor de 600 W (figura 38 y 39). La función de transferencia para q = 600 W es:

$$\frac{T(s)}{q(s)} = \frac{75,28 * 10^3 \cdot s + 600}{133,4 * 10^3 \cdot s + 138,4}$$

Se desea implementar un controlador PID para el control de temperatura. La sintonización del PID se realiza bajo los parámetros que se obtienen a partir del método Ziegler-Nichols en lazo abierto¹⁴. Los parámetros de sintonización y las constantes resultantes para este sistema son:

$$L = 10 \text{ s}$$

$$T = 490 \text{ s}$$

$$K_p = 13,57$$

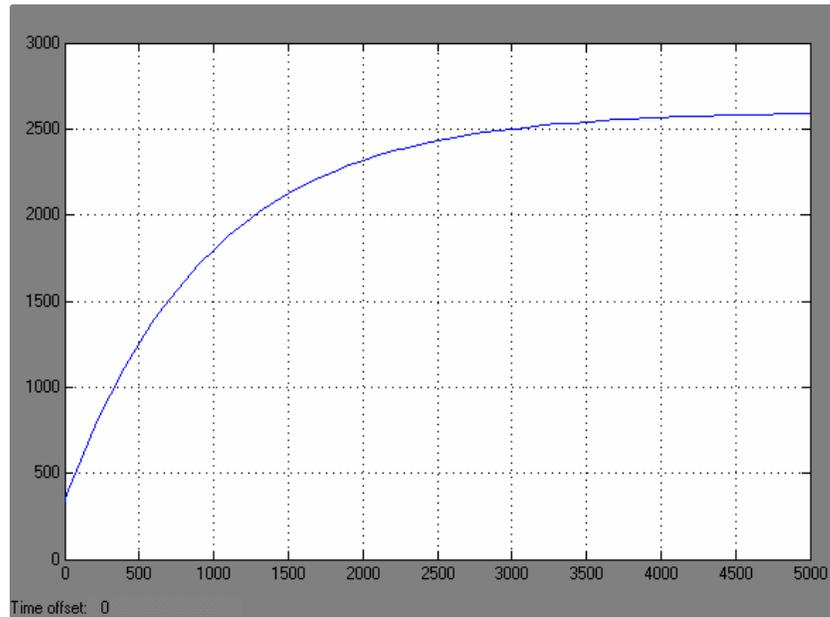
$$K_i = 0,05$$

$$K_d = 5$$

* Ver solución ingenieril: unidad de inyección, capacidad mínima de inyección. Numeral 9.4.1 del documento.

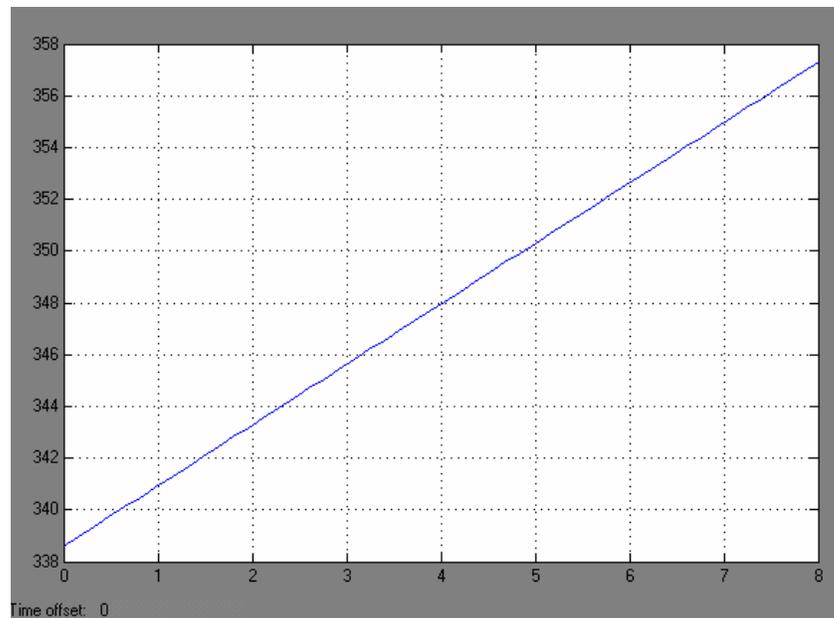
¹⁴ OGATA, Katsuhiko. Ingeniería de control moderna: controles PID e introducción al control robusto, reglas de sintonización para controladores PID. Mexico: Pearson Educación, 1998. p 671-679.

Figura 38. Simulación función de transferencia etapa de calentamiento 1



Software MATLAB-simulink.

Figura 39. Simulación función de transferencia etapa de calentamiento 1 detallada



Software MATLAB-Simulink.

La respuesta del sistema para el punto de operación de 80 °C (353,15 °K), con las anteriores constantes para el controlador da un tiempo de asentamiento de 30 s aproximadamente, las constantes se modifican manualmente para alcanzar un tiempo aceptable, resultando:

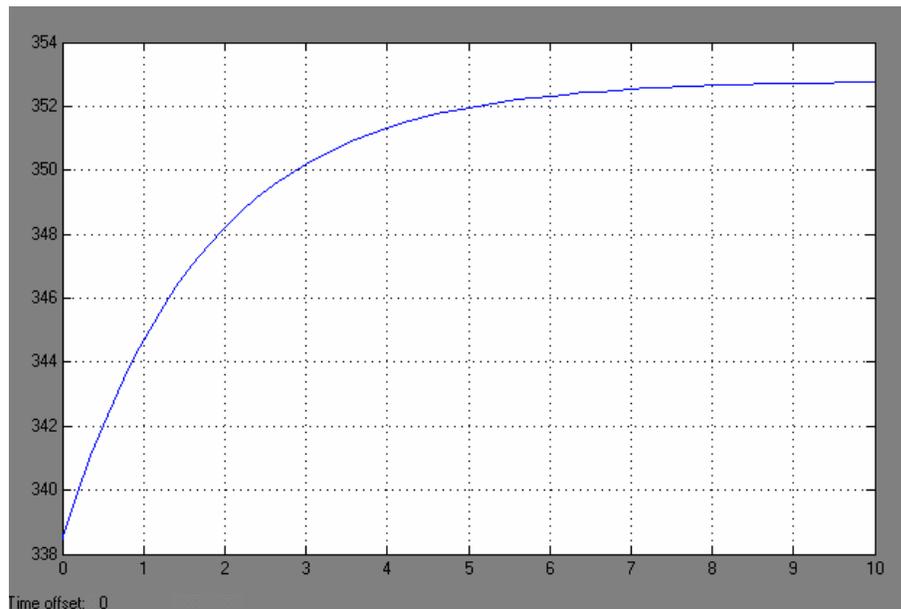
$$K_p = 130$$

$$K_i = 0,01$$

$$K_D = 0,01$$

El tiempo de asentamiento del sistema con las nuevas constantes es de 4 s aproximadamente. La figura 40 muestra la simulación del controlador.

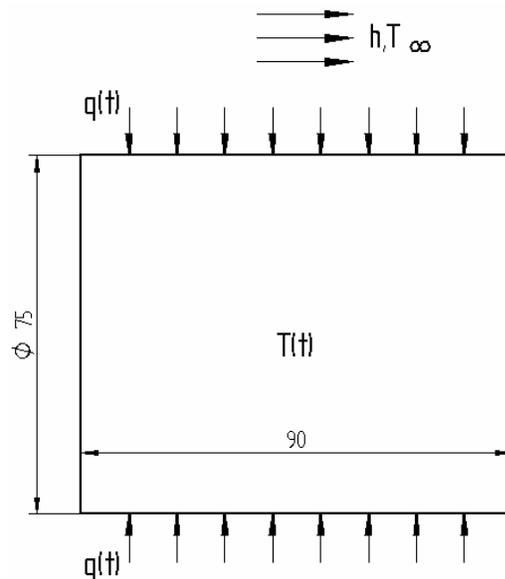
Figura 40. Respuesta del sistema para el punto de operación etapa de calentamiento 1



Software MATLAB-Simulink.

ETAPA DE CALENTAMIENTO 2. La identificación del modelo matemático que describe el funcionamiento se realiza igualmente por leyes fundamentales; la figura 41 muestra un esquema de la etapa.

Figura 41. Esquema etapa de calentamiento 2



Los autores.

El cilindro de inyección se calienta antes de que ingrese a este el queso, esto con el fin de mantener la temperatura a $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el material. Por lo tanto la temperatura inicial en el cilindro se supone que es la temperatura ambiente de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para el modelamiento de la etapa de calentamiento 2 se tienen las siguientes condiciones:

- Volumen de control \equiv Cilindro del pistón de inyección.
- $T(0) = 25\text{ }^{\circ}\text{C} = 298,15\text{ }^{\circ}\text{K}$, Temperatura inicial del acero inoxidable.
- $T_{\infty} = 25\text{ }^{\circ}\text{C} = 298,15\text{ }^{\circ}\text{K}$, Temperatura en el ambiente.
- Se asume conducción unidimensional.
- Resistencias de contacto insignificantes.
- Resistencias internas despreciables.
- Se desprecia la transferencia de calor por radiación tanto interna como externa.
- Se suponen propiedades constantes.
- No existe generación interna de calor.

Las propiedades del aire a $T_{Prom} = 52,5 \text{ }^\circ\text{C} = 325,65 \text{ }^\circ\text{K}$ se muestran en la tabla 16¹⁵.

Tabla 16. Propiedades del aire a temperatura promedio (T_{Prom})

$\rho \rightarrow$ Densidad [Kg/m^3]	1,076
$C \rightarrow$ Calor específico [$\text{J}/\text{kg}^\circ\text{C}$]	1008

Los autores.

Realizando el balance de energía, ecuación (15), el sistema se describe de igual manera que con la ecuación (16). Las constantes para el modelamiento se muestran a continuación (el coeficiente de transferencia de calor por convección se asume igual que en la etapa anterior):

$$C_T = C_{T-Aire} + C_{T-Acero}$$

$$C_{T-Aire} = \rho_{Aire} \cdot V_{Aire} \cdot C_{Aire} = (1,076) \left[(\pi/4) (0,075^2) (0,09) \right] (1008) = 1,725 \text{ J}/^\circ\text{K}$$

$$C_{T-Acero} = \rho_{Acero} \cdot V_{Acero} \cdot C_{Acero} = (8000) \left[(\pi/4) (0,079^2 - 0,075^2) (0,09) \right] (500) = 696,6 \text{ J}/^\circ\text{K}$$

$$C_T = 1,725 + 696,6 = 698,3 \text{ J}/^\circ\text{K}$$

$$h = 25 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$$

$$A = \pi(0,089)(0,09) = 8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Reemplazando en la ecuación (17) la función de transferencia del sistema es:

$$\frac{T(s)}{q(s)} = \frac{[208159,63]s + q}{q \cdot 698,3 \cdot s + q \cdot 0,2} \quad (19)$$

El calentamiento del cilindro de inyección inicia al momento de encender la máquina, para esto, se desea suministrar una entrada (q) al sistema de 800 W. Utilizando el modulo Simulink de MATLAB, simulando el modelo matemático de la etapa, ecuación (19), se determina el tiempo que requiere el cilindro para elevar la

¹⁵ INCROPERA, Frank P. Fundamentos de Transferencia de Calor: apéndice A, propiedades termofísicas de la materia-tabla A-4 .Mexico: Prentice, 1999. p. 839.

temperatura a 80 °C, antes de comenzar la producción de la máquina. El tiempo de calentamiento proporcionado por la simulación del modelo es de 53 s (figuras 42 y 43). La función de transferencia para el modelamiento con una entrada (q) de 800 W es:

$$\frac{T(s)}{q(s)} = \frac{[208159,63]s + 800}{558640.s + 160}$$

Se desea implementar un controlador PID para el control de la temperatura. La sintonización del PID se realiza bajo los parámetros que se obtienen a partir del método Ziegler-Nichols en lazo abierto (método aplicado en la etapa 1). Los parámetros de sintonización y las constantes resultantes para este sistema son:

$$L = 200 \text{ s}$$

$$T = 2800 \text{ s}$$

$$K_p = 3,36$$

$$K_i = 0,0025$$

$$K_D = 100$$

La respuesta del sistema para el punto de operación de 80 °C (353,15 °K), con las anteriores constantes para el controlador da un tiempo de asentamiento de 1000 s aproximadamente, las constantes se modifican manualmente para alcanzar un tiempo aceptable de 30 s, resultando:

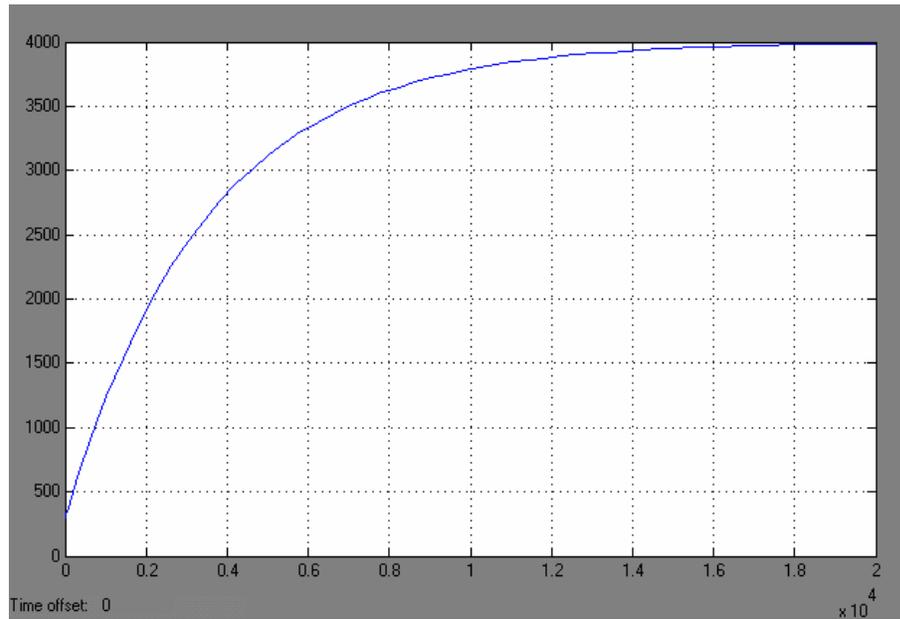
$$K_p = 130$$

$$K_i = 0,01$$

$$K_D = 0,01$$

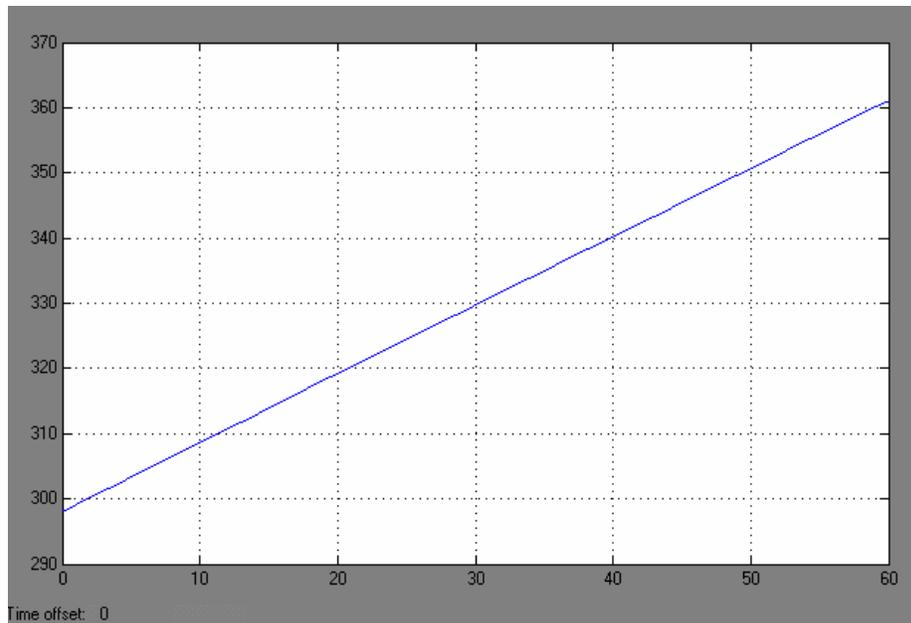
La figura 44 muestra la simulación del controlador con los nuevos parámetros de sintonización.

Figura 42. Simulación función de transferencia etapa de calentamiento 2



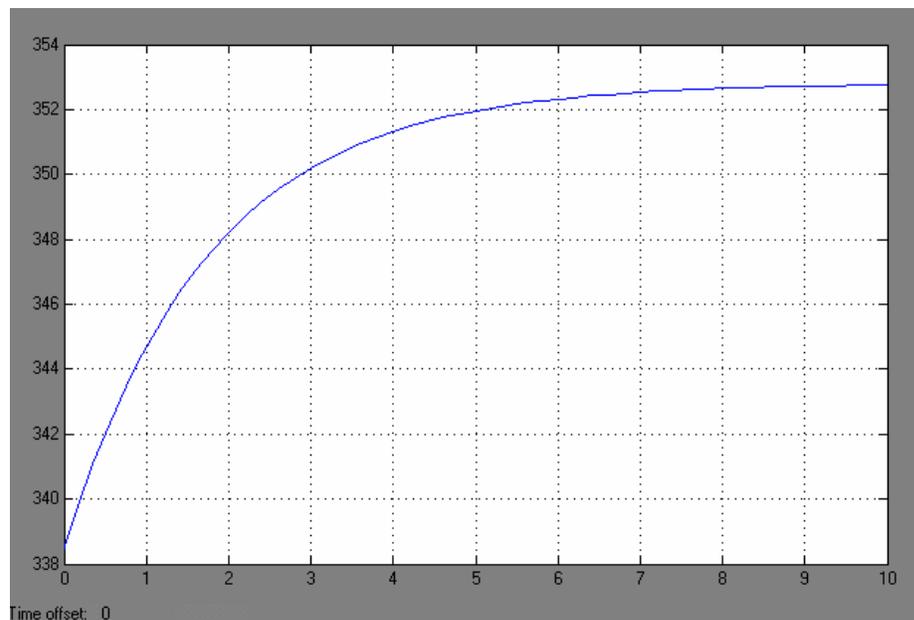
Software MATLAB-Simulink.

Figura 43. Simulación función de transferencia etapa de calentamiento 2 detallada



Software MATLAB-Simulink.

Figura 44. Respuesta del sistema para el punto de operación etapa de calentamiento 2



Software MATLAB-Simulink.

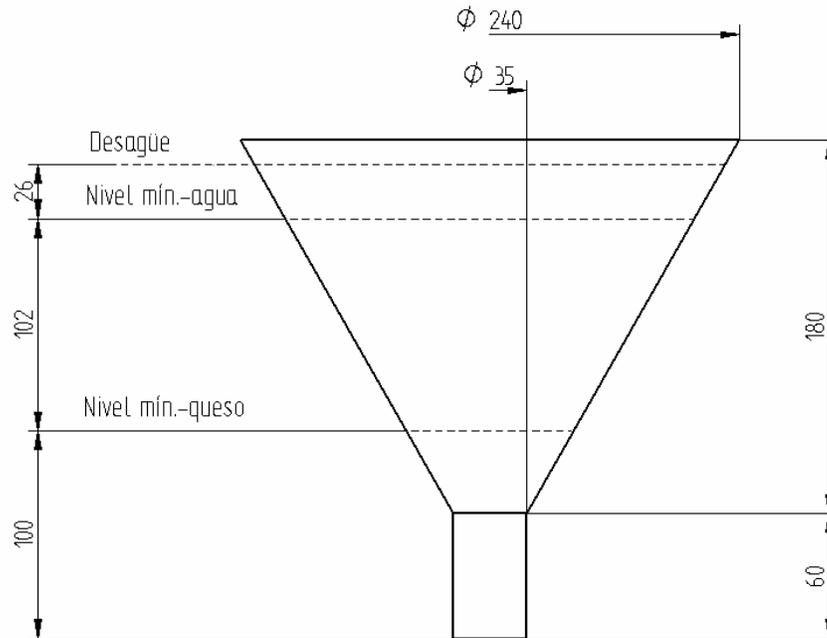
9.10.2 Control de nivel de agua y nivel de queso. El control de nivel se efectúa a través del PLC, para asegurar un volumen mínimo de queso para la inyección, este volumen mínimo de queso corresponde al volumen de un ciclo de inyección ($220 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$)*. Para el nivel de agua se desea conservar siempre un volumen de $1,600 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$, que es volumen de agua con que se diseñó la capacidad de la tolva**. Se implementará un control ON-OFF para estos niveles.

Para medir el nivel se usarán sensores capacitivos colocados al exterior de la tolva, calibrados para medir la capacitancia del queso y la capacitancia del agua, respectivamente. Usando el software CAD Solid Edge se mide la altura a la que deben colocarse estos sensores en la tolva, esto puede verse en la figura 45.

* Ver solución ingenieril: características técnicas de la máquina para el llenado y formado de quesadillos. Numeral 9.8 del presente documento.

** Ver solución ingenieril: unidad de inyección, tolva. Numeral 9.4.5 del presente escrito.

Figura 45. Altura para los sensores de nivel de queso y agua en la tolva



Los autores.

Como se puede observar se coloca un desagüe para controlar el nivel superior del agua y de esta forma evitar el rebosamiento. La fase de hilado debe ser modificada de tal forma que se hilen porciones iguales al volumen máximo de queso en la tolva (1,2 Kg), esto con el fin de evitar excesos de queso en la tolva.

9.11 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

9.11.1 Costo de construcción de la máquina. Para definir el costo de construcción, se realizaron diferentes cotizaciones de los materiales y procesos de fabricación para la misma, vía telefónica, fax y páginas Web del proveedor. En las tablas 17 y 18 se muestran los costos de materiales y de procesos de fabricación utilizados.

Tabla 17. Costo de materiales de la máquina*

ÍTEM		Cantidad	Costo unitario	Costo total
MATERIALES MECÁNICOS	Tubo rectangular, acero inoxidable. 50X30mm-espesor 2mm	15 m	\$ 5.000,0	\$ 75.000,0
	Tubo rectangular, acero inoxidable. 40X20mm-espesor 2mm	7 m	\$ 4.500,0	\$ 31.500,0
	Pletina 127mm (5")-espesor 3,175mm (1/8"). Acero inoxidable	3 m	\$ 30.000,0	\$ 90.000,0
	Lamina 7200X2400 mm, calibre 12	1 unidad	\$ 320.000,0	\$ 320.000,0
	Lamina 7200X2400 mm, calibre 20	3 unidades	\$ 220.000,0	\$ 660.000,0
	Macizo redondo Ø50mm. Acero inoxidable	0,5 m	\$ 60.000,0	\$ 30.000,0
	Macizo redondo Ø85mm. Acero inoxidable	0,5 m	\$ 80.000,0	\$ 40.000,0
	Perfil cuadrado en aluminio 20X20, estándar BASE 40	3 m	\$ 45.000,0	\$ 135.000,0
	Perfil cuadrado en aluminio 40X40, estándar BASE 40	3 m	\$ 90.000,0	\$ 270.000,0
	Tablero de control	1 unidad	\$ 150.000,0	\$ 150.000,0
	Pies de fijación	4 unidades	\$ 30.000,0	\$ 120.000,0
	Tornillería	-	-	\$ 50.000,0
	MOLY			\$ 92.000,0
AUTOMATIZACIÓN	Cilindros neumáticos	11	-	\$ 3.130.000,0
	Electrovalvulas	11	-	\$ 720.000,0
	Unidad FRL	1 unidad	\$ 60.000,0	\$ 60.000,0
	Sensores de proximidad	25	-	\$ 2.050.000,0
	Sensores de temperatura PT100	2	\$ 150.000,0	\$ 300.000,0
	PLC UNITRONIC + modulo de expansión	1	\$ 2.150.000,0	\$ 2.150.000,0
	Cableado neumático y racores	-	-	\$ 300.000,0
ELÉCTRICOS	Resistencia calefactora 800W	1 unidad	\$ 60.000,0	\$ 60.000,0
	Resistencia calefactora 600W	1unidad	\$ 50.000,0	\$ 50.000,0
	Indicadores lumínicos 24V	2 unidades	\$ 4.200,0	\$ 8.400,0
	Interruptores N/A	2 unidades	\$ 7.500,0	\$ 15.000,0
	Cable 20AWG	10 m	\$ 2.850,0	\$ 28.500,0
	Relevadores 24V	2 unidades	\$ 5.500,0	\$ 11.000,0
TOTAL				\$ 10.946.400,0

Los autores.

* Todos los precios tienen IVA incluido y se cotizaron al mes de noviembre del año en curso.

Tabla 18. Costo de procesos de fabricación

TIPO DE PROCESO	Costo
Soldadura TIC, para acero inoxidable	\$ 320.000,0
Maquinado en CNC	\$ 540.000,0
Maquinado por máquinas herramientas convencionales	\$ 240.000,0
Conformado de tolva y sección divisora	\$ 220.000,0
Corte de tubos y perfilera	\$ 30.000,0
Ensamble	\$ 300.000,0
TOTAL	\$ 1.650.000,0

Los autores.

El costo inicial de fabricación sin tener en cuenta el costo de diseño ingenieril es:

$$\text{Costo inicial} = \$10.946.400 + \$1.650.000 = \$12.596.400$$

El costo del diseño ingenieril se asume del 50% del costo inicial, por lo tanto el costo final de la máquina sería:

$$\text{Costa final} = \$12.596.400 + (\$12.596.400)(0,4) = \$17.634.960$$

9.11.2 Costo de operación de la máquina. Para el funcionamiento se requiere una sola persona, que efectuara 2 tareas: encender la máquina y alimentar la unidad de almacenamiento de bocadillos cada hora. Mientras se realiza el proceso de alimentación de bocadillos (aproximadamente 5 min), se detiene la fase de hilado, esto con fin de que el operario que efectúa esta tarea alimente de bocadillos la máquina. Por esta razón los dos (2) operarios que realizan la fase de llenado y formado del quesadillo ya no se utilizarían, siendo uno de los operarios que realiza la fase del hilado quien maneje la máquina.

Para el costo de operación no se tiene en cuenta la mano de obra, porque, de acuerdo a lo expuesto en el párrafo anterior, el operador de la máquina ya está dentro de la nómina y no representa un costo adicional. El costo de operación de la máquina se muestra en la tabla 19, asumiendo 7 horas diarias de trabajo 20 días al mes.

Tabla 19. Costo de operación mensual

ÍTEM	Consumo mensual	Costo mensual
Energía neumática representada en KWh	80 KWh	\$ 26.000,0
Agua consumida por el proceso en la máquina	0,5 m3	\$ 1.800,0
Mantenimientos (previsión para cambio de cilindros neumáticos)	-	\$ 86.945,0
TOTAL		\$ 114.745,0

Los autores.

9.11.3 Estimación de la tasa interna de retorno y el valor presente neto. Estos índices se calculan con el fin de determinar la viabilidad de la construcción de la máquina.

Si para un volumen de ventas de 50000 unidades de quesadillo Campo Real, la utilidad neta por unidad es de \$150, la utilidad neta mensual es de \$7.500.000. Teniendo este valor como utilidad neta mensual promedio se determina la TIR (tasa interna de retorno) y el VPN (valor presente neto) para un periodo de seis meses con una tasa de oportunidad del 10%, usando Microsoft Excel, resultando:

TIR = 35,73%

VPN = \$13.663.175,5

Esto quiere decir que en un periodo de seis meses para la inversión realizada, \$17.634.960, se ha tenido una utilidad de \$13.663.175,5. Lo anterior demuestra la viabilidad de la construcción de la máquina.

Para una producción mensual de 50000 unidades las horas de trabajo de la maquina son:

$$\frac{50000 \text{ unidades}}{2100 \text{ unidades/hora}} = 23,81 \text{ horas}$$

Si un día tiene 7 horas efectivas de trabajo, la cantidad de días trabajados al mes por la máquina serian:

$$\frac{23,81 \text{ horas}}{7 \text{ horas/día}} = 3,4 \text{ días}$$

CONCLUSIONES

- La medición de la densidad se realiza de forma casera y se comprueba a través del Instituto de Ciencia y Tecnología de alimentos ICTA; los resultados son similares. La densidad del queso *provolone* en condiciones de la fase de llenado y formado es 1090 Kg/m^3 .
- El queso *provolone* bajo las condiciones de llenado y formado se comporta como un fluido no newtoniano del tipo pseudoplástico. La viscosidad se describe usando la ley de la potencia usando dos parámetros: $n = 0,7684$ y $K'=122,917$ (índice y constante de la ley de la potencia respectivamente).
- Para cumplir con los requerimientos impuestos por Campo Real se opta por la realización de una máquina de inyección con pistón automatizada de cuatro (4) boquillas, alcanzando nivel de producción de 2100 unidades/hora.
- Para mantener espacialmente centrado el bocado dentro del molde, se utilizan dos agujas que perforan el mismo durante el proceso de inyección, impidiendo su movimiento.
- La máquina posee una unidad de almacenamiento de bocadillos que esta en capacidad de acumular 2140 unidades de los mismos.
- La construcción de la máquina es viable teniendo en cuenta que para un volumen de ventas de 50000 unidades mensuales de quesadillo, que significan 3,4 días de trabajo al mes, la inversión se pagaría en un periodo menor a 6 meses.

BIBLIOGRAFÍA

BODINI, Giani y CARCHI PESAN, Franco. Moldes y máquinas de inyección para la transformación de plásticos, tomo 2. México : McGrawHill, 1992. 435 p.

FESTO DIDACTIC. Sensores para la técnica de procesos y manipulación : Sensores de proximidad. s.l. : s.n, 1993. 334 p.

HIBBELER, R. C. Mecánica de materiales. 3 ed. México : Prentice Hall,

INCROPERA, Frank K. P.y DEWITT, David P. Fundamentos de transferencia de calor. 4 ed. México : Prentice Hall, 1999.

MEGYESY, Eugene F. Manual de recipientes a presión, diseño y cálculo 4 ed. México : Limusa, 1998. 482 p.

MIAN N., Riaz, Extrusores en las aplicaciones de alimentos.

MORTON y JONES, D.H.,. Procesamiento de plásticos. México : Limusa, 2004. 302 p.

NORTON, Robert L. Diseño de máquinas. México : Pearson-Prentice Hall, 1999.

OGATA, Katsuhiko. Ingeniería de control moderna. 3 ed. México : Pearson educación, 1998. 987 p.

RAMOS DE VALLE, Luis Francisco. Extrusión de plásticos : principios básicos. México : Limusa, 1999. 188 p.

SÁNCHEZ VALDEZ, Saúl; YAÑEZ FLORES, Isaura y RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, Oliverio. Moldeo por inyección de termoplásticos. México : Limusa, 2001. 216 p.

GONZÁLEZ GONZALEZ, Carlos y VÁZQUEZ ZELENY, Ramón. Metrología. 2 ed. México : Mc Graw Hill, 1999. 446 p.

Anditec Ltda. [online]. Colombia. Disponible desde internet. <www.anditec.com>.

GROOVER, Mikell P. Fundamentos de manufactura moderna, materiales, procesos y sistemas. México : Prentice Hall, 1997. 1062 p.

Bosch. [online]. Estados Unidos. Disponible desde internet. <www.Bosch.us.com>.

Bosch rexroth. [online]. Estados Unidos. Disponible desde internet. <www.boshrexroth.com>.

Direct industry [online]. México. Disponible desde internet: <www.directindustry.com.mx>.

Electro salgado. [online]. Colombia. Disponible desde internet. <www.electrosalgado.com>.

Exa. [online]. Australia. Disponible desde internet. <www.exa.com.au>.

Festo. [online]. Alemania. Disponible desde internet. <www.festo.com>.

Global Spec. Engineering search engine [online]. Estados Unidos. Disponible desde Internet: <www.globalspec.com> .

Jaymech. [online]. Estados Unidos. Disponible desde internet. <www.jaymech.com>.

Kusel equipment co. [online]. Estados Unidos. Disponible desde internet. <www.kuselequipment.com>.

Nook Industries. [online]. Estados Unidos. Disponible desde internet. <www.nookindustries.com>.

NSK. [online]. Estados Unidos. Disponible desde internet: <www.la.nsk.com>.
NYLACAST. [online]. Estados Unidos. Disponible desde Internet: <www.nylacast.com>.
ONExia. [online]. Estados Unidos. Disponible desde internet. <www.onexiainc.com/nsk_mch_series.shtml>.

Productos Plásticos. [online]. Argentina. Disponible desde internet. <www.productosplasticos.com.ar>.

Rml Ryan Manufacturing. [online]. Estados Unidos. Disponible desde internet. <www.Ryanmfg.co.nz>.
Siemens. [online]. Alemania. Disponible desde internet. <www.siemens.com>.

SMI specialty motions, inc. [online]. Estados Unidos. Disponible desde internet. <www.smi4motion.com>.

Trace Parts : for parts manufacturers. [online]. Estados Unidos. Disponible desde internet. <www.traceparts.com>.

Unitronics. [online]. Estados Unidos. Disponible desde internet. <www.unitronics.com>.

Universidad nacional de Colombia. [online]. Colombia. Disponible desde internet. <www.unal.edu.co>.

Urschel laboratorios incorporated. [online]. Estados Unidos. Disponible desde internet. <www.urschel.com>.

ANEXO A. PRUEBAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD
Y LA VISCOSIDAD EN EL ICTA



REPORTE DE ANÁLISIS

No.558

Entidad " UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA - SEDE BOGOTA

Fecha de Recibo: 31 /10/2005

Solicitado por FREDY ORDÓÑEZ Fecha de Entrega: 31/10/2005

NIT: 80.200.858 Teléfonos: 4936242

IDENTIFICACION DE LAS MUESTRAS :

No. Muestra	Cantidad	Identificación	Análisis solicitados
328	1	QUESO PROVOLONE	Densidad 80 °C
329	1	CUAJADA HILADA DESUERADA	viscosidad 80 °C

Valor total de los análisis \$28.000* Recibo de Caja No. 8544

RESULTADOS

CUAJADA HILADA DESUERADA (VISCOSIDAD A 80 °C)

La determinación se realizó en un Viscosímetro de cilindro rotacional Haake Rotovisco RV 20 (sistema M 5) utilizando el sensor NV II, al aplicar un gradiente de velocidad de corte, la muestra es completamente arrastrada al estar adherida al cilindro rotacional y por lo tanto las lecturas del esfuerzo cortante son erróneas. De lo anterior se deduce que este equipo no es el adecuado para esta prueba y se sugiere la utilización de uno que tenga un sensor acorde a la muestra.

	QUESO PROVOLONE
Densidad, g/mL 80 °C	1.09

Martha Quicazan

MARTHA CECILIA QUICAZAN DE C.
Profesora Asociada

Bogotá , DC. , 20 de Octubre de 2005

Señores:

NODO DE INVESTIGACION

Facultad de Ingenierías

Universidad de San Buenaventura

La ciudad

Los alumnos Fredy Arturo Ordóñez Zabala y Julián David Taples Rodríguez, a cargo del proyecto de tesis de grado *Diseño y Simulación de una Máquina Llenadora Formadora para Quesadillos* comentaron la necesidad de realizar una prueba para la medición de la viscosidad del queso en el laboratorio de *Análisis Físico- Químico del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos ICTA*, de la Universidad Nacional de Colombia, de mi competencia.

El laboratorio esta en la capacidad de realizar la prueba, a través de un reó metro rotacional, y certificaria si esta es satisfactoria. El día 11 de Agosto de 2005 se realizo una prueba piloto con este instrumento para la cuajada en las condiciones de la fase de llenado y formado. El control de la temperatura se colocó a 80 °c, se tomo una muestra de cuajada hilada a esta misma temperatura y se introdujo en lo mismo.

Al principio de la prueba funcionó, pero después de aplicar un pequeño intervalo de velocidades de corte al fluido, la cuajada se pega a las paredes del cilindro móvil y se desliza sobre el cilindro estático, por lo que es imposible medir el par resistente del fluido sobre el cilindro móvil y por consiguiente la viscosidad. Por esta razón no se puede certificar la prueba para la medición de la viscosidad de la cuajada con este instrumento, debido a que no es el adecuado.

Se propone que para efectos de diseño no se requiere una medición rigurosa de la viscosidad y en algunos casos, para alimentos, se realizan pruebas empiricas para medida en intervalos de velocidades de corte pequeños.

Atentamente:

ALVARO JIMÉNEZ

Laboratorio de Análisis Físico-Químico

INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Universidad Nacional de Colombia

ANEXO B. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES USADOS EN EL
DISEÑO

1. ACERO INOXIDABLE AISI 304

Propiedades físicas, mecánicas y térmicas¹⁶

ρ → Densidad [Kg/m ³]	8000
E→ Modulo de elasticidad [Gpa]	193
G→ Modulo de rigidez [Gpa]	86
σ_Y → Limite elástico a la tensión [Mpa]	215
ν → Razón de Poisson	0,29
K→ Conductividad térmica [W/m.K]	16,2
C→Calor especifico [J/g-°C]	0,5

2. MOLY

Propiedades físicas, mecánicas y térmicas¹⁷

ρ → Densidad [Kg/m ³]	1140
E→ Modulo de elasticidad [Gpa]	4,1
σ_Y → Limite elástico a la tensión [Mpa]	80
μ → Coeficiente de fricción	0,39
Temperatura de operación bajo carga continua [°C]	-40 +105

¹⁶ Global Spec. AISI type 304 stainless steel [online]. Estados Unidos: MatWeb-Material property data [citado el 20 de Octubre de 2005]. Disponible desde Internet: <www.globalspec.com> ó <www.owenscorning.com.br/tabela1_e.asp>.

¹⁷ NYLACAST. NYLACAST MOLY [online]. Estados Unidos. [citado el 20 de Octubre de 2005]. Disponible desde Internet: <www.nylacast.com>, archivo PDF.

3. ALEACIÓN DE ALUMINIO 5052

Propiedades físicas y mecánicas, laminado en frío¹⁸

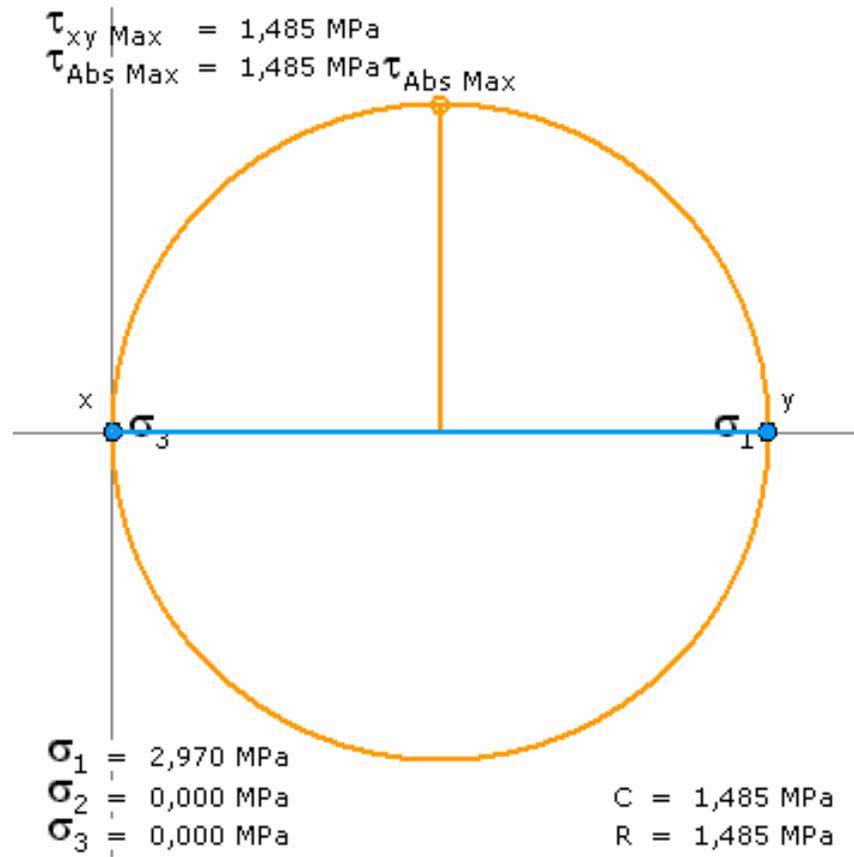
ρ → Densidad [Kg/m ³]	2800
E→ Modulo de elasticidad [Gpa]	71,7
G→ Modulo de rigidez [Gpa]	26,8
σ_Y → Limite elástico a la tensión [Mpa]	255
ν → Razón de Poisson	0,34

¹⁸ NORTON, Robert L. Diseño de máquinas. México: Pearson-Prentice Hall, 1999. p. 994.

ANEXO C. GEOMETRÍAS, DIAGRAMAS DE FUERZAS Y ESTADOS
DE ESFUERZOS COMBINADOS

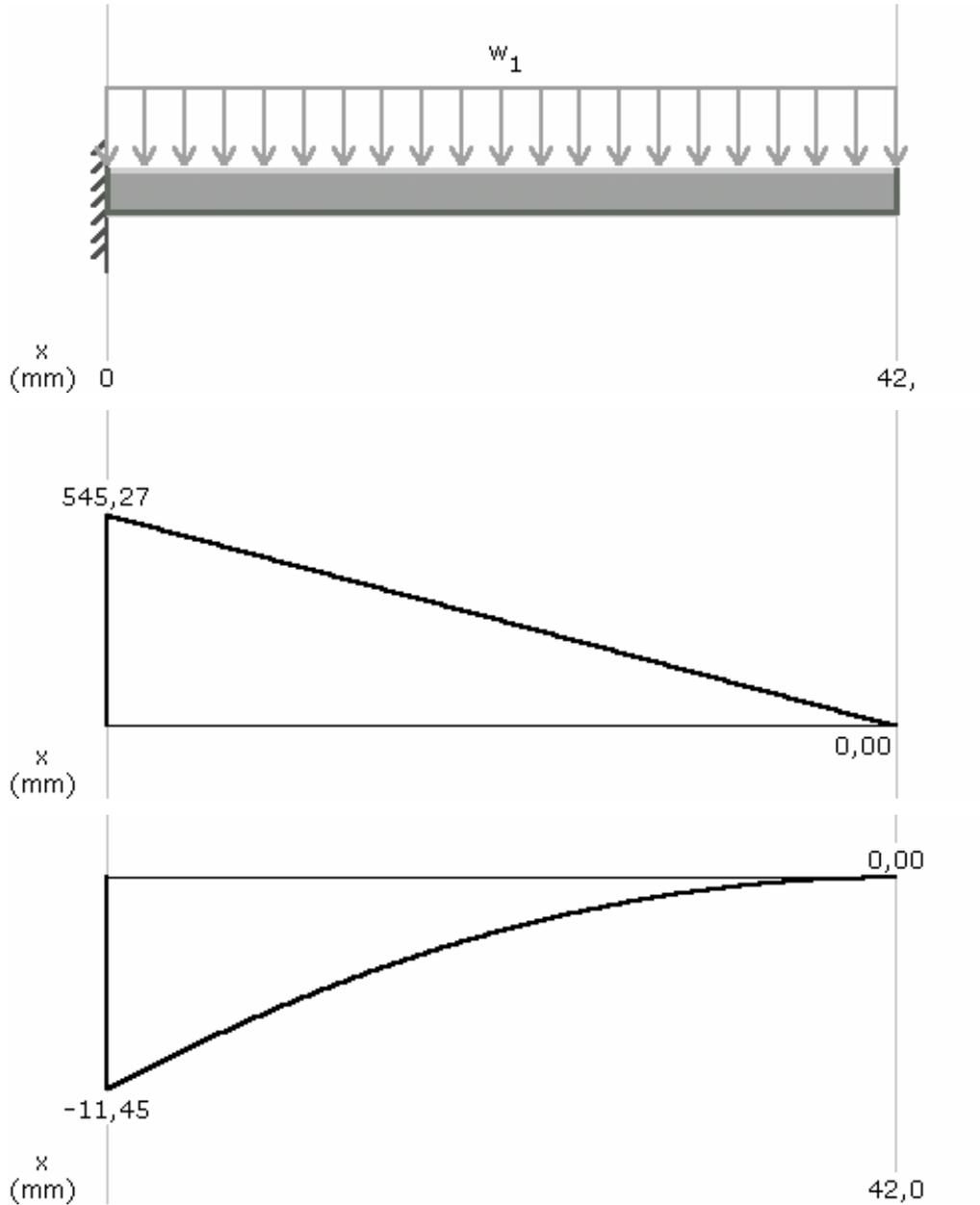
1. CILINDRO DEL PISTÓN DE INYECCIÓN

Circulo de Mohr para un punto en la superficie interna



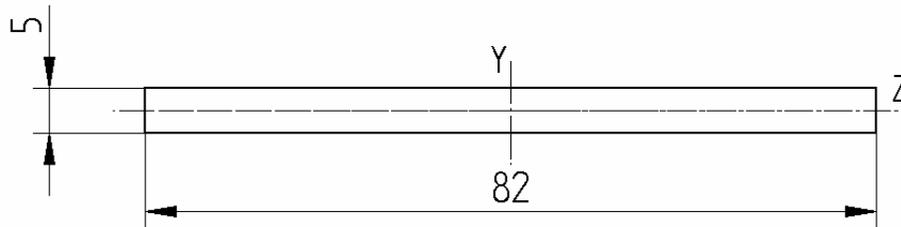
2. PARED LATERAL EN EL MOLDE

Diagrama de cuerpo libre y diagramas de fuerza cortante [N] y momento flexionante pared lateral [N.m]



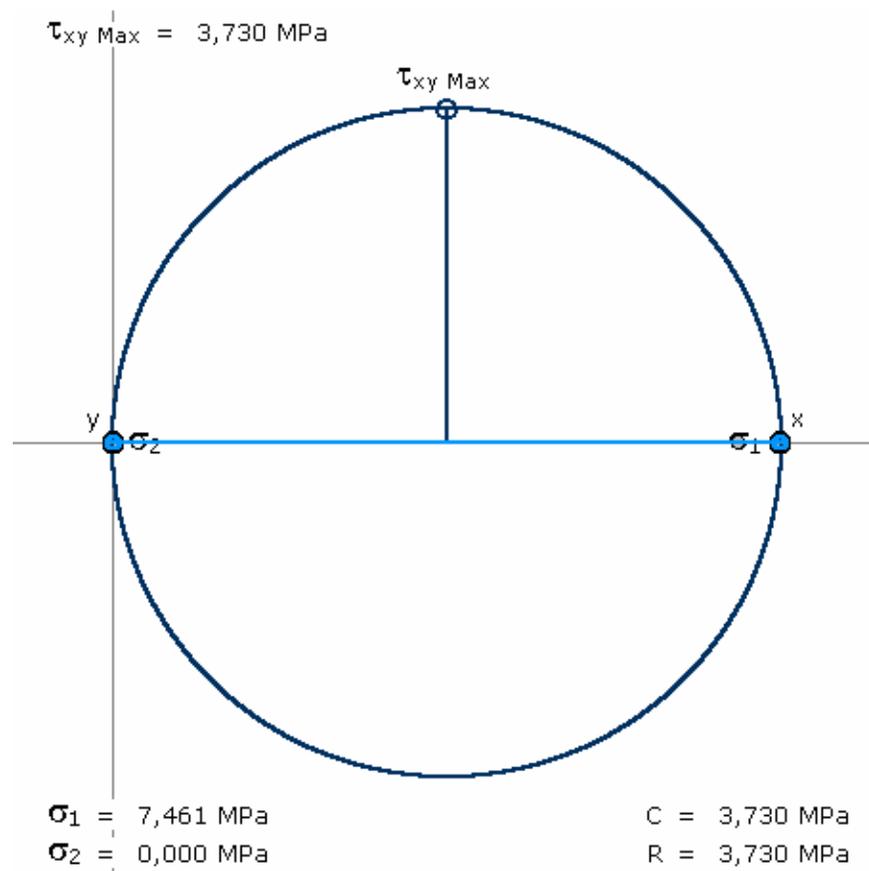
$W_1 = 12982,72 \text{ N/m} \rightarrow$ Fuerza distribuida dada por la presión de inyección

Sección transversal



Los autores

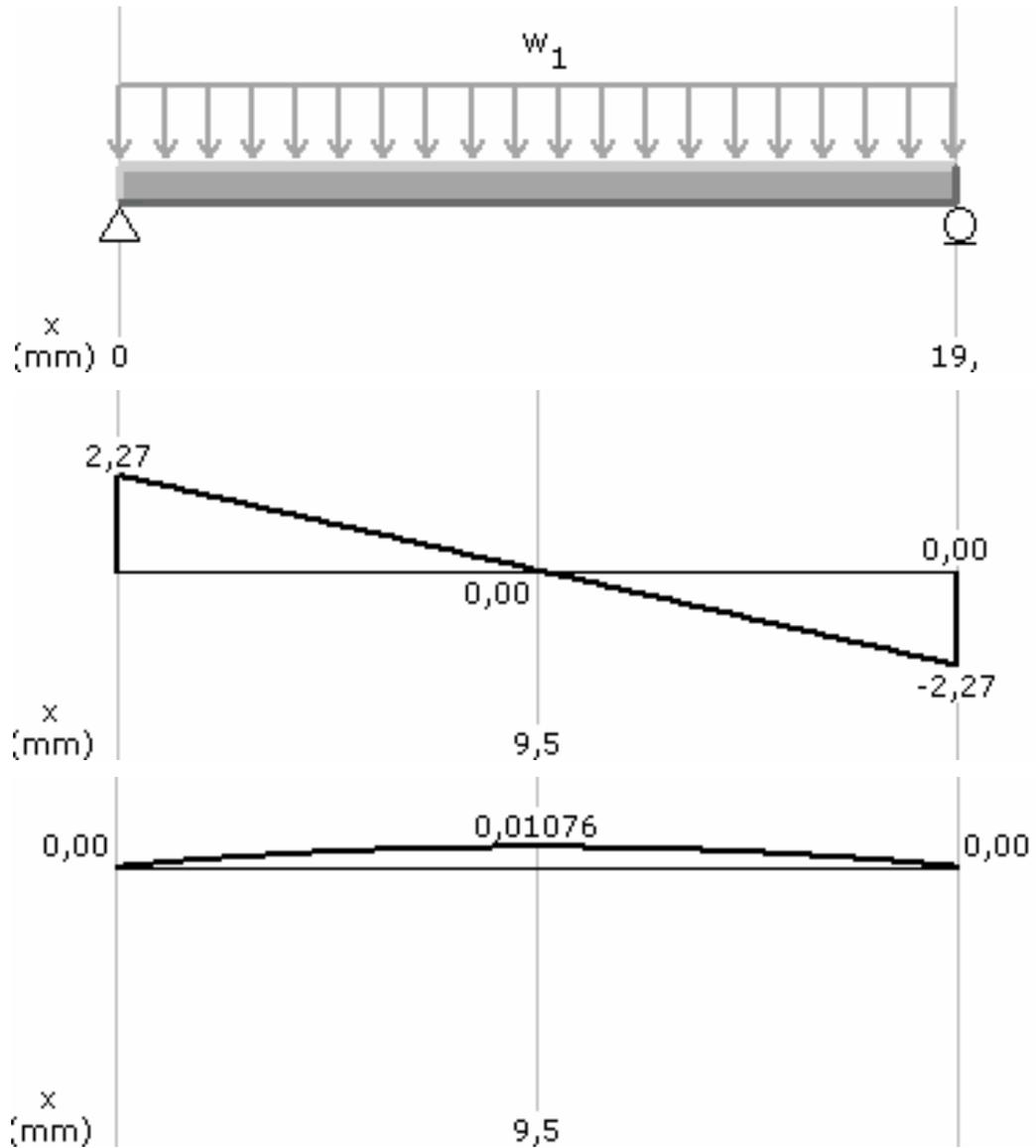
Circulo de Mohr para el punto de máximo estado de esfuerzos combinados



Software CAD MDSolids.

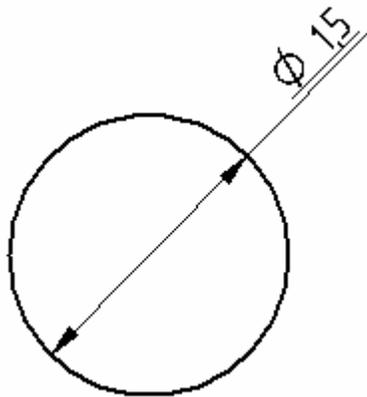
3. AGUJA DE RETENCIÓN

Diagrama de cuerpo libre y diagramas de fuerza cortante [N] y momento flexionante de una aguja [N.m]



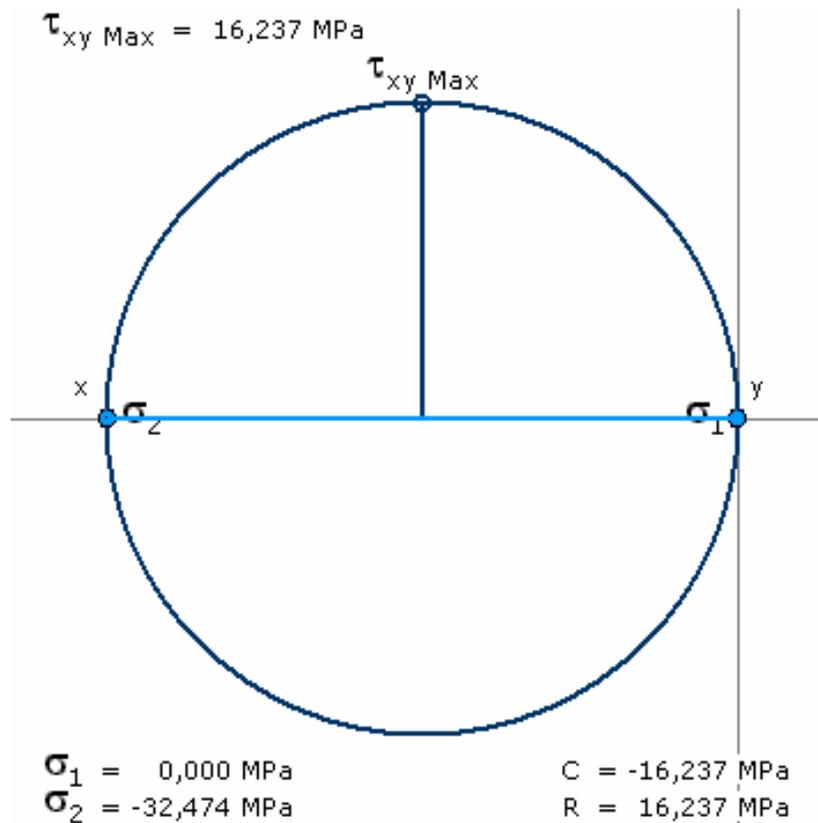
$w_1 = 238,5 \text{ N/m} \rightarrow$ Fuerza distribuida dada por la presión de inyección

Sección transversal



Los autores

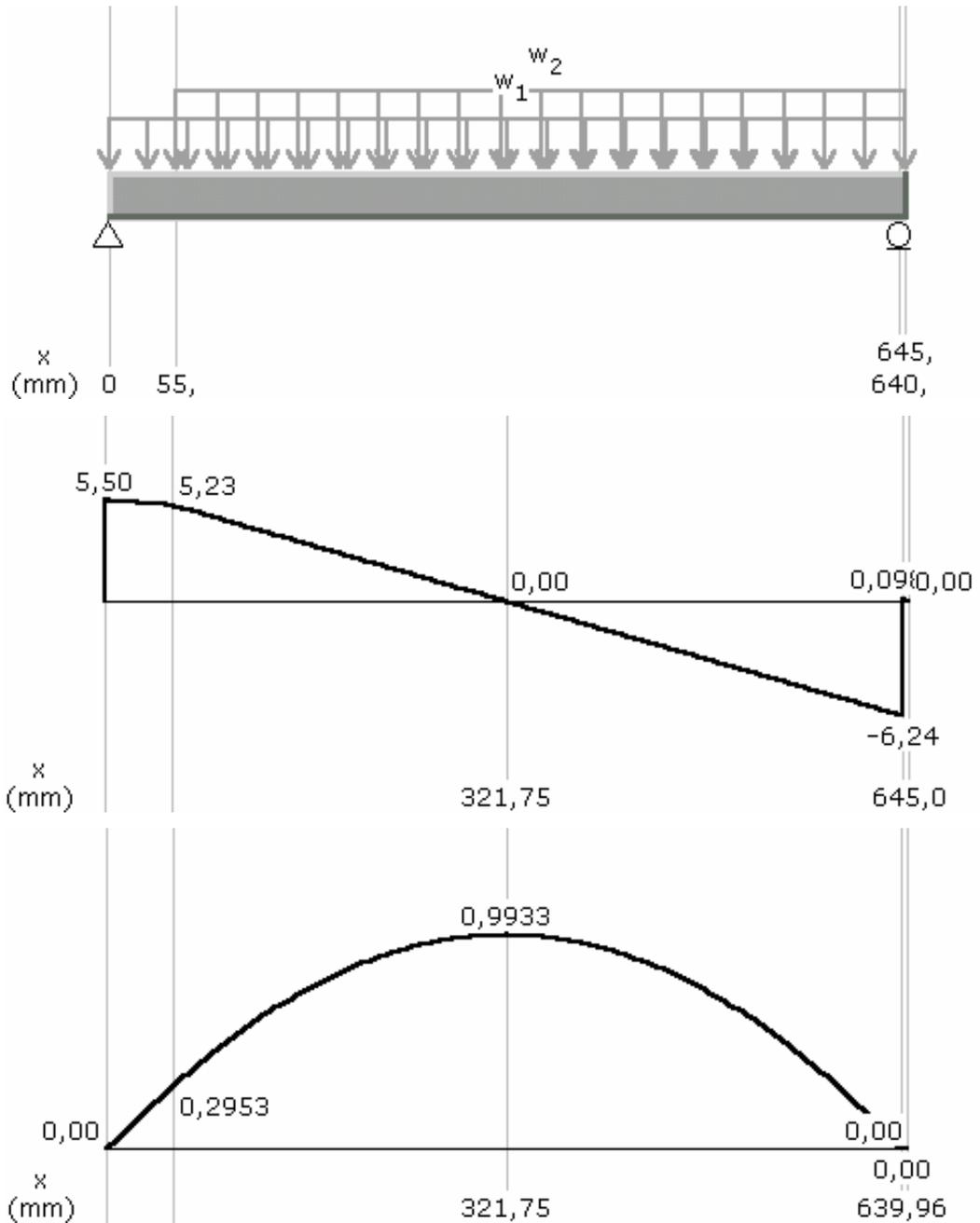
Circulo de Mohr para el punto de máximo estado de esfuerzos combinados



Software CAD MDSolids.

4. VIGA 1

Diagrama de cuerpo libre y diagramas de fuerza cortante [N] y momento flexionante viga 1 [N.m]

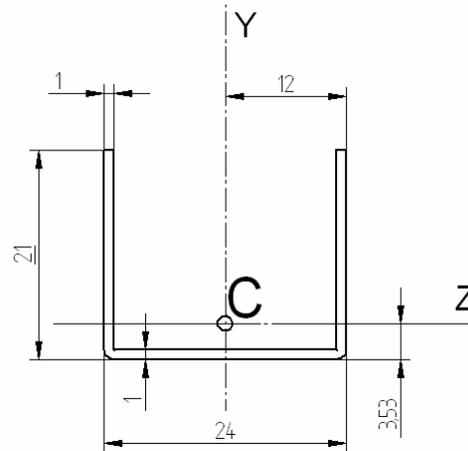


Software CAD MDSolids.

$W_1 = 4,91 \text{ N/m} \rightarrow$ Fuerza distribuida dada por el peso de la viga

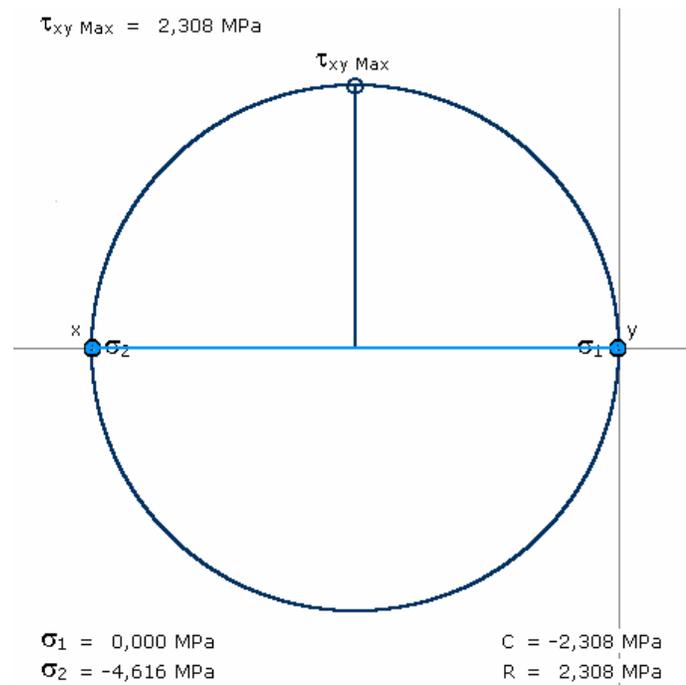
$W_2 = 14,71 \text{ N/m} \rightarrow$ Fuerza distribuida dada por el peso de la plaqueta de bocadillo

Sección transversal



Los autores

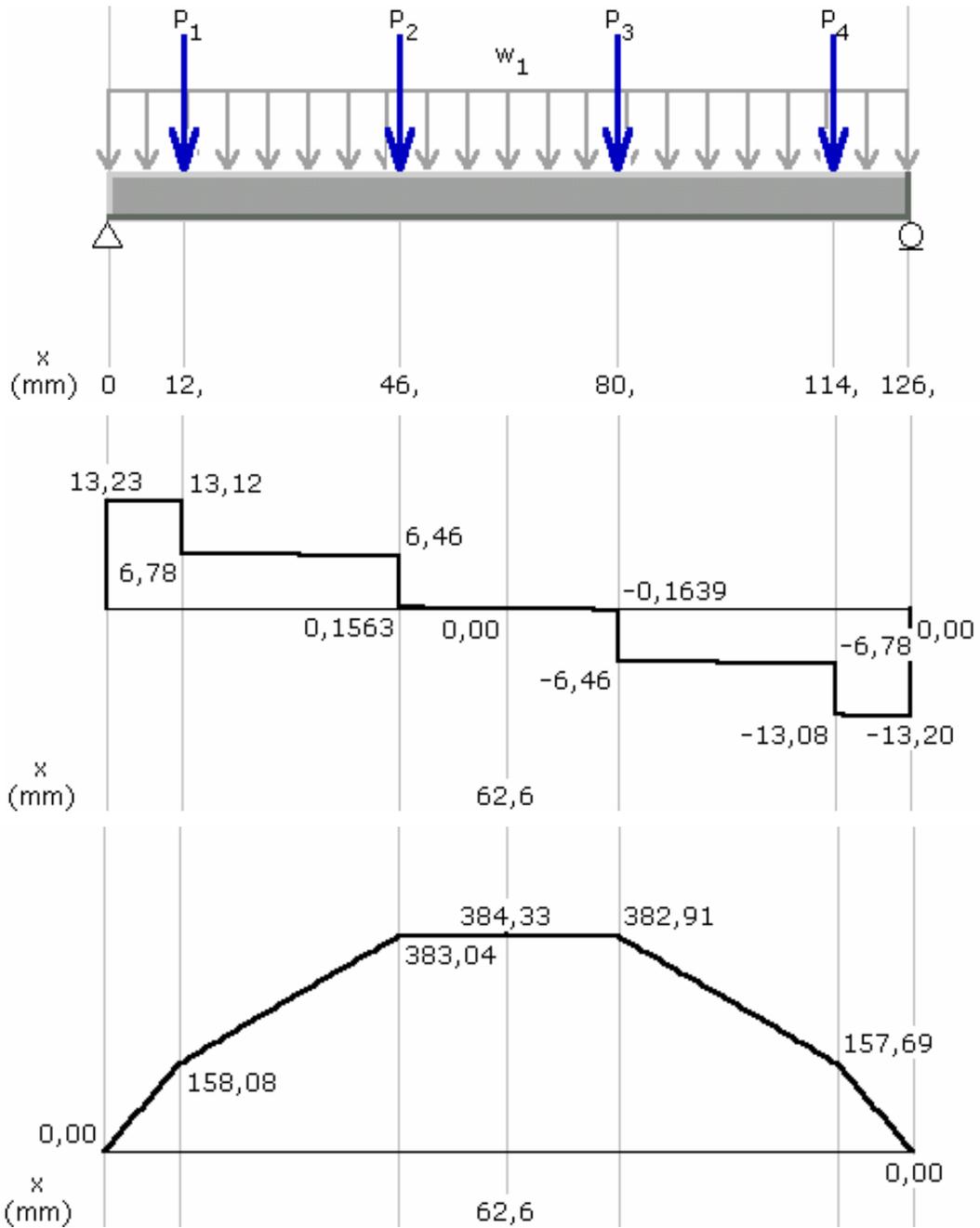
Circulo de Mohr para el punto de máximo estado de esfuerzos combinados



Software CAD MDSolids.

5. PLETINA

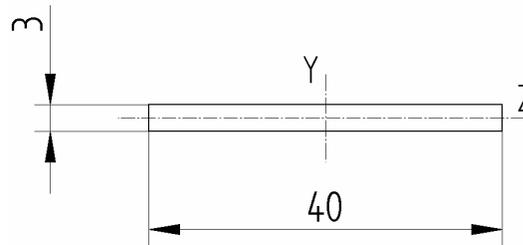
Diagrama de cuerpo libre y diagramas de fuerza cortante [N] y momento flexionante pletina [N.m]



Software CAD MDSolids.

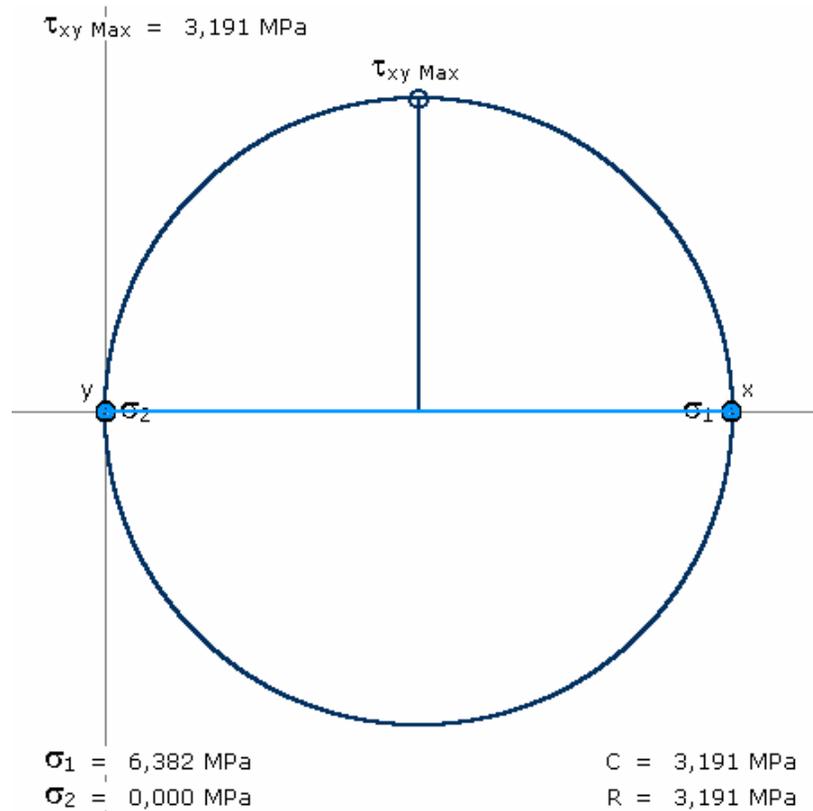
$F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = 6,34 \text{ N} \rightarrow$ Reacción en el apoyo de la viga 1
 $W_1 = 9,42 \text{ N/m} \rightarrow$ Fuerza distribuida dada por el peso de la pletina

Sección transversal



Los autores.

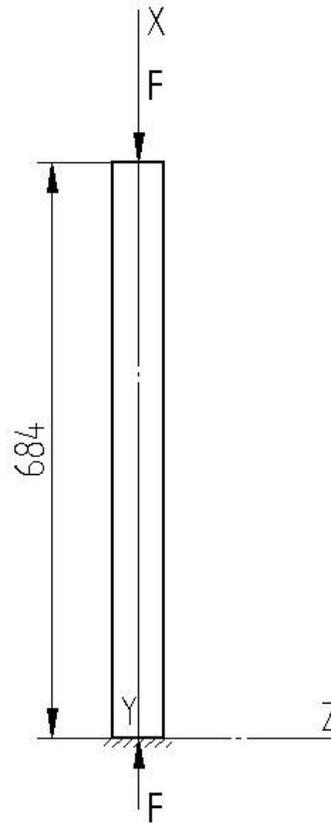
Circulo de Mohr para el punto de máximo estado de esfuerzos combinados



Software CAD MDSolids.

6. COLUMNA 1

Diagrama de cuerpo libre



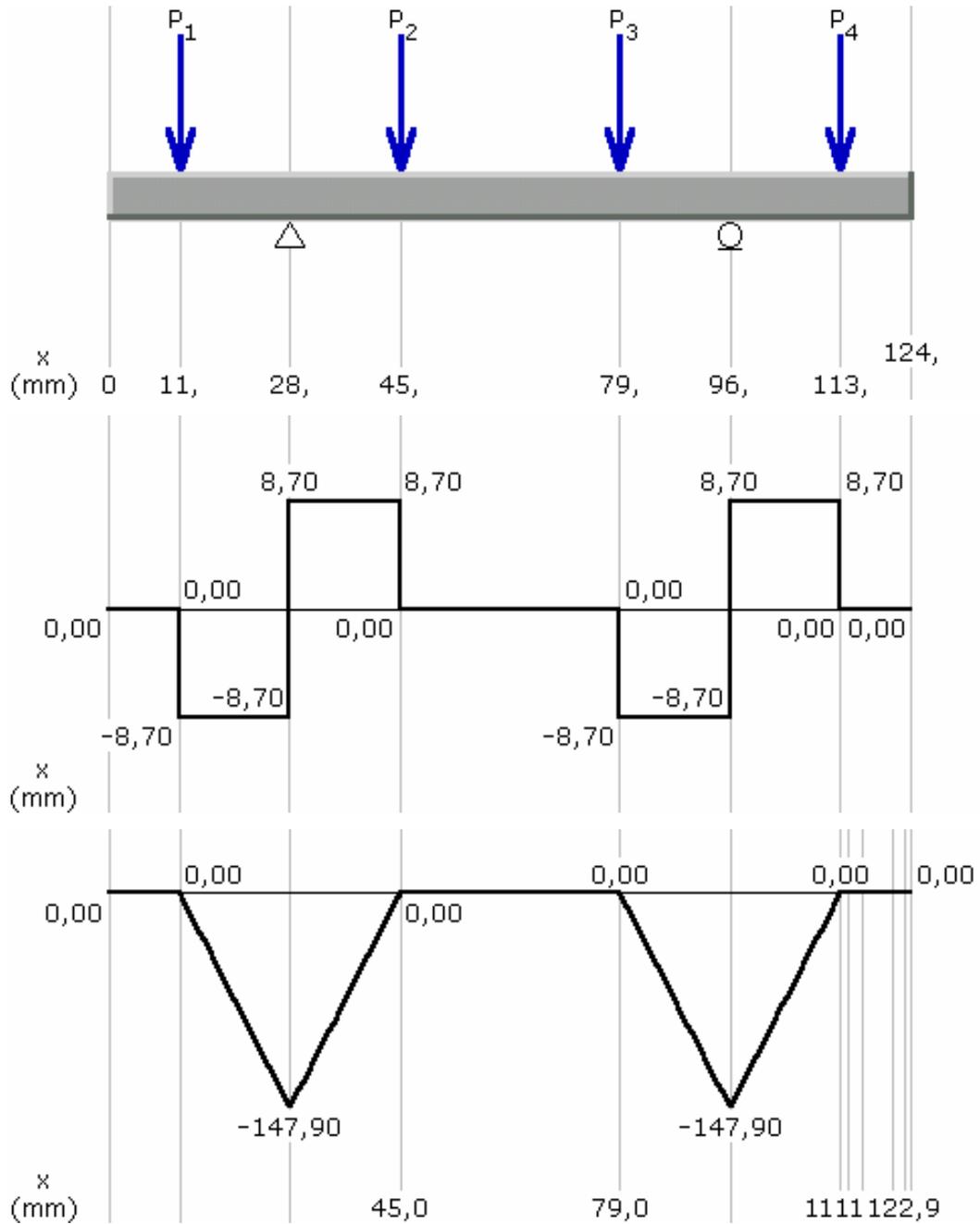
Los autores.

$$F = 12,75 \cdot 9 = 114,75 \text{ N}$$

12,75 N → Reacción en el apoyo de la pletina

7. VIGA 2

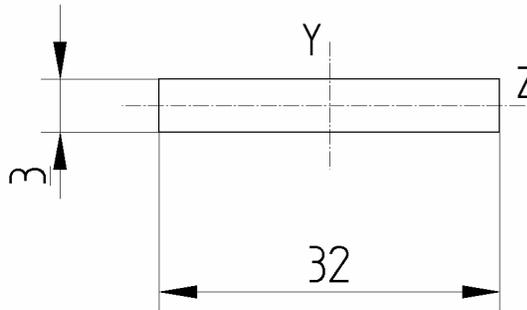
Diagrama de cuerpo libre y diagramas de fuerza cortante [N] y momento flexionante viga 2 [N.m]



Software CAD MDSolids.

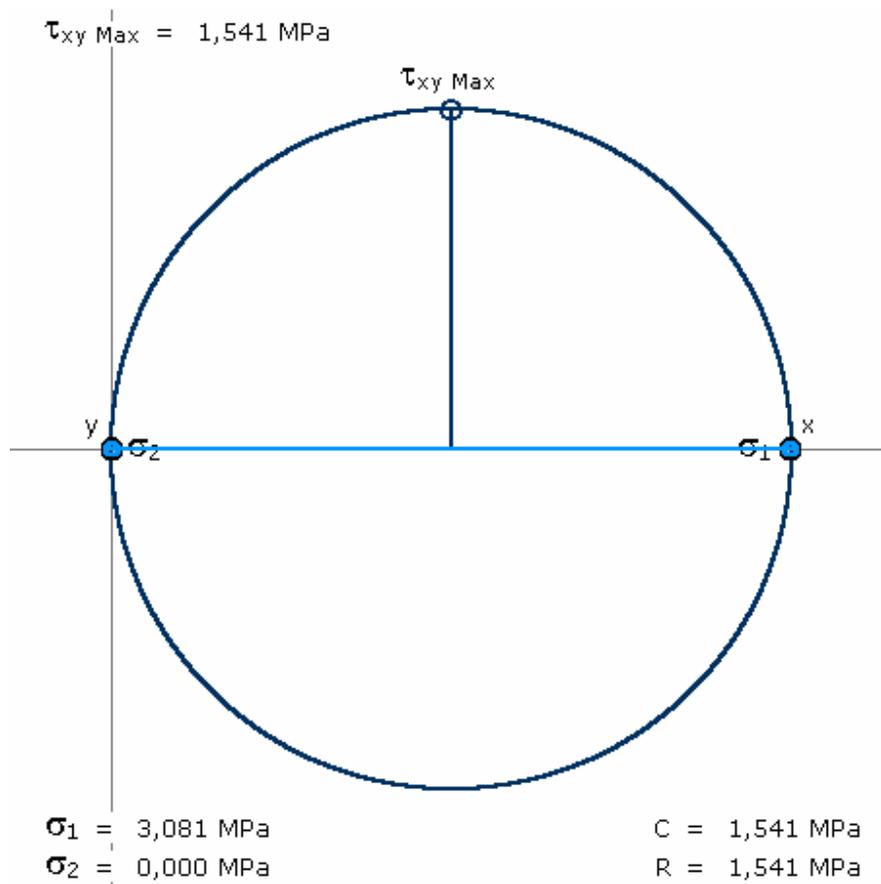
$F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = 8,7 \text{ N} \rightarrow$ Fuerza dada por el peso de la plaqueta de bocadillo

Sección transversal



Los autores.

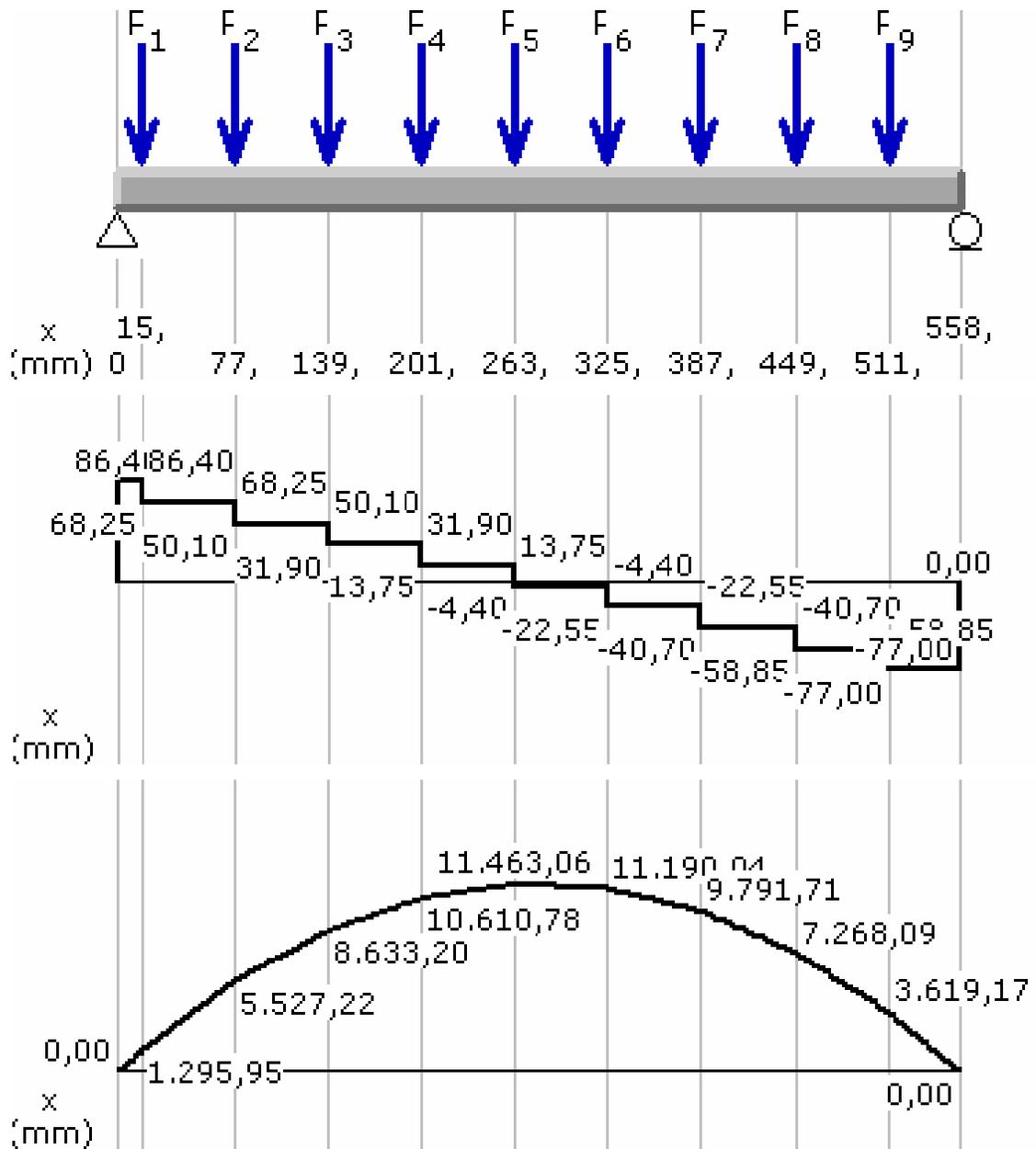
Circulo de Mohr para el punto de máximo estado de esfuerzos combinados



Software CAD MDSolids.

8. COLUMNA 2

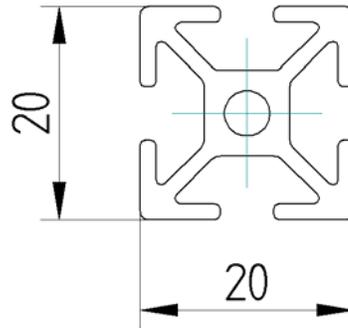
Diagrama de cuerpo libre y diagramas de fuerza cortante [N] y momento flexionante columna 2 [N.m] para diseño como viga



Software CAD MDSolids.

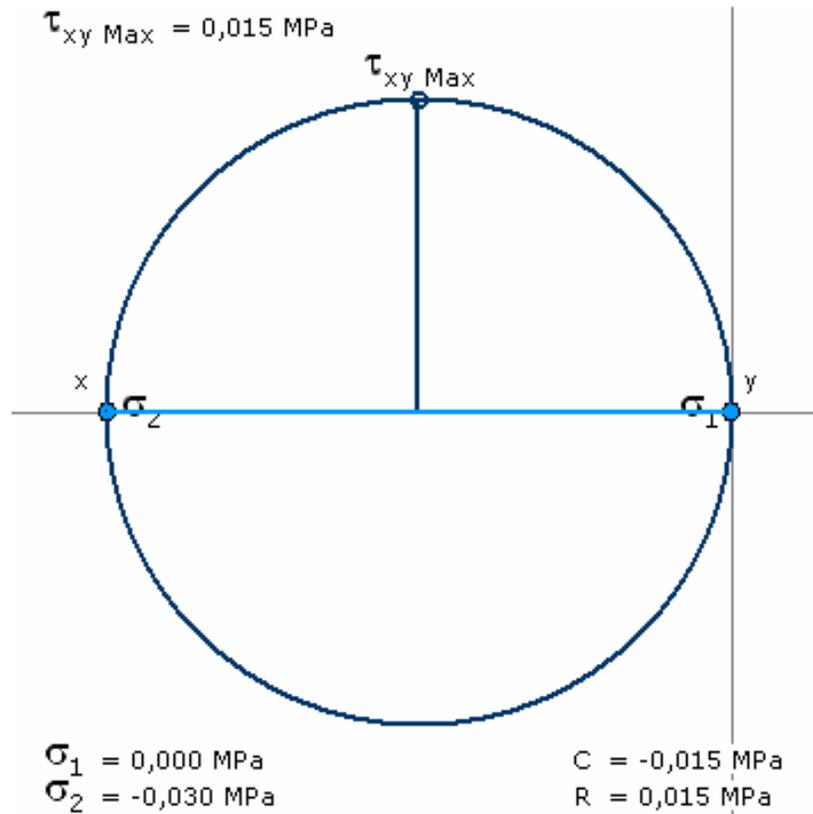
$F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = F_5 = F_6 = F_7 = F_8 = F_9 = 18,15 \text{ N} \rightarrow$ Reaccion del apoyo viga 2

Sección transversal



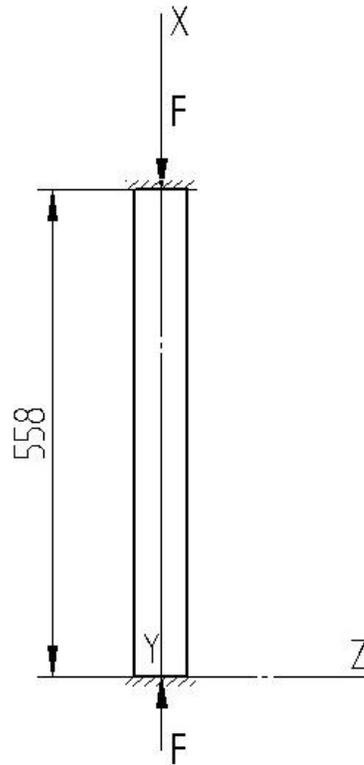
Los autores.

Circulo de Mohr para el punto de máximo estado de esfuerzos combinados



Software CAD MDSolids.

Diagrama de cuerpo libre columna 2 para diseño por pandeo de columnas.



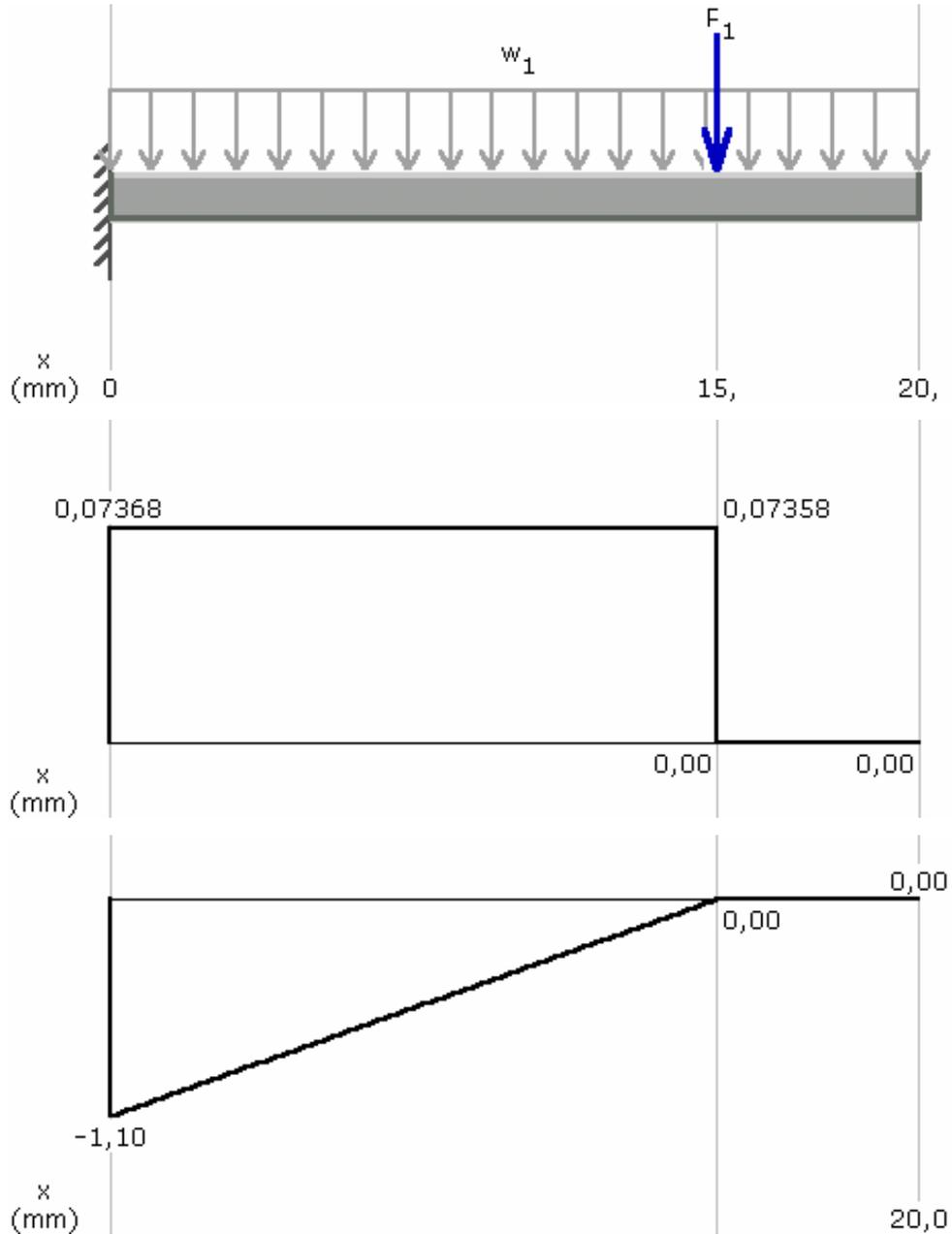
Los autores.

$$F = 1,03 \cdot 9 = 9,27 \text{ N}$$

1,03 N \rightarrow 1/2 del peso de la viga 2

9. AGUJA UNIDAD DE TRANSPORTE 1

Diagrama de cuerpo libre y diagramas de fuerza cortante [N] y momento flexionante aguja [N.m]

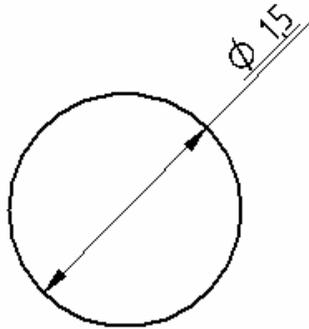


Software CAD MDSolids.

$W_1 = 0,0062 \text{ N/m} \rightarrow$ Fuerza distribuida dada por el peso de la aguja

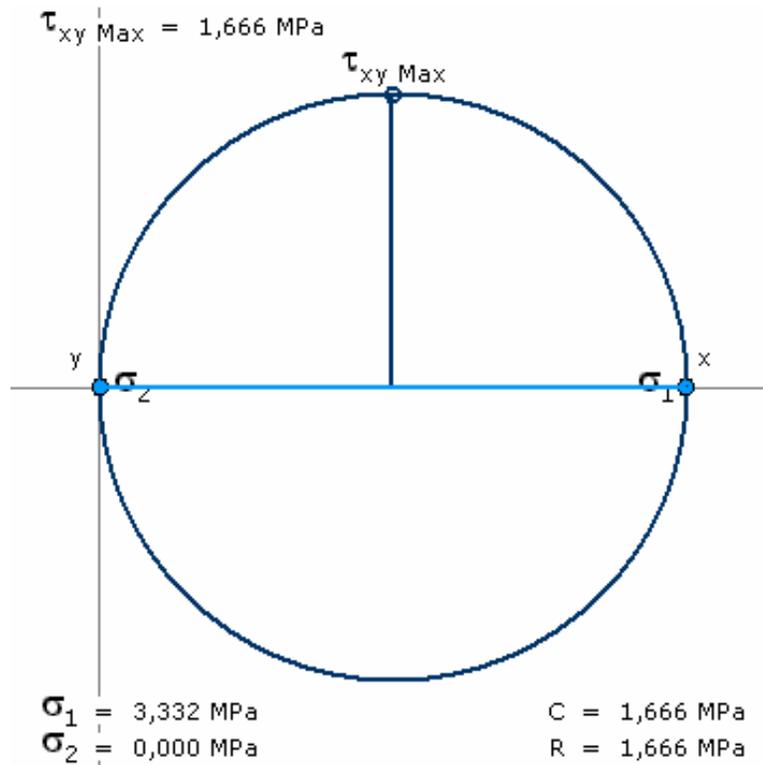
$F_1 = 0,07355 \text{ N} \rightarrow$ Fuerza dada por el peso del bocado

Sección transversal



Los autores.

Circulo de Mohr para el punto de máximo estado de esfuerzos combinados



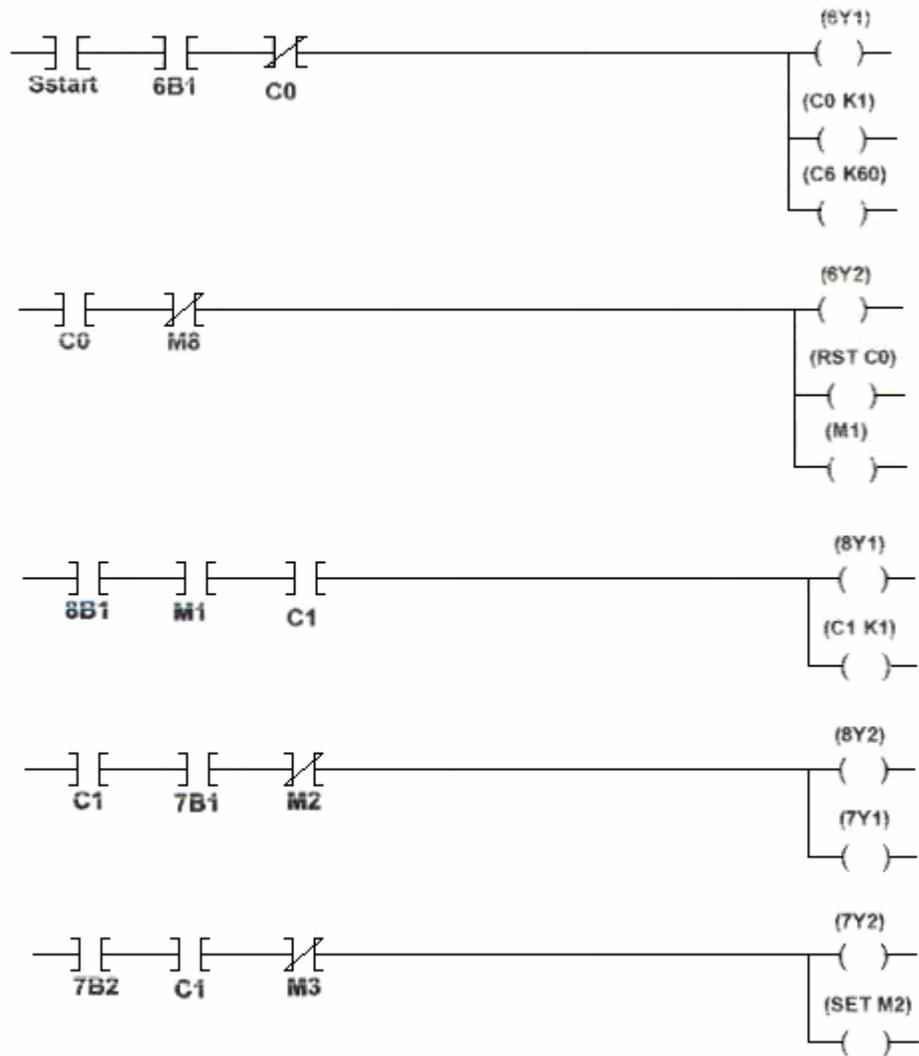
Software CAD MDSolids.

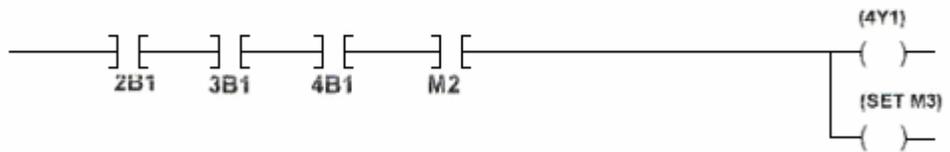
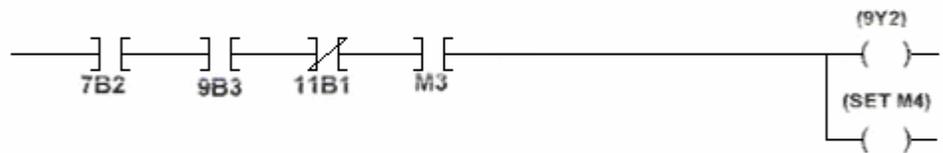
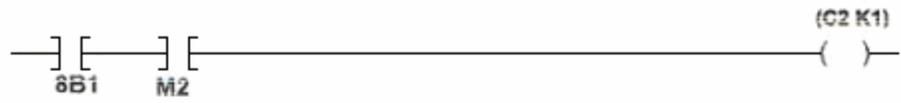
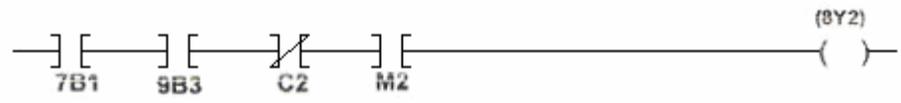
ANEXO D. PLANO NEUMÁTICO DE LA MÁQUINA

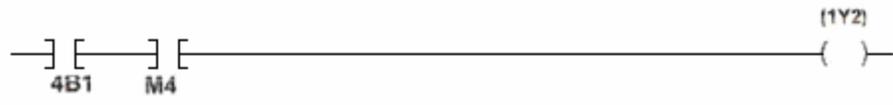
ANEXO E. PLANO ELÉCTRICO DE LA MÁQUINA

ANEXO E. PROGRAMACIÓN DE LA ECUACIÓN DE MOVIMIENTO

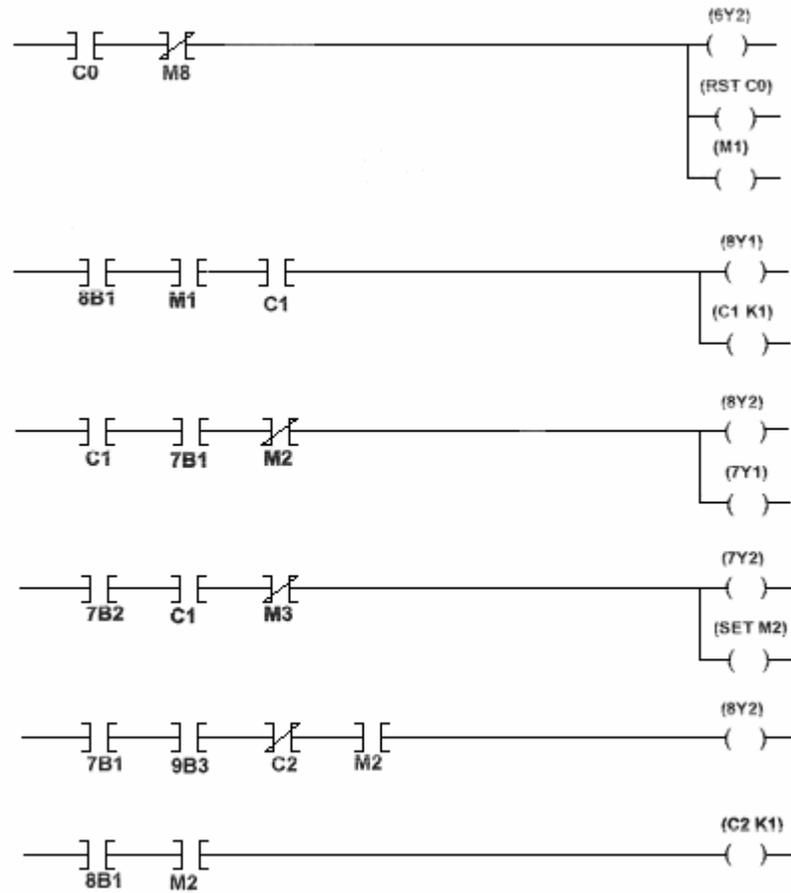
1. ECUACIÓN DE MOVIMIENTO PARA UNIDAD DE INYECCIÓN Y UNIDAD DE CIERRE

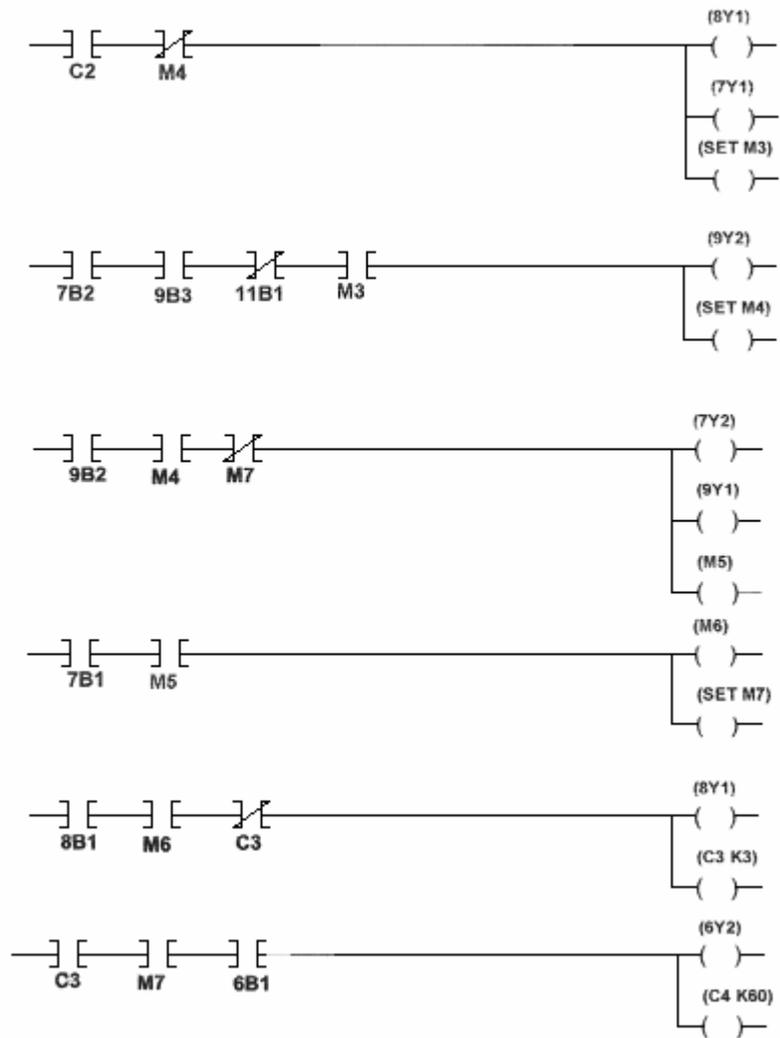


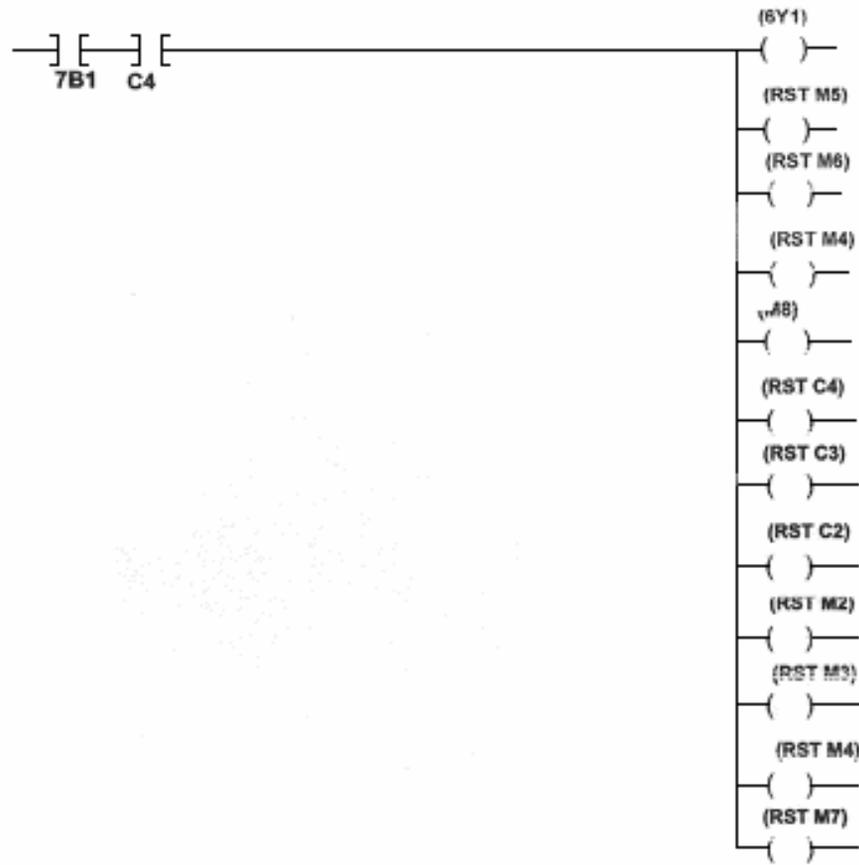




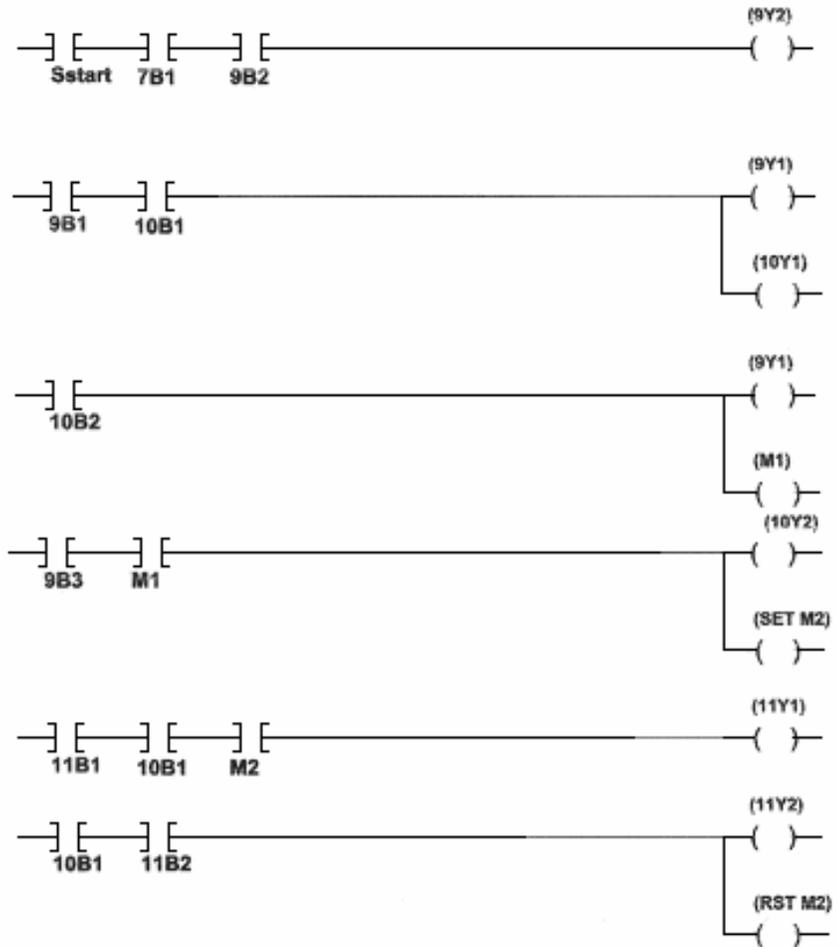
2. ECUACIÓN DE MOVIMIENTO PARA UNIDAD DE ALMACENAMIENTO, UNIDAD DE DESPLAZAMIENTO 1 Y UNIDAD DE ROTACIÓN







3. ECUACIÓN DE MOVIMIENTO PARA UNIDAD DE DESPLAZAMIENTO 2



ANEXO F. PLANOS MECÁNICOS DE LA MÁQUINA