



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN
INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LLENADO DE
AMPOLLETAS PLÁSTICAS”**

T E S I S

PARA OPTAR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

INGENIERÍA MECÁNICA – DISEÑO MECÁNICO

P R E S E N T A :

RICARDO LOZADA BASTIDA



TUTOR:
DR. VICENTE BORJA RAMIREZ

2006



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Jesús Manuel Dorador González

Secretario: Dr. Adrián Espinoza Bautista

Vocal: Dr. Vicente Borja Ramírez

1^{er}. Suplente: Dr. Marcelo López Parra

2^{do}. Suplente: Dr. Alejandro C. Ramírez Reivich

Lugar o lugares donde se realizó la tesis:

CENTRO DE DISEÑO Y MANUFACTURA, FÁCULTAD DE INGENIERÍA, UNAM.

LABORATORIO DE MECATRÓNICA. EDIFICIO BERNARDO QUINTANA. FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM.

TUTOR DE TESIS

Dr. Vicente Borja Ramírez

FIRMA

Índice

INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO 1: INFORMACIÓN PRELIMINAR.....	4
OBJETIVOS	4
ANTECEDENTES.....	5
METODOLOGÍA DEL PROCESO DE DISEÑO	10
CAPÍTULO 2: FICHA DE DEFINICIÓN DE PRODUCTO.....	13
OBJETIVO	13
INTRODUCCIÓN.....	13
DESARROLLO	13
CAPÍTULO 3: GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	18
OBJETIVO	18
INTRODUCCIÓN.....	18
DESARROLLO	18
CONCLUSIONES	23
CAPÍTULO 4: PRUEBA CON INYECTORES COMERCIALES	24
OBJETIVO	24
INTRODUCCIÓN.....	24
DESARROLLO	24
CONCLUSIONES	28
CAPÍTULO 5: BANCO DE PRUEBAS 1	29
OBJETIVO	29
INTRODUCCIÓN.....	29
DESARROLLO	29
CONCLUSIONES	38
CAPÍTULO 6: SELECCIÓN Y DESARROLLO DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.....	39
OBJETIVO	39
INTRODUCCIÓN.....	39
DESARROLLO	40
CONCLUSIONES	48
CAPÍTULO 7: FICHA DE DEFINICIÓN DE PRODUCTO REVISADA	49
OBJETIVO	49
DESARROLLO	49
CAPÍTULO 8: NUEVAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.....	54
OBJETIVO	54
INTRODUCCIÓN.....	54
DESARROLLO	54
CONCLUSIONES	60
CAPÍTULO 9: LLENADO DE AMPOLLETAS CON ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN 5 Y 6.....	61
OBJETIVO	61
MATERIAL.....	61
DESARROLLO	62
CONCLUSIONES	66

CAPÍTULO 10: FICHA DE DEFINICIÓN DE PRODUCTO REVISADA (II)	71
OBJETIVO	71
DESARROLLO	71
CAPÍTULO 11: BANCO DE PRUEBAS 2	77
OBJETIVO	77
INTRODUCCIÓN.....	77
DESARROLLO	78
CAPÍTULO 12: PROGRAMACIÓN PARA BANCO DE PRUEBAS 2	88
OBJETIVO	88
INTRODUCCIÓN.....	88
DESARROLLO	89
CONCLUSIONES	96
CAPÍTULO 13: RESÚMENES DE EXPERIMENTOS PRELIMINARES	97
EXPERIMENTO No. 1	97
EXPERIMENTO No. 2	98
EXPERIMENTO No. 3	99
CAPÍTULO 14: EXPERIMENTO 4 EN BANCO DE PRUEBAS 2	100
OBJETIVO	100
DESARROLLO	100
CONCLUSIONES	107
CAPÍTULO 15: EXPERIMENTO 5 EN BANCO DE PRUEBAS 2	108
OBJETIVO	108
DESARROLLO	108
CONCLUSIONES	115
CAPÍTULO 16: RESUMEN Y ANÁLISIS DE EXPERIMENTOS	116
OBJETIVO	116
INTRODUCCIÓN.....	116
DESARROLLO	117
CONCLUSIONES	118
CAPÍTULO 17: EXPERIMENTOS DE COMPROBACIÓN	120
OBJETIVO	120
INTRODUCCIÓN.....	120
DESARROLLO	122
CONCLUSIONES PARA EXPERIMENTO 1	128
CONCLUSIONES PARA EXPERIMENTO 2	134
CONCLUSIONES	135
ANEXO 1. ESPECIFICACIONES FINALES	139
ANEXO 2. MINUTAS DE REUNIONES	141
REFERENCIAS	144
BIBLIOGRAFÍA	144

Introducción

Una empresa dedicada a la elaboración de productos en la industria de cosméticos posee una planta de fabricación y envasado en la ciudad de Querétaro, Qro. En esta planta desde hace varios años se envasan productos para tratamiento capilar en ampollitas plásticas, las cuales han sustituido a las ampollitas tradicionales de vidrio gracias a sus características superiores y gran aceptación en el mercado.

La ampollita plástica es una variación de la ampollita de vidrio como envase para pequeñas cantidades de producto. Debido a la facilidad y costo del envase vítreo, esta empresa cosmética planteó hace varios años la necesidad de generar un envase plástico que poseyera geometría semejante, pero con materiales plásticos para disminuir la fragilidad de éste y disminuir sus costos asociados.

Diversas empresas asociadas al ramo junto con la UNAM, respondieron a esta necesidad, fabricando y poniendo en operación el nuevo tipo de envase junto con la línea de envasado asociada. A lo largo de estos años, la operación de esta línea de envasado y su producto ha resultado en un gran éxito comercial, reportando grandes beneficios para la compañía productora de cosméticos.

La línea de producción actual fue concebida para una operación con personal capacitado debido al bajo volumen de producción proyectado en ese tiempo. Sin embargo, debido a la gran demanda y aceptación de producto en este tipo de envase plástico, se incorporaron nuevos tipos de ampollitas plásticas con una mayor variedad de líquidos, incrementando el ritmo de producción y ocasionando que la línea de envasado este al borde de la saturación.

Debido a esta situación, la empresa cosmética junto con el centro de diseño y manufactura (CDM) acordaron el diseño y puesta en marcha de una línea de envasado para ampollitas plásticas de mayor capacidad, para poder satisfacer la demanda de producto actual y el aumento pronosticado por la compañía en años subsecuentes.

Ante esta perspectiva, se presenta el diseño conceptual de un sistema para llenado de ampollitas plásticas, el cual será parte de la línea de envasado que se planea construir para satisfacer la necesidad detectada de la compañía productora de cosméticos.

En este documento se presenta inicialmente una breve descripción del proceso de envasado a sustituir, así como de la línea propuesta y de la cual el sistema de llenado formará parte. Así mismo, se presentan las características básicas de los líquidos y envases a llenar con el sistema de llenado a diseñar. En seguida, se indican los objetivos que estructuran el presente documento.

Posteriormente se presenta la estructura de la metodología seguida, la cual es una derivación de la presentada por Ulrich y Eppinger [1]. El desarrollo del presente documento lo conforman una serie de 16 reportes en los cuales se planteó el problema a resolver, presentando y seleccionando alternativas de solución en forma iterativa conforme avanzó el proceso de diseño.

Finalmente, se presentan las conclusiones con base en el desarrollo del sistema de llenado, las herramientas empleadas en el proceso de diseño, así como la documentación generada para éste.

Ricardo Lozada Bastida

Capítulo 1: Información preliminar

OBJETIVOS

El presente documento ha sido redactado para presentar la documentación relacionada con el diseño del sistema de llenado para ampollas plásticas y hacer énfasis en:

- Presentar el desarrollo del diseño conceptual de un sistema para llenado de ampollas plásticas de PVC con líquidos seleccionados que satisfice los requerimientos planteados por el cliente.
- Mostrar las diferentes fases y actividades realizadas durante el diseño conceptual del sistema de llenado que se llevaron a cabo teniendo como guía una metodología formal de diseño (Ulrich & Eppinger, 2004)
- Presentar las fases, actividades y documentación del proyecto en forma de reportes secuenciados para documentar el desarrollo y evolución del diseño a lo largo del tiempo y mostrar una forma alternativa de documentación para proyectos basados en metodologías de diseño.

ANTECEDENTES

Línea de envasado

El envasado de ampollitas plásticas se lleva a cabo en la actualidad de la siguiente forma:

- Ampollitas plásticas vacías entran a la línea de envasado por medio de cajas de cartón, las cuales las agrupan en lotes de 105 ampollitas.
- Una operadora capacitada transfiere los lotes de ampollitas a un contenedor metálico especializado de acuerdo al tipo de ampollita a envasar y lo lleva al área de llenado.
- Otra operadora encargada del área de llenado recibe los lotes y se encarga llenarlos por medio de una máquina especializada la cual es de operación manual.
- Una vez realizada la operación, la operadora transfiere los lotes llenos a un área de secado, debido a que las ampollitas salen del proceso de llenado empapadas de líquido. La remoción del líquido es necesaria para el proceso de sellado posterior.
- Al transferirse las ampollitas al área de secado, una operadora lleva a cabo la operación e introduce los lotes secos a una máquina para sellar las ampollitas.
- Las ampollitas selladas son transferidas por otra operadora calificada a una máquina de verificación, la cual se encarga de mostrar cuales ampollitas han sido selladas correctamente y cuales no. Las ampollitas salen de este proceso con líquido residual si ha habido fugas de las ampollitas selladas inadecuadamente.
- Al salir de la máquina de verificación, la operadora del área de verificado descarta las ampollitas marcadas como deficientes y enjuaga el resto de las ampollitas selladas adecuadamente.
- Posteriormente, las ampollitas son introducidas a una máquina de secado por esta operadora para eliminar líquidos residuales en el exterior de la ampollita.
- Un operador calificado recibe las ampollitas de la máquina de secado. Lleva a cabo una inspección final del producto envasado y deposita los lotes de ampollitas en un espacio de espera.
- Dependiendo de la planeación de la producción, las ampollitas llenas pueden ir a un inventario o pueden ser introducidas directamente a la línea de etiquetado y empaquetado, donde máquinas especializadas y operadoras calificadas llevan a cabo estas operaciones.
- Las ampollitas etiquetadas y empaquetadas son llevadas a un área de inventario de producto terminado, esperando su distribución para el mercado nacional y/o internacional.

La figura 1.1 muestra el diagrama funcional del proceso antes descrito. Como puede observarse, la línea de envasado actual fue planteada para una operación con personal capacitado. Este tipo de operación permite que el sistema tenga una gran flexibilidad para el envase de una gran variedad de productos. Sin embargo, el aumento en producción requiere incrementar el número de máquinas y personal involucrado. Además, la línea se encuentra influenciada por la habilidad de sus operadoras, de tal forma que cuando se requiere aumentar la producción, se tiene que recurrir al mismo personal en turnos extra de trabajo, debido a que la introducción de personal nuevo implicaría una baja producción debido a su falta de experiencia en el proceso.

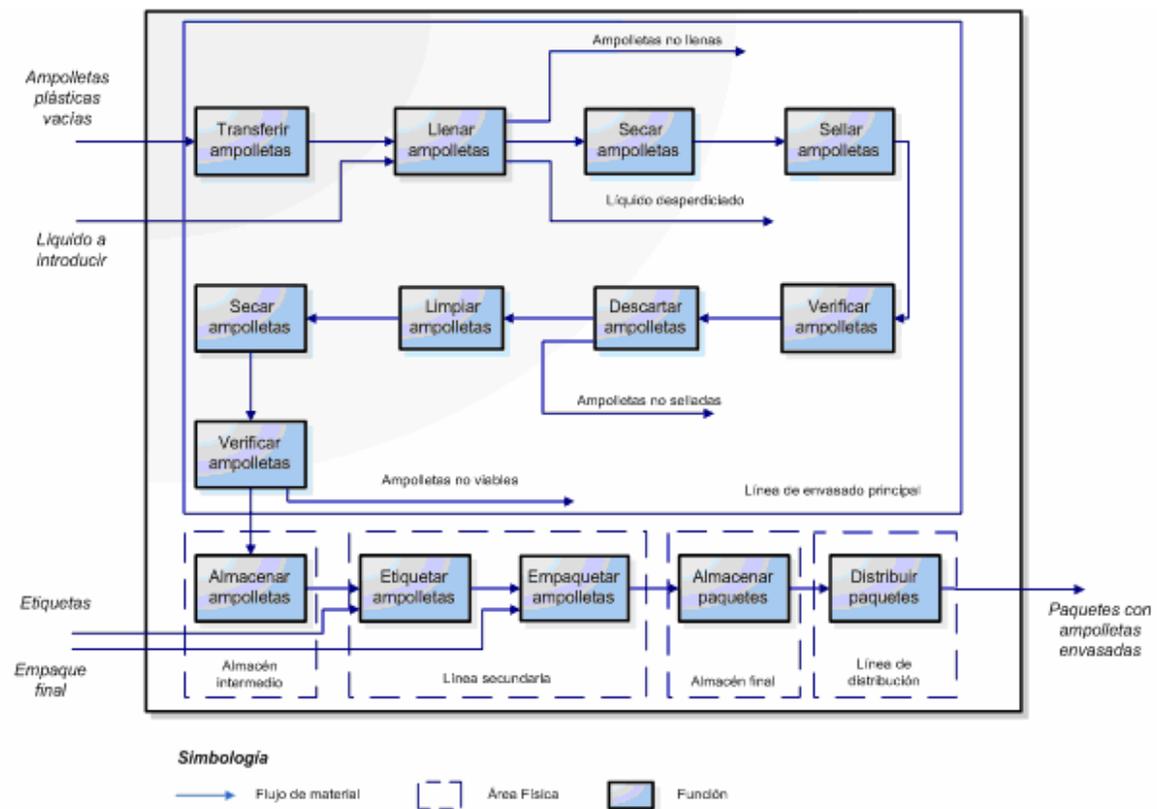


Figura 1.1 Diagrama funcional del proceso de envasado de ampollas plásticas actual

La compañía productora busca que su nueva línea posea una mayor capacidad de producción respecto a la actualmente instalada y requiera menor intervención humana, con el objeto de reducir sus costos y depender en menor medida de la capacitación y habilidades de sus operarios.

La configuración preliminar de la nueva línea a diseñar llevará a cabo las siguientes funciones básicas:

- *Recepción, manejo y posicionamiento de ampollas*
- *Llenado de ampollas con líquido seleccionado*
- *Sellado de boquilla*
- *Verificación de operaciones anteriores*
- *Etiquetado de ampollas*
- *Empaquetado de ampollas*

La figura 1.2 muestra el diagrama funcional de esta configuración preliminar. Operaciones de eliminación de residuos que se efectúan en el proceso actual tratarán de eliminarse mediante la correcta operación de los procesos principales. Sin embargo, no se pueden descartar

completamente del sistema sino hasta que se efectúen los ensayos que corroboren la viabilidad de su remoción.

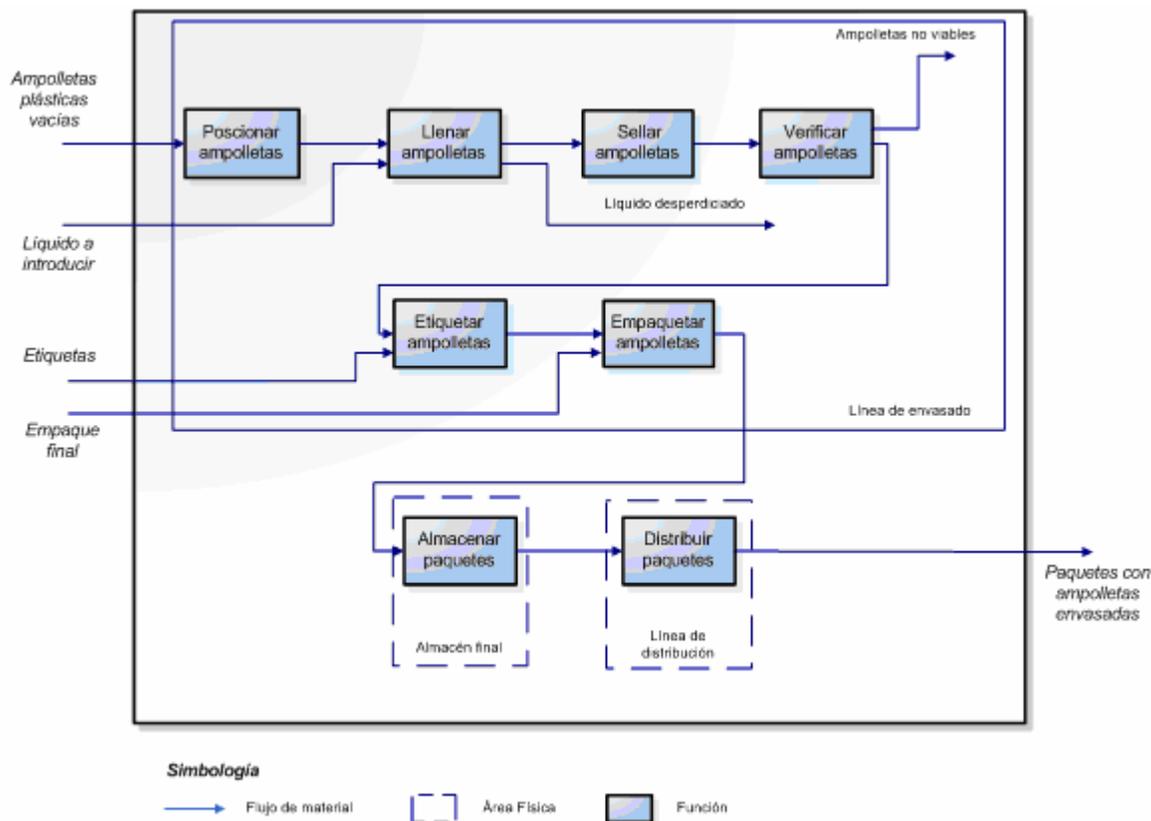


Figura 1.2. Diagrama funcional de envasado de ampollas propuesto

Ampollas y líquidos a envasar

Las ampollas plásticas a envasar se muestran en la figura 1.3. Actualmente la compañía productora posee 4 tipos de ampollas, cada una de las cuales posee diferentes características en dimensiones y/o volumen disponible. La tabla 1.1 muestra las dimensiones de éstos recipientes.

Estas ampollas poseen una geometría característica, la cual se describe en la figura 1.4. Las partes que las constituyen son:

- *Boquilla*
- *Cuello*
- *Cuerpo*

La transición entre la boquilla y el cuello de la ampolla se lleva a cabo por medio de una estricción. Esta tiene la función de ser un punto débil que permite al comprador del producto poder romper el envase y poder verter el líquido contenido con relativa facilidad.

Los líquidos que se envasan en las ampollas en la actualidad 12 líquidos diferentes. Cada uno de éstos posee diferentes características respecto a viscosidad, densidad y formulación química. La tabla 1.2 muestra una lista de los líquidos que se envasan en ampollas plásticas.

Como se puede observar, la variedad de líquidos y ampollas que el sistema deberá envasar hace que el sistema a diseñar tenga que ser flexible en su operación.



Figura 1.3. Tipos de ampolletas plásticas a envasar

Tabla 1.1. Lista de ampolletas admisibles

Ampolleta	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Largo total	87.0± 1.0	134.44± 1.0	147.40± 1.0	95.20± 0.10
Largo de punta	21.00± 0.8	21.00± 0.8	21.00± 0.8	21.00± 0.12
Diametro exterior en punta	3.75± 0.2	3.75± 0.2	3.75± 0.2	3.88± 0.12
Diametro interior en punta (pasaje de líquido)	1.9± 0.1	1.9± 0.1	1.9± 0.1	1.74± 0.12
diametro de cuerpo	19.55+0.20 - 0.15	19.55+0.20 - 0.15	19.55+0.20 - 0.15	24.71± 0.15
Volumen disponible en ampolleta	13.0	25.0	22.0	22.2
Volumen de líquido a introducir	10.0	20.0	20.0	15.0
Peso de ampolleta	ND	4.3± 0.4 g	4.5± 0.4 g	3.4± 0.2 g

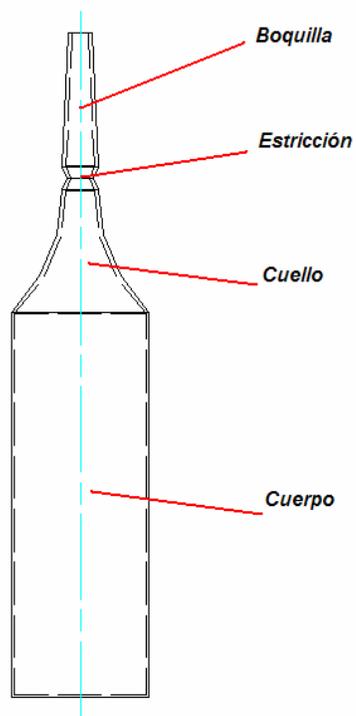


Figura 1.4. Partes constituyentes de ampollas plásticas

Tabla 1.2. Lista de líquidos admisibles

Líquidos admisibles	Nombre
Líquido 1	Fermofive
Líquido 2	07 extra
Líquido 3	Acondicionador y brillo
Líquido 4	07
Líquido 5	2 fases
Líquido 6	Volumen
Líquido 7	Special
Líquido 8	07 Export
Líquido 9	619
Líquido 10	619 Extra
Líquido 11	ColorFix
Líquido 12	Porosity

METODOLOGÍA DEL PROCESO DE DISEÑO

El proceso de diseño conceptual del sistema para llenado de ampollas plásticas se inició en el mes de noviembre de 2004 al definir inicialmente el problema a resolver y finalizó en el mes de marzo de 2006 con las conclusiones obtenidas de las pruebas experimentales que se llevaron a cabo con la alternativa de solución conceptual que se determinó como viable. A lo largo de este tiempo se siguió la metodología de Ulrich y Eppinger [1] para el diseño conceptual de productos.

Durante este proceso de diseño conceptual se definieron múltiples alternativas de solución a lo largo del tiempo del proyecto, las cuales se analizaron y descartaron conforme avanzaba el desarrollo de éstas. Así mismo, el problema inicial, restricciones, requerimientos y especificaciones del sistema a diseñar evolucionaron y se modificaron conforme las características del problema planteado se refinaban con el trabajo e investigación realizados. Así, fue necesario llevar a cabo varias veces el proceso de diseño conceptual hasta obtener una alternativa viable con el problema completamente estructurado.

El proceso de diseño conceptual para el diseño de un sistema de llenado de ampollas plásticas estuvo compuesto por las siguientes etapas básicas:

1. *Definición del problema*
2. *Identificación de necesidades*
3. *Definición de especificaciones*
4. *Generación de alternativas de solución*
5. *Prototipos y pruebas para alternativas de solución*
6. *Selección de alternativas de solución*
7. *Conclusiones*

Este ciclo básico de 7 puntos se iteró en 4 ocasiones, debido a cambios en el planteamiento del problema, requerimientos, especificaciones y alternativas de solución que requerían mayor trabajo de investigación y desarrollo. El resultado final de este proceso de diseño fue un prototipo de un sistema para llenar ampollas plásticas, el cual fue objeto de múltiples pruebas para conocer su funcionamiento y relación entre los parámetros susceptibles de variación. En la figura 1.5 se muestra el banco de pruebas del prototipo diseñado.

A partir de las conclusiones obtenidas con el estudio del prototipo antes mencionado, así como del proceso de diseño realizado, será posible obtener un diseño refinado que permita solucionar el sistema para llenado de ampollas plásticas en forma definitiva.

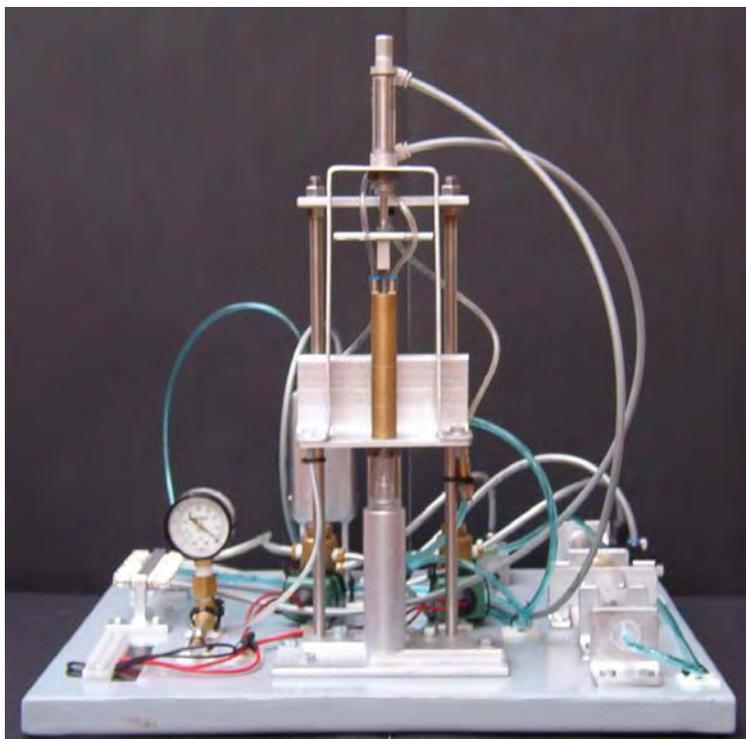


Figura 1.5. Banco de pruebas de alternativa de solución seleccionada como viable (prototipo)

Documentación de la metodología empleada

Para documentar el proceso de diseño antes mencionado, a lo largo de éste se elaboraron reportes de avance, cada uno de los cuales presentaba los avances realizados para las etapas básicas antes mencionadas.

En total se generaron 41 reportes de avance, así como modelos CAD relacionados, prototipos y minutas de juntas de trabajo, cada una de las cuales permitieron documentar completamente el proceso de diseño para el sistema de llenado planteado.

Debido a la extensión de la documentación generada para documentar el proceso de diseño del sistema antes planteado se presentan resúmenes condensados de los reportes antes mencionados para describir el proceso de diseño del sistema de ampollas plásticas. Éstos constituyen los capítulos del presente documento. Las iteraciones y etapas donde se insertan estos resúmenes se ilustran en la tabla 1.3.

Tabla 1.3. Etapas y documentos relacionados

Ciclo	Etapas	Documentos por etapa
1	Definición de problema	Capítulo 2: Ficha de definición de producto
1	Identificación de necesidades	Capítulo 2: Ficha de definición de producto
1	Definición de especificaciones	Capítulo 2: Ficha de definición de producto
1	Generación de alternativas solución	Capítulo 3: Alternativas de solución
1	Prototipos y pruebas para alternativas de solución	Capítulo 4: Prueba con inyectores comerciales
		Capítulo 5: Banco de pruebas 1
1	Selección de alternativas	Capítulo 6: Selección de alternativa de solución
		MIN TA-140605 (anexo 2)
1	Conclusiones	Capítulo 6: Selección de alternativa de solución
		MIN TA-140605 (anexo 2)
2	Definición de problema	Capítulo 7: Ficha de definición de producto revisada
2	Identificación de necesidades	Capítulo 7: Ficha de definición de producto revisada
2	Definición de especificaciones	Capítulo 7: Ficha de definición de producto revisada
2	Generación de alternativas solución	Capítulo 8: Nuevas alternativas de solución
2	Prototipos y pruebas para alternativas de solución	Capítulo 9: Llenado de ampollas con alternativas de solución 5 y 6
2	Selección de alternativas	Capítulo 9: Llenado de ampollas con alternativas de solución 5 y 6
		MIN TA-121005 (anexo 2)
2	Conclusiones	Capítulo 9: Llenado de ampollas con alternativas de solución 5 y 6
3	Definición de problema	Capítulo 10: Ficha de definición de producto revisada (II)
3	Identificación de necesidades	Capítulo 10: Ficha de definición de producto revisada (II)
3	Definición de especificaciones	Capítulo 10: Ficha de definición de producto revisada (II)
3	Generación de alternativas solución	-
3	Prototipos y pruebas para alternativas de solución	Capítulo 11: Banco de pruebas 2
		Capítulo 12: Programación de banco de pruebas 2
		Capítulo 13: Resúmenes de experimentos preliminares
		Capítulo 14: Experimento 4 en banco de pruebas 2
		Capítulo 15: Experimento 5 en banco de pruebas 2
		Capítulo 16: Resumen y análisis de experimentos
		Capítulo 17: Experimentos de comprobación
3	Selección de alternativas	-
3	Conclusiones	-

Capítulo 2: Ficha de definición de producto

OBJETIVO

- Determinar las características básicas del sistema a desarrollar mediante empleando el modelo de caja negra y la ficha de definición de producto.

INTRODUCCIÓN

La generación de un planteamiento general tiene como objetivo poder acotar y clarificar el problema a resolver y así, poder proporcionar una guía para el desarrollo del sistema. El planteamiento general se puede realizar por medio del modelo caja negra y la ficha de definición.

DESARROLLO

Modelo de caja negra

El modelo de caja negra tiene como objetivo identificar las entradas y salidas del sistema para tomarlas en cuenta en su diseño. Tiene 2 partes: un diagrama que identifica dichas entradas y salidas (figura 2.1) y la definición del modelo, la cual expresa con palabras la interacción de las entradas con las salidas.



Figura 2.1 Modelo de caja negra

Definición del problema

Dispositivo que permite llenar ampollitas de plástico con una determinada cantidad de líquido previamente determinada.

Ficha de definición del producto

La ficha de definición del producto muestra los objetivos principales que el producto a desarrollar tiene que cumplir, el mercado al cual está enfocado y características o restricciones esenciales que debe de cumplir en todo momento.

Para nuestro caso de estudio, la tabla 2.1 muestra la ficha de definición para el módulo de llenado de ampollitas a desarrollar.

Tabla 2.1 Ficha de definición de módulo de llenado

<i>Definición</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Máquina que permita llenar ampollitas de plástico con una determinada cantidad de líquido.
<i>Objetivos Principales</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar una máquina que llene 210 ampollitas por minuto. • La máquina o dispositivo debe de ser automático. • Diseñar, fabricar y poner en marcha el equipo ajustándose al presupuesto que se determine. • Llevar a cabo el diseño, y desarrollo en marcha del equipo siguiendo una metodología formal de diseño.
<i>Mercado primario</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Empresa de cosméticos con ampollitas plásticas.
<i>Mercado secundario</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Procesos de llenado en otras líneas de productos dentro de la compañía. ▪ Otros procesos de llenado en productos similares en empresas diversas.
<i>Características básicas del sistema</i>	<ul style="list-style-type: none"> • El sistema debe llenar 210 ampollitas por minuto. • La máquina debe acoplarse fácilmente con los otros módulos que conforman el sistema global. • La máquina debe poderse instalar dentro del área que utiliza el proceso previo. • El proceso de llenado no debe alterar las propiedades del líquido a ser contenido. • El proceso de llenado no debe afectar la capacidad de contención de la ampollita. • La máquina debe ser capaz de llenar ampollitas con todos los líquidos empleados actualmente. • El proceso de llenado debe cumplir con la normatividad aplicable (de la empresa o nacional). • La máquina realiza un proceso de limpiado antes de entregar su producto.
<i>Principales competidores</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso de llenado utilizado en el sistema de envasado actual.
<i>Riesgos del Proyecto</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Presupuesto disponible para el diseño, construcción y puesta en marcha del módulo de llenado para el nuevo sistema. • Problemas laborales que se originen por el cambio y/o reemplazo del personal por la puesta en marcha del nuevo sistema y sus módulos.
<i>Alcance del proyecto</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño conceptual de una máquina o dispositivo que permita llenar ampollitas de plástico con diferentes líquidos.

Detección de necesidades

Después de realizar una visita a la empresa productora de cosméticos y observar el proceso actual de envasado de ampollas, así como obtener información por parte del personal involucrado, se detectaron una serie de necesidades que el nuevo equipo de llenado deberá de satisfacer.

Respecto al módulo de llenado, la tabla 2.3 muestra las necesidades encontradas y su interpretación.

Definición de especificaciones

Una vez que se detectan y se interpretan las necesidades que debe de satisfacer el equipo a diseñar es necesario generar especificaciones, las cuales son métricas basadas en las necesidades expresadas y permiten desarrollar, analizar y evaluar las diferentes soluciones para el problema planteado cuantitativa y/o cualitativamente.

La tabla 2.4 muestra las especificaciones generadas hasta el momento para el módulo de llenado a ser diseñado, de acuerdo a las necesidades detectadas y acordadas por parte del cliente. Éstas se encuentran clasificadas de acuerdo a las categorías de requerimientos y especificaciones de Pahl y Beitz [2], los cuales establecen que todos los posibles requerimientos en un producto se pueden englobar en 17 categorías básicas, las cuales se ilustran en la tabla 2.2.

Tabla 2.2. Categorías de requerimientos y especificaciones según Pahl y Beitz (1996)

<p><i>Geometría</i></p> <p><i>Cinemática</i></p> <p><i>Fuerzas</i></p> <p><i>Energía</i></p> <p><i>Material</i></p> <p><i>Señales</i></p> <p><i>Seguridad</i></p> <p><i>Ergonomía</i></p>	<p><i>Producción</i></p> <p><i>Control de calidad</i></p> <p><i>Ensamble</i></p> <p><i>Transporte</i></p> <p><i>Operación</i></p> <p><i>Mantenimiento</i></p> <p><i>Reciclaje</i></p> <p><i>Costos</i></p> <p><i>Planeación</i></p>
---	---

Tabla 2.3. Necesidades detectadas

No.	Enunciado del Cliente	Necesidad Interpretada
1	El sistema cumplirá con las normas aplicables a la empresa cosmética.	El sistema cumple con la normatividad aplicable.
2	El sistema se implementará dentro de la misma zona donde se encuentra la línea actual.	El módulo de llenado opera dentro del área de proceso actual.
3	El sistema actual produce cansancio en las operadoras después de varias operaciones.	El dispositivo es de operación automática.
4	El sistema actual es algo ruidoso.	El sistema cumple con la normatividad aplicable.
5	El módulo no debe necesitar a empleado todo el tiempo.	El sistema es de operación automática.
6	El tiempo de ciclo de llenado actual es de 90 s. Antes era de 40 s.	El dispositivo puede llenar 210 ampollitas por minuto.
7	Necesitamos llenar 4 tipos diferentes de ampollitas	El dispositivo llena 4 tipos de ampollitas (originales).
8	Utilizamos 8 líquidos diferentes en las ampollitas.	El dispositivo llena ampollitas con los líquidos especificados.
9	La ampollita no debe de tener fluctuaciones de llenado.	El dispositivo llena ampollitas con la cantidad especificada.
10	El sistema actual no desperdicia mucho líquido.	El sistema desperdicia poco líquido.
11	El sistema de llenado debe de ser superior al actual.	El dispositivo entrega ampollitas con poco líquido en el exterior.
12	El módulo debe de integrarse con los otros módulos de la nueva línea.	El sistema se integra con el resto de los módulos del sistema de envasado.
13	El sistema actual de llenado forma espuma y empapa el cuerpo de las ampollitas, teniendo que secarlas después.	El dispositivo entrega ampollitas con poco líquido en el exterior.
14	Se necesita tener una producción de 250 unidades por minuto con una eficiencia del 90% (210 ampollitas por minuto).	El dispositivo puede llenar 210 ampollitas por minuto.
15	El sistema deberá tener poco mantenimiento.	El sistema requiere mantenimiento reducido.
16	La máquina actual tarde mucho en realizar su llenado.	El dispositivo puede llenar 210 ampollitas por minuto.
17	El módulo debe de realizar la operación de sopleteado.	El dispositivo entrega ampollitas con poco líquido en el exterior.
18	El módulo debe de ser fácil de limpiar.	El sistema requiere mantenimiento reducido.
19	No hay restricción en presupuesto por el momento. El diseño es libre.	Se requiere presupuesto de costo de módulo de llenado.

Tabla 2.4. Definición de especificaciones

	Especificación	Valor nom.	Tol.	Unidades	Tipo	Descripción	Observaciones	Fuente
A	Producción por minuto	210	-	Ampollitas por minuto	Material	Capacidad de producción del sistema a diseñar	Obtenida	Compañía productora de cosméticos
B	Líquidos admisibles	12	-	Líquido	Material	Lista de líquidos admitidos	Ver tabla de referencia	Compañía productora de cosméticos
C	Viscosidad de líquidos admisibles	Por definir	Por definir	Centipoises	Material	Viscosidad admitida en líquidos	Por obtener	Compañía productora de cosméticos
D	Densidad de líquidos admisibles	Por definir	Por definir	kg/m ³	Material	Densidad admitida en líquidos	Por obtener	Compañía productora de cosméticos
E	Sustancia base de líquidos admisibles	Por definir	Por definir	Nombre	Material	Sustancia base de líquidos admitidos	Por obtener	Compañía productora de cosméticos
F	Ampollitas admisibles	Tipo 1,2,3 y 4	-	Tipo de ampollita	Material	Ampollitas que pueden ser llenadas en el módulo de llenado	Ver tabla de referencia	Compañía productora de cosméticos
G	Material de ampollitas admisibles	Por definir	Por definir	Por definir	Material	Material constituyente de las ampollitas	Por obtener	Compañía productora de cosméticos
H	Nivel de ruido	Por definir	Por definir	dB	Seguridad	Norma que debe respetar el diseño del módulo para operar en la república mexicana.	Por obtener	Compañía productora de cosméticos
I	Costo del módulo	Por definir	Por definir	pesos	Costos	Costo total del diseño y construcción del módulo	Por obtener	CDM
J	Tipo de operación	automático	-	Operación	Ergonomía	El módulo de llenado no debe requerir la asistencia de personal en su ciclo de trabajo.	Por obtener	CDM y compañía productora de cosméticos
K	Volumen de líquido a verter	0- 20	Por definir	Mililitros	Material	Cantidad de líquido a verter por tipo de ampollita	Ver tabla de referencia	Compañía productora de cosméticos
L	Tiempo de cambio entre líquidos	Por definir	Por definir	s	Mantenimiento	Tiempo que se transcurre entre cambio de un líquido a otro	Por obtener	CDM
M	Tiempo de cambio entre ampollitas	Por definir	Por definir	s	Mantenimiento	Tiempo que transcurre entre cambio de una ampollita a otra	Por obtener	CDM
N	Ancho máximo	Por definir	Por definir	mm	Geometría	Ancho máximo encontrado en los componentes del sistema	Por obtener	CDM y compañía productora de cosméticos
O	Largo máximo	Por definir	Por definir	mm	Geometría	Largo total esperado del sistema de llenado (por dispositivo)	Por obtener	CDM y compañía productora de cosméticos
P	Altura máxima	Por definir	Por definir	mm	Geometría	Altura máxima en componente del sistema	Por obtener	CDM y compañía productora de cosméticos
Q	Operatividad con módulos restantes	Pasa	-	Operatividad	Operación	Capacidad de acoplarse con módulos restantes del sistema de envasado	Obtenida	CDM
R	Cumplimiento con norma	Pasa	-	Norma	Control de calidad	Cumplimiento con normatividad aplicable	Obtenida	Compañía productora de cosméticos
S	Cantidad de líquido en exterior de ampollitas	Poco	Por definir	Líquido	Material	Residuos en el exterior de la ampollita	Por obtener	CDM y compañía productora de cosméticos
T	Revisión y mantenimiento de componentes	Por definir	Por definir	Meses	Mantenimiento	Mantenimiento programado para componentes del sistema a diseñar	Por obtener	CDM y compañía productora de cosméticos

Capítulo 3: Generación de alternativas de solución

OBJETIVO

- Establecer las alternativas de solución básicas para resolver el problema del llenado de ampollas plásticas, empleando diagramas funcionales y bocetos de conceptos de solución.

INTRODUCCIÓN

Existen varias técnicas para poder generar conceptos de solución para resolver un problema dado. En este caso se emplearán diagramas funcionales para obtener funciones sencillas y proponer soluciones a éstas, resolviendo el sistema planteado a través de las soluciones parciales. Así mismo, se emplearán bocetos de conceptos de solución con base en las alternativas funcionales planteadas para poder generar alternativas completas y verificar si las soluciones propuestas por la vía funcional son compatibles entre sí, generando alternativas de solución conceptuales.

DESARROLLO

Análisis Funcional

La generación de una máquina, proceso o mecanismo es un problema muy amplio, el cual puede ser descompuesto en varios “*sub problemas*”. Éstos presentan una complejidad menor al problema original, por lo que al solucionar exitosamente cada uno de éstos e integrándolos adecuadamente, se llega a la solución de la problemática original.

Bajo esta perspectiva, es necesario descomponer la función principal del sistema en una serie de funciones secundarias. Esta descomposición se puede llevar a cabo de varias maneras, una de las cuales es a través generación de diagramas funcionales. En la figura 3.1, 3.2 y 3.3 se muestran los diagramas funcionales principal y derivados.

Se determinó que se construirían soluciones con base en las funciones planteadas en el diagrama principal (figura 3.1). Se explorará más adelante la susceptibilidad de poder unir funciones. Por el momento, se considera que es importante proponer solución a cada una de las funciones básicas planteadas para tener simplicidad y claridad en las funciones a proponer.

Alternativas de solución

La tabla 3.1 muestra las alternativas de solución para resolver el sistema de llenado. Se hace una recopilación de las soluciones más prometedoras por función para conformar una alternativa de solución completa.

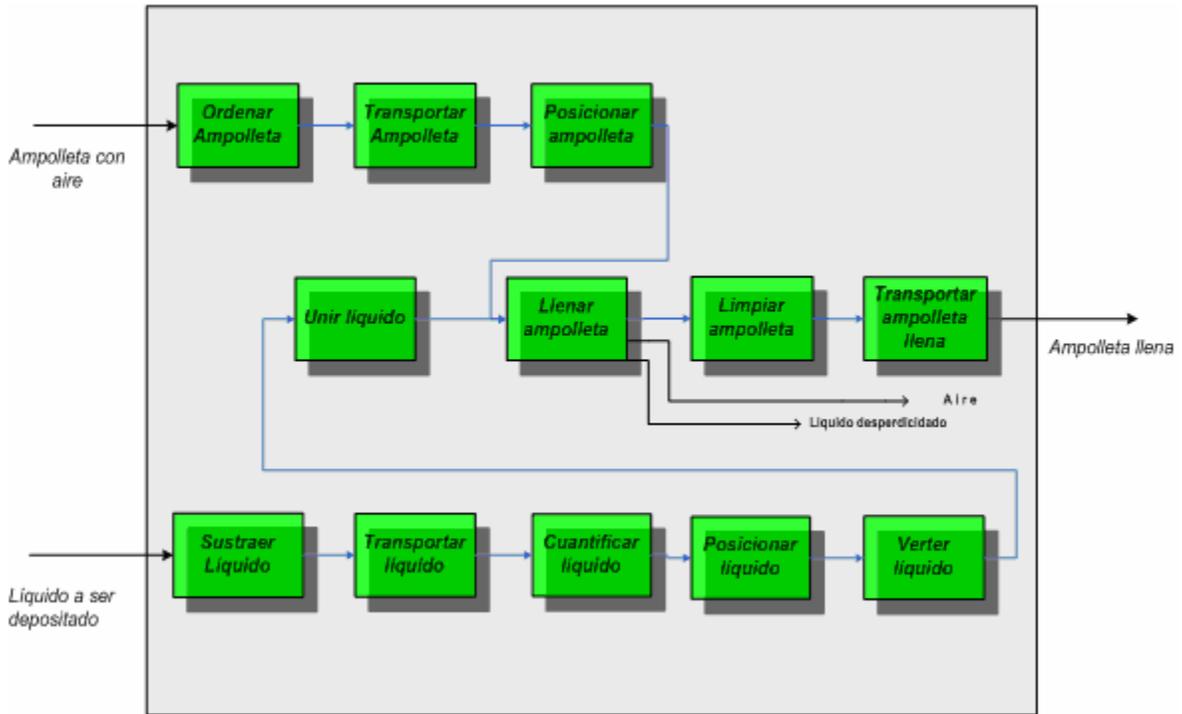


Figura 3.1. Diagrama funcional inicial

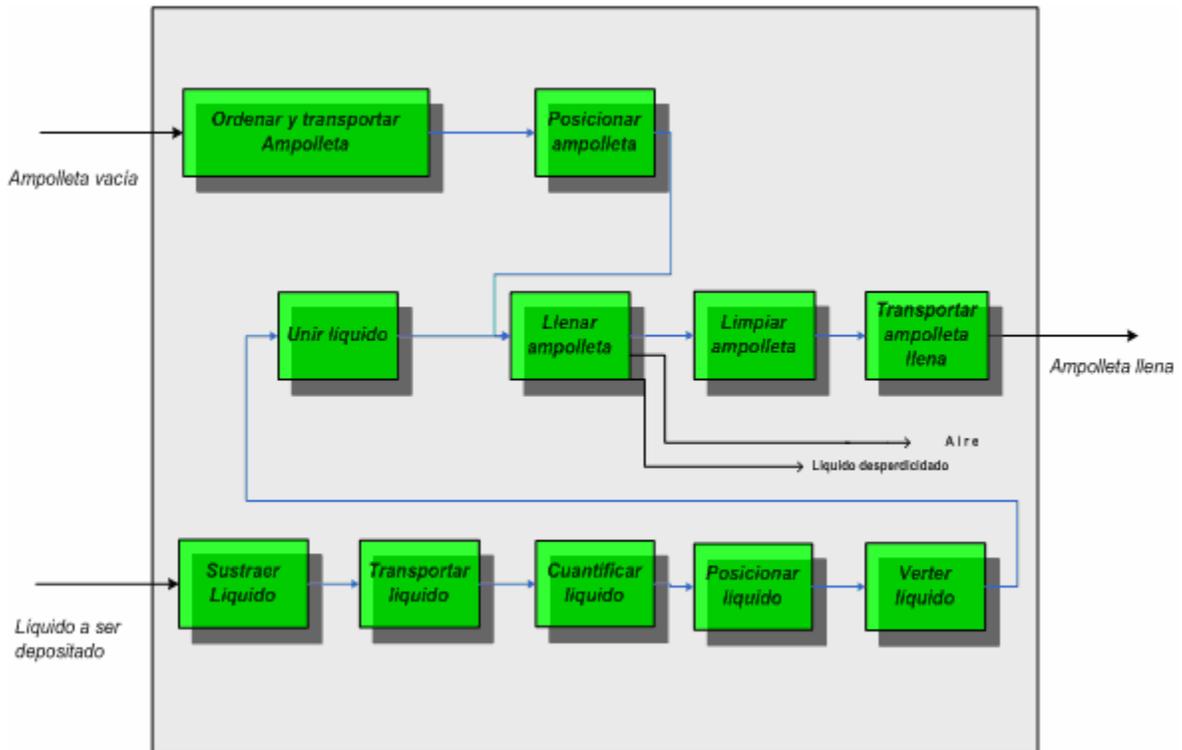


Figura 3.2. Primer diagrama funcional derivado

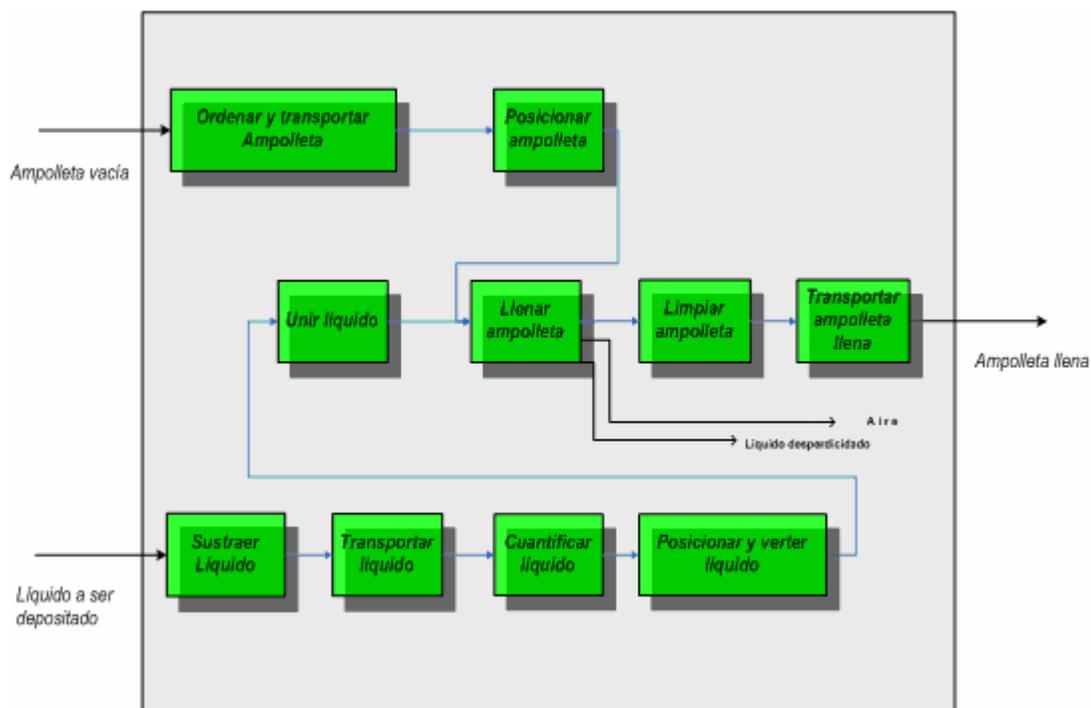


Figura 3.3. Segundo diagrama funcional derivado

Tabla 3.1. Alternativas de solución

	Solución 1	solución 2	Solución 3	Solución 4
ordenar ampolleta	Reja	Reja	Reja	Reja
Transportar ampolleta	Banda	Banda	Banda	Manualmente
Posicionar ampolleta	Transportador lineal	Transportador lineal	Transportador lineal	guías
sustraer líquido	Bomba	bomba	bomba	bomba
Transportar líquido	Mangueras	Mangueras	Mangueras	Mangueras
Cuantificar líquido	Gasto volumétrico	Depósito previo	Vacío	Deposito previo
Posicionar líquido	actuador lineal	actuador lineal	actuador lineal	actuador lineal
Verter líquido	varios cabezales	varios cabezales	varios cabezales	Recipiente para varias unidades
unir líquido	Aguja	Empaque	Empaque	Empaque
Llenar ampolleta	Inyección con Aguja	Vacío en tapa	Vacío en tapa	Cama de líquido y cámara de vacío
Limpiar ampolleta	Aire frío	Aire frío	Aire frío	Aire frío
Transportar ampolleta llena	Banda	Banda	Banda	Manualmente

La alternativa de solución 4 es la que emplea la empresa productora de cosméticos actualmente en su proceso de llenado de ampolletas plásticas.

En la figura 3.4, 3.5, 3.6 y 3.7 se muestran los bocetos con las alternativas de solución planteadas en la tabla 3.1. Estos bocetos permiten integrar en una forma inicial las alternativas expresadas analíticamente provenientes de la descomposición funcional.

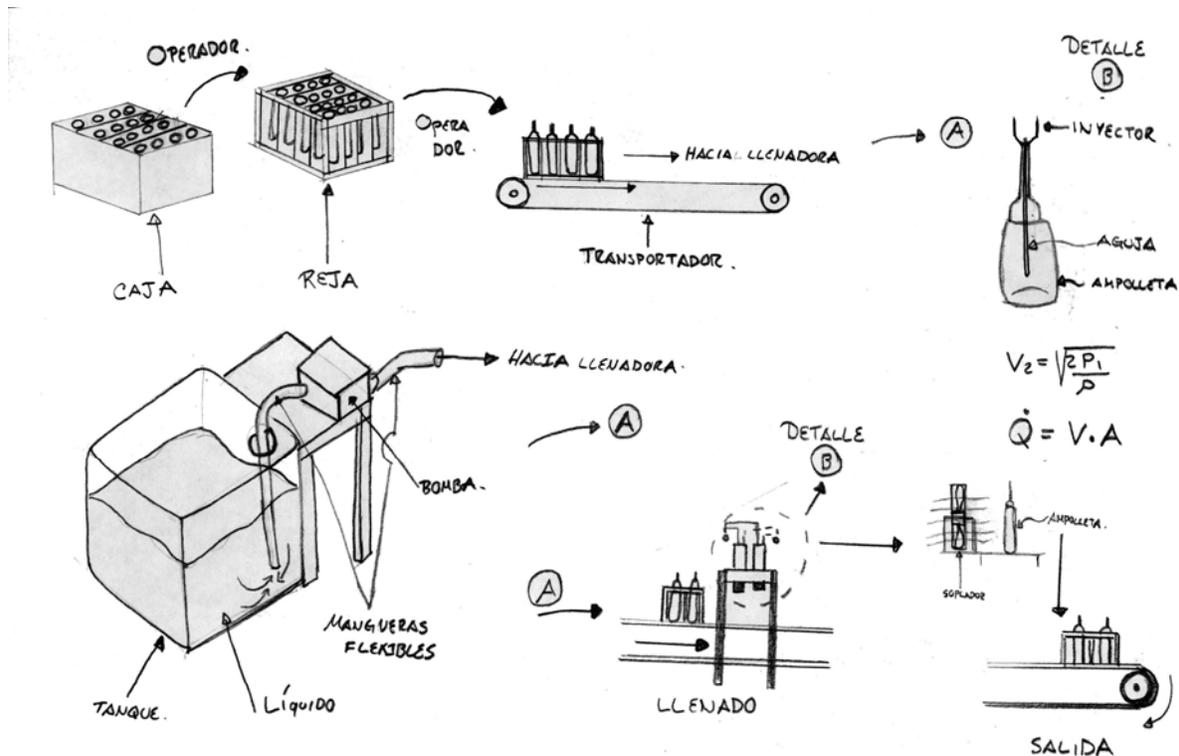


Figura 3.4. Arreglo general de componentes para solución 1

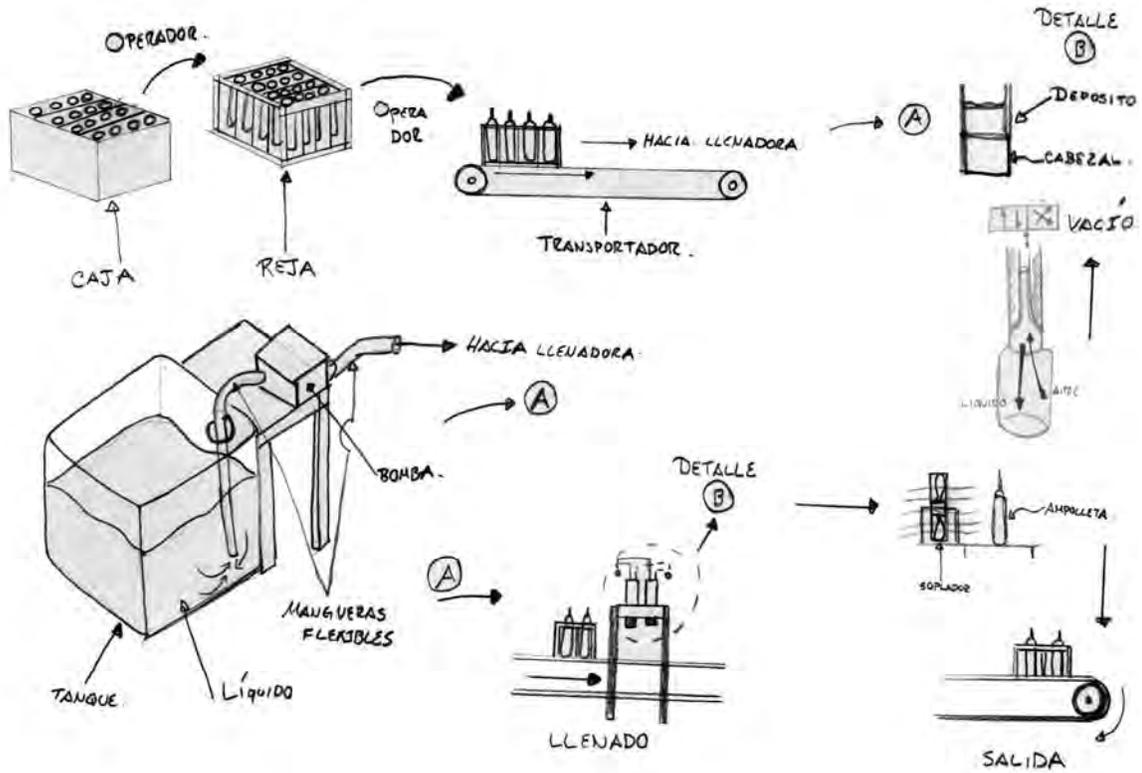


Figura 3.5. Arreglo general de componentes para solución 2

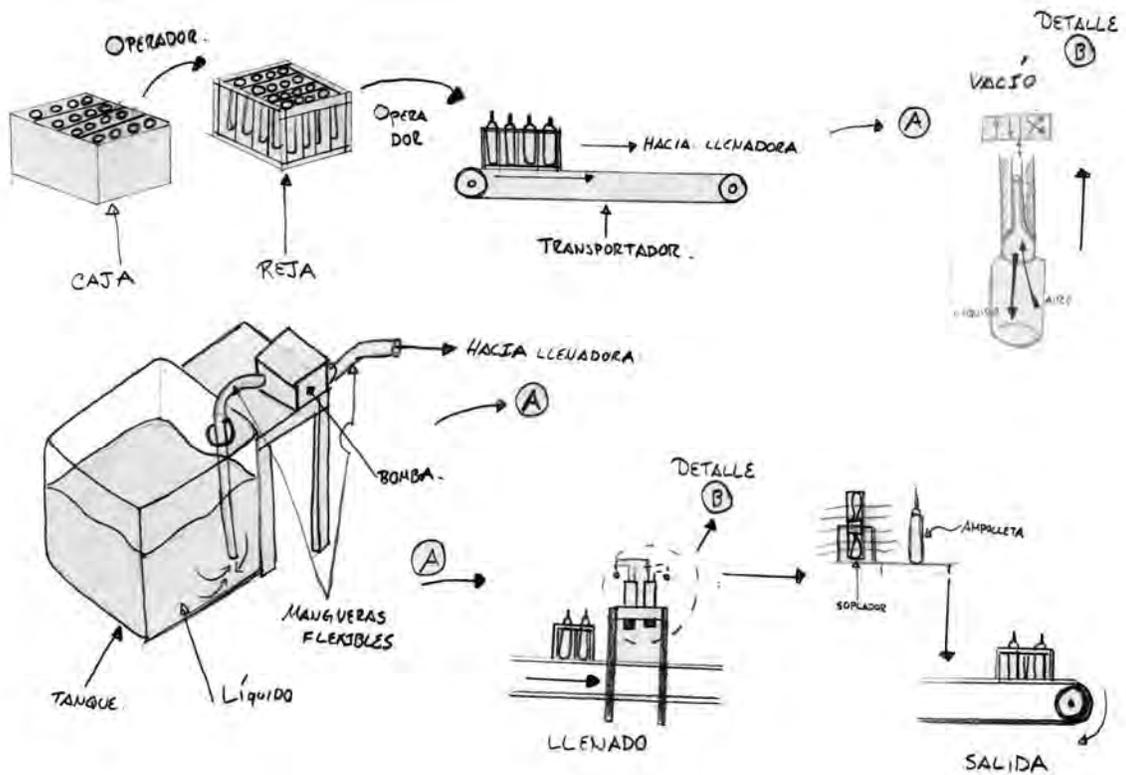


Figura 3.6. Arreglo general de componentes para solución 3

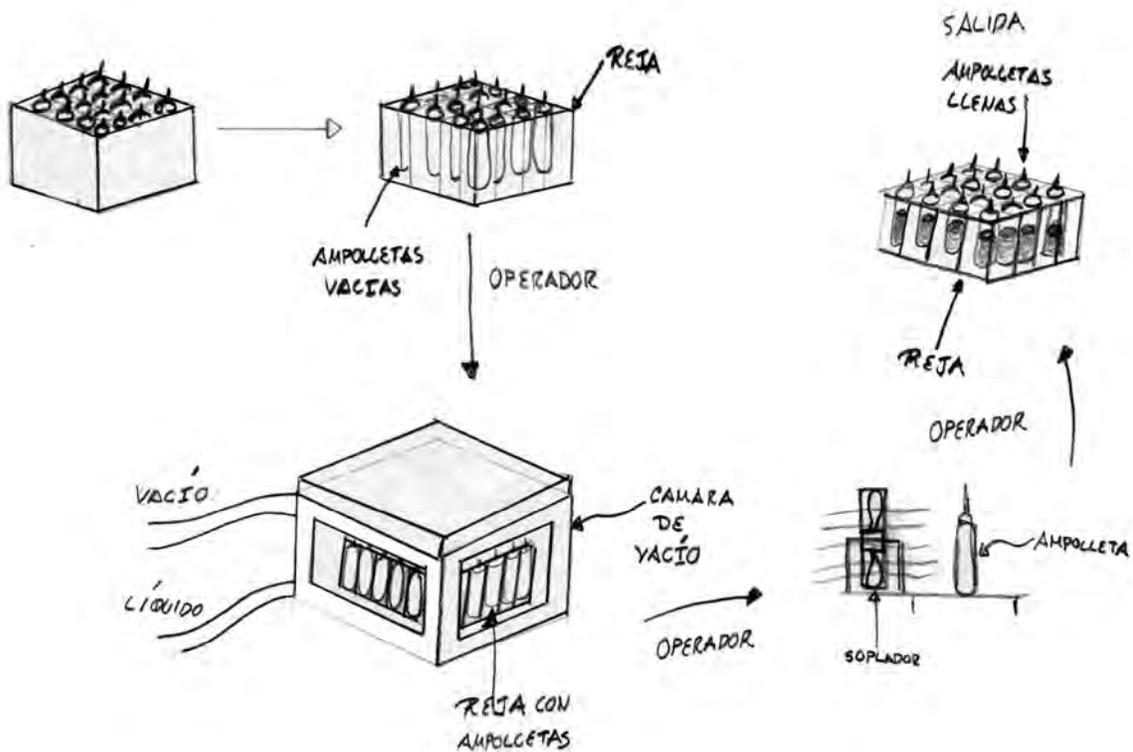


Figura 3.7. Arreglo general de componentes para solución 4

CONCLUSIONES

- Observando las alternativas de solución a partir del diagrama de funciones y los bocetos de solución, se ha determinado que las funciones principales del sistema y de las que se tiene más incertidumbre en su posible funcionamiento son unir líquido y llenar ampollita.
- Será necesario evaluar estas funciones para determinar su viabilidad en las diferentes alternativas de solución, ya que las soluciones propuestas difieren básicamente en las funciones unir líquido y llenar ampollita.

Capítulo 4: Prueba con inyectores comerciales

OBJETIVO

- Verificar el principio de operación “inyección con aguja” para la función “llenar ampollas”.
- Buscar equipo de inyección de líquidos industrial, con el objeto de obtener información relevante para el principio de operación antes mencionado.
- Obtener costo del equipo de inyección especializado, así como la configuración pertinente para el llenado de ampollas plásticas.

INTRODUCCIÓN

Se han planteado dos principios de solución básicos para la función “llenar ampollas” la cual es la función básica para el llenado de ampollas plásticas. Estos principios son:

- Uso de un inyector para introducir líquido a la ampolla (alternativa de solución 1)
- Uso del vacío para verter líquido (variaciones en alternativas de solución 2, 3 y 4)

DESARROLLO

Búsqueda de equipo

Existen varias compañías a nivel mundial que fabrican equipo para inyección de líquidos de diversas características. Algunas compañías son: EFD, Fisnar e Intellisense Inc.

Se obtuvo información de los productos que manejan dichas compañías. Después de llevar a cabo un análisis del equipo disponible se contactó a éstas por medios electrónicos para obtener información detallada del equipo, así como su precio y disponibilidad. Fue posible llevar a cabo pruebas con equipo EFD y con las ampollas plásticas para determinar su funcionamiento.

Prueba de equipo

Fue posible llevar a cabo una prueba de llenado con equipo EFD seleccionado para la aplicación. Los componentes básicos del equipo de llenado por inyección se ilustran en la figura 4.1.

Se seleccionó una válvula 725 HF-SS con un controlador valvemat 7000. Se utilizó un tanque con capacidad de 7 litros. El líquido que se empleó para llenar fue alcohol.

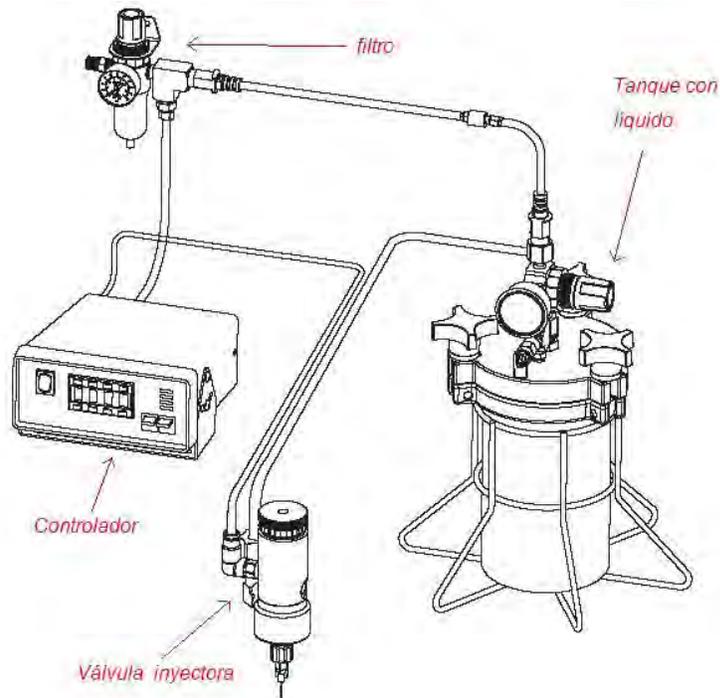


Figura 4.1. Configuración de equipo de inyección comercial

Resultados

Se llenaron varias ampolletas No. 4 (capacidad de 15 ml) Se probaron varios tipos de agujas y conectores de para la válvula inyectora.

Después de llevar a cabo los experimentos, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Las puntas de acero inoxidable permiten una inyección adecuada. Sin embargo, es necesario encontrar el calibre óptimo para las ampolletas. Si se utiliza un calibre que no deja mucho espacio para la salida de aire (entrada justa) se genera un aumento de presión en la ampolleta, lo que impide el llenado adecuado. El aumento de presión trae consigo salida de líquido atomizado (spray). El fenómeno se ilustra en la figura 4.2.



Figura 4.2. Funcionamiento con puntas de acero inoxidable

- Se probaron varias longitudes de puntas de acero inoxidable. Las agujas cortas pueden inyectar líquido a pesar de no rebasar la estricción. Esto se debe a que el chorro generado es muy fino y logra pasarla adecuadamente. Las agujas largas permiten asegurar la entrada del chorro de líquido al cuerpo de la ampolla. Sin embargo, es necesario pasar la estricción, lo cual representa una dificultad extra (ver figura 4.3).

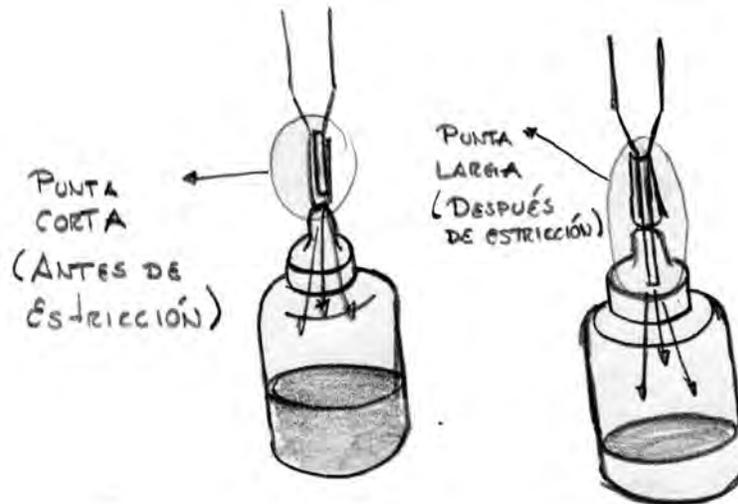


Figura 4.3. Funcionamiento con puntas cortas de acero inoxidable

- Las puntas flexibles no son adecuadas para el trabajo requerido (ver figura 4.4). La flexibilidad de la punta permite una entrada sencilla a la ampolla, debido a que se adapta a variaciones geométricas de éstas. Sin embargo, la punta carece de rigidez y se curva con facilidad. Si no se lleva a cabo una inserción adecuada, la punta se mueve y no entra a la ampolla. Además, existen puntas que vienen ya curvadas, por lo que un ensamble adecuado con esta curvatura es imposible.

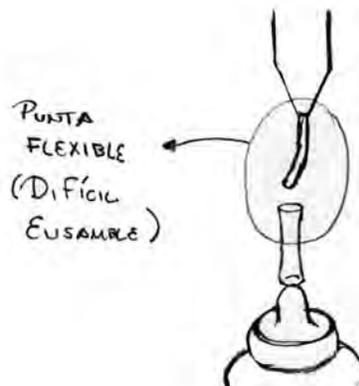


Figura 4.4. Funcionamiento de ampolla con punta flexible

- La punta cónica permite inyectar el material adecuadamente. Este tipo de punta se coloca sobre el orificio de entrada de la ampolla. Si se recarga completamente en el orificio, cuando se lleva a cabo la inyección se genera un aumento de presión en la ampolla y la inyección no es adecuada. El efecto de atomización también se genera y existe salida de material. Si la inyección se lleva a cabo con una mínima presión entre la punta cónica y la ampolla, o bien, con un claro mínimo, la inyección es adecuada. El chorro de líquido es

muy fino, por lo que es capaz de entrar al cuerpo de la ampolla a pesar de la estricción (ver figura 4.5).

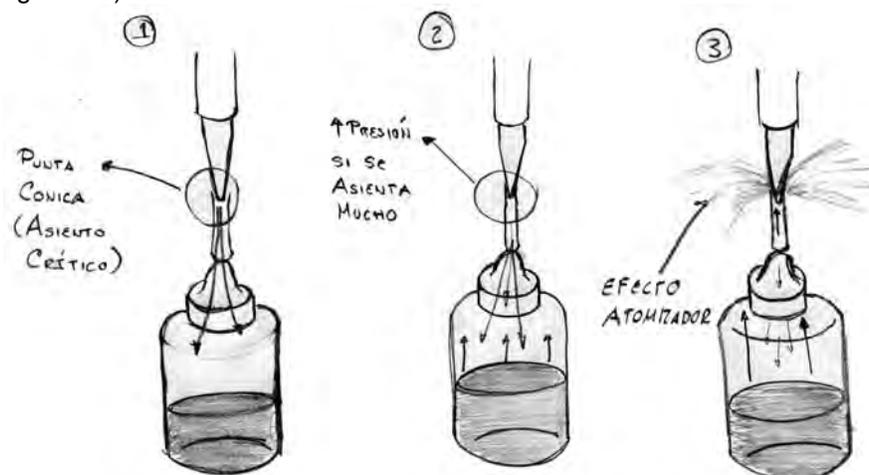


Figura 4.5. Iteración de punta cónica con ampolla plástica

- Con alcohol, el tiempo de inyección aproximado para 17 ml son 2 segundos. La presión de inyección varía de acuerdo a la punta utilizada. La presión máxima utilizada fue 30 psi. Después de varios intentos y puntas, se logró eliminar el efecto de spray en el llenado, logrando ampollas llenas adecuadamente, pero tras un prolongado ajuste.

El controlador es capaz de controlar 4 válvulas a la vez. Sin embargo, solo es posible generar una sola secuencia. Para operación independiente de cada válvula, es necesario un controlador por válvula.

Este controlador es capaz de conectarse a un PLC para una sincronización completa con el equipo de llenado.

CONCLUSIONES

- Es posible llevar a cabo el llenado de las ampollas por medio de un inyector. Sin embargo, la colocación de la ampolla y la forma de la punta en el inyector son críticos para un llenado exitoso. Las pruebas mostraron que el sistema es muy susceptible a bloquearse debido a la geometría de las ampollas.
- La conexión entre el inyector y la ampolla se puede llevar a cabo mediante tres tipos diferentes de puntas: punta cónica, aguja de acero inoxidable y aguja flexible.
- De estos tres tipos de conexión, la punta cónica y la aguja de acero inoxidable permitieron algunos llenados exitosos. El tamaño de la punta (diámetro de salida) tiene una influencia directa sobre la presión necesaria para llevar a cabo la inyección en el tiempo especificado.
- La presión de inyección máxima utilizada fueron 30 psi. El tiempo mínimo logrado fueron 2s.
- Si la punta cónica o la aguja de acero inoxidable son demasiado justas y se impide el paso del aire del interior de la ampolla, se genera un aumento de presión. Este aumento de presión tiene como consecuencia un llenado deficiente y una salida de producto en forma atomizada. Es posible evitar el efecto mediante una colocación adecuada de la punta.
- El tanque que se utilizó fue de baja capacidad. Sería necesario construir el tanque a presión para contener la cantidad de líquido adecuada.
- Sería necesario efectuar pruebas con los líquidos a verter y con las diversas geometrías para poder determinar tiempos y presiones de llenado. No se sabe si la presión de llenado tenga algún efecto de generación de espuma sobre los líquidos a vaciar. La presión de inyección está dada por la boquilla a utilizar (que a su vez depende de la geometría de la botella) así como del tiempo de inyección. Mientras más tiempo se disponga, será menor la presión de inyección requerida.

Capítulo 5: Banco de pruebas 1

OBJETIVO

- Documentar la construcción y puesta en marcha de un prototipo denominado banco de pruebas 1 para evaluar algunos elementos contenidos en las alternativas de solución 2 y 3.
- Realizar pruebas preliminares con el sistema para evaluar el comportamiento de las ampollas plásticas al llenarlas con líquido empleando vacío.
- Determinar la variación que existe en el llenado de ampollas con diferentes sellos o interfases entre ampollita y banco de pruebas.
- Determinar la diferencia entre el volumen que puede ser vertido por el sistema de llenado y el que puede ser calculado por medio de la ley de Boyle.

INTRODUCCIÓN

Después de generar diversas alternativas de solución para resolver el sistema de llenado para ampollas plásticas, se determinó que es necesario generar algunos prototipos y pruebas para poder evaluar los principios de operación y determinar cual de las alternativas de solución es viable.

DESARROLLO

Construcción del banco de pruebas 1

Se construyó un banco de pruebas para verificar el comportamiento de las ampollas bajo el efecto de una presión menor a la atmosférica en el interior de éstas. En la figura 5.1 se muestra un boceto del banco de pruebas ideado originalmente. En la figura 5.2 se observa el banco construido completamente con identificación de sus componentes.

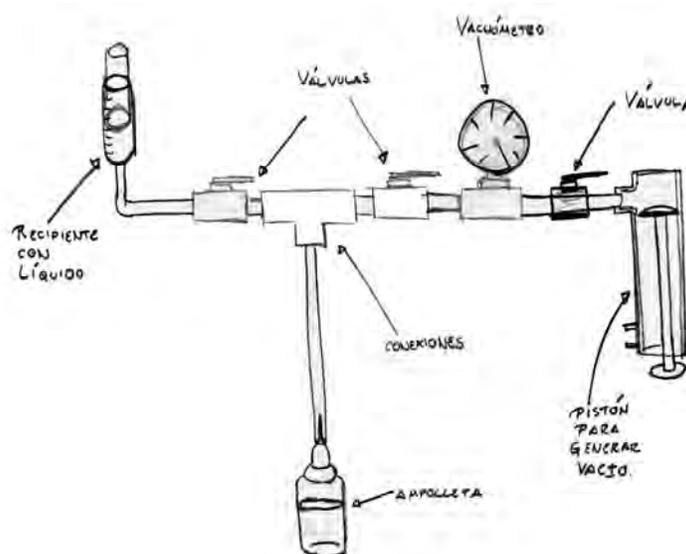


Figura 5.1. Boceto de banco de pruebas 1

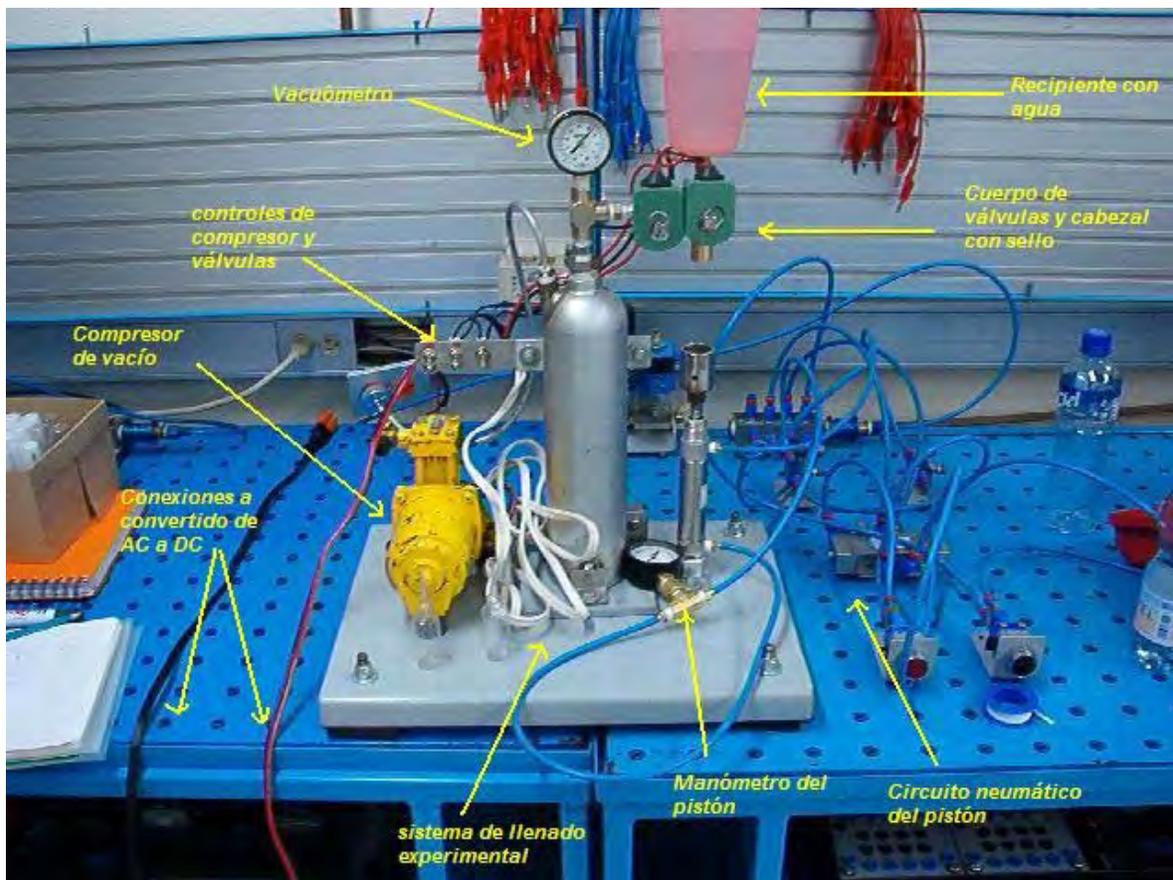


Figura 5.2. Banco de pruebas 1 completamente terminado

El banco de pruebas 1 esta conformado por los siguientes elementos:

- Módulo principal, que consiste de:
 - Compresor de vacío
 - Tanque de vacío
 - Electro válvula 3/2 para vacío y aire
 - Electro Válvula 3/2 para líquido
 - Cabezales de llenado
 - Vacuómetro
 - Convertidor AC – DC a 12 V para electro válvulas
 - Recipiente para líquido
 - Pistón DSN – 25 – 80 – P de doble efecto
- Manómetro
- Tubo flexible
- 2 válvulas 3/2 con accionamiento manual monoestables
- 1 Válvula 5/2 con pilotaje neumático
- 2 reguladores de flujo
- 1 probeta de 25 ml con graduación de 0.2 ml
- 1 Jeringa de plástico 20 ml.

Básicamente el banco de pruebas 1 es un arreglo de dos válvulas de 3 vías y 2 posiciones montadas en serie, donde es posible mover tres tipos de fluidos a la ampollita que se conecta con el cabezal del sistema: líquido, aire a presión atmosférica y aire a baja presión (vacío). La conexión de las válvulas se puede observar en la figura 5.3.

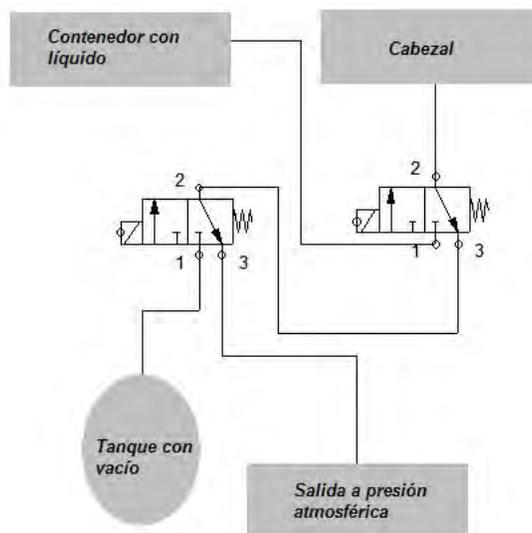


Figura 5.3. Conexión de las válvulas en el banco de pruebas 1

Cabezales para llenado

Parte importante del banco de pruebas son los cabezales que sirven como interfase entre las ampollitas a llenar y las válvulas solenoides. A lo largo del desarrollo del banco de pruebas se generaron 5 cabezales distintos, cada uno de los cuales sellaba a la ampollita plástica en diferentes zonas de la boquilla y cuello. Así mismo, se emplearon diferentes materiales para verificar su influencia en el sello. Las pruebas preliminares realizadas con estas geometrías determinaron cuales podrían servir en el diseño del sistema de llenado en el futuro. La tabla 5.1 muestra los diferentes tipos de cabezales fabricados, así como comentarios respecto a su funcionamiento con base en las pruebas realizadas.

Así, se seleccionaron los cabezales 2 y 3 como viables. Éstos presentan características similares en llenado y presentación de ampollitas. Se utilizarán éstos para pruebas más detalladas.

Tabla 5.1. Cabezales de llenado para banco de pruebas 1 y comentarios de funcionamiento

Cabezal 1: Sello en cuello	Cabezal 2: Sello después de estricción	Cabezal 3: Sello antes de estricción
		
Hubo pérdida de vacío severa. No viable.	Vacío de hasta 52 cm Hg. Puntas ligeramente mojadas. Llenados satisfactorios. Viable.	Vacío de hasta 52 cm Hg. Puntas ligeramente mojadas. Llenados satisfactorios. Viable.
Cabezal 4: Sello rígido antes de estricción	Cabezal 5: Sello rígido después de estricción	Cabezal 6: Sello con deformación controlada
		
Sello con material de ampollita. Se conserva bastante vacío, pero hay fuga (45 cmHg). No viable.	Muy poca retención de vacío. Puntas muy mojadas y no hay llenados satisfactorios. No viable.	Vacío de hasta 52 cm Hg. Puntas poco mojadas. Llenados satisfactorios. Viable pero posiblemente complicado.

Cálculos teóricos

Es posible emplear la ley de Boyle para predecir la cantidad de líquido a ser vertido en la ampollita por el sistema de vacío. Las incógnitas del sistema se ilustran en la tabla 5.2.

Tabla 5.2. Incógnitas para cálculo de volumen a introducir

Incógnitas del sistema	Descripción
$P_{sist_vacío}$	Presión absoluta del sistema al aplicar el vacío
$V_{sist_vacío}$	Volumen total en vacío
$P_{sist_presión_atmosférica}$	Presión absoluta del sistema al estar abierto a la atmósfera
$V_{sist_presión_atmosférica}$	Volumen residual de aire en el sistema al estar abierto a la atmósfera
$V_{perdida}$	Volumen muerto entre la ampollita y la válvula que conecta entre vacío y líquido
$V_{ampollita}$	Volumen de la ampollita

La ley de Boyle se ilustra en ecuación (1)

$$P_1 * V_1 = \text{constante} \quad (1)$$

El aire tiene dos estados en el sistema llenado de vacío. El primero es cuando el sistema cabezal ampollita tiene solo aire a presión de vacío y el segundo estado es cuando el sistema cabezal-ampollita tiene líquido vertido y aire residual. Esto se expresa en la ecuación (2)

$$P_{sist_vacio} * V_{sist_vacio} = P_{sist_presion_atmosférica} * V_{sist_presion_atmosférica} \quad (2)$$

Despejando el volumen del sistema al ser llenada la ampollita:

$$V_{sist_presion_atmosférica} = \frac{P_{sist_vacio} * V_{sist_vacio}}{P_{sist_presion_atmosférica}} \quad (3)$$

El volumen del sistema en vacío se compone del volumen muerto y del volumen de toda la ampollita.

$$V_{sist_vacio} = V_{ampollita} + V_{perdida} \quad (4)$$

Sustituyendo (4) en (3) se tiene:

$$V_{sist_presion_atmosférica} = \frac{P_{sist_vacio} * (V_{ampollita} + V_{perdida})}{P_{sist_presion_atmosférica}} \quad (5)$$

$$V_{sist_presion_atmosférica} = \frac{P_{sist_vacio} * (V_{ampollita} + V_{perdida})}{P_{sist_presion_atmosférica}} \quad (6)$$

De esta ecuación, la incógnita es $V_{sist_presion_atmosférica}$ que es el volumen de aire residual cuando el líquido ha sido vertido a la ampollita.

El volumen de líquido a introducir en la ampollita se obtiene a través de la fórmula (7)

$$V_{liquido_introducido} = V_{ampollita} - V_{aire_ampollita} \quad (7)$$

Finalmente, la fórmula que determina el líquido introducido en la ampollita se obtiene al sustituir (6) en (7).

$$V_{sist_presion_atmosférica} = V_{ampollita} - \left(\frac{P_{sist_vacio} * (V_{ampollita} + V_{perdida})}{P_{sist_presion_atmosférica}} \right) \quad (8)$$

Cálculo de presión atmosférica

La presión atmosférica se puede estimar mediante la fórmula:

$$P_{AH} = P_{AO} e^{-h/h_0}$$

Donde:

P_{AO} = presión atmosférica a nivel del mar (101.325 kPa)

h = altura del lugar a obtener presión

h_0 = 8600 m (constante)

La altura media de la ciudad de México es de 2200 m sobre el nivel del mar. Para la ciudad de México se tiene una presión de 78.45 kPa (588.46 mm Hg).

Volúmenes de pérdida

Se llevó a cabo una medición aproximada del volumen muerto o de pérdida que existe entre la ampollita y la electro válvula que comunica el vacío o el líquido. Este volumen varía de acuerdo al cabezal que se empleó en el sistema. La tabla 5.3 ilustra los volúmenes encontrados.

Tabla 5.3. Volúmenes de pérdida de acuerdo al tipo de cabezal (valor aproximado)

Tipo de cabezal	Valor del volumen de pérdida o muerto (± 0.1 ml)
Cabezal 1 (sello con flexane 80)	Falló en pruebas de llenado. No viable.
Cabezal 2 (sello después de estricción)	0.9
Cabezal 3 (sello antes de estricción)	1.3
Cabezal 4 (cabezal rígido antes de estricción)	1.3
Cabezal 5 (Sello rígido después de estricción)	Falló en pruebas de llenado. No viable
Cabezal 6 (sello con deformación controlada)	0.9

Volúmenes de ampollitas

Tabla 5.4. Volúmenes de los distintos tipos de ampollitas a llenar

Tipo de ampollita	Volumen interno (± 0.1 ml)
Ampollita No.1 (10 ml)	13
Ampollita No.2 (20 ml)	25
Ampollita No.3 (20 ml)	22
Ampollita No.4 (15 ml)	22.2

Presión de vacío

La presión de vacío manométrica a la cual opera el sistema de pruebas es de 520 ± 5 mm Hg.

La presión absoluta de vacío es $(588.46 - 520 \pm 5) = 68.46 \pm 5$ mm Hg.

Prueba de Llenado

El 21/04/2005 se llenaron 50 ampollas tipo 4 bajo condiciones controladas y supervisadas de presión de vacío y sello con la ampollita con el cabezal 3 (sello antes de estricción).

Los resultados expresados gráficamente se ilustran en la figura 5.4. Los resultados condensados se muestran en la tabla 5.5.

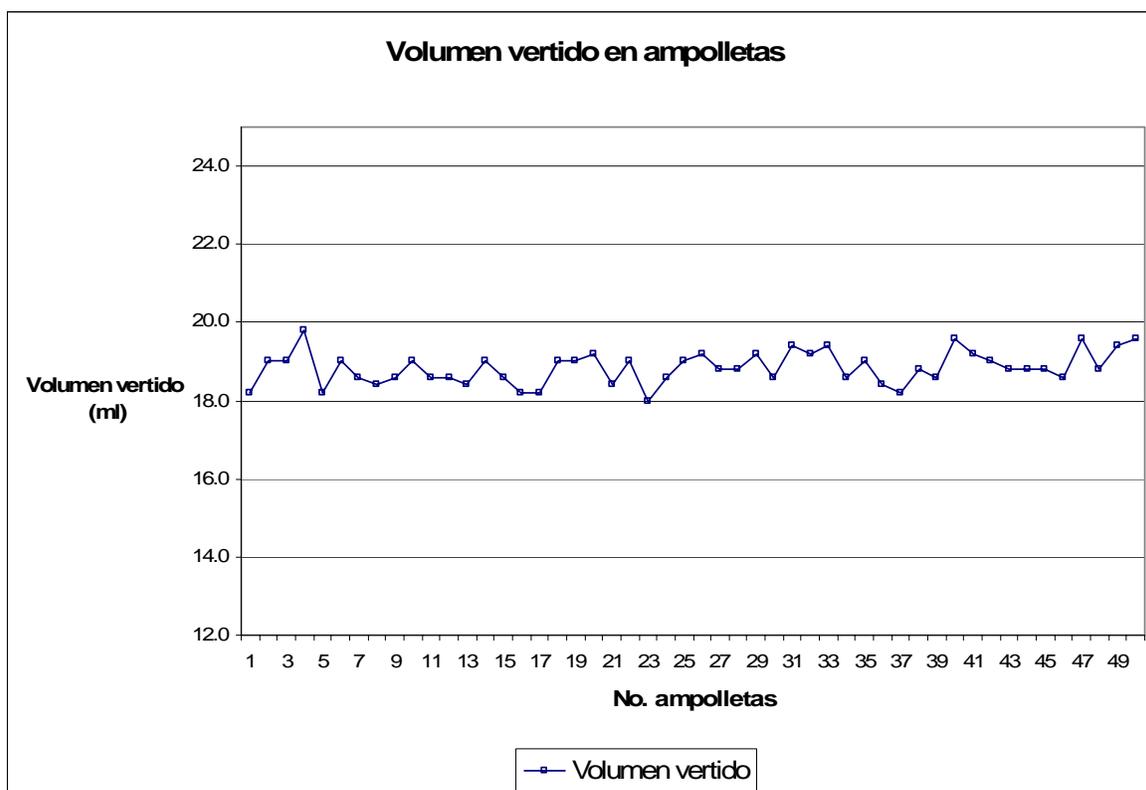


Figura 5.4. Resultados de llenado de ampollita 4

Tabla 5.5. Resultado de experimento de llenado con 50 ampollas (21/04/2005)

Media aritmética:	18.8	ml
Rango:	1.8	ml
Varianza:	0.176326531	ml
Desviación Estándar:	0.419912527	ml

Se compararán dichos resultados con el modelo analítico que se generó, para comprobar su validez y precisión respecto a pruebas realizadas.

Modelo teórico de llenado aplicado prueba experimental

Los datos registrados durante el experimento y que son necesarios para el modelo teórico se ilustran en la tabla 5.6.

Tabla 5.6. Datos iniciales para modelo

Incógnitas del sistema	Descripción
$P_{sist_vacío}$	68.46±5 mmHg
$P_{sist_presión_atmosférica}$	588.46 mmHg
$V_{perdida}$	1.3 ± 0.1 ml
$V_{ampolleta}$	22.2 ± 0.1 ml

Operaciones

Sustituyendo los valores en la fórmula que describe el llenado analíticamente (8)

$$V_{sist_presión_atmosférica} = V_{ampolleta} - \left(\frac{P_{sist_vacío} * (V_{ampolleta} + V_{perdida})}{P_{sist_presión_atmosférica}} \right)$$

$$V_{sist_presión_atmosférica} = 22.2 - \left(\frac{68.46 * (22.2 + 1.3)}{588.46} \right) = 19.47 ml$$

Propagando la incertidumbre asociada, se obtiene un resultado final de $19.47 \pm 0.30 ml$.

Análisis de resultados

La tabla 5.7 muestra los resultados entre el valor teórico y el obtenido experimentalmente. Se consideró que los resultados experimentales se adaptaban a una distribución normal y con base en esta suposición se obtuvo la desviación estándar y la media. La incertidumbre experimental se consideró 3 veces la desviación estándar, para poder cubrir el 99.74% de los eventos bajo la distribución normal.

Tabla 5.7. Comparación entre resultados teóricos y experimentales

	Datos teóricos	Datos experimentales	Error abs vol teo - vol exp (ml)	Error rel vol teo - vol exp (%)
Volumen vertido (ml)	19.47	18.80	0.67	3.44
Error absoluto (ml)	0.30	1.25		
Error relativo (%)	1.54	6.64		

La diferencia en resultados tiene una explicación física y se debe a la construcción de los cabezales y la forma característica de la punta de la ampolleta.

Cuando la ampolleta se somete al vacío, el volumen que se encuentra bajo vacío es el volumen de la ampolleta y el volumen muerto que se encuentra entre la ampolleta y la válvula de 3 vías que comunica el vacío o el líquido. Esto se muestra en la figura 5.5 inciso a.

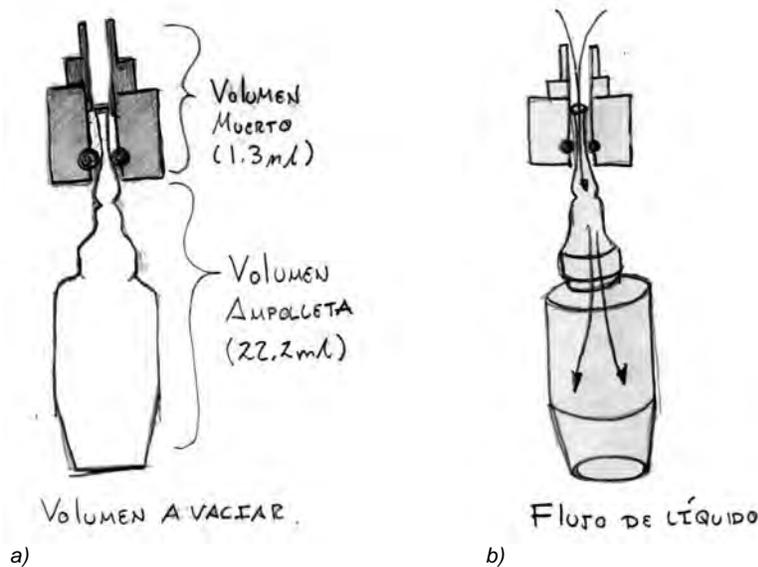


Figura 5.5. Volúmenes sometidos a vacío y flujo de material

Al llevarse a cabo el cambio de vía, la ampolleta y el volumen muerto presentan vacío y el líquido en el recipiente exterior es forzado a llenar ambos volúmenes, presentándose un flujo. El proceso se ilustra en la figura 5.5 inciso b.

Como se ha visto en pruebas, la carencia de aire en el sistema hace que se presente escasa espuma durante el llenado, La poca espuma se presenta hacia el final de esta fase, donde el aire ha sido llevado a presión atmosférica y es susceptible de formar espuma.

La transferencia de fluido a la cavidad sometida a vacío es completa. Sin embargo, la distribución del líquido es variable, lo que hace que presenten diferentes lecturas a lo largo de varios procesos de llenado de ampolletas.

En un caso ideal, todo el fluido se transfiere a la ampolleta y el aire residual se aloja en la punta de la ampolleta y en el volumen muerto del cabezal. Así, se presenta un llenado completo, donde el volumen muerto no tiene impacto sobre la cantidad de líquido vertido. El caso se muestra en la figura 5.6 inciso a.

En un caso no ideal, el fluido se transfiere a la cavidad sometida a vacío. Sin embargo, parte del fluido se queda en el volumen muerto del cabezal y el resto se aloja en la ampolleta. Así, se presenta líquido en la ampolleta, aire en la punta y otra vez líquido en el volumen muerto del cabezal. El caso se muestra en la figura 5.6 inciso b.

Este comportamiento puede deberse a la tensión superficial que se desarrolla en la interfase del líquido con el aire en la entrada de la ampolleta. Debido al diámetro tan reducido que existe en la punta de la ampolleta, la tensión superficial que en el líquido permite contener una determinada columna de líquido.

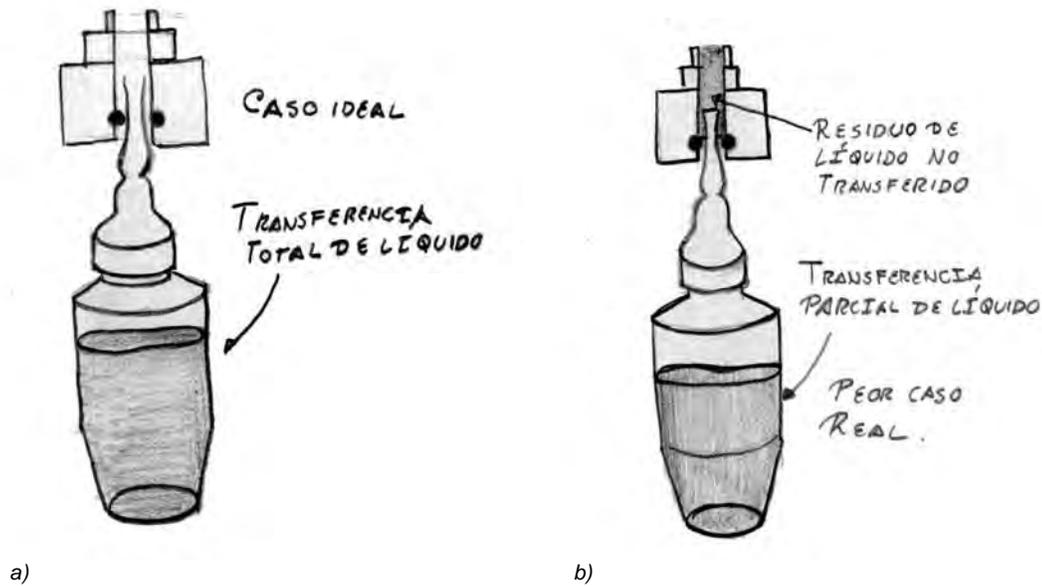


Figura 5.6. Casos en transferencia de líquido a ampollita

CONCLUSIONES

- Se construyó un banco de pruebas para poder evaluar el llenado de ampollitas plásticas con vacío. Los resultados de los ensayos realizados en este banco de pruebas aportará información relevante para las alternativas de solución 2 y 3 planteadas.
- Se construyeron varias geometrías de cabezales y se evaluaron para determinar cuales de éstas serían adecuadas para incorporarse en un diseño posterior. Así mismo, se emplearon los cabezales viables para efectuar pruebas de llenado más controladas.
- Es posible llenar las ampollitas plásticas empleando solamente vacío. El nivel de vacío requerido no afecta la integridad de la ampollita. Un beneficio de emplear vacío es que se genera poca espuma en el proceso, dado que hay baja presencia de aire.
- Es posible construir un modelo teórico para el llenado de ampollitas con líquido sometidas a vacío por medio de la ley de Boyle. Este modelo es una aproximación bastante cercana a la realidad mostrada en los experimentos de llenado.
- Después de efectuar el llenado de las ampollitas y analizar los resultados teóricos y los experimentales, se puede concluir que existe un error entre el valor teórico y el experimental. Este error puede deberse a varios factores no cuantificados en el modelo, como la tensión superficial, caída de presión, etc.
- La variación que existe en el sistema de llenado experimental es pequeña (9.6%). Sin embargo, la precisión alcanzada no es suficiente para la aplicación a llevar a cabo, debido a que se requiere que el sistema no varíe más de un mililitro aproximadamente. Es necesario verificar las especificaciones del sistema y determinar la variación que será permitida en el sistema de llenado final, para contrastarla con el valor nominal alcanzado, así como su incertidumbre asociada.

Capítulo 6: Selección y desarrollo de Alternativas de solución

OBJETIVO

- Disminuir la cantidad de alternativas de solución posibles comparando éstas con los resultados obtenidos en los experimentos realizados hasta el momento y con las especificaciones generadas en las etapas iniciales del proceso de diseño.
- Desarrollar más a fondo las alternativas de solución ganadoras y presentarlas con mayor detalle para una evaluación posterior.

INTRODUCCIÓN

Hasta el momento existen 4 alternativas de solución las cuales poseen distintos principios de funcionamiento. Se han llevado a cabo experimentos con líquidos y ampollas para determinar el comportamiento de estas alternativas y determinar su viabilidad para desarrollar el sistema de llenado para ampollas plásticas.

Las cuatro alternativas de solución se presentan en la tabla 6.1. En esta tabla cada una de las soluciones se presenta su solución particular por función.

Tabla 6.1. Alternativas de solución disponibles

	Solución 1	solución 2	Solución 3	Solución 4
ordenar ampollita	Reja	Reja	Reja	Reja
Transportar ampollita	Banda	Banda	Banda	Manualmente
Posicionar ampollita	Transportador lineal	Transportador lineal	Transportador lineal	Guías
sustraer líquido	Bomba	Bomba	Bomba	Bomba
Transportar líquido	Mangueras	Mangueras	Mangueras	Mangueras
Cuantificar líquido	Gasto volumétrico	Depósito previo	Vacío	Deposito previo
Posicionar líquido	Actuador lineal	Actuador lineal	Actuador lineal	Actuador lineal
Verter líquido	Varios cabezales	Varios cabezales	Varios cabezales	Recipiente para varias unidades
unir líquido	Aguja	Empaque	Empaque	Empaque
Llenar ampollita	Inyección con Aguja	Vacío en tapa	Vacío en tapa	Cama de líquido y cámara de vacío
Limpiar ampollita	Aire frío	Aire frío	Aire frío	Aire frío
Transportar ampollita llena	Banda	Banda	Banda	Manualmente

Existen algunas funciones que no han sido exploradas ni verificadas por medio de experimentos hasta el momento, debido a que no se han considerado como claves para la selección de la alternativa de solución o para el diseño del sistema de llenado. La experimentación se ha centrado en el análisis de las funciones *llenar ampollita* y *unir líquido*, las cuales hacen que las alternativas expuestas hasta el momento sean diferentes.

DESARROLLO

Selección de alternativas mediante el matrices de Pugh

Las matrices de selección se utilizan con el objeto de eliminar soluciones que no son viables rápidamente y evitar que el equipo de diseño examine con detalle vías de solución que no tienen mucho que ofrecer. La tabla 6.3 contrasta las soluciones generadas especificaciones seleccionadas del sistema a desarrollar. La selección de especificaciones se hizo con base en las pruebas realizadas hasta el momento y con aquellas que se consideran críticas para el desarrollo del equipo.

Se seleccionaron 3 tipos de calificaciones para poder evaluar rápidamente las soluciones. La tabla 6.2 muestra lo que significa la calificación respecto a la solución actual.

Tabla 6.2. Calificaciones para matriz de selección

Calificación	Significado
0	Igual
+	Mejor que
-	Peor que

Tabla 6.3. Calificación de alternativas de solución para llenado de ampollitas plásticas.

Especificaciones seleccionadas	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4 (Actual)
Producción por minuto	0	0	0	0
Líquidos admisibles	0	0	0	0
Ampollitas admisibles	-	0	0	0
Costo del módulo	0	0	0	0
Tipo de operación	+	+	+	0
Volumen de líquido a verter	-	0	0	0
Operatividad con módulos restantes	+	+	+	0
Cumplimiento con norma	0	0	0	0
Sumar +	2	2	2	0
Sumar 0	4	6	6	8
Sumar -	2	0	0	0
Puntuación	0	2	2	0
Rango	No viable	Viable	Viable	No viable

La alternativa de solución 1 no ha resultado viable debido a que presenta el inconveniente no llenar adecuadamente las ampollitas al generarse un conflicto con la punta de las ampollitas.

La solución 4, que es la empleada por la compañía productora de cosméticos, ha sido descartada aún cuando es la solución de referencia debido a que presenta el inconveniente de empapar ampollitas con espuma y de requerir operación manual.

Las soluciones 2 y 3 presentan posibilidades de éxito debido a que ha sido posible llenar ampollitas (empleando el banco de pruebas 1) sin empapar completamente el exterior y se tiene certeza de poderse diseñar el sistema para una operación automática.

Desarrollo de alternativas de solución 2 y 3

Se han seleccionado las alternativas de solución 2 y 3 como viables frente a las alternativas propuestas inicialmente.

En ambas alternativas de solución se está sugiriendo emplear una configuración de llenado por lote (ver tabla 1). En ambas soluciones existe el uso de vacío para extraer el aire de la ampollita. La diferencia radica en cómo cuantificar el líquido.

La alternativa de solución 2 basaría esta cuantificación en un depósito previo, es decir, la cuantificación se llevaría a cabo volumétricamente. El banco de pruebas 1 ha permitido sustentar esta idea al poder experimentar con vacío solo en el interior de las ampollitas sin reportar implosión. Si se añade un volumen de control al banco de pruebas 1 se tendría un prototipo cercano a esta solución. Se han hecho pruebas preliminares básicas con esta configuración, aún cuando no han sido reportadas formalmente.

La alternativa de solución 3 basa la cuantificación de líquido con el uso de vacío. A partir de un diferencial en presiones es posible llenar las ampollitas plásticas al nivel deseado. El banco de pruebas 1 ha permitido corroborar que este principio es viable, llenando ampollitas plásticas con líquidos diversos a un nivel cercano al especificado aunque con variabilidad.

Alternativa de solución 2

En la figura 6.1 se muestra un boceto de la alternativa de solución 2 detallando en mayor medida sus componentes.

Esta configuración tendría las siguientes características:

- Las ampollitas vienen ordenadas en una reja o contenedor.
- El módulo de llenado consistiría en una serie de válvulas individuales cada una de las cuales sería la responsable de llenar un conjunto de ampollitas. Esto se debe al espacio necesario para alojar la válvula.
- Las válvulas individuales se conectarían con una vía de líquido y a otra válvula. Esta segunda válvula sería la responsable de conmutar entre el aire atmosférico y el vacío. Así, es posible mover los 3 elementos fundamentales: aire, vacío y líquido.

- Las válvulas individuales estarían montadas en una placa para conectarse a las ampolletas cautivas. La unión se llevaría a cabo en forma simultánea. El número de válvulas individuales dependería de la velocidad del sistema y de la velocidad de producción objetivo.
- Al llegar las ampolletas plásticas al módulo de llenado, la placa con las válvulas bajaría y se conectaría con las ampolletas plásticas. Se conectaría el vacío para quitar el aire. Posteriormente se conectaría el líquido y un pistón llevaría a cabo la inyección volumétrica del líquido. Este pistón podría ser único para todo el sistema (para disminuir número de componentes) o uno por válvula conectada a ampolletas para tener control sobre el llenado por grupo de ampolletas.
- Finalmente, sería necesario conectar el aire a las ampolletas para liberar cualquier vacío residual.
- La placa con las válvulas individuales subiría y liberaría a las ampolletas de la conexión.
- El sistema avanzaría para poder llenar el siguiente grupo de ampolletas.

Un aspecto crítico con esta configuración sería el tamaño de la válvula que se conectaría con las ampolletas. Entre más grande esta sea, mayor número de ampolletas tendrían que conectarse a ésta para compensar. Sin embargo, se tendría menor control en el llenado por ampolleta.

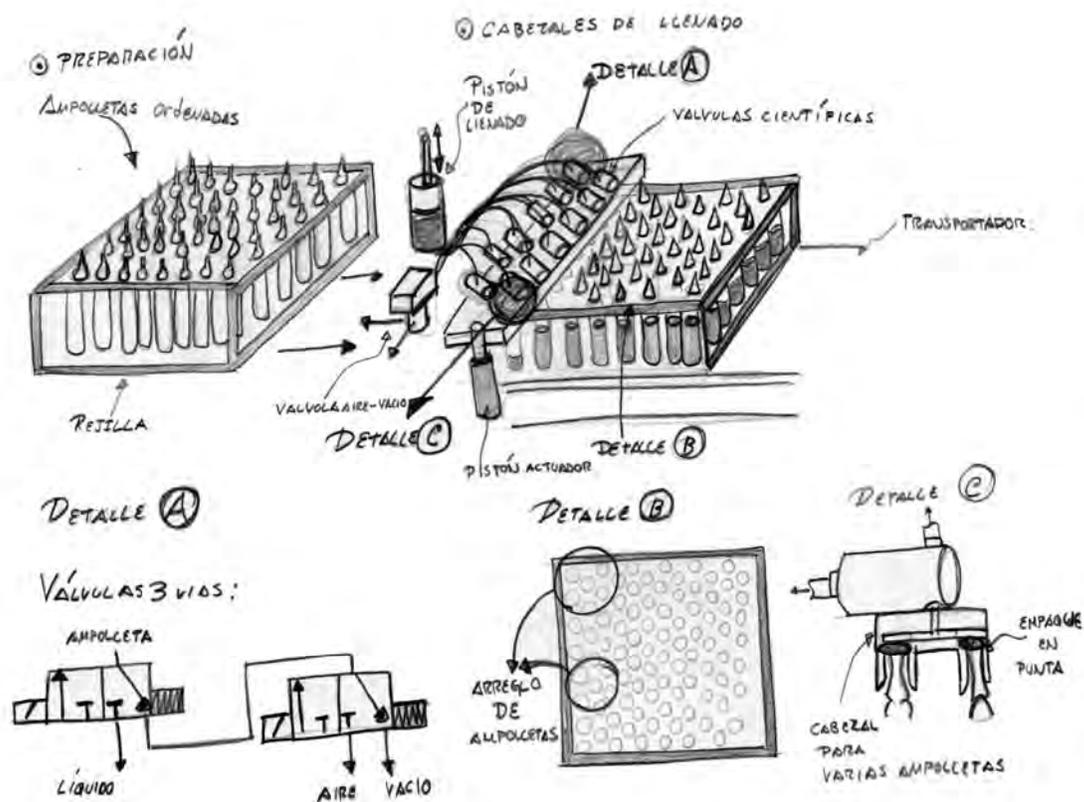


Figura 6.1. Boceto de solución 2

Las ampollas plásticas son llenadas actualmente en lotes de 105 ampollas para los modelos 2 y 3. La ampollita 4 se llena en lote de 68 ampollitas. Así la cantidad de puntas difiere de acuerdo al tipo de ampollita a llenar. Sería necesario tener dos placas con arreglos de válvulas diferentes de acuerdo al tipo de ampollita a llenar, o bien, generar un nuevo arreglo que sea indiferente con el tipo de ampollita.

En la figura 6.2 se muestran los arreglos de 105 ampollitas y 68 ampollitas. En la figura 6.3 se muestran algunos patrones encontrados para unir las ampollitas a la válvula de llenado. Finalmente, en la figura 6.4 se muestra un posible arreglo para válvulas comerciales para el arreglo de 105 ampollitas.

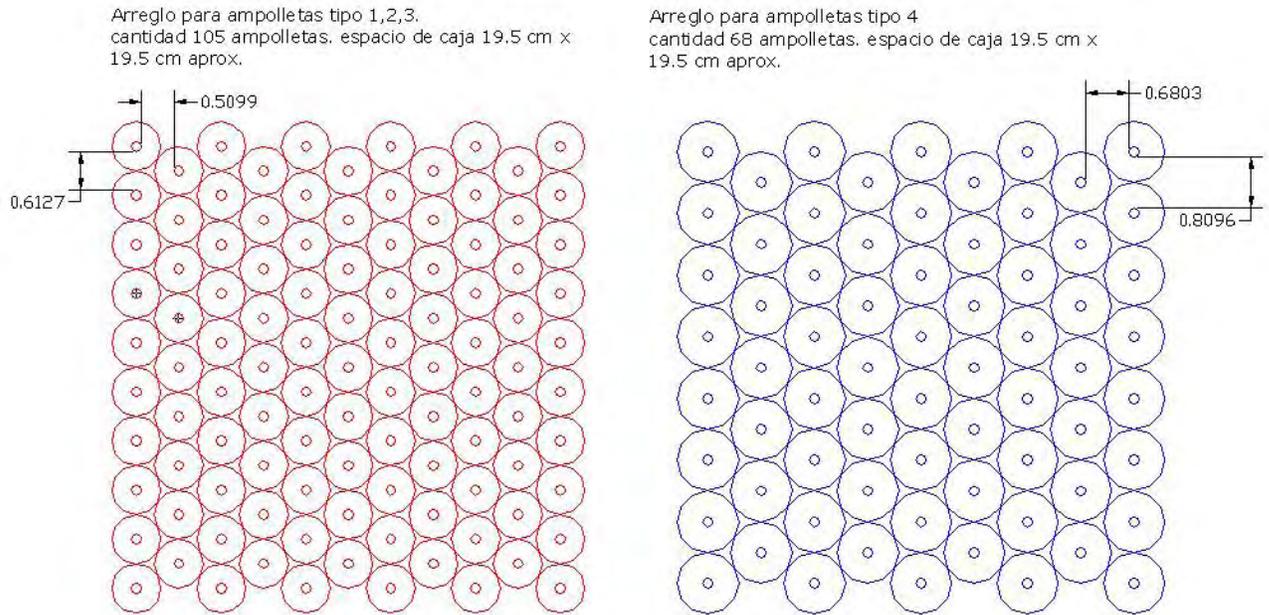


Figura 6.2. Arreglos de 105 y 68 ampollitas

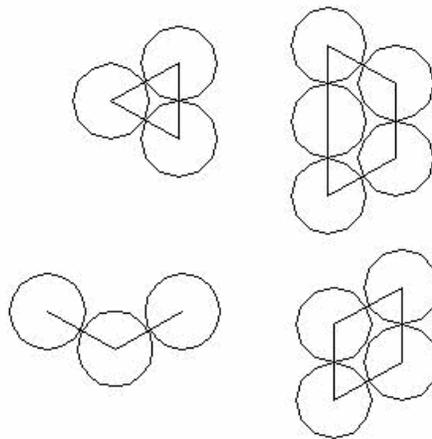


Figura 6.3. Arreglo para unir grupos de ampollitas con válvula de llenado

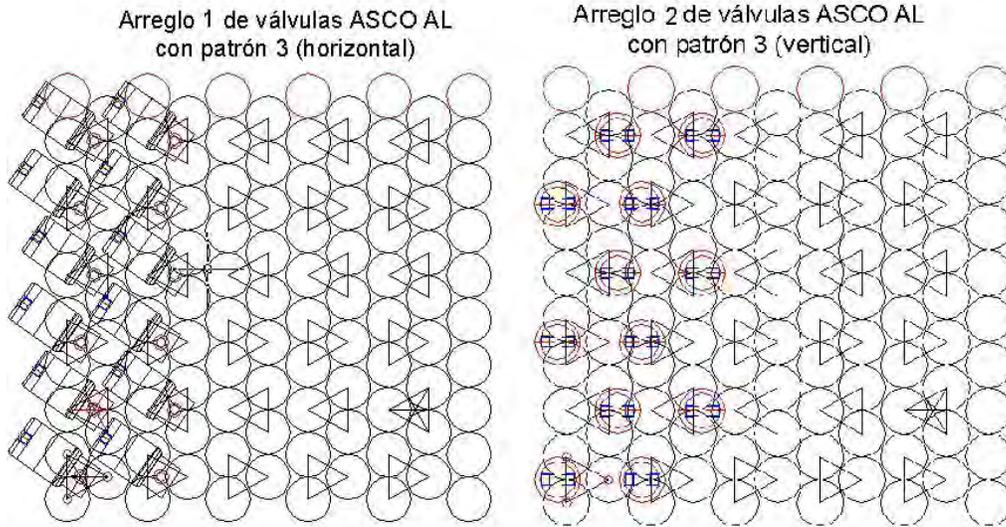


Figura 6.4. Posible arreglo de válvulas comerciales con arreglo de 105 ampollitas

Alternativa de solución 3

La figura 6.5 muestra un boceto de la alternativa de solución 3 más detallado.

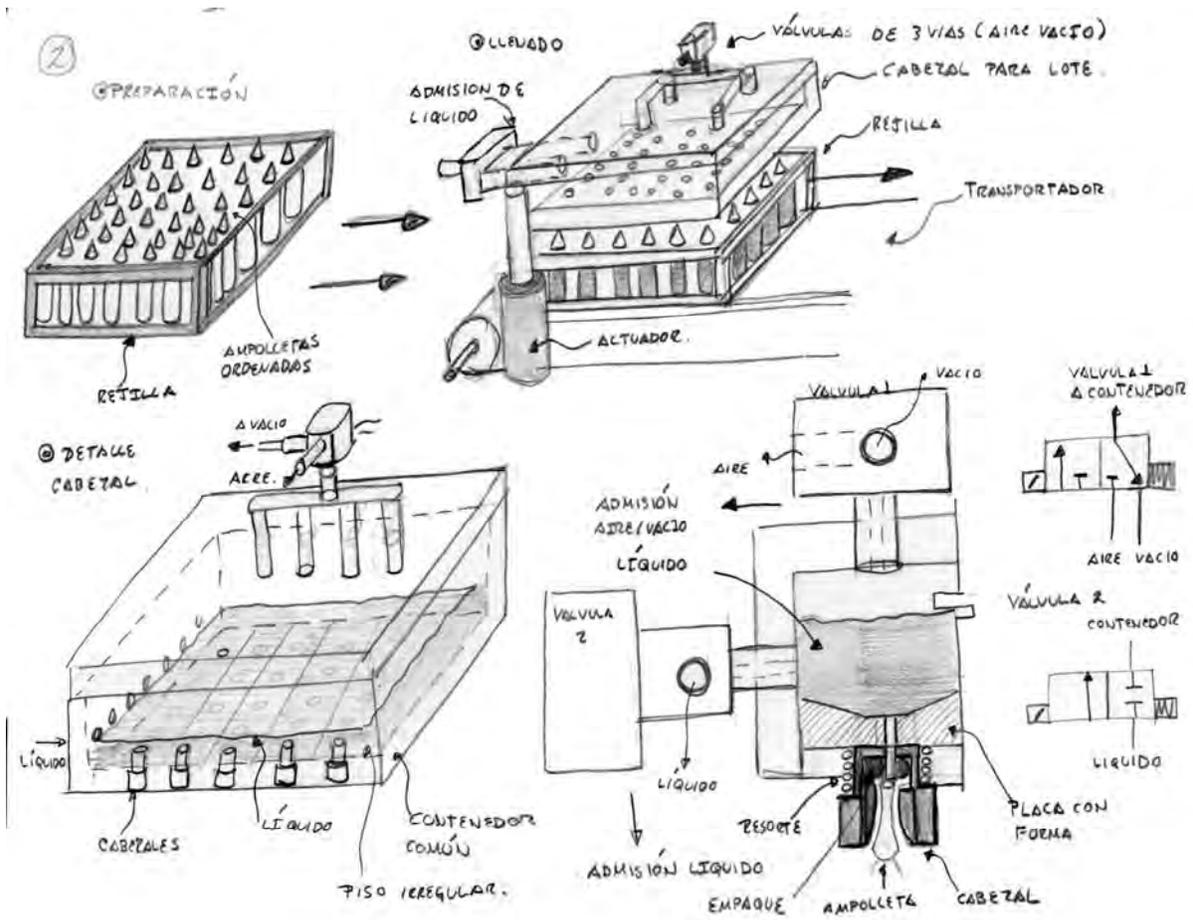


Figura 6.5. Boceto de solución 3

Esta solución emplearía el vacío como medio de cuantificación de líquido. Se emplearía una cámara de vacío común y un depósito con líquido común para disminuir la cantidad de componentes y disminuir costos.

El banco de pruebas 1 ha permitido corroborar que es factible el principio de llenado por medio de vacío teniendo las ampollas expuestas a presión atmosférica. Ha habido llenados de ampollas plásticas satisfactorios, aún cuando existe variación entre ampollas llenas.

De esta solución se tiene un modelo CAD y algunos detalles sobre el funcionamiento del sistema bosquejado. Estos se presentan a continuación.

Descripción de alternativa de solución 3

Esta alternativa se compondría de los elementos:

- Base de cámara de llenado
- Cámara de llenado
- Base de sistema
- Válvulas de 3 vías (aire – vacío - cámara)
- Válvulas de 2 vías (líquido - cámara)

El módulo de llenado se encontraría soportado por una estructura la cual sería operada por medio de pistones neumáticos posicionados en la base del sistema. Así, sería posible mover el módulo de llenado a las ampollas y retirarlo adecuadamente (figura 6.6, inciso a).

Para poder operar el sistema, la cámara de llenado (figura 6.6, inciso b) debe de ser alzada por medio de su soporte y los pistones. Las ampollas se colocarían en la parte inferior de la cámara de llenado. Una vez que hubiera alineación adecuada, los pistones operarían y la cámara de llenado descendería.

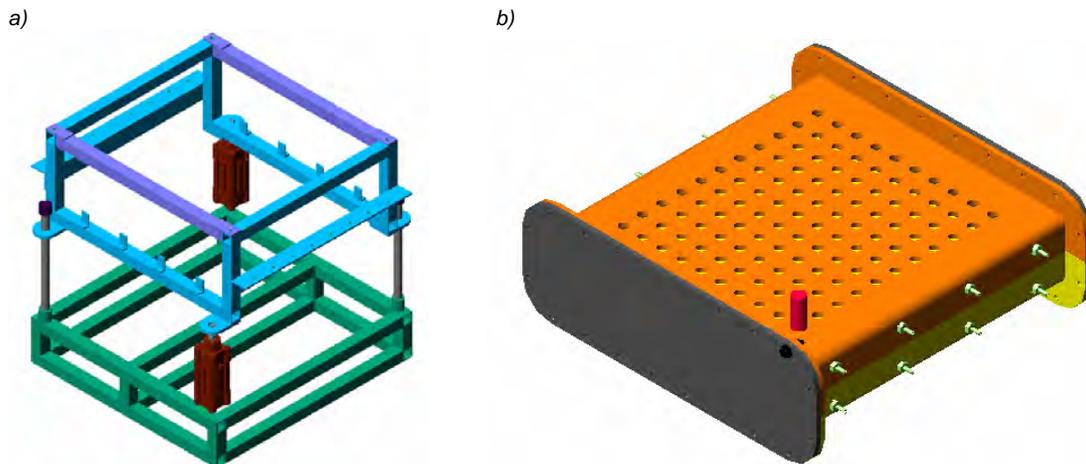


Figura 6.6. a) Base de sistema b) base de cámara

Cada una de las conexiones de la cámara de llenado poseería un cabezal el cual permitiría posicionar adecuadamente la ampollita e introducirla a los sistemas internos de la cámara. Al descender la cámara de llenado, estos cabezales guiarían a las ampollitas.

Cada conexión en la cámara de llenado poseería una válvula de activación, la cual consistiría en un vástago que operado por un resorte, permitiendo evitar fugas de líquido y/o vacío cuando no hubiera una ampollita en el cabezal de la conexión (figura 6.7).

Cuando una ampollita entrara al cabezal, toparía con el vástago. Este vástago poseería un empaque en la punta, con la cual se haría sello entre la ampollita y el vástago. Además, el vástago y el empaque poseerían un orificio, con el cual habría comunicación entre la ampollita y la cámara de vacío.

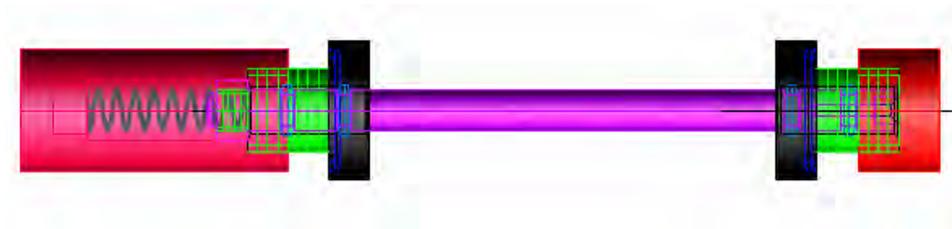


Figura 6.7. Válvula de activación normalmente cerrada

Al topar con el vástago, la ampollita ejercería una fuerza en contra de éste. El vástago se resistiría al movimiento debido al resorte ubicado en la parte superior. La ampollita debería de mover el vástago para así poder habilitar la comunicación entre la ampollita y la cámara de llenado a través de éste. (Figura 6.8)

Una vez que existe comunicación entre la ampollita y la cámara de llenado, sería posible quitar el aire de la ampollita e introducir el líquido. En un estado inicial (antes de que las ampollitas muevan los vástagos) la cámara tendría líquido y aire a presión atmosférica. Cuando las ampollitas entraran, se abriría la comunicación entre las válvulas que controlan el vacío y la cámara, desalojando el aire de la cámara.

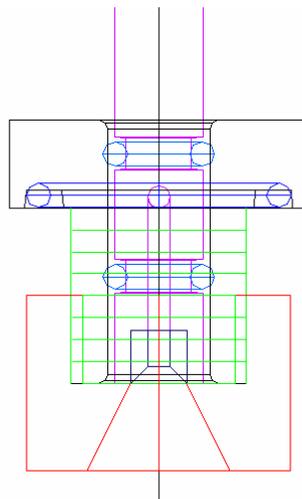


Figura 6.8. Válvula de activación en posición abierta.

Conforme el aire desalojara la cámara, el aire en las ampollas sería desalojado (debido a que se igualarían presiones). El aire de las ampollas pasaría a través del líquido y se evacuaría.

Una vez que las ampollas tuvieran el vacío deseado, se cerraría la comunicación con el vacío y se abriría la cámara a presión atmosférica. Así, el líquido sería empujado al interior de las ampollas. Se introduciría una determinada cantidad de líquido de acuerdo al vacío generado en los pasos anteriores. El paso de aire y vacío sería controlado por un juego de válvulas de 3 vías (figura 6.9, inciso a).

Una vez llenas las ampollas, la cámara de llenado subiría por medio de la actuación de los pistones. La comunicación entre la ampollita y la cámara se rompería y el vástago regresaría a su posición inicial, evitando fuga de líquido. Una vez que la cámara estuviera arriba, las ampollitas se podrían mover. Así mismo, en lo que llegara el siguiente juego de ampollitas, la cámara debería de recuperar el nivel de líquido perdido en la operación de llenado. Esto se lograría a través de la actuación de un juego de válvulas de 2 vías (figura 6.9, inciso b) que permitirían suministrar el líquido perdido.

Sería posible dar mantenimiento y limpieza a la cámara por medio de la separación de ésta de su base, al retirar un par de barras de cierre. La cámara se encontraría constituida por una parte central formada por dos placas soldadas. Dos placas con sellos atornilladas completarían la cámara. El mantenimiento y limpieza del interior podría hacerse quitando las placas atornilladas.

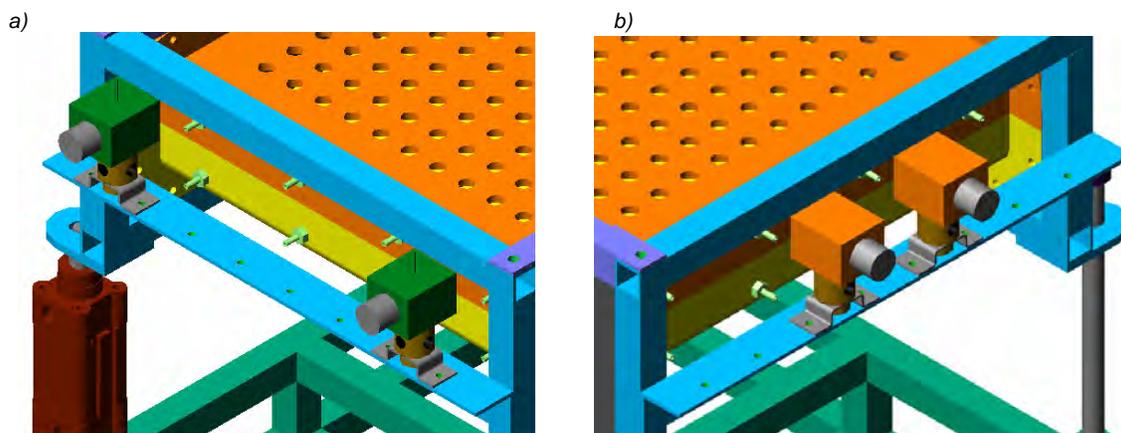


Figura 6.9. a) Válvulas para aire y vacío b) Válvulas para líquido

La figura 6.10 muestra el diseño conceptual completo de la alternativa de solución 3 elaborado hasta el momento.

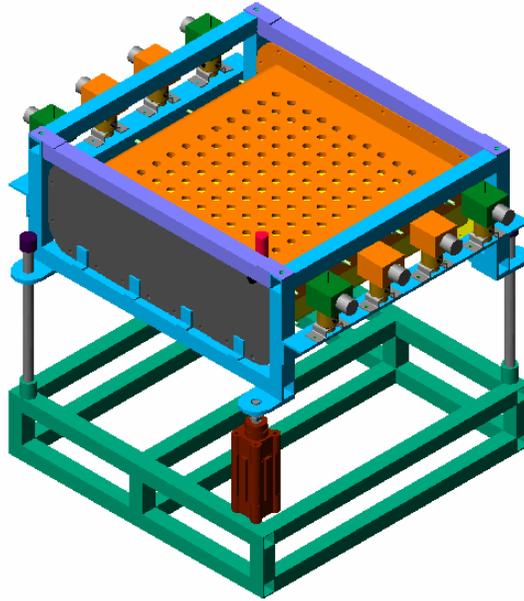


Figura 6.10. Alternativa de solución 3.

CONCLUSIONES

- Se llevó a cabo una selección de alternativas de solución con base en los resultados obtenidos hasta el momento. Se determinó que las alternativas de solución 2 y 3 eran viables y se procedió a detallar más estas soluciones.
- La solución 2 propone el uso de pistones y válvulas para llenar grupos de ampollas dentro de los lotes. Esto se debe al espacio necesario para colocar las válvulas de llenado por encima del lote de ampollas. Así, la inyección de líquido se haría en pequeños grupos con pistones controlando el volumen de inyección. El vacío se emplearía para quitar el aire de la ampollita y evitar la formación de espuma y aumento de presión por la introducción de líquido.
- No se han encontrado válvulas de 3 vías con las características adecuadas en geometría hasta el momento. El tamaño de éstas ha ocasionado que en esta solución se proponga el uso de una válvula para llenar varias ampollas plásticas.
- La solución 3 propone el uso de vacío como medio para introducir el líquido en las ampollitas. Se emplearía una cámara común de vacío y líquido para disminuir el número de componentes. Se llenaría un lote de ampollitas al mismo tiempo empleando vacío para desalojar el aire y llenar con líquido hasta tener equilibrio en presiones.
- Se llevará a cabo una reunión para discutir las 2 propuestas elaboradas y desarrolladas hasta el momento. Se analizarán sus fortalezas y debilidades para determinar el trabajo futuro en el desarrollo del sistema de llenado.
- Así mismo, se revisarán los requerimientos y especificaciones del proyecto. Al evaluar las alternativas se encontró que las especificaciones son muy generales y algunas de éstas no son adecuadas. Además, no ha sido posible evaluar con el conjunto disponible de especificaciones algunas diferencias encontradas entre las diversas alternativas.

Capítulo 7: Ficha de definición de producto revisada

OBJETIVO

- Definir las características básicas del producto a diseñar con base en los avances realizados y nuevas restricciones planteadas.
- Redefinir y añadir requerimientos y necesidades del producto a diseñar, añadiendo nuevas especificaciones en caso necesario.

DESARROLLO

Modelo de caja negra

En la figura 7.1 se muestra una actualización del modelo de caja negra, con base en el nuevo planteamiento del problema para el sistema a diseñar.



Figura 6.1. Modelo de caja negra

Definición del problema

Dispositivo que permite llenar ampollitas de plástico que vienen ordenadas, abiertas, con aire en su interior y sin revisar con una determinada cantidad de líquido.

Ficha de definición, requerimientos y especificaciones

A continuación se presenta la ficha de definición revisada con base en la actualización del problema planteado, así como los requerimientos y especificaciones del sistema a diseñar.

Tabla 7.1. Ficha de definición de módulo de llenado

<i>Definición</i>	<ul style="list-style-type: none"> Dispositivo que permite llenar ampollitas de plástico abiertas y con aire en su interior con una determinada cantidad de líquido.
<i>Objetivos Principales</i>	<ul style="list-style-type: none"> Desarrollar un dispositivo que permita llenar ampollitas plásticas abiertas con una cantidad de líquido predeterminada. La velocidad de llenado del dispositivo debe de ser de 210 ampollitas por minuto mínimo. Llevar a cabo el diseño y desarrollo de un sistema que llene ampollitas plásticas siguiendo una metodología de diseño. Documentar el proceso de diseño.
<i>Mercado primario</i>	<ul style="list-style-type: none"> Empresa de cosméticos con ampollitas plásticas.
<i>Mercado secundario</i>	<ul style="list-style-type: none"> Procesos de llenado en otras líneas de productos dentro de la compañía. Otros procesos de llenado en productos similares en empresas diversas.
<i>Características básicas del sistema</i>	<ul style="list-style-type: none"> El dispositivo debe de llenar las ampollitas con un mínimo de variación. El dispositivo se acoplará con los otros módulos (verificado, sellado, etc.) El dispositivo debe instalarse dentro del área que utiliza el proceso previo. El dispositivo no debe alterar las propiedades del líquido a ser contenido. El dispositivo de llenado no afecta la capacidad de contención de la ampollita. El dispositivo es capaz de llenar ampollitas con todos los líquidos empleados en la actualmente. El dispositivo de llenado debe cumplir con la normatividad aplicable (nacional y/o internacional) El dispositivo entrega la ampollita con un mínimo líquido en el exterior. El dispositivo debe de llenar ampollitas individualmente o en lote.
<i>Principales competidores</i>	<ul style="list-style-type: none"> Sistema de llenado utilizado en el sistema de envasado actual. Sistemas de llenado que se estén preparando y desarrollando en paralelo.
<i>Riesgos del Proyecto</i>	<ul style="list-style-type: none"> Problemas laborales que se originen por el cambio y/o reemplazo del personal por la puesta en marcha del nuevo sistema y sus módulos. Competencia directa de un sistema de llenado que es empleado actualmente y que lleva su tarea adecuadamente, siendo su única desventaja el ser de operación manual.
<i>Alcance del proyecto</i>	<ul style="list-style-type: none"> Diseño conceptual de un sistema o dispositivo que permita llenar ampollitas de plástico con diferentes líquidos.

Tabla 7.2. Necesidades detectadas y adicionales

No.	Enunciado del Cliente	Necesidad Interpretada
1	El sistema cumplirá con las normas aplicables a la empresa cosmética.	El sistema cumple con la normatividad aplicable.
2	El sistema se implementará dentro de la misma zona donde se encuentra la línea actual.	El módulo de llenado opera dentro del área de proceso actual.
3	El sistema actual produce cansancio en las operadoras después de varias operaciones.	El dispositivo es de operación automática.
4	El sistema actual es algo ruidoso.	El sistema cumple con la normatividad aplicable.
5	El módulo no debe necesitar a empleado todo el tiempo.	El sistema es de operación automática.
6	El tiempo de ciclo de llenado actual es de 90 s. Antes era de 40 s.	El dispositivo puede llenar 210 ampollitas por minuto.
7	Necesitamos llenar 4 tipos diferentes de ampollitas.	El dispositivo llena 4 tipos de ampollitas (originales).
8	Utilizamos 8 líquidos diferentes en las ampollitas.	El dispositivo llena ampollitas con los líquidos especificados.
9	La ampollita no debe de tener fluctuaciones de llenado.	El dispositivo llena ampollitas con la cantidad especificada.
10	El sistema actual no desperdicia mucho líquido.	El sistema desperdicia poco líquido.
11	El sistema de llenado debe de ser superior al actual.	El dispositivo entrega ampollitas con poco líquido en el exterior.
12	El módulo debe de integrarse con los otros módulos de la nueva línea.	El sistema se integra con el resto de los módulos del sistema de envasado.
13	El sistema actual de llenado forma espuma y empapa el cuerpo de las ampollitas, teniendo que secarlas después.	El dispositivo entrega ampollitas con poco líquido en el exterior.
14	Se necesita tener una producción de 250 unidades por minuto con una eficiencia del 90% (210 ampollitas por minuto)	El dispositivo puede llenar 210 ampollitas por minuto.
15	El sistema deberá tener poco mantenimiento.	El sistema requiere mantenimiento reducido.
16	La máquina actual tarde mucho en realizar su llenado	El dispositivo puede llenar 210 ampollitas por minuto.
17	El módulo debe de realizar la operación de sopleteado.	El dispositivo entrega ampollitas con poco líquido en el exterior.
18	El módulo debe de ser fácil de limpiar.	El sistema requiere mantenimiento reducido.
19	No hay restricción en presupuesto por el momento. El diseño es libre.	Se requiere presupuesto de costo de módulo de llenado.
20	El fallo en el llenado de una ampollita no debe de inducir al fallo en el llenado de las otras.	El sistema de llenado llena ampollitas individualmente.
21	El sistema de llenado debe de ser robusto.	El dispositivo opera dentro de los rangos de tolerancia acordados.
22	Las ampollitas pueden venir abiertas. Se debe evitar llenar estas ampollitas.	El dispositivo llena ampollitas que no vengan rotas o perforadas.
23	Se podría proponer un cambio en la punta de la ampollita. Sin embargo, no sabemos si sea viable.	El dispositivo llena 4 tipos de ampollitas (originales).
24	No sabemos la configuración de todo el sistema de llenado ni del sistema de envasado en su conjunto. Puede ser continuo o por lotes.	El dispositivo puede montarse para llenar ampollitas por lotes o individualmente.
25	El sistema debe de poderse manufacturar con operaciones de torno, taladrado, cepillo y operaciones de pailería convencional.	El sistema se manufactura con operaciones de torno, taladrado, cepillo y operaciones de pailería convencional.

Tabla 7.3. Definición de especificaciones (1)

	Especificación	Valor nom.	Tol.	Unidades	Tipo	Descripción	Observaciones	Fuente
A	Producción por minuto	210	-	Ampollitas por minuto	Material	Capacidad de producción del sistema a diseñar	Obtenida	Compañía productora de cosméticos
B	Líquidos admisibles	12	-	Líquido	Material	Lista de líquidos admitidos	Ver tabla de referencia	Compañía productora de cosméticos
C	Viscosidad de líquidos admisibles	Por definir	Por definir	Centipoises	Material	Viscosidad admitida en líquidos	Por obtener	Compañía productora de cosméticos
D	Densidad de líquidos admisibles	Por definir	Por definir	kg/m ³	Material	Densidad admitida en líquidos	Por obtener	Compañía productora de cosméticos
E	Sustancia base de líquidos admisibles	Por definir	Por definir	Nombre	Material	Sustancia base de líquidos admitidos	Por obtener	Compañía productora de cosméticos
F	Ampollitas admisibles	Tipo 1,2,3 y 4	-	Tipo de ampollita	Material	Ampollitas que pueden ser llenadas en el módulo de llenado	Ver tabla de referencia	Compañía productora de cosméticos
G	Material de ampollitas admisibles	Por definir	Por definir	Por definir	Material	Material constituyente de las ampollitas	Por obtener	Compañía productora de cosméticos
H	Nivel de ruido	Por definir	Por definir	dB	Seguridad	norma que debe respetar el diseño del módulo para operar en la república mexicana.	Por obtener	Compañía productora de cosméticos
I	Costo del módulo	Por definir	Por definir	Pesos	Costos	Costo total del diseño y construcción del módulo	Por obtener	CDM
J	Tipo de operación	Automático	-	Operación	Ergonomía	El módulo de llenado no debe requerir la asistencia de personal en su ciclo de trabajo.	Por obtener	CDM y compañía productora de cosméticos
K	Volumen de líquido a verter	0- 20	Por definir	Mililitros	Material	Cantidad de líquido a verter por tipo de ampollita	Ver tabla de referencia	Compañía productora de cosméticos
L	Tiempo de cambio entre líquidos	Por definir	Por definir	s	Mantenimiento	Tiempo que se transcurre entre cambio de un líquido a otro	Por obtener	CDM
M	Tiempo de cambio entre ampollitas	Por definir	Por definir	s	Mantenimiento	tiempo que transcurre entre cambio de una ampollita a otra	Por obtener	CDM
N	Ancho máximo	Por definir	Por definir	mm	Geometría	Ancho máximo encontrado en los componentes del sistema	Por obtener	CDM y compañía productora de cosméticos
O	Largo máximo	Por definir	Por definir	mm	Geometría	Largo total esperado del sistema de llenado (por dispositivo)	Por obtener	CDM y compañía productora de cosméticos
P	Altura máxima	Por definir	Por definir	mm	Geometría	Altura máxima en componente del sistema	Por obtener	CDM y compañía productora de cosméticos
Q	Operatividad con módulos restantes	Pasa	-	Operatividad	Operación	Capacidad de acoplarse con módulos restantes del sistema de envasado	Obtenida	CDM
R	Cumplimiento con norma	Pasa	-	Norma	Control de calidad	Cumplimiento con normatividad aplicable	Obtenida	Compañía productora de cosméticos
S	Cantidad de líquido en exterior de ampollitas	Poco	Por definir	Líquido	Material	Residuos en el exterior de la ampollita	Por obtener	CDM y compañía productora de cosméticos
T	Revisión y mantenimiento de componentes	Por definir	Por definir	Meses	Mantenimiento	mantenimiento programado para componentes del sistema a diseñar	Por obtener	CDM y compañía productora de cosméticos
U	Tipo de llenado de ampollita	Individual	-	Llenado	Ensamble	forma en que el módulo llena las ampollitas	Obtenida	CDM
V	Tipo de montaje	Individual o en lote	-	Montaje	Ensamble	Capacidad que tiene el dispositivo de instalarse para trabajar individualmente o en conjunto	Obtenida	CDM
W	Detección de ampollita defectuosa	Si	Por definir	Señal de detección	Señal	Una ampollita defectuosa es aquella en la que no se puede generar vacío en ella.	Parcialmente obtenida	CDM
X	Características y formas susceptibles de conformarse en operaciones de taller (excepto fresa) y pailería	Si	-	Conformado	Producción	El diseño de los componentes del sistema de llenado pueden fabricarse con operaciones de taller, maquinado, pailería, exceptuando fresa.	Obtenida	Diseñador

Tabla 7.4. Definición de especificaciones (2)

	Especificación	Valor nom.	Tol.	Unidades	Tipo	Descripción	Observaciones	Fuente
Y	Material de componentes mecánicos	Por definir	Por definir	Material	Control de calidad	Material requerido para evitar reacción con líquidos admisibles	Por obtener	Por definir
Z	Material de tubería de conexión	Por definir	Por definir	Material	Control de calidad	Material requerido para evitar reacción con líquidos admisibles	Por obtener	Por definir
A1	Material en sellos y empaques	Por definir	Por definir	Material	Control de calidad	Material requerido para evitar reacción con líquidos admisibles	Por obtener	Por definir
A2	Diámetro máximo de válvula de llenado	19.05	< 19.55	Milímetros	Geometría	diámetro máximo permisible para poder instalar válvulas en configuración individual o en lote.	Obtenida	Diseñador

Capítulo 8: Nuevas alternativas de solución

OBJETIVO

- Establecer nuevas alternativas de solución para resolver el problema del llenado de ampollitas plásticas, empleando diagramas funcionales y bocetos de conceptos de solución.

INTRODUCCIÓN

Con base en el análisis y crítica realizada a las alternativas de solución anteriores se determinó que es necesario volver a definir conceptos de solución con base en los avances logrados con las alternativas de solución 2 y 3, pero eliminando o minimizando sus inconvenientes detectados.

Se han incorporado nuevas restricciones al problema del sistema de llenado de ampollitas plásticas, las cuales son:

1. El sistema de llenado debe de llenar una ampollita a la vez.
2. Debe ser susceptible de detectar y evitar el mal llenado de ampollitas o fuga de líquido y/o vacío si:
 - a) La ampollita viene rota de fábrica.
 - b) Hay pérdida de vacío por falta de sello en la punta.
 - c) No hay ampollita presente.
3. La nueva solución deberá de poderse instalar en una máquina que llene ampollitas individualmente o por lotes, similar a los utilizados en la empresa productora de cosméticos actualmente.
4. La ampollita vendrá fija del extremo opuesto a la boquilla de acceso. Se tiene acceso a la boquilla por arriba de ésta.

DESARROLLO

Análisis Funcional

Debido a las nuevas restricciones del problema y a que no se tiene que tomar en cuenta el método de transporte de ampollitas para el diseño del sistema de llenado de ampollitas plásticas, se volverá a generar el diagrama funcional base para poder generar alternativas de solución. Este nuevo diagrama se ilustra en la figura 8.1.

Alternativas de solución

La tabla 8.1 muestra las nuevas alternativas de solución planteadas con alternativas por función. Estas son una combinación de las alternativas de solución 2 y 3, tomando en cuenta los inconvenientes detectados de ésta solución.

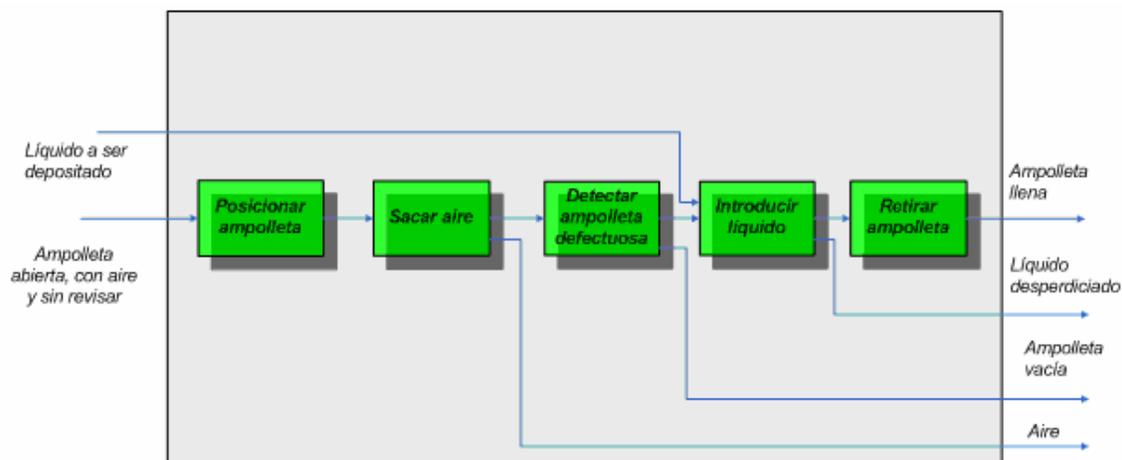


Figura 8.1. Diagrama funcional básico

Tabla 8.1. Alternativas de solución nuevas

	solución 5	Solución 6
Posicionar ampolleta	Movimiento vertical descendente. Ajuste por cono.	Movimiento vertical descendente. Ajuste por cono.
Sacar aire	Por vacío	Por vacío
Detectar ampolleta defectuosa	Por vacío (pasivo)	Por vacío (detección activa)
Introducir líquido	Por diferencia de presiones en contenedor lejano.	Inyección volumétrica a distancia.
Retirar ampolleta	Movimiento vertical ascendente.	Movimiento vertical ascendente.

En las figuras 8.2 y 8.3 se muestran bocetos de las soluciones mencionadas.

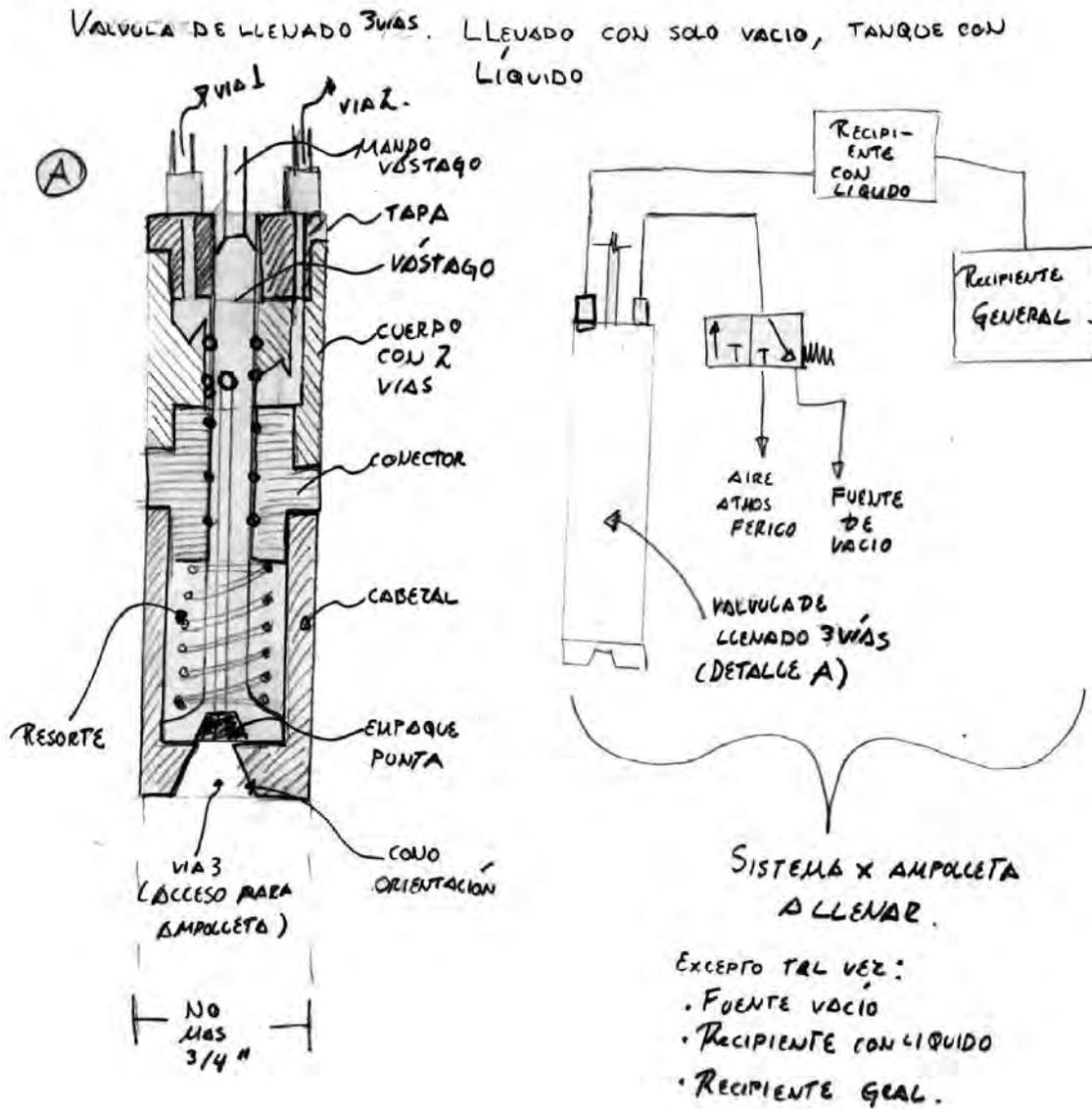


Figura 8.2. Boceto de alternativa de solución 5

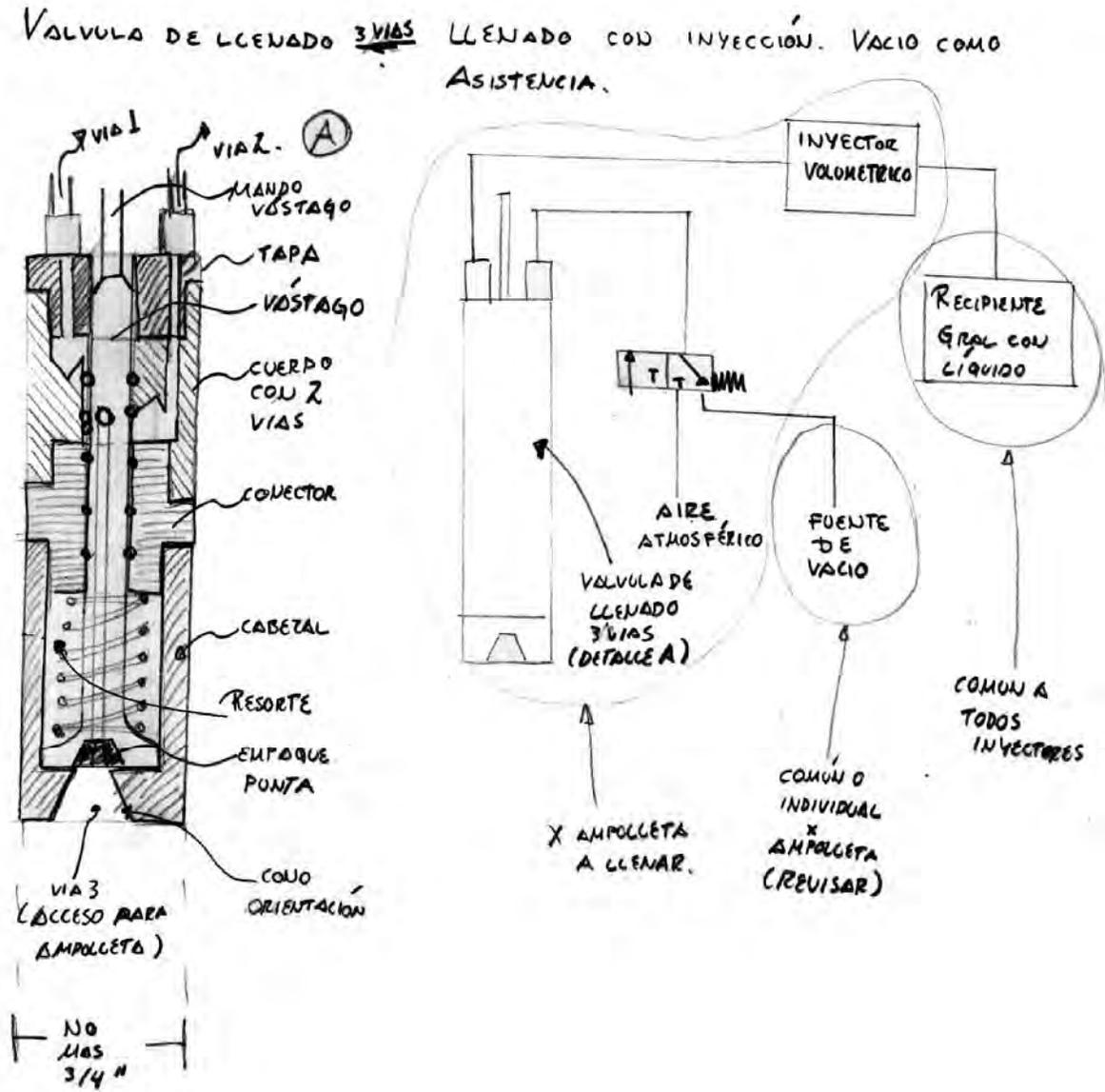


Figura 8.3. Boceto de alternativa de solución 6

Desarrollo de alternativas

Se llevó a cabo el desarrollo de ambas alternativas de solución, ya que la válvula de llenado es común para ambas y solo difieren en la forma de cómo introducir el líquido a la ampolla: por vacío o volumétrico. A continuación se presenta el posible funcionamiento de ambas alternativas así como comentarios respecto al diseño alcanzado hasta el momento.

Alternativa de solución 5

Esta solución funcionaría de la siguiente forma:

1. Una válvula de llenado se colocaría sobre la ampolla plástica. Un empaque en la punta efectuaría el sello.
2. Una vez sellado el sistema se activaría una fuente de vacío para poder evacuar el aire del sistema.
3. Al ser evacuado el aire del cuerpo de la ampolla, la válvula de llenado conmutaría de posición bloqueando la vía de vacío y activando la vía de líquido. Esta vía de líquido estaría conectada a un recipiente con líquido a presión atmosférica.
4. Debido al vacío generado y contenido en la ampolla plástica, el líquido se introduciría en la ampolla por diferencia de presiones.
5. Una vez terminado el llenado de la ampolla plástica, se procedería a conmutar la válvula de llenado a su posición original, activando la vía de vacío y cerrando la vía de líquido.
6. La vía de vacío se conmutaría por medio de una válvula externa a presión atmosférica. Así, se podría eliminar cualquier vacío residual del sistema facilitando la separación de la ampolla.
7. Ya sin vacío y llena la ampolla se procedería a separar ésta de la válvula.

Comentarios

- Se han podido integrar los componentes de la válvula adecuadamente. En el modelo CAD no ha habido problemas de interferencias entre elementos.
- El diseño original presentado en el boceto de la válvula (figura 8.2) ha evolucionado continuamente hasta poder integrar los componentes. En el modelo CAD más reciente ha sido posible evitar problemas de interferencias e integrar todo adecuadamente.
- Si se introdujera una ampolla rota al sistema, ésta no se llenaría debido a que no se generaría vacío. Posteriormente, no habría diferencia de presiones que llenara la ampolla.

En la figura 8.4 se muestra una imagen de la válvula de llenado diseñada a partir del modelo CAD desarrollado.

Alternativa de solución 6

Esta alternativa tendría la misma válvula de llenado que la solución 5, pero el método de llenado no se basaría solo en vacío, sino en un volumen inyectado controladamente. Esta solución funcionaría de la forma:

1. Una válvula de llenado se colocaría sobre la ampolla plástica. Un empaque en la punta efectuaría el sello.
2. Una vez sellado el sistema se activaría una fuente de vacío para poder evacuar el aire del sistema.
3. Al ser evacuado el aire del cuerpo de la ampolla, la válvula de llenado conmutaría de posición bloqueando la vía de vacío y activando la vía de líquido. Esta vía de líquido estaría conectada a un volumen de inyección y a un recipiente con líquido a presión atmosférica con una válvula de 3 vías y 2 posiciones.
4. Una vez evacuado el aire de la ampolla y con la vía de líquido conectada, se inyectaría el volumen de inyección.
5. Una vez terminado el llenado de la ampolla plástica, se procedería a conmutar la válvula de llenado a su posición original, activando la vía de vacío y cerrando la vía de líquido.
6. La vía de vacío se conmutaría por medio de una válvula externa a presión atmosférica. Así, se podría eliminar cualquier vacío residual del sistema facilitando la separación de la ampolla. Mientras tanto el volumen de inyección tomaría líquido y recargaría para la siguiente inyección.
7. Ya sin vacío y llena la ampolla, se procedería a separar la ampolla de la válvula.

Comentarios

- Dado que la válvula principal del sistema es la misma que en la solución anterior, ha sido posible integrar adecuadamente todos los elementos.
- Dado que en esta solución el vacío y el llenado no están directamente ligados, la falta de ampolla o una ampolla rota harían que el sistema se activara y pudiera llenarse erróneamente la ampolla.
- Sin embargo, si se incorpora un transductor de vacío para enlazar la activación del volumen de inyección con la presencia de vacío, sería posible detectar ampollas rotas o falta de éstas. Este transductor podría incorporarse fuera de la válvula de llenado, por lo que se podrían mantener las dimensiones reducidas del sistema.

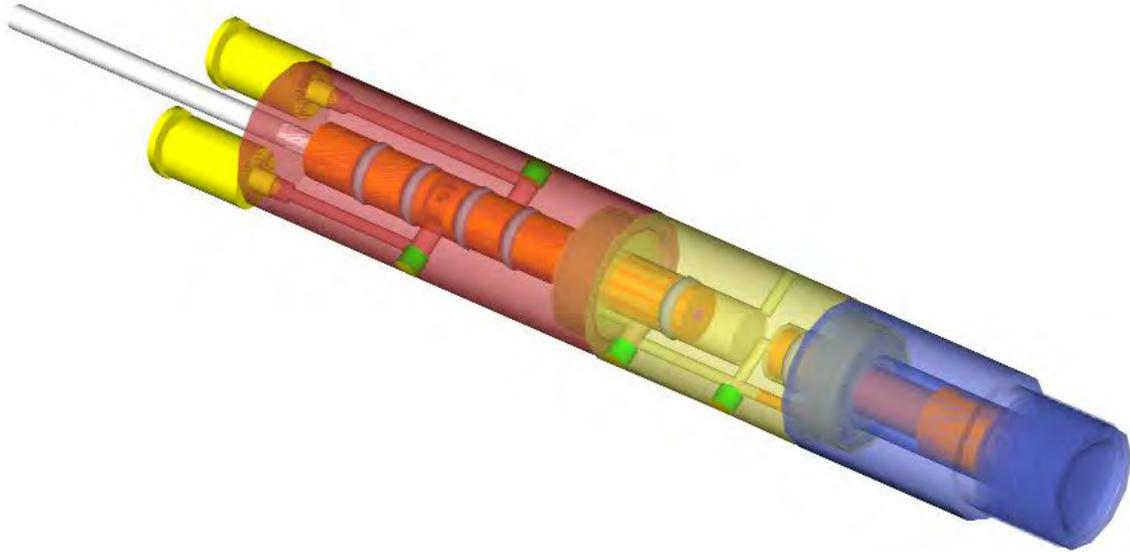


Figura 8.4. CAD válvula de llenado.

CONCLUSIONES

- Con base en las deficiencias encontradas en las alternativas planteadas originalmente, se desarrollaron nuevas alternativas de solución, denominadas 5 y 6.
- Ambas alternativas llenan ampollas individualmente y sería posible detectar ampollas rotas o defectuosas. El método de llenado y detección de vacío difieren, pero el elemento principal (válvula de llenado) es común para ambos.
- Actualmente ya se tiene todo el diseño básico de la válvula de llenado para las soluciones 5 y 6. Se cuenta con los planos de taller de la válvula. El diseño de ésta fue pensado para manufactura con base en operaciones de torno y taladrado. Se procederá a la construcción de la válvula de llenado para posteriormente hacer pruebas para ambos conceptos de solución.

Capítulo 9: Llenado de ampollitas con alternativas de solución 5 y 6

OBJETIVO

- Llenar ampollitas No.3 con agua entintada empleando la válvula de llenado 3/2 en configuración de alternativa de solución 5 y 6.
- Determinar la variación que existe en el llenado de ampollitas cuando empleando la válvula de llenado 3/2 con vacío como elemento de llenado en ambas configuraciones.

MATERIAL

El material empleado en el experimento es el siguiente:

- Sistema de vacío experimental, que consiste de los subsistemas:
 - Compresor de vacío
 - Tanque de vacío
 - Electro válvula 3/2 para vacío y aire
 - Vacuómetro
 - Convertidor AC – DC a 12 V para electro válvulas
 - Recipiente para líquido
- Válvula de llenado 3/2
- Válvula de retención de vacío ISV-M5
- Conectores de válvula de llenado a sistema de vacío
- Tubo flexible
- 1 probeta de 25 ml con graduación de 0.2 ml
- Jeringas de plástico de 20 ml.

Procedimiento de operación

1. Se enciende el sistema de vacío, se enciende la electro válvula que comunica al tanque de vacío con la válvula de llenado 3/2. Esta válvula de llenado se encuentra en su posición 1, donde existe comunicación entre el tanque de vacío y el exterior por medio del sello de la ampollita.
2. Entre la válvula de llenado y el tanque se encuentra la válvula de retención de vacío ISV. Esta permite que se pueda generar vacío aún cuando haya comunicación con el exterior por parte de la válvula de llenado. Hay que esperar hasta que el tanque de vacío alcanza un vacío de 41 cm Hg, el cual es el máximo que otorga la válvula de retención de vacío (70% respecto a la presión atmosférica).
3. Se coloca una ampollita en una superficie plana. Se coloca la válvula de llenado 3/2 por encima de la ampollita y se ejerce presión sobre ésta para que se genere el sello entre la punta de ésta y la válvula de llenado.
4. Al generarse el sello entre la válvula de llenado y la ampollita, la válvula de retención de vacío deja de actuar y es posible aumentar el vacío. Es necesario esperar unos segundos para que la ampollita y llegue al vacío máximo del sistema (52 cm Hg).

5. Al llegar al vacío máximo, se conmuta la válvula de llenado 3/2 a su posición 2, en la cual es posible comunicar el líquido depositado en el recipiente con la ampolla a través de la manguera y la propia válvula.
6. Si el sistema está configurado como alternativa de solución 5, el vacío permitirá llenar la ampolla hasta igualar presiones. Si el sistema está configurado como alternativa 6, será necesario accionar el inyector (jeringa) para poder introducir el líquido a la ampolla.
7. La válvula se retira de la ampolla. Posteriormente la válvula de llenado se regresa a la posición 1. En esta posición se pierde vacío y regresa a 41 cm Hg. Ahora se tienen las condiciones iniciales para iniciar de nuevo el ciclo.

DESARROLLO

Prueba de llenado con alternativa de solución 5 (solo vacío)

Cálculos teóricos

Empleando el modelo matemático teórico para el llenado de ampolla se tiene un valor de $19.58 \pm 0.48 \text{ ml}$ para la serie con un vacío de 52 cm Hg. Esta tolerancia surge del vacuómetro oscilaba 1 cm Hg en sus lecturas debido a la vibración de la bomba de vacío.

Experimentación

La tabla 9.1 muestra los resultados que se obtuvieron en la prueba para la serie llenada con la alternativa de solución 5.

Tabla 9.1. Resultados del experimento para serie 1

No.	Volumen vertido $\pm 0.1 \text{ (ml)}$	Presión de vacío $\pm 10 \text{ (mm Hg)}$
1	19.2	520
2	19.2	520
3	19.6	520
4	19.4	520
5	19.6	520
6	19.4	520
7	19.2	520
8	18.4	520
9	19.2	520

La figura 9.1 muestra los valores obtenidos gráficamente.

La tabla 9.2 ilustra el promedio, varianza y desviación estándar, suponiendo una distribución normal.

Tabla 9.2. Media, varianza y desviación estándar para serie 1

Media aritmética:	19.2	ml
Rango:	1.2	ml
Varianza:	0.12777778	ml
Desviación Estándar:	0.35746018	ml

Tomando como incertidumbre el valor de 3σ para abarcar el 99.74% de los valores en el intervalo de confianza, se tiene que el volumen introducido en las ampollitas para la serie1 es de 19.2 ± 1.05 ml.

La tabla 9.3 muestra los resultados analíticos y experimentales para la serie 1 (solución 5).

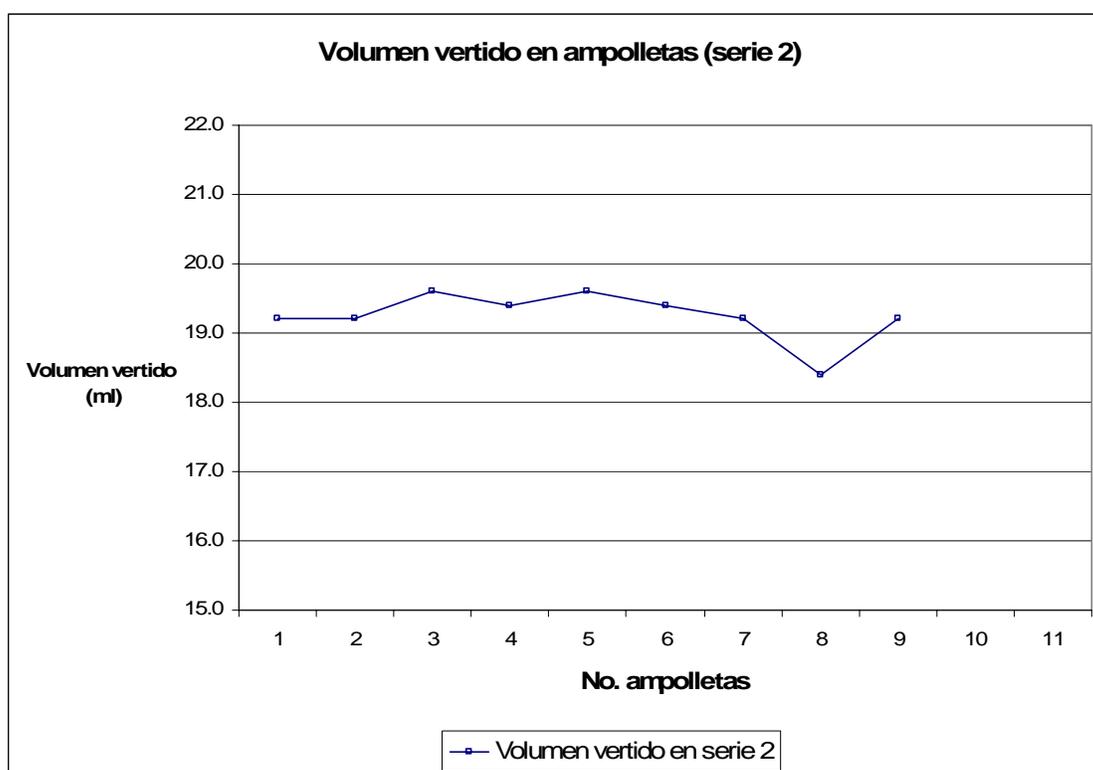


Figura 9.1. Valores obtenidos en el experimento para serie 1

Tabla 9.3. Resultados del experimento serie 1

	Datos teóricos	Datos experimentales	Error abs vol teo - vol exp (ml)	Error rel vol teo - vol exp (%)
Volumen vertido (ml)	19.58	19.2	0.38	1.94
Tol. (ml)	0.48	1.05		
Tol. (%)	2.45%	5.46%		

Prueba de llenado con alternativa de solución 6 (inyección controlada)

Volumen de inyección

Las ampolletas de 20 ml. poseen escala de medición con incrementos de 1ml en 1ml. Se procedió a llenar las jeringas a 20 ml en forma repetida empleando la escala de ésta y determinar el volumen vertido en ellas a través de su medición en una probeta con mayor graduación. El resultado que se obtuvo es que se pueden llenar las jeringas con 20 ± 0.2 ml. Sin embargo, esta medición no es exacta, debido a que depende de la apreciación del experimentador.

Las jeringas llenas se muestran en la figura 9.2.



Figura 9.2. Jeringas empleadas como unidades volumétricas

Experimentación

La tabla 9.4 muestra los resultados que se obtuvieron en la prueba para la serie 2 (solución 6).

Tabla 9.4. Resultados del experimento para serie 1

No.	Volumen vertido ± 0.1 (ml)	Presión de vacío ± 20 (mm Hg)
1	18.8	520
2	19.2	510
3	19.6	510
4	19.0	510
5	19.0	510
6	19.4	510
7	19.8	510
8	19.0	510
9	19.2	510

La figura 9.3 muestra los valores obtenidos gráficamente.

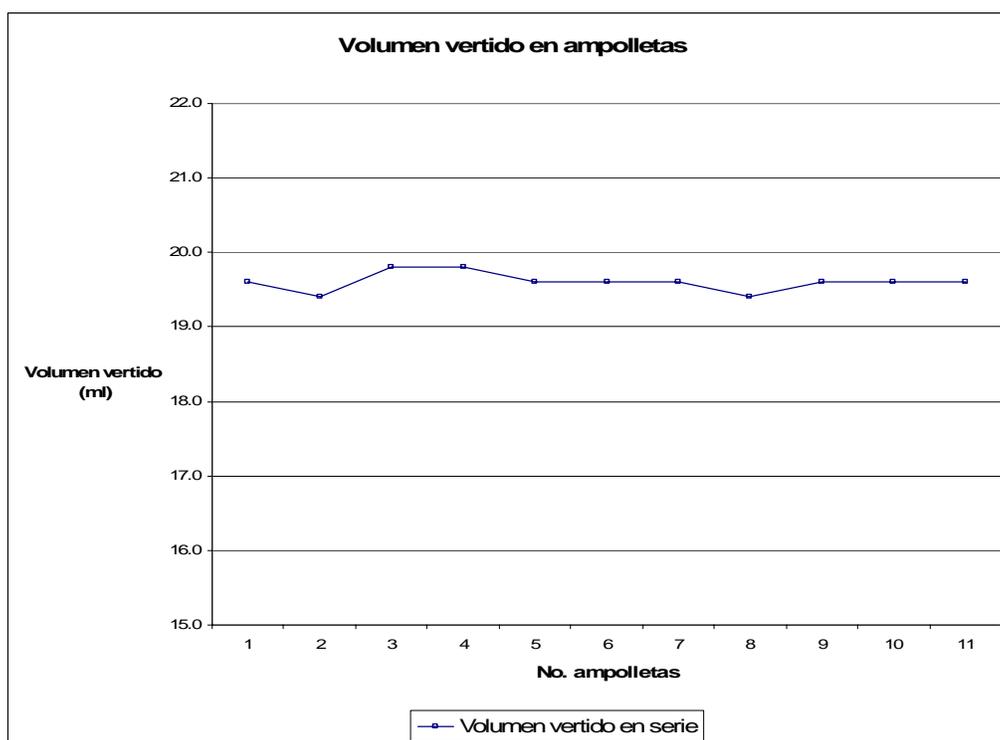


Figura 9.3. Valores obtenidos en el experimento para serie 2

Tabla 9.5. Media, varianza y desviación estándar para serie 1.

Media aritmética:	19.6	ml
Rango:	0.4	ml
Varianza:	0.016	ml
Desviación Estándar.	0.1265	ml

Tomando como incertidumbre el valor de 3σ para abarcar el 99.74% de los valores en el intervalo de confianza, se tiene que el volumen introducido en las ampollitas para la serie1 es de 19.6 ± 0.36 ml.

La tabla 9.6 muestra los resultados del experimento para la serie.

Tabla 9.6. Resultados del experimento serie 2.

	Datos teóricos	Datos experimentales	Error abs teo - vol exp (ml)	Error rel vol teo - vol exp (%)
Volumen vertido (ml)	19.58	19.60	-0.02	-0.10
Error absoluto (ml)	0.48	0.36		
Error relativo (ml)	2.45	1.84		

CONCLUSIONES

- La válvula de llenado 3/2 presenta un ciclo de llenado mucho más homogéneo respecto a diseños anteriores (banco de pruebas 1) empleando las ampollitas No. 3. Aún cuando presenta variaciones entre muestras, éstas son de menor magnitud.
- A la válvula de llenado para ambas alternativas se le incorporó una válvula de retención de vacío en el diseño básico. Esta válvula tiene la función de evitar la pérdida de vacío en caso de que varias válvulas de llenado trabajaran conectadas a una fuente central de vacío. Analizando el desempeño del sistema en general y de la válvula de retención en lo particular, se llegó a la conclusión que este dispositivo resulta redundante en el sistema, ya que solo retiene el 70% del vacío en forma óptima. Así, este sistema central solo conservaría el 70% del vacío en caso de que se presentara una fuga en alguna de las válvulas, lo que sería dañino para el sistema. Así mismo, se han presentado fallas y problemas en su funcionamiento.
- Debido a lo anterior, se eliminará la válvula de retención de la válvula de llenado y se buscará individualizar la fuente de generación de vacío, de tal forma que el fallo en una válvula no repercuta en el mal llenado de las demás en caso de que se usen varias válvulas en conjunto para llenar una serie o lote de ampollitas plásticas.
- La alternativa de solución 5 presentó un error del 1.94% respecto al cálculo teórico empleando solo vacío. Además, presentó un rango de variación del experimento de 1.2 ml,

el cual es menor que en pruebas realizadas con sistemas anteriores, pero aún es considerable.

- En contraste, la solución 6 presentó un error del .1% respecto al cálculo teórico, ya que la inyección de material se encontraba asistida por la inyección de la jeringa y no dependía solo del vacío. La variación del experimento es mucho menor (0.4 ml).
- En el experimento con la solución 6 no se lograron verter los 20 ml. que se supuso estaban contenidos en las jeringas de inyección. Esto puede deberse a dos factores:
 - Las jeringas no poseían los 20 ml, debido a error en la medición por la escala tan abierta que presentan (1 ml). Aún cuando se hicieron cargas preliminares, era imposible medir con una mayor resolución el contenido de la jeringa antes de verterse.
 - Aire en la vía de líquido debido al intercambio de jeringas.
- El tiempo que tardaron las ampolletas en llenarse empleando la alternativa de solución 5 se situó en los 8 s. El tiempo de llenado de ampolletas con la solución 6 disminuyó hasta situarse hasta los 4 s.
- También se han efectuado ensayos preliminares con líquidos viscosos (loción COLORFIX). Aún cuando no se han reportado formalmente sus resultados, éstos indican que no es posible llenar ampolletas con la alternativa de solución 5. Sin embargo, si ha sido posible efectuarlo con la alternativa de solución 6, ya que la inyección controlada compensa la incapacidad del vacío solo en introducir el líquido.
- Los resultados anteriores se expresan en una matriz de Pugh para contrastar las características de ambas soluciones (Tabla 9.7). Así mismo, se añaden algunos criterios de selección adicionales que se consideran relevantes en la evaluación de las alternativas de solución.

Tabla 9.7. Evaluación y selección de alternativas 5 y 6.

<i>Especificaciones del Sistema</i>	<i>Solución 5</i>	<i>Solución 6</i>
<i>Producción por minuto</i>	0	+
<i>Líquidos admisibles</i>	0	0
<i>Ampolletas admisibles</i>	0	0
<i>Costo del módulo</i>	0	0
<i>Tipo de operación</i>	0	0
<i>Volumen de líquido a verter</i>	0	+
<i>Operatividad con módulos restantes</i>	0	0
<i>Detección de ampolleta defectuosa</i>	0	0
Sumar +	0	2
Sumar 0	8	6
Sumar -	0	0
Puntuación	0	2
Conclusión	No viable	viable

- La solución 6 presenta un menor tiempo de llenado, menor variación en llenados consecutivos y la capacidad de introducir líquidos viscosos. Por lo tanto, la solución 6 se considera como viable y se hará un desarrollo posterior de ésta.

- Hasta el momento se han efectuado las pruebas de llenado manualmente. Debido a que se ha desarrollado la capacidad para manipular el sistema, es posible que se estén ocultando algunos defectos y/o fallas potenciales del sistema con la manipulación manual.
- Es necesario evaluar especificaciones críticas como el tiempo de llenado, de ciclo y el volumen vertido con mayor exactitud. Quitar la variabilidad por operación manual es importante, por lo que el desarrollo posterior de la solución 6 implicará la automatización del proceso.

Desarrollo de solución 6

En la figura 9.4 se muestra un diagrama con los componentes que conformarían la solución 6 completa. La figura 9.5 muestra el diagrama funcional planteado para el banco de pruebas de la solución.

Hasta el momento se ha actuado la válvula de llenado en forma manual, así como la sincronización del sistema. Será necesario automatizar estos movimientos para independizar la solución de la actuación manual y volverla automática.

El posgrado en ingeniería de la UNAM cuenta con un laboratorio de automatización industrial, donde se encuentran disponibles controles lógico programables (PLC), elementos neumáticos y eléctricos. Se diseñará el banco de pruebas para la solución 6 para incorporar estos elementos y automatizar el sistema con la electro-neumática disponible.

Se actualizarán las necesidades, requerimientos y especificaciones debido a las nuevas restricciones del problema de diseño y poder establecer y medir parámetros en la evolución de la solución 6.

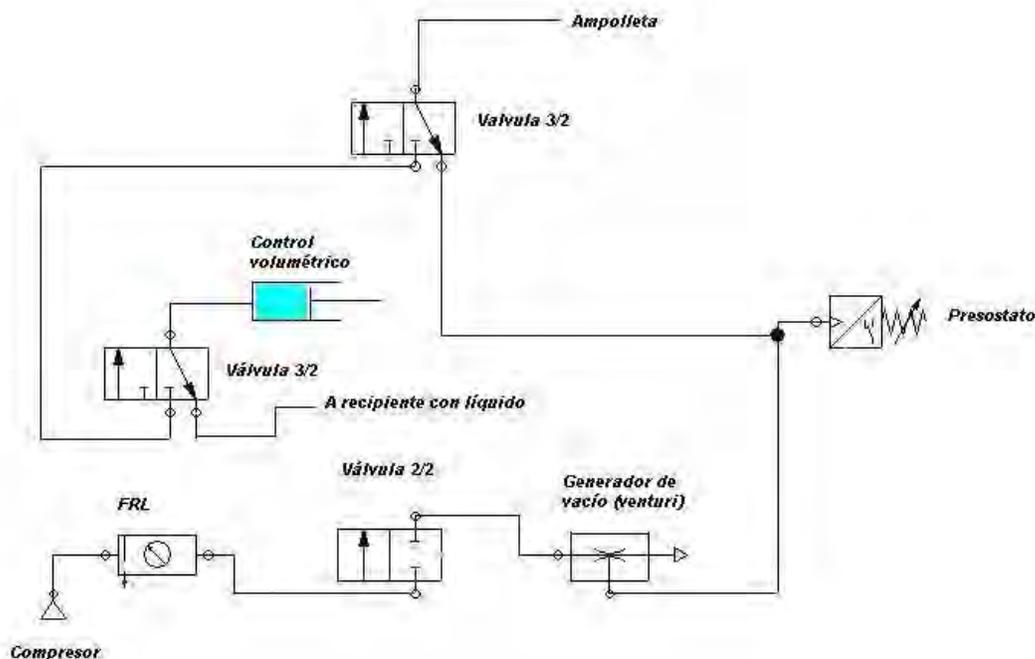


Figura 9.4. Componentes del desarrollo de la solución 6.

Notas de la configuración

- El presostato sería el elemento que permitiría determinar si el sistema va a pudiera actuarse o no. Si al generarse el vacío no se detectara el nivel de vacío adecuado, entonces la actuación sobre el volumen de control y su válvula asociada no se llevaría a cabo.
- Si la válvula de llenado 3/2 fallara (rotura en sellos) se presentaría un estado de fuga de vacío. El presostato no marcaría el nivel de vacío adecuado y no se llevaría a cabo la inyección de líquido.
- El volumen de control debería de ser completamente hermético, de tal forma que éste sea capaz de succionar el líquido del depósito central sin que entre aire, así como llevarlo a la válvula de llenado sin fugas. Es un elemento que se tiene que evaluar completamente, dado que no ha sido estudiado a fondo.
- Sería posible inyectar más líquido que el indicado por el nivel de vacío en la ampollita, dado que el llenado ya no sería dependiente de la diferencia de presiones. El vacío solo se utilizaría para evitar una sobre presión en la ampollita cuando se agrega líquido y para minimizar la formación de espuma.
- Existiría un sistema de inyección y un generador de vacío por válvula de llenado. Con base experimentos y análisis anteriores, se considera que un sistema central de vacío sería inviable por la posibilidad de falla de un conjunto de válvulas si se presentara fuga por alguna de éstas.

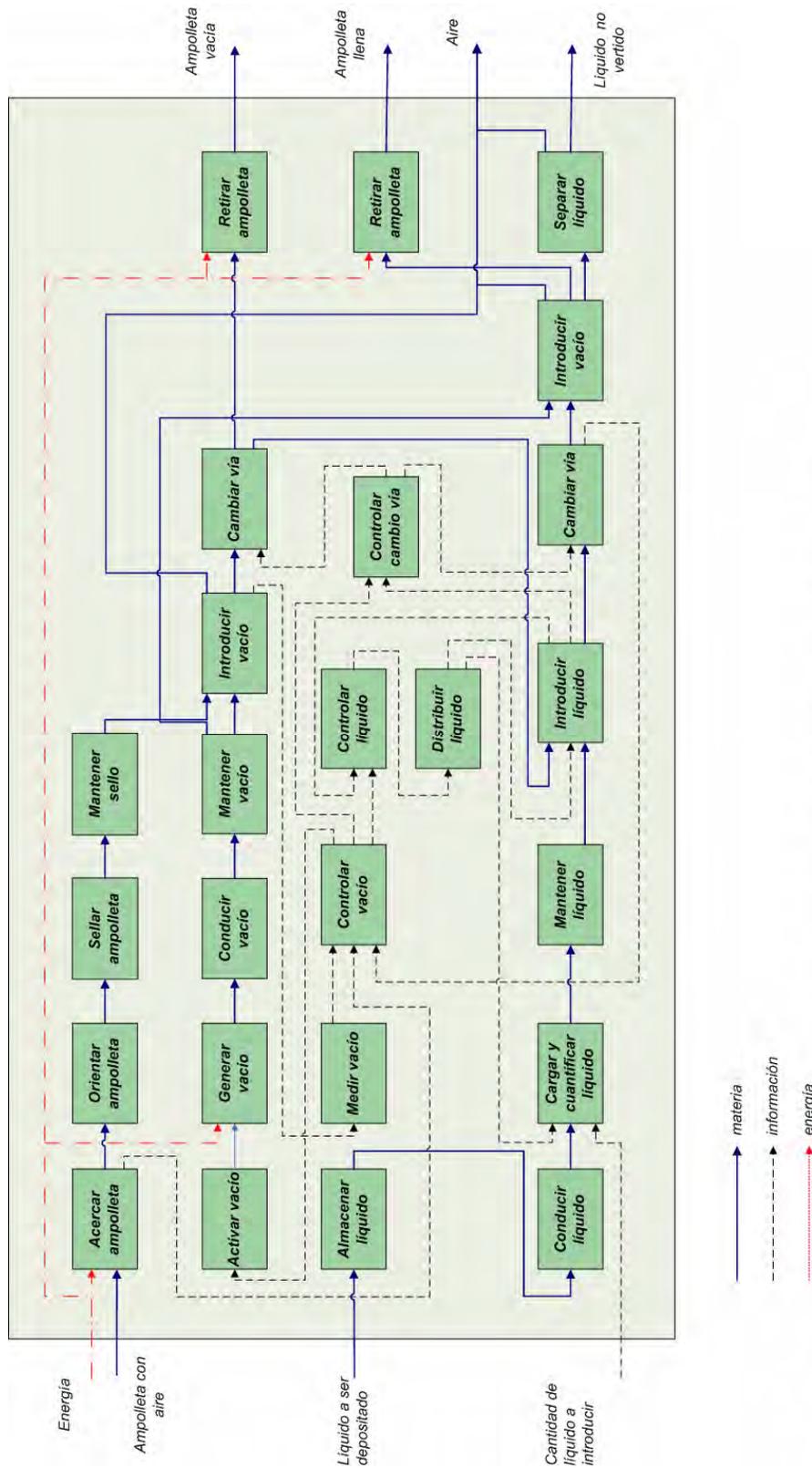


Figura 9.5. Descomposición funcional para banco de pruebas 2 (alternativa de solución 6)

Capítulo 10: Ficha de definición de producto revisada (II)

OBJETIVO

- Definir las características básicas del producto a diseñar con base en los avances realizados y nuevas restricciones planteadas.
- Redefinir y añadir requerimientos y necesidades del producto a diseñar, añadiendo nuevas especificaciones en caso necesario.

DESARROLLO

Modelo de caja negra

En la figura 10.1 se muestra una actualización del modelo de caja negra, con base en el nuevo planteamiento del problema para el sistema a diseñar.



Figura 10.1. Modelo de caja negra

Definición del problema

Dispositivo que permite llenar ampolletas de plástico que vienen ordenadas, abiertas, con aire en su interior y sin revisar con una determinada cantidad de líquido.

Ficha de definición, requerimientos y especificaciones

A continuación se presenta la ficha de definición revisada con base en la actualización del problema planteado, así como los requerimientos y especificaciones del sistema a diseñar.

Tabla 10.1. Ficha de definición de módulo de llenado

<i>Definición</i>	<ul style="list-style-type: none"> Dispositivo que permite llenar ampollitas de plástico abiertas y con aire en su interior con una determinada cantidad de líquido.
<i>Objetivos Principales</i>	<ul style="list-style-type: none"> Desarrollar un dispositivo que permita llenar ampollitas plásticas abiertas con una cantidad de líquido predeterminada. La velocidad de llenado del dispositivo debe de ser de 210 ampollitas por minuto mínimo. Llevar a cabo el diseño y desarrollo de un sistema que llene ampollitas plásticas siguiendo una metodología de diseño. Documentar el proceso de diseño.
<i>Mercado primario</i>	<ul style="list-style-type: none"> Empresa de cosméticos con ampollitas plásticas.
<i>Mercado secundario</i>	<ul style="list-style-type: none"> Procesos de llenado en otras líneas de productos dentro de la compañía. Otros procesos de llenado en productos similares en empresas diversas.
<i>Características básicas del sistema</i>	<ul style="list-style-type: none"> El dispositivo debe de llenar las ampollitas con un mínimo de variación. El dispositivo se acoplará con los otros módulos (verificado, sellado, etc.) El dispositivo debe instalarse dentro del área que utiliza el proceso previo. El dispositivo no debe alterar las propiedades del líquido a ser contenido. El dispositivo de llenado no afectará a la ampollita a llenar. El dispositivo es capaz de llenar ampollitas con todos los líquidos empleados en la actualmente. El dispositivo de llenado debe cumplir con la normatividad aplicable (nacional y/o internacional) El dispositivo entrega la ampollita con un mínimo líquido en el exterior. El dispositivo debe de llenar ampollitas individualmente o en lote.
<i>Principales competidores</i>	<ul style="list-style-type: none"> Sistema de llenado utilizado en el sistema de envasado actual. Sistemas de llenado que se estén preparando y desarrollando en paralelo.
<i>Riesgos del Proyecto</i>	<ul style="list-style-type: none"> Problemas laborales que se originen por el cambio y/o reemplazo del personal por la puesta en marcha del nuevo sistema y sus módulos. Competencia directa de un sistema de llenado que es empleado actualmente y que lleva su tarea adecuadamente, siendo su única desventaja el ser de operación manual.
<i>Alcance del proyecto</i>	<ul style="list-style-type: none"> Diseño conceptual de un sistema o dispositivo que permita llenar diferentes tipos de ampollitas de plástico con diferentes líquidos.

Tabla 10.2. Necesidades detectadas y adicionales (1)

No.	Enunciado del Cliente	Necesidad Interpretada
1	El sistema cumplirá con las normas aplicables a la empresa cosmética.	El sistema cumple con la normatividad aplicable.
2	El sistema se implementará dentro de la misma zona donde se encuentra la línea actual.	El módulo de llenado opera dentro del área de proceso actual.
3	El sistema actual produce cansancio en las operadoras después de varias operaciones.	El dispositivo es de operación automática.
4	El sistema actual es algo ruidoso.	El sistema cumple con la normatividad aplicable.
5	El módulo no debe necesitar a empleado todo el tiempo.	El sistema es de operación automática.
6	El tiempo de ciclo de llenado actual es de 90 s. Antes era de 40 s.	El dispositivo puede llenar 210 ampollitas por minuto.
7	Necesitamos llenar 4 tipos diferentes de ampollitas.	El dispositivo llena 4 tipos de ampollitas (originales).
8	Utilizamos 8 líquidos diferentes en las ampollitas.	El dispositivo llena ampollitas con los líquidos especificados.
9	La ampollita no debe de tener fluctuaciones de llenado.	El dispositivo llena ampollitas con la cantidad especificada.
10	El sistema actual no desperdicia mucho líquido.	El sistema desperdicia poco líquido.
11	El sistema de llenado debe de ser superior al actual.	El dispositivo entrega ampollitas con poco líquido en el exterior.
12	El módulo debe de integrarse con los otros módulos de la nueva línea.	El sistema se integra con el resto de los módulos del sistema de envasado.
13	El sistema actual de llenado forma espuma y empapa el cuerpo de las ampollitas, teniendo que secarlas después.	El dispositivo entrega ampollitas con poco líquido en el exterior.
14	Se necesita tener una producción de 250 unidades por minuto con una eficiencia del 90% (210 ampollitas por minuto).	El dispositivo puede llenar 210 ampollitas por minuto.
15	El sistema deberá tener poco mantenimiento.	El sistema requiere mantenimiento reducido.

Tabla 10.3. Necesidades detectadas y adicionales (2)

No.	Enunciado del Cliente	Necesidad Interpretada
16	La máquina actual tarde mucho en realizar su llenado.	El dispositivo puede llenar 210 ampollitas por minuto.
17	El módulo debe de realizar la operación de sopleteado.	El dispositivo entrega ampollitas con poco líquido en el exterior.
18	El módulo debe de ser fácil de limpiar.	El sistema requiere mantenimiento reducido.
19	No hay restricción en presupuesto por el momento. El diseño es libre.	Se requiere presupuesto de costo de módulo de llenado.
20	El fallo en el llenado de una ampollita no debe de inducir al fallo en el llenado de las otras.	El sistema de llenado llena ampollitas individualmente.
21	El sistema de llenado debe de ser robusto.	El dispositivo opera dentro de los rangos de tolerancia acordados.
22	Las ampollitas pueden venir abiertas. Se debe evitar llenar estas ampollitas.	El dispositivo llena ampollitas que no vengan rotas o perforadas.
23	Se podría proponer un cambio en la punta de la ampollita. Sin embargo, no sabemos si sea viable.	El dispositivo llena 4 tipos de ampollitas (originales).
24	No sabemos la configuración de todo el sistema de llenado ni del sistema de envasado en su conjunto. Puede ser continuo o por lotes.	El dispositivo puede montarse para llenar ampollitas por lotes o individualmente.
25	El sistema debe de poderse manufacturar con operaciones de torno, taladrado, cepillo y operaciones de pailería convencional.	El sistema se manufactura con operaciones de torno, taladrado, cepillo y operaciones de pailería convencional.
26	En el diseño del sistema prototipo es necesario poder emplear la neumática y electro-neumática disponible en el laboratorio de automatización del posgrado.	El sistema prototipo se actúa por medio de electro-neumática.
27	El control del sistema prototipo debe de poderse efectuar con los elementos disponibles en el laboratorio de automatización del posgrado.	El sistema prototipo de controla por medio electro-neumáticos y control lógico programable.

Tabla 10.4. Definición de especificaciones (1)

	Especificación	Valor nom.	Tol.	Unidades	Tipo	Descripción	Observaciones	Fuente
A	Producción por minuto	250	±20%	ampollitas por minuto	Cinemática	Capacidad de producción del sistema a diseñar	Obtenida	Compañía productora de cosméticos
B	Líquidos admisibles	12	-	líquido	Material	Lista de líquidos admitidos	Ver tabla de referencia	Compañía productora de cosméticos
C	Viscosidad de líquidos admisibles	1 - 1700	-	centipoises	Material	Viscosidad admitida en líquidos	Obtenida	Compañía productora de cosméticos
D	Densidad de líquidos admisibles	1000	Por definir	kg/m ³	Material	Densidad admitida en líquidos	Parcialmente obtenida	Compañía productora de cosméticos
E	Sustancia base de líquidos admisibles	Agua	-	nombre	Material	Sustancia base de líquidos admitidos	Obtenida	Compañía productora de cosméticos
F	Ampollitas admisibles	Tipo 1,2,3 y 4	-	tipo de ampollita	Material	Ampollitas que pueden ser llenadas en el módulo de llenado	Ver tabla de referencia	Compañía productora de cosméticos
G	Material de ampollitas admisibles	Cristal, Café, Blanco.	-	PVC	Material	Material constituyente de las ampollitas	Obtenida	Compañía productora de cosméticos
H	Nivel de ruido	Por definir	Por definir	dB	Seguridad	norma que debe respetar el diseño del módulo para operar en la república mexicana.	Por obtener	NOM-011-STPS-2001
I	Costo del módulo	Por definir	Por definir	pesos	Costos	Costo total del diseño y construcción del módulo	Por obtener	CDM
J	Tipo de operación	automático	-	operación	Ergonomía	El módulo de llenado no debe requerir la asistencia de personal en su ciclo de trabajo.	Por obtener	CDM y compañía productora de cosméticos
K	Volumen de líquido a verter	0- 20	9%	ml	Material	Cantidad de líquido y tolerancia a verter por tipo de ampollita	Ver tabla de referencia	Compañía productora de cosméticos y NOM-002-SCFI-1993
L	Tiempo de cambio entre líquidos	<45 min	-	min	Mantenimiento	Tiempo que se transcurre entre cambio de un líquido a otro	Por obtener	CDM
M	Tiempo de cambio entre ampollitas	< 45 min	-	min	Mantenimiento	tiempo que transcurre entre cambio de una ampollita a otra	Por obtener	CDM
N	Ancho máximo en componentes	Por definir	-	mm	Geometría	Ancho máximo encontrado en los componentes del sistema	Por obtener	CDM y compañía productora de cosméticos
O	Largo máximo en componentes	Por definir	-	mm	Geometría	Largo total esperado del sistema de llenado (por dispositivo)	Por obtener	CDM y compañía productora de cosméticos
P	Altura máxima en componentes	Por definir	-	mm	Geometría	Altura máxima en componente del sistema	Por obtener	CDM y compañía productora de cosméticos
Q	Operatividad con módulos restantes	Pasa	-	operatividad	Operación	Capacidad de acoplarse con módulos restantes del sistema de envasado	Obtenida	CDM
R	Cantidad de líquido en exterior de ampollitas	Poco	poco, nada	líquido	Material	Residuos en el exterior de la ampollita	Por obtener	CDM y compañía productora de cosméticos
S	Revisión y mantenimiento de componentes	Por definir	Por definir	ciclos de llenado	Mantenimiento	mantenimiento programado para componentes del sistema a diseñar	Por obtener	CDM y compañía productora de cosméticos
T	Tipo de llenado de ampollita	Individual	-	llenado	Ensamble	forma en que el módulo llena las ampollitas	Obtenida	CDM
U	Tipo de montaje	Individual o en lote	-	montaje	Ensamble	Capacidad que tiene el dispositivo de instalarse para trabajar individualmente o en conjunto	Obtenida	CDM
V	Detección de ampollita defectuosa	Si	-	señal de detección	Señal	Una ampollita defectuosa es aquella en la que no se puede generar vacío en ella.	Parcialmente obtenida	CDM

Tabla 10.5. Definición de especificaciones (2)

	Especificación	Valor nom.	Tol.	Unidades	Tipo	Descripción	Observaciones	Fuente
W	Características y formas susceptibles de conformarse en operaciones de taller (excepto fresa) y pailería	Si	-	conformado	Producción	El diseño de los componentes del sistema de llenado pueden fabricarse con operaciones de taller, maquinado, pailería, exceptuando fresa.	Obtenida	Diseñador
X	Material de componentes mecánicos	Por definir	Por definir	material	Control de calidad	Normatividad nacional no existe, solo relacionada la de la industria farmacéutica. En EE.UU. La FDA lo norma con tres documentos.	Al diseñarse el equipo tomar en cuenta limpieza y mantenimiento. Los materiales no debe de alterar el producto en ninguna forma (física o químicamente)	NOM-164-SSA1-1998, NOM 059-SSA1-1993, PROY-NOM-059-SSA1-2004, FD&C Act, Cosmetic Product Related Regulatory Requirements And Health Hazard Issues, Cosmetic Good Manufacturing Practice Guidelines
Y	Material de tubería de conexión	Por definir	Por definir	material	Control de calidad			
Z	Material en sellos y empaques	Por definir	Por definir	material	Control de calidad			
A1	Diámetro máximo de válvula de llenado	19.05	< 19.55	mm	Geometría	diámetro máximo permisible para poder instalar válvulas en configuración individual o en lote.	Obtenida	Diseñador
B1	Tiempo máximo de inyección	por definir	-	s	Cinemática	tiempo máximo que tarda en introducir líquido a la ampollita de mayor capacidad	No obtenida	CDM
C1	Tiempo máximo de vacío	por definir	-	s	Cinemática	tiempo máximo que tarda en evacuar el aire de la ampollita con mayor capacidad	No obtenida	CDM
D1	Tiempo de ciclo por válvula	por definir	-	s	Cinemática	Tiempo nominal entre llenado de ampollitas sucesivas	No obtenida	CDM
E1	Nivel de vacío generable	0 - 90%	-	vacío	Energía	Nivel de vacío que el sistema puede generar para evacuar el aire de las ampollitas.	Obtenida	CDM
F1	Capacidad de tanque de recuperación	Por definir	Por definir	ml	Geometría	Capacidad que tiene el tanque para recuperar el líquido no introducido y evitar su desperdicio.	No obtenida	CDM
G1	Fuerza de cierre	Por definir	Por definir	newtons	Fuerza	Fuerza que requiere la válvula de llenado para evitar la salida de líquido en la inyección.	No obtenida	CDM
H1	No. de dispositivos de llenado requeridos	Por definir	Por definir	dispositivos	Geometría	Número de dispositivos de llenado que se requieren para cumplir con la producción objetivo de 210 ampollitas por minuto.	No obtenida	CDM
I1	Máxima presión de trabajo en vía de vacío	-0.88	-	bar	Seguridad	Máxima presión de trabajo tolerada en componentes de vía de vacío	No obtenida	CDM
J1	Máxima presión de trabajo en vía de líquido	Por definir	-	bar	Seguridad	Máxima presión de trabajo tolerada en componentes de vía de líquido	Obtenida	CDM
K1	Tipo de actuación en elementos de sistema	Electro-neumática	-	actuación	Energía	Tipo de actuación disponible para el prototipo del sistema en el posgrado.	Obtenida	Diseñador
L1	Tipo de control de sistema de llenado	Electro-neumático	-	control	Señal	tipo de control disponible para los elementos que comanden el sistema prototipo.	Obtenida	Diseñador
M1	Presión de trabajo neumática requerida	0 - 6	-	bar	Energía	Presión de trabajo requerida para operación automática de componentes.	Obtenida	CDM

Capítulo 11: Banco de pruebas 2

OBJETIVO

- Presentar el banco de pruebas 2 terminado.
- Presentar los diagramas de conexión eléctrico y neumático para la operación del banco de pruebas 2.

INTRODUCCIÓN

Después de efectuar una comparación y selección entre las alternativas de solución 5 y 6, se determinó que esta última cumple en mayor medida los requerimientos y especificaciones planteados para la solución del problema de llenado de ampollas plásticas.

Como siguiente fase de desarrollo se determinó que se automatizaría la válvula de llenado 3/2 con el módulo de inyección (alternativa de solución 6) para poder seguir avanzando en el estudio de la alternativa, obtener información para determinar parámetros críticos (como tiempo de llenado, tiempo de ciclo, etc.) y evitar la posible compensación por la operación manual del sistema. Así mismo, se podría evaluar todo el sistema en su conjunto y determinar los componentes necesarios, redundantes y faltantes para completar la solución.

En la figura 11.1 se muestra el diagrama básico de componentes propuestos para la automatización de la alternativa de solución 6.

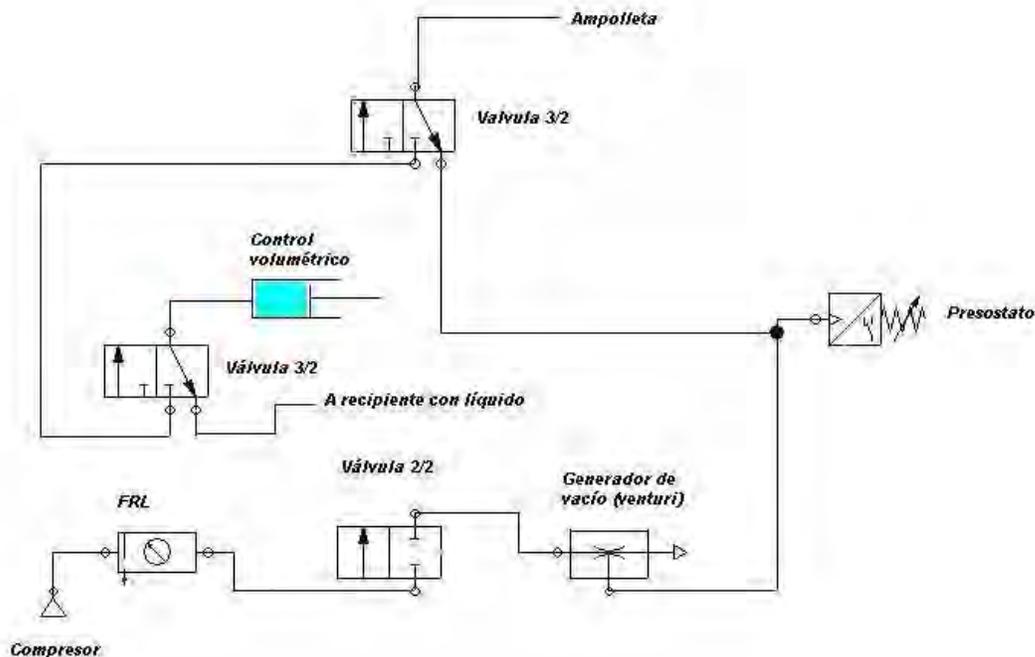


Figura 11.1. Diagrama básico para banco de pruebas 2

DESARROLLO

Se ha completado la construcción del banco de pruebas 2, el cual es la automatización de la alternativa de solución 6 (válvula de llenado 3/2 con vacío y sistema de inyección). En la figura 11.2 se muestra el banco de pruebas completado.

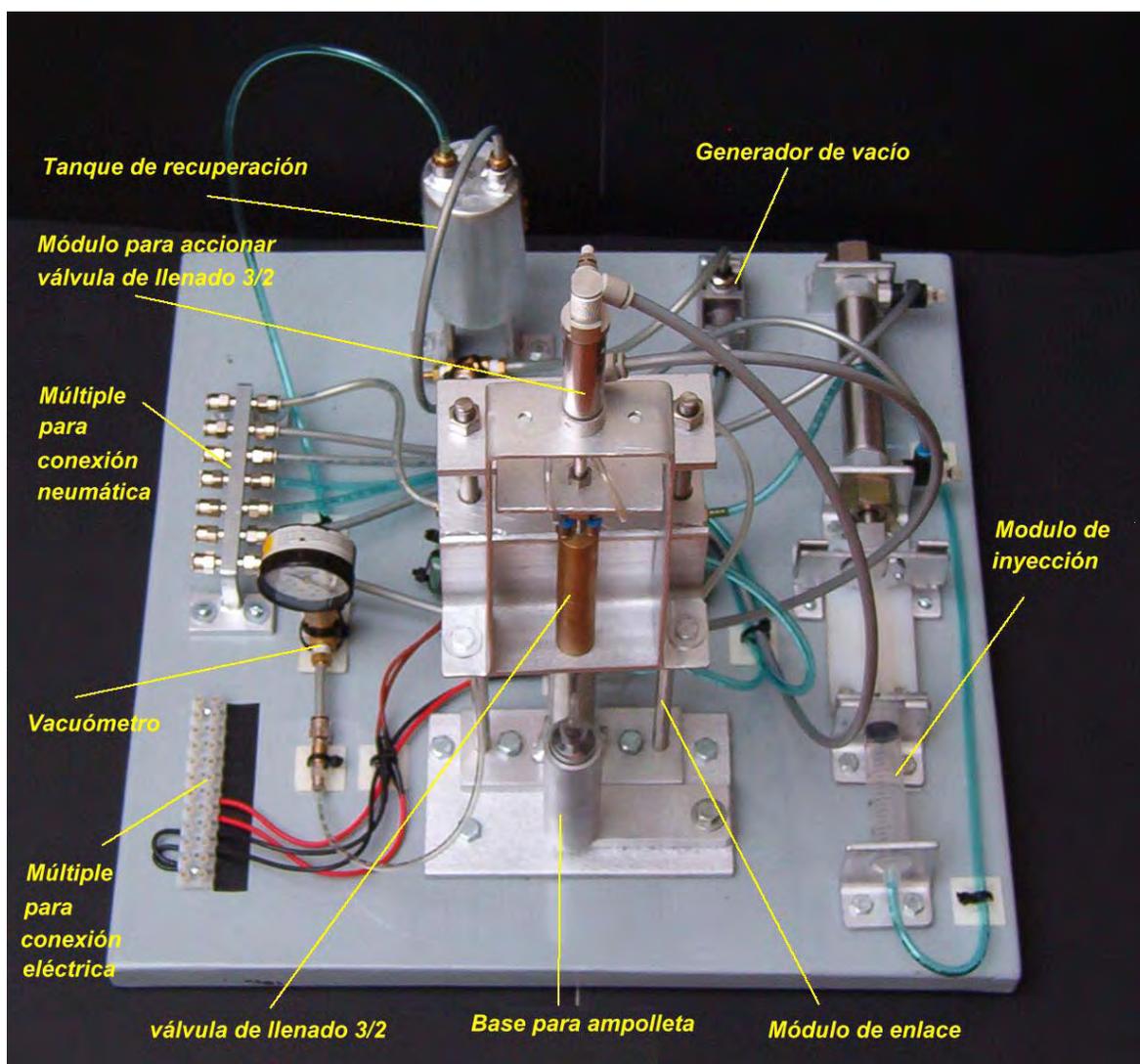


Figura 11.2. Detalle de banco de pruebas 2

La tabla 11.1 muestra la numeración de los componentes que constituyen el banco de pruebas 2 (alternativa de solución 6). La ubicación de estos componentes se ilustra en las figuras 11.3 y 11.4.

Tabla 11.1. Componentes para banco de pruebas 2 (alternativa de solución 6)

No.	Componente	No.	Componente
1	Cabezal	13	Varilla de mando
2	Empaque punta	14	Tubo para vacío
3	Vástago de conexión	15	Tubo para líquido
4	Resorte de compresión	16	Racor rápido M5 4mm
5	Cuerpo medio	17	Cople M5
6	Tapón 1	18	Racor rápido M5 6mm
7	Tapón 2	19	Tanque para líquido
8	Cuerpo superior	20	Válvula 3/2 para líquido
9	Racor rápido M3 4mm	21	Inyector de líquido
10	O-Ring No. 7	22	Válvula 3/2 para aire y vacío
11	Vástago de selección	23	Generador de vacío
12	Tapón 3	24	Tanque de recuperación de líquido

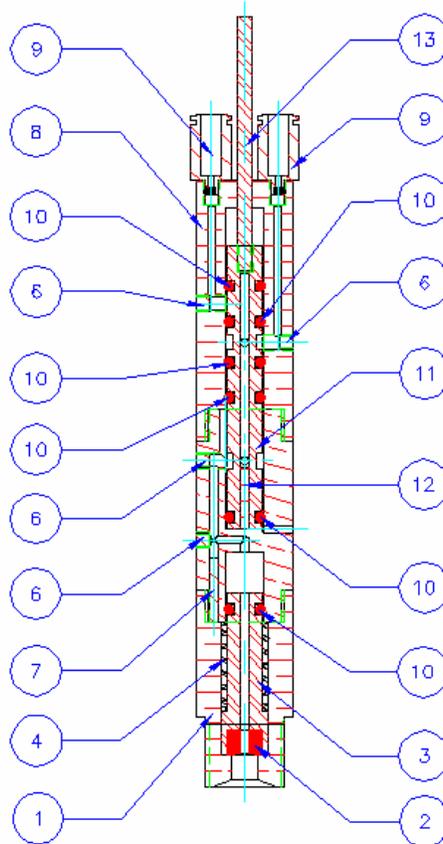


Figura 11.3. Distribución de componentes en válvula de llenado 3/2 de banco de pruebas 2

Conexión del banco de pruebas 2

Conexión general

En la figura 11.4 se muestra la conexión de los componentes del banco de pruebas No.2.

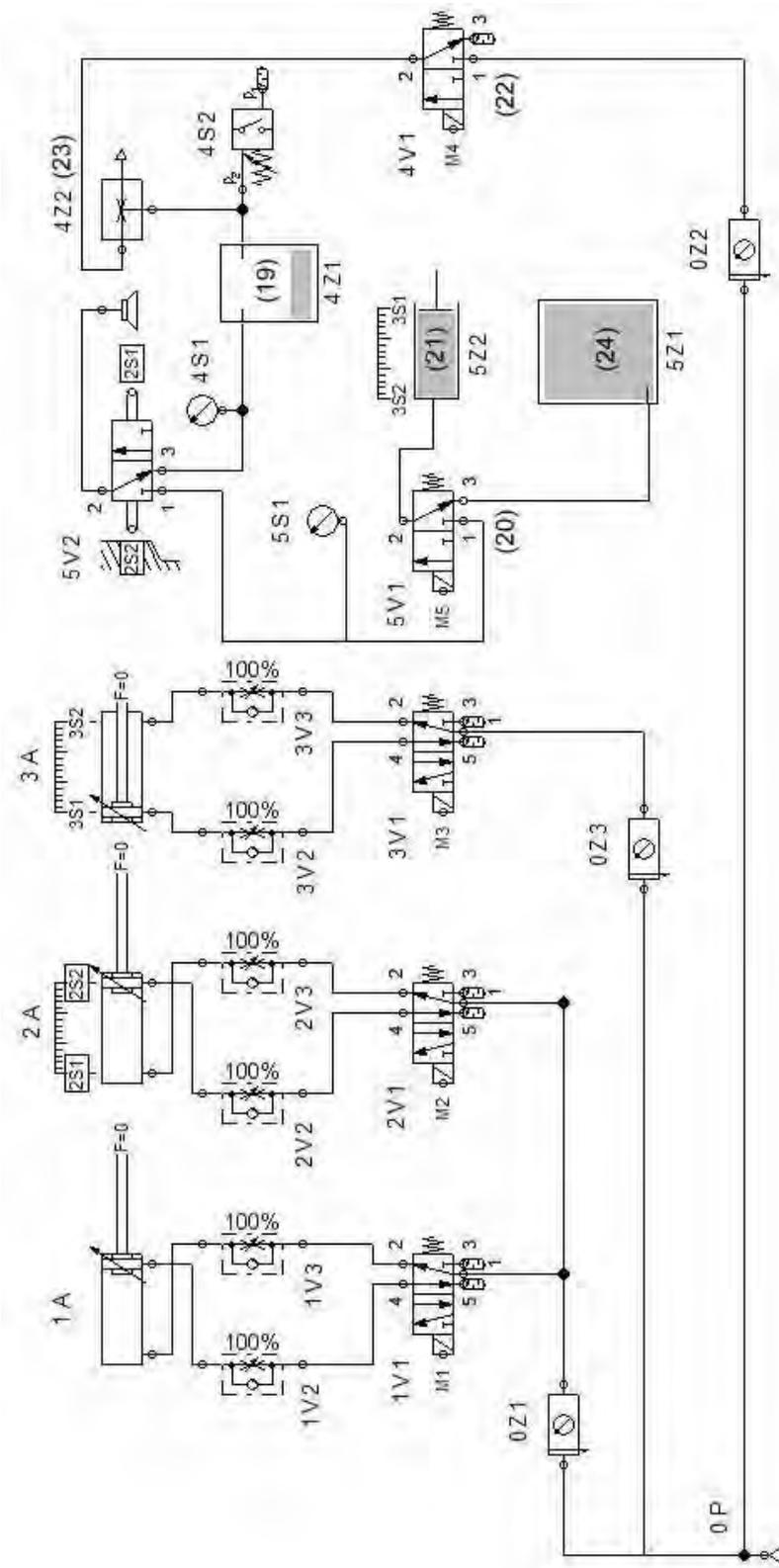


Figura 11.4. Diagrama electropneumático (norma DIN/ISO 1219-2)

En las tablas 11.2 y 11.3 se muestran los elementos externos y adicionales al banco de pruebas 2 que deben de ser empleados para completarlo y que se encuentran en el laboratorio de automatización industrial (edificio de posgrado. Facultad de ingeniería, UNAM).

Conexión neumática

- Conectar los pistones 1A, 2A, 3A y elemento 4Z2 a sus elementos correspondientes como lo muestra la figura 11.4. Emplear las salidas provenientes del múltiple de conexiones neumático 1 del banco de pruebas 2 (figura 11.5).

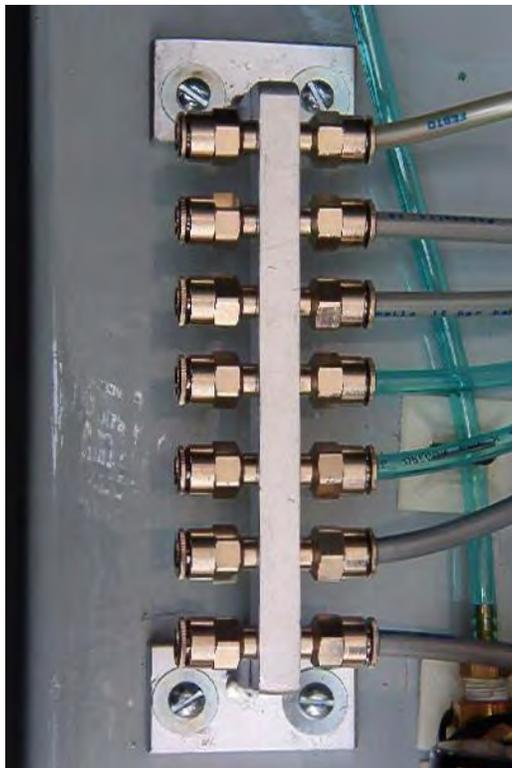


Figura 11.5. Múltiple de conexiones neumático 1 de banco de pruebas 2

- La figura 11.7 muestra las salidas y entradas provenientes de los elementos 1A, 2A, 3A y 4Z2 en el múltiple de conexiones neumático 1. La notación usada se explica en la figura 11.6.

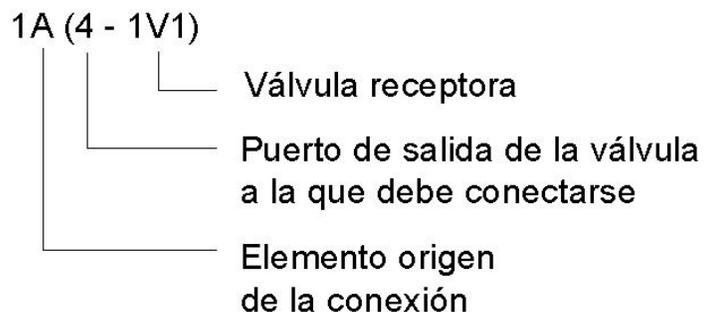


Figura 11.6. Notación para conexiones

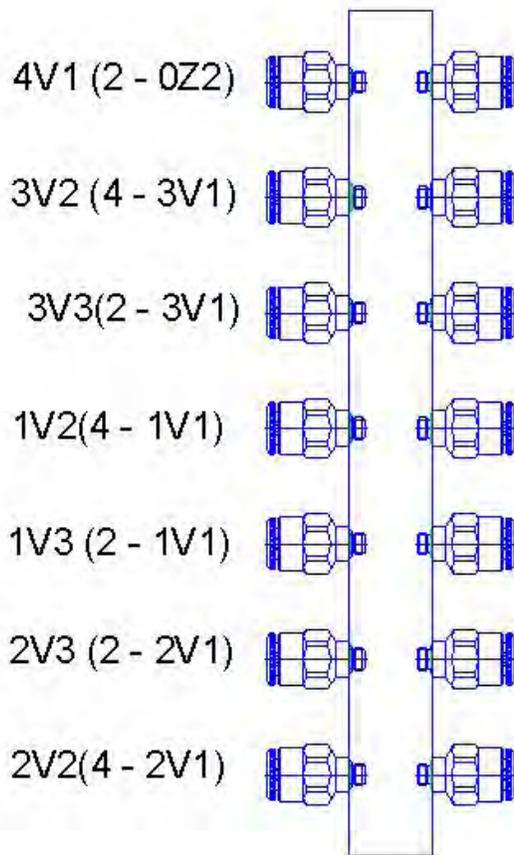


Figura 11.7. Conexiones con múltiple de conexión neumático

- Conectar la etapa de potencia (elementos 0P, 0Z1, 0Z2 y 0Z3) a los elementos de mando correspondientes. Recordar que el elemento 0P (compresor) distribuye la presión a los elementos 0Z1, 0Z2 y 0Z3 (FRL).
- La tabla 11.2 muestra los elementos y puertos que se conectan a cada uno de los elementos 0Z1 y 0Z2 (FRL). Para el elemento 0Z1, emplear un múltiple de conexión neumático con los que cuenta el laboratorio de automatización industrial.

Tabla 11.2. Puertos de válvulas a FRL

Proviene de:	En puerto:	Se conecta a:	En puerto:
1V1	1	0Z1	2
2V1	1	0Z1	2
3V1	1	0Z3	2
4V1	1	0Z2	2

Conexión eléctrica

Para llevar a cabo la conexión eléctrica es necesario emplear los siguientes componentes:

- Entrada de señales eléctricas
- Fuente de voltaje a 24 V DC
- Unidad de indicación y distribución eléctrica
- Electro válvula 3/2 monoestable
- FEC – FC20 FST
- Múltiple de conexiones eléctricas 1

Estos elementos se muestran en las tablas 11.3 y 11.4. El último elemento se ilustra en la figura 11.8.

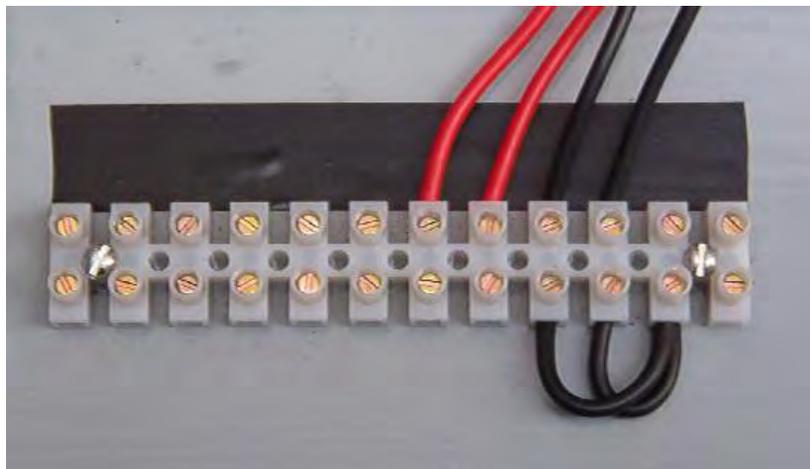


Figura 11.8. Múltiple de conexiones eléctricas 1

Llevar a cabo la conexión como se muestra en la figura 11.9. Emplear los elementos antes mencionados y auxiliarse del diagrama de la figura 11.4.

Notas

- Emplear los botones que existen en la unidad de entrada de señales eléctricas para conectar como se muestra en la figura 11.9.
- Emplear las lámparas de la unidad de indicación y distribución eléctrica para completar la conexión mostrada en la figura 11.9.

Conexión con computadora

- Conectar el control lógico programable con una computadora que cuente con el programa FST4. La conexión se lleva a cabo mediante el puerto serial RS 232.

La figura 11.10 muestra el banco de pruebas 2 completamente armado y listo para efectuar pruebas para verificar la alternativa de solución 6.

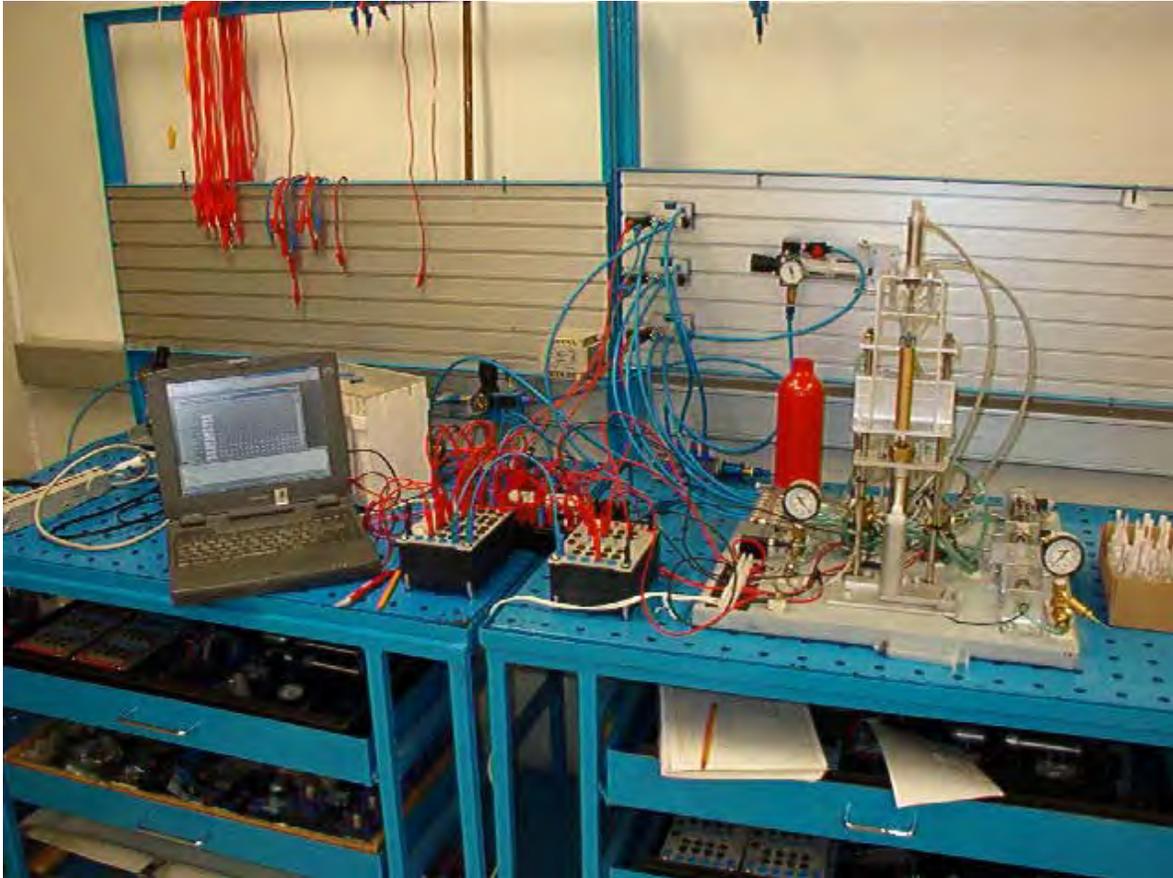


Figura 11.10 Banco de pruebas 2 completamente armado.

Tabla 11.3. Elementos adicionales de laboratorio requeridos (1)

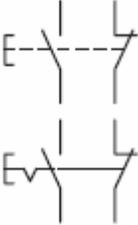
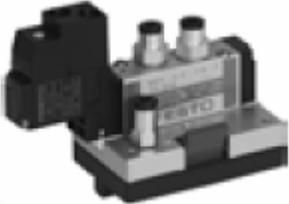
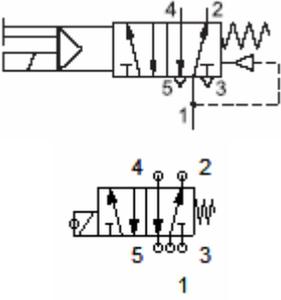
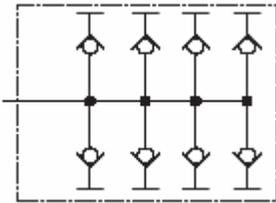
Nombre e ilustración	Símbolos	Nomenclatura	Cantidad
<p data-bbox="305 386 602 411">Entrada de señales eléctricas</p> 		<p data-bbox="1110 590 1190 615">S0, S1</p>	<p data-bbox="1325 590 1339 615">1</p>
<p data-bbox="225 894 680 919">Unidad de indicación y distribución eléctrica</p> 		<p data-bbox="1110 1094 1190 1119">H1, H2</p>	<p data-bbox="1325 1094 1339 1119">1</p>
<p data-bbox="293 1377 615 1402">Electro válvula 3/2 monoestable</p> 		<p data-bbox="1078 1587 1222 1612">M1, M2, M3</p>	<p data-bbox="1325 1587 1339 1612">3</p>

Tabla 11.4. Elementos adicionales de laboratorio requeridos (2)

Nombre e ilustración	Símbolos	Nomenclatura	Cantidad
<p>Unidad filtro reguladora (FRL)</p> 		<p>0Z1, 0Z2, 0Z3</p>	<p>3</p>
<p>FEC – FC20 FST</p> 		<p>Unidad de control</p>	<p>1</p>
<p>Múltiple de conexión neumático</p> 		<p>Elemento adicional</p>	<p>1</p>
<p>Fuente de voltaje 24 VDC</p> 	 	<p>Elemento de poder (servicio de laboratorio)</p>	<p>1</p>

Capítulo 12: Programación para banco de pruebas 2

OBJETIVO

- Presentar la lógica y programación que requiere el control lógico programable (PLC) para comandar el banco de pruebas 2 y llenar ampollas plásticas con líquido.

INTRODUCCIÓN

Para probar completamente la alternativa de solución 6 se ha construido el banco de pruebas 2. Este sistema se ilustra en la figura 12.1 y emplea elementos eléctricos y neumáticos para accionar las diversas partes móviles que lo constituyen.

Se eligió un control lógico programable (PLC) para comandar todos los elementos eléctricos del banco debido a que ya se contaba con este en el laboratorio de automatización industrial y se tenía conocimiento básico de su funcionamiento y operación.

Para poder emplear el PLC en forma automática es necesario programar una rutina en lenguaje escalera. El propósito de este capítulo (o reporte) es el de presentar la lógica de esta rutina, así como la programación resultante.

Se determinó en la construcción del banco de pruebas que para reducir partes, costos y poder emplear el control lógico programable del laboratorio, únicamente se controlaría la posición en el sistema de inyección mediante dos transductores reed switch. El resto del sistema estaría controlado indirectamente por medio de secuencias de tiempo, las cuales se programarían en el PLC.

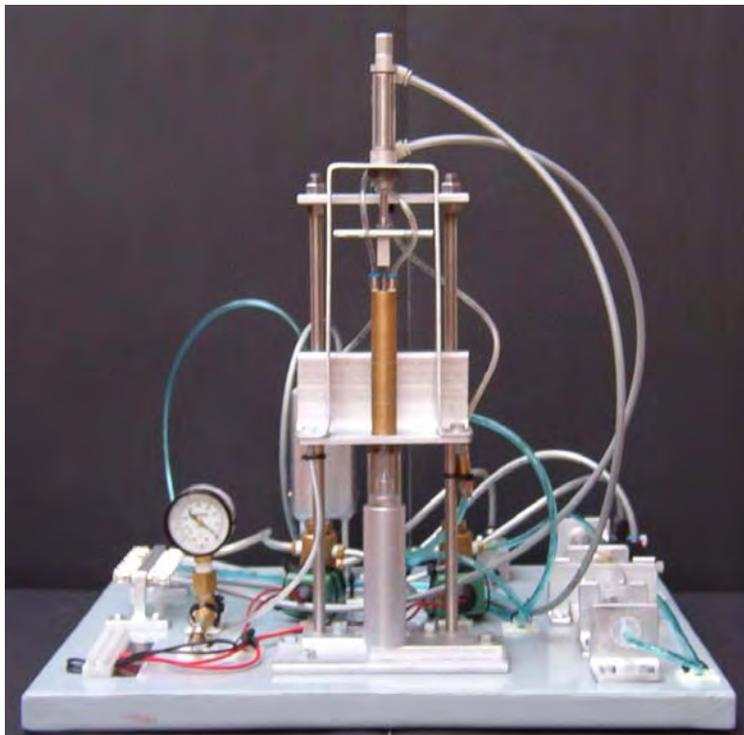


Figura 12.1. Banco de pruebas 2 terminado

DESARROLLO

Diagrama de flujo

Para generar un programa el primer paso es establecer los pasos lo constituyen así como la secuencia de esto. Existen varias técnicas para establecer los pasos y secuencia en un programa, uno de los cuales es un diagrama de flujo.

La rutina de llenado para el banco de pruebas 2 debe de seguir los siguientes pasos básicos:

- Establecer contacto entre la válvula de llenado 3/2 y la ampollita.
- Generar vacío y comprobar que exista en la ampollita. Si el vacío es positivo proceder a la inyección. Si el vacío es negativo, descartar la operación.
- Al ser positivo el vacío, inyectar líquido a velocidad controlada.
- Al terminar la inyección, generar nuevamente vacío para eliminar residuos.
- Eliminar vacío al liberar a presión atmosférica.
- Quitar contacto entre la ampollita y la válvula de llenado 3/2.
- Recargar el inyector para otra inyección.
- Proporcionar información visual sobre término de ciclo por medio de luces.
- Proporcionar información respecto a tiempos en movimientos seleccionados.

La figura 12.2 muestra el diagrama de flujo la rutina de llenado en el banco de pruebas 2.

Diagrama espacio fase

En este diagrama se ilustra gráficamente los movimientos de los componentes neumáticos y eléctricos del banco de pruebas, así como los sensores relacionados con la posición de éstos.

En la figura 12.3 se muestra el diagrama espacio fase para la rutina de llenado del banco de pruebas 2. Se han añadido elementos a este diagrama para ilustrar la interacción de los diferentes tiempos a establecer en la programación. Estos tiempos controlarán el movimiento de diferentes actuadores. Dado que en el diagrama espacio fase se indica el estado de sensores que controlan los actuadores en las líneas de sensado, la adición de los tiempos en el diagrama proporciona una información equivalente al controlar partes del sistema por estos medios.

Tablas de entradas y salidas para programación

En el lenguaje escalera es común nombrar las entradas, salidas, temporizadores y banderas con etiquetas que describen al componente. Las tabla 12.1, 12.2, 12.3 y 12.4 muestran la equivalencia de componentes de acuerdo a la nomenclatura del PLC, diagrama de elementos electro neumáticos (DIN/ISO 1219-2) y etiquetas a usar en lenguaje escalera.

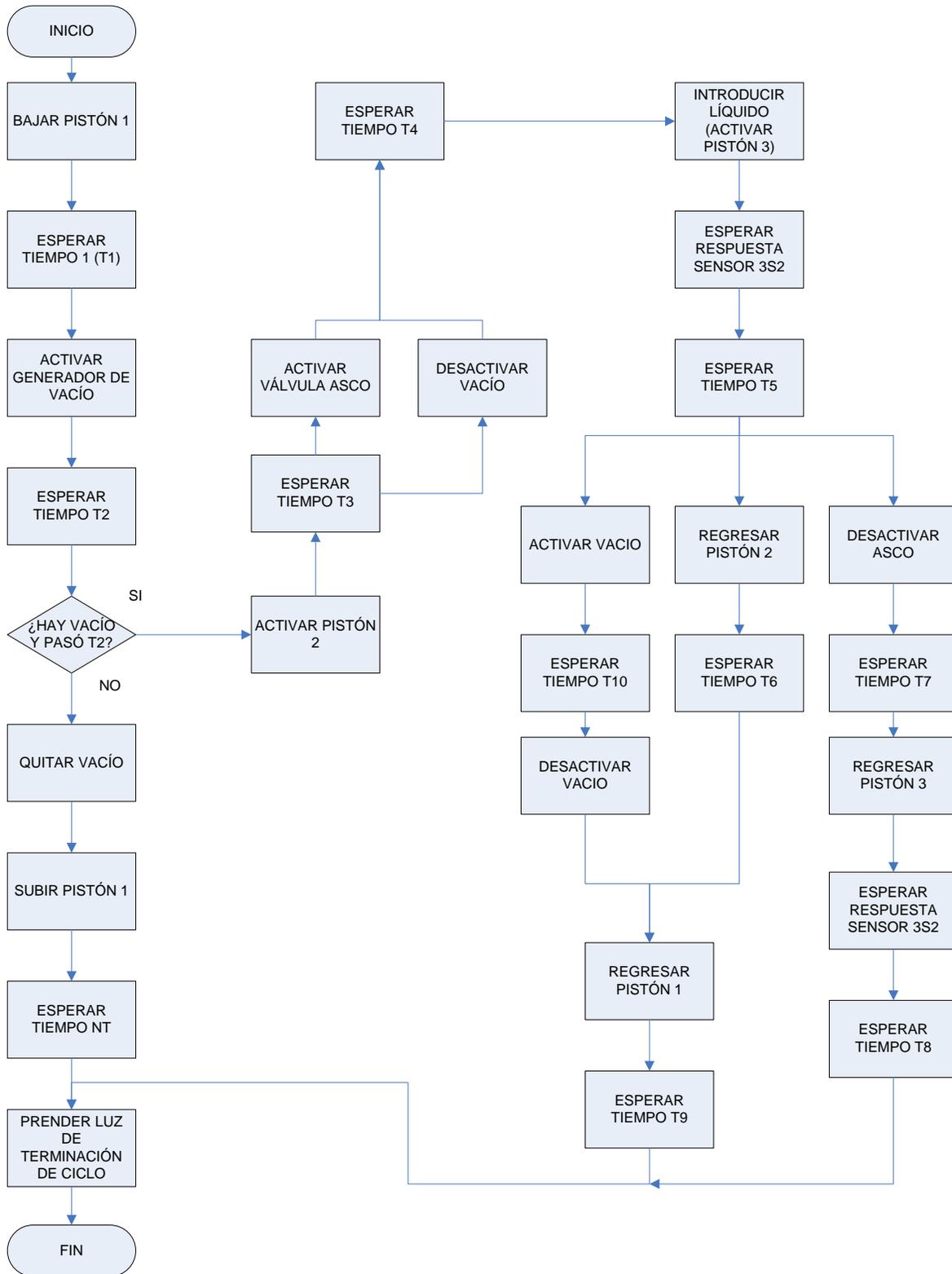


Figura 12.2. Diagrama de flujo para rutina de llenado en banco de pruebas 2

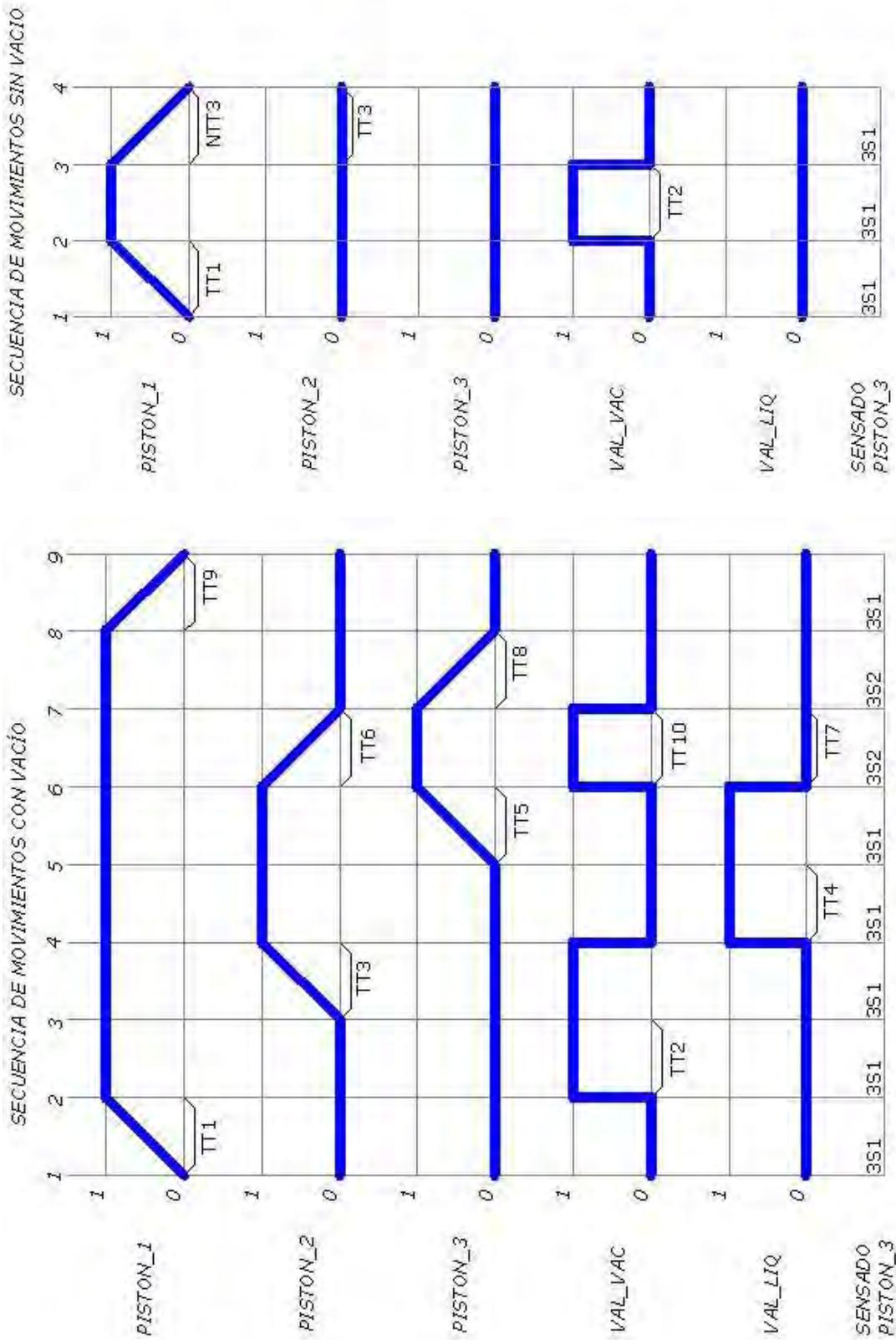


Figura 12.3. Diagrama espacio fase para rutina de llenado

Tabla 12.1. Entradas en diversas nomenclaturas

Conexión en PLC	Diagrama neumático	Lenguaje escalera	Comentario
I0.0	S0	inicio	Botón de inicio del sistema
I0.1	S1	Reset	Botón de restablecimiento de sistema (apaga foco y termina)
I0.2	4S2	Vacío	Señal de vacío en sistema
I0.6	3S1	Sensor_1	Sensor inicio carrera inyección
I0.7	3S2	Sensor_2	Sensor fin carrera inyección

Tabla 12.2. Temporizadores en diversas nomenclaturas

Conexión en PLC	Diagrama neumático	Lenguaje escalera	Comentario
TW203	-	TW203	Variable auxiliar timer TQ1
TW205	-	TW205	Variable auxiliar timer TVAC1
TW250	-	TW250	Variable auxiliar timer TTOT1
F0.0	K0	REL_INI	Relevador de inicio
F0.1	KAND	REL_AND	Relevador de AND
F0.2	K11	REL_LAMP	Relevador para lámpara
F0.3	K12	REL_RESET	Relevador para reset
F0.4	EN1	REL_PASA	Relevador para si vacío
F0.5	EN2	REL_FALLA	Relevador para no vacío
F0.6	K13	REL_LAM2	Relevador para lámpara 2
F0.7	-	SAL_EX	Bandera para tiempo de llenado
F3.0	-	FIN_INY	Bandera para final de inyección
F3.1	-	INI_INY	Bandera para inicio inyección
F4.0	-	SAL_EX2	Bandera para tiempo vacío
F4.1	-	SAL_EX3	Bandera para tiempo de ciclo
FW100	-	TEMP_INY	Variable que guarda el tiempo de inyección
FW200	-	TEMP_VAC	Variable que guarda el tiempo de vacío
FW250	-	TEMP_TOT	Variable que guarda el tiempo de ciclo

Tabla 12.3. Salidas en diversas nomenclaturas

Conexión en PLC	Diagrama neumático	Lenguaje escalera	Comentario
O0.0	M1	Pistón_1	Pistón para válvula ampollita
O0.1	M2	Pistón_2	Pistón para vástago
O0.2	M3	Pistón_3	Pistón para inyección
O0.3	H1	Lampara1	Señal visual 1
O0.4	H2	Lampara2	Señal visual 2
O0.6	M4	Val_vac	Válvula ASCO para vacío
O0.7	M5	Val_liq	Válvula ASCO para carga y descarga de líquido

Tabla 12.4. Banderas en diversas nomenclaturas

Conexión en PLC	Diagrama neumático	Lenguaje escalera	Comentario
TON1	K1	TT1	Timer 1
TON2	K2	TT2	Timer 2
TON3	K3	TT3	Timer 3
TON4	K4	TT4	Timer 4
TON5	K5	TT5	Timer 5
TON6	K6	TT6	Timer 6
TON7	K7	TT7	Timer 7
TON8	K8	TT8	Timer 8
TON103	Nk3	NTT3	Timer de falla (no vacío)
TON10	K10	TT10	Timer 10
TON9	K9	TT9	Timer 9
TON104	NK9	NTT9	Timer de falla de T9
TON203	-	TQ1	Timer inicial para obtener tiempo inyección
TON204	-	TQ2	Timer secuencia para tiempo de inyección
TON205	-	TVAC1	Timer inicial para tiempo vacío
TON206	-	TVAC2	Timer secuencia para tiempo vacío
TON250	-	TTOT1	Timer inicial tiempo ciclo
TON251	-	TTOT2	Timer secuencia para tiempo ciclo

Diagrama escalera

La programación de la rutina de llenado de ampollas plásticas para el PLC que comanda el banco de pruebas 2 se ilustra en las figuras 12.4 y 12.5.

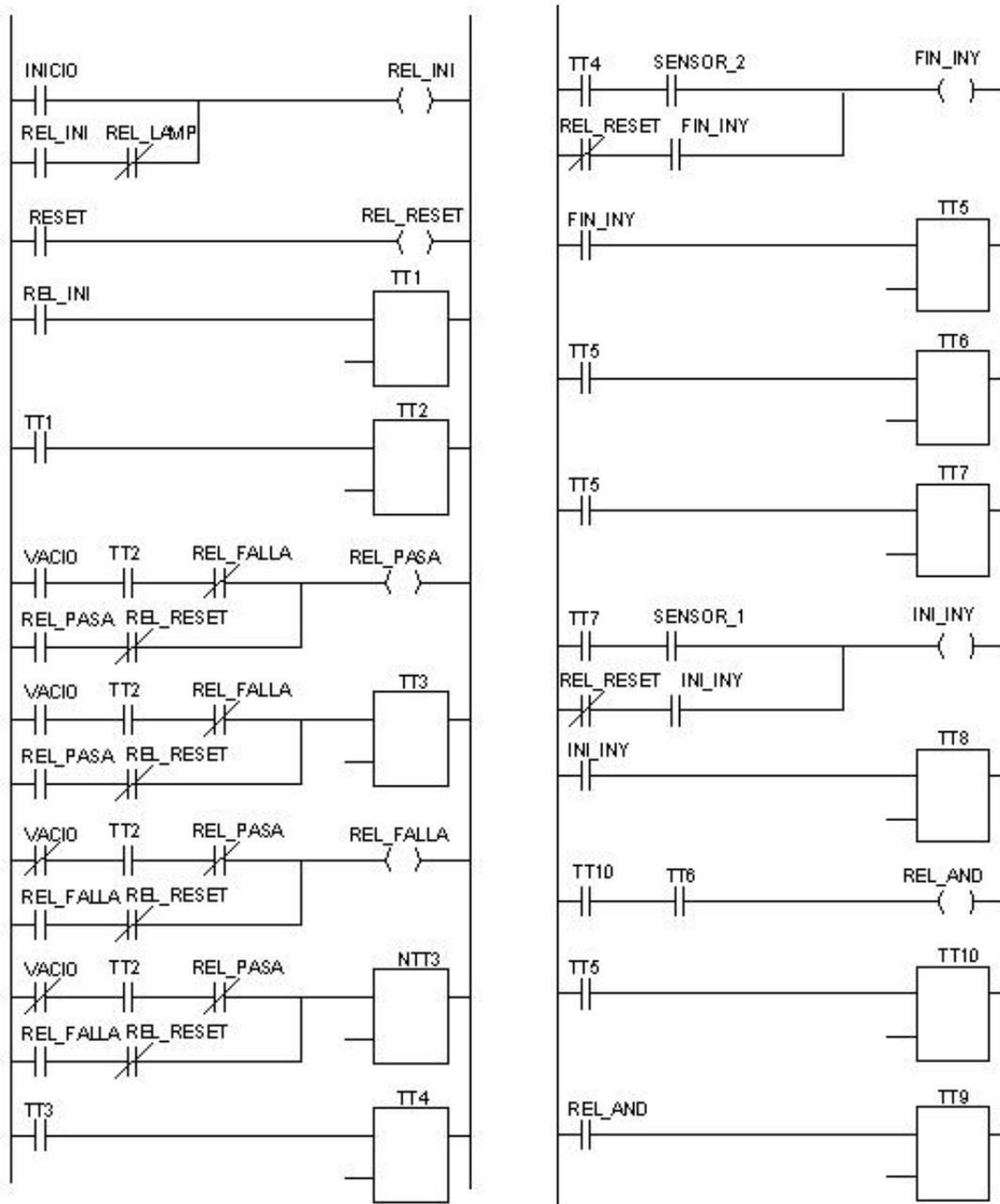


Figura 12.4. Programación en escalera para rutina de llenado

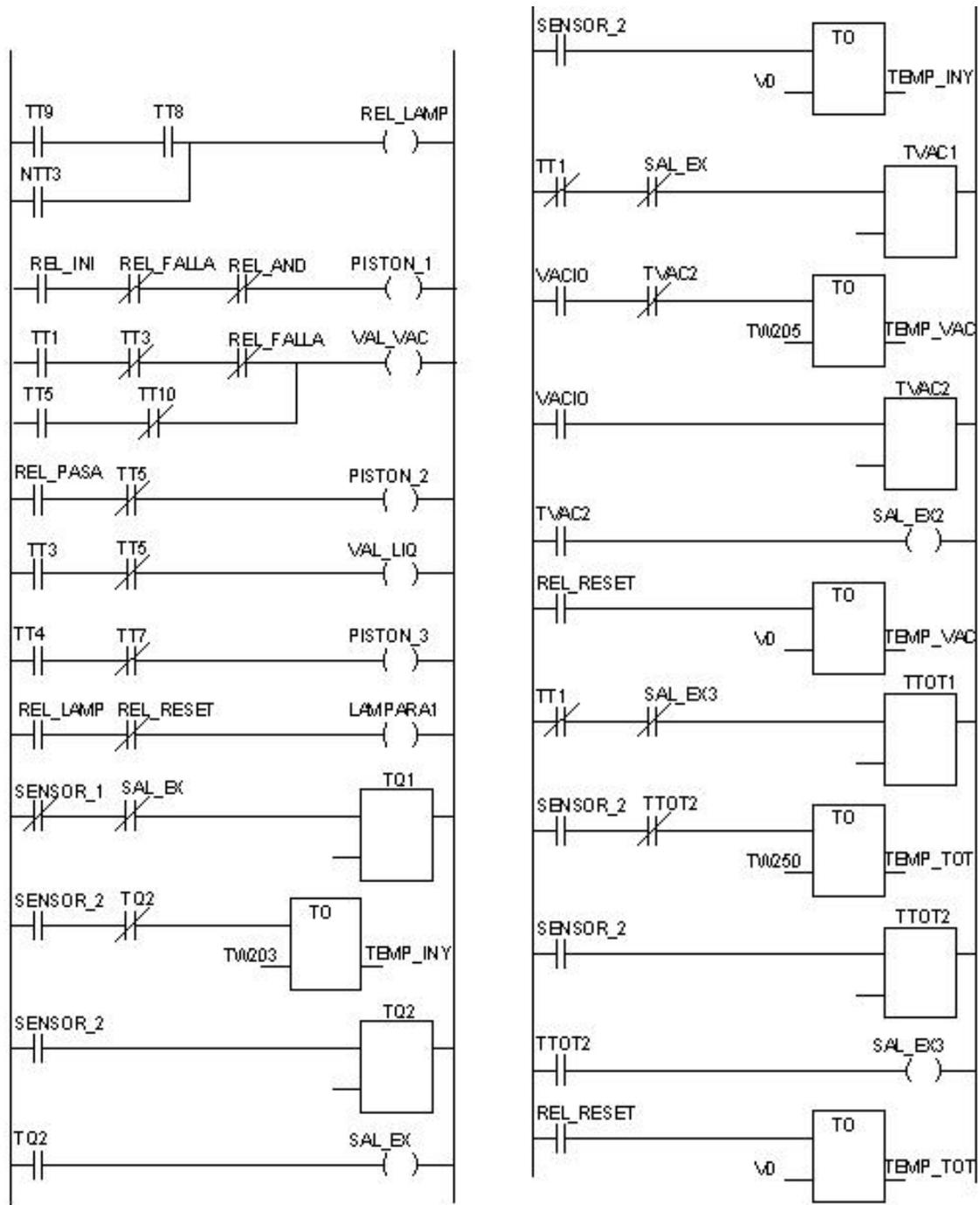


Figura 12.5. Programación en escalera para rutina de llenado

CONCLUSIONES

- Con la programación propuesta se tiene control sobre una gran cantidad de elementos susceptibles de controlar en el banco de pruebas 2.
- El control por medio de tiempos tiene la ventaja de poder reducir el número de sensores requeridos para controlar la posición de los diversos actuadores. Tiene la desventaja de que el control sobre la parte no es directo, de tal forma que si sucede un problema que haga que se consuma más tiempo que el programado, el sistema pierda secuencia y se pueda generar una falla.
- Además de los tiempos de la tabla 12.5, en el banco de pruebas se podrá regular:
 - La presión en los elementos neumáticos
 - La velocidad de los pistones con las válvulas reguladores de flujo
 - La cantidad de líquido a introducir regulando la carrera del pistón de inyección
 - El nivel de vacío que a generar en el banco de pruebas.
 - El cierre de la válvula de llenado 3/2 con la ampollita plástica a llenar.

En la tabla 12.5 se muestran los tiempos que se asignarán a los diferentes temporizadores mostrados en la programación del PLC.

Tabla 12.5. Valores asignados a los temporizadores del programa de control

Conexión en PLC	Lenguaje escalera	Valor (s)
TON1	TT1	2.5
TON2	TT2	5
TON3	TT3	1.5
TON4	TT4	0.5
TON5	TT5	0.25
TON6	TT6	1.50
TON7	TT7	0.50
TON8	TT8	0.25
TON103	NTT3	2.5
TON10	TT10	2.0
TON9	TT9	2.50
TON104	NTT9	2.50
TON203	TQ1	100.0
TON204	TQ2	0.01
TON205	TVAC1	100.0
TON206	TVAC2	0.01
TON250	TTOT1	100.0
TON251	TTOT2	0.01

Capítulo 13: Resúmenes de experimentos preliminares

EXPERIMENTO No. 1		01/2006
Localización: Laboratorio de mecatrónica. Edificio de posgrado, F.I., UNAM.		
Ficha de experimento:	Diseño factorial completo de 2 factores. Factor 1: Gasto. Factor 2: Vacío. Niveles de factor 1: 5. Niveles de factor 2: 3. Corridas: 15. Repeticiones 6. Total de corridas: 90. Ampolleta: Tipo 4. Volumen a verter: 15 ml. Líquido: Agua.	

Observaciones del experimento
Se empezó a calibrar el experimento para un gasto determinado (calibrando el gasto para una corrida) con la prueba de inyección solamente. Al efectuar la prueba de llenado completa, se observó que había una caída de presión adicional, lo que afectaba en el gasto programado y aumentaba la caída de presión.
Se tenían ampollitas con misma geometría y diferente material. Al introducir el líquido, se observó que había fluctuaciones en el gasto programado y en la presión requerida para el llenado.
Cada vez que se movía el vacío en el sistema, el gasto programado variaba considerablemente. Era necesario volver a calibrar el regulador de caudal del pistón 3S1 continuamente.
Sigue habiendo burbujas en el sistema. Existe un error de alrededor de 1 ml entre el nivel de líquido calibrado y el introducido.

Conclusiones
La ampolleta representa un obstáculo adicional al sistema, lo que eleva la presión requerida.
El material de la ampolleta afecta la presión requerida para llenarla con líquido. Así un factor es el material de la ampolleta (color).
El gasto es función del nivel de vacío. No son variables independientes. Se corrigió y se separó el pistón 3S1 y su válvula y se ligo a un FRL nuevo para poder controlar la presión y no el caudal. Así, se tendrá control sobre la fuerza del pistón. Las variables independientes serán ahora: nivel de vacío y fuerza en el pistón. Salidas: gasto, ml introducidos, tiempo de inyección, presión.
Se buscará eliminar las burbujas modificando el sistema de inyección de banco.
No se efectuó el experimento 1 adecuadamente. Se volverá a efectuar teniendo como entradas la presión en el pistón de inyección y el nivel de vacío. Se descarta el gasto como variable de control. El tipo de material de la ampolleta es una variable que afecta el desempeño del sistema.

EXPERIMENTO No. 2		01/2006
Localización: Laboratorio de mecatrónica. Edificio de posgrado, F.I., UNAM		
Ficha de experimento:	Diseño factorial completo de 2 factores. Factor 1: Gasto. Factor 2: vacío. Niveles de factor 1: 3. Niveles de factor 2: 4. Corridas: 12. Repeticiones 4. Total de corridas: 48. Ampolleta: Tipo 4 Volumen a verter: 14 ml. Líquido: Agua.	

Observaciones del experimento
Al analizar los resultados se observó una relación directa entre la presión del pistón y la presión en el sistema. El vacío no tiene gran influencia en este aspecto.
Al analizar la relación entre los factores y el tiempo de inyección se puede observar que a mayor presión en el pistón, menor tiempo. El vacío colabora en forma no clara con el tiempo de inyección.
Los ml vertidos varían de acuerdo a la combinación que se presente de vacío y presión. A mayor presión, menor cantidad de líquido vertido. El vacío no contribuye con el líquido vertido solo hasta que hay un vacío considerable.
Posterior a la serie efectuada, el banco de pruebas comenzó a reportar fallas en el llenado de ampollas a cualquier presión de vacío y en el pistón. Pruebas de vacío e inyección por separado son adecuadas, pero con las ampollas el sistema esta fallando.
Es posible que el sello en la punta de la válvula de llenado este fallando. Se desarmará la válvula y se revisará el empaque. Dependiendo de la revisión se podría cambiar la geometría del empaque o se renovará en caso necesario.

Conclusiones
Se observó una relación clara entre la presión en el pistón y la presión en el sistema. El tiempo de inyección varía con combinaciones de presión y vacío. Los ml vertidos siguen una relación poco clara con el vacío y la presión en el pistón, pero es claro que solo un vacío alto puede favorecer la inyección. A mayor presión, menor cantidad de líquido introducido.
Se observaron las diferentes relaciones entre los factores de entrada y las diferentes salidas del sistema.
Se emplearán herramientas estadísticas para obtener información respecto a la interacción de las entradas (presión de inyección y vacío) con las diferentes salidas (mililitros vertidos, espuma, tiempo de inyección, gasto)
Se disminuirá el número de niveles del factor de vacío. Un bajo vacío de 2 bar en el generador y una ausencia de éste reportan resultados muy parecidos. Se disminuirá el numero de factores a 3 (0,4,6 bar) para disminuir el número de pruebas requeridas. Con estos valores se tendrá un rango representativo (de 0 a 88% de vacío) y se disminuirá el número de pruebas.
Se revisará el empaque de la punta debido a que empezó a fallar hacia el final de la sesión. Se verificará su estado y se procederá a su corrección. El sistema había llenado cerca de 200 ampollas antes del fallo.

EXPERIMENTO No. 3		02/2006
Localización: Laboratorio de mecatrónica. Edificio de posgrado, F.I., UNAM		
Ficha de experimento:	Diseño factorial completo de 2 factores. Factor 1: Gasto. Factor 2: Vacío. Niveles de factor 1: 3. Niveles de factor 2: 3. Corridas: 9. Repeticiones 3. Total de corridas: 27. Ampolleta: Tipo 4. Volumen a verter: 14 ml. Líquido: Agua.	

Observaciones del experimento
Se pudo llevar a cabo el experimento 3. La serie se completó satisfactoriamente.
Existe una relación entre la presión de inyección y la presión en el sistema. A mayor presión de inyección, mayor presión en el sistema. El vacío no contribuye significativamente. Así mismo, no existe interacción de factores para la salida. Así, solo la presión de inyección determina la presión en el sistema.
Al aumentar la presión, disminuye el tiempo de inyección. Al aumentar el vacío, disminuye el tiempo de inyección. Existe interacción entre el vacío y la presión de inyección al determinar el tiempo de inyección.
Al aumentar la presión de inyección, disminuye el volumen vertido. Al aumentar el vacío, aumenta el volumen vertido. Así, cada factor tiene un efecto contrario para el volumen vertido. Existe interacción de factores para determinar el volumen vertido.
Al llevar a cabo experimentos factoriales es posible obtener un modelo matemático que describa la salida estudiada en función de las entradas o factores. El modelo matemático depende de la cantidad de factores y niveles del experimento. Al emplear la herramienta estadística de análisis de regresión es posible obtener los coeficientes de dicho modelo matemático.
El modelo matemático de regresión permite estimar valores de la variable de salida en función de los factores de entrada. Su validez depende de que los factores de entrada y las salidas se comporten como predice el polinomio para los valores intermedios no probados. Es decir, los valores de salida interpolados son susceptibles de error debido a que son valores que no han sido registrados al construir la función.
La herramienta de análisis ANOVA si permitió estimar la participación de los factores para las salidas estimadas. Aún cuando no da información para contribuir una función, si permite determinar mediante los valores P cual factor contribuye significativamente (con un 95% de certeza) a la salida.

Conclusiones
Debido a que solo es posible tener certeza de las relaciones de los factores en los valores establecidos, se empleará solamente el análisis gráfico y la herramienta de análisis ANOVA para determinar la contribución de los factores de entrada para las salidas seleccionadas. El análisis de regresión es descartado porque el polinomio que se obtenga puede no predecir adecuadamente el comportamiento de la salida en función de los factores de entrada.
Se aumentará el número de repeticiones para aumentar la cantidad de información disponible y llevar a cabo el análisis de varianza ANOVA.

Capítulo 14: Experimento 4 en banco de pruebas 2

OBJETIVO

- Llevar a cabo mediciones de presión en sistema de inyección, tiempo de inyección, volumen vertido, residuo dentro y fuera de punta variando la presión en el pistón de inyección y el nivel de vacío para determinar la relación de éstos con los factores de entrada.

Ficha de experimento

Diseño factorial completo de 3 factores

Factor 1: presión, niveles de factor: 3 (2,4,6 bar)

Factor 2: vacío, niveles de factor: 3 (0,4,6 bar)

Factor 3: ampolleta tipo 4 café, tipo 4 transparente

No de combinaciones: 18

No. de replicas: 4

Total de tratamientos: 72

Ampolleta: Tipo 4 café y tipo 4 transparente

Líquido: loción 619 extra

Sistema: Banco de pruebas 2

Se llevará a cabo el análisis ANOVA y análisis gráfico para las salidas presión en el sistema de inyección, tiempo de inyección y volumen vertido. Se empleará solamente el análisis gráfico para analizar el residuo dentro y fuera de punta, ya que al haber solo valores si o no, el análisis ANOVA no es adecuado por no haber normalidad en los datos. En las siguientes figuras y tablas se muestran los resultados de dichos análisis.

DESARROLLO

Presión en sistema de inyección

Análisis de varianza

Tabla 14.1. Resultados del análisis de varianza

Source	DF	SS	MS	F	P
Tipo ampolleta	1	0.347	0.347	208.33	0.000
Presion	2	478.008	239.004	143402.33	0.000
Vacio	2	0.079	0.039	23.58	0.000
Tipo ampolleta*Presion	2	0.088	0.044	26.33	0.000
Tipo ampolleta*Vacio	2	0.010	0.005	3.08	0.054
Presion*Vacio	4	0.042	0.011	6.33	0.000
Tipo ampolleta*Presion*Vacio	4	0.082	0.021	12.33	0.000
Error	54	0.090	0.002		
Total	71	478.746			

S = 0.0408248 R-Sq = 99.98% R-Sq(adj) = 99.98%

Análisis gráfico

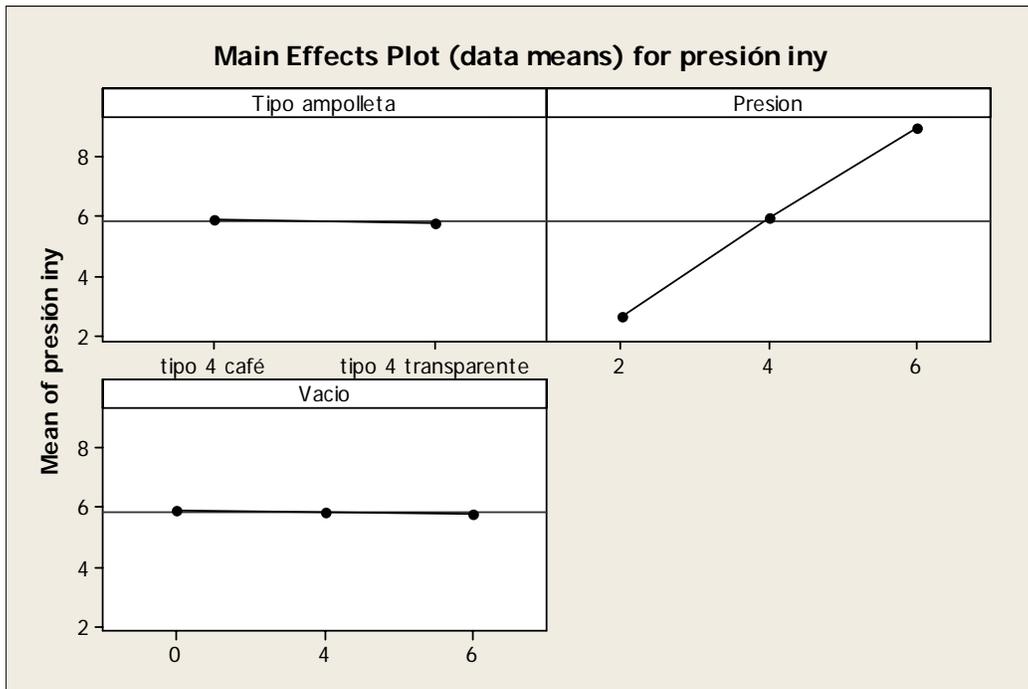


Figura 14.1. Efectos principales (presión, vacío y tipo vs presión inyección)

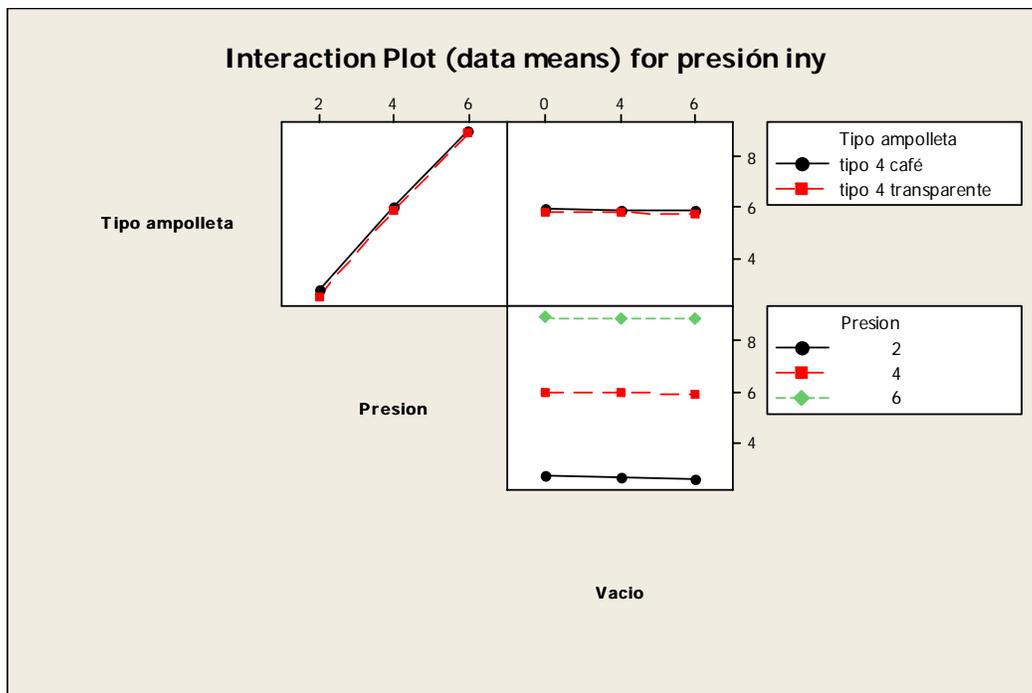


Figura 14.2. Interacciones (presión y vacío vs presión inyección)

Tiempo de inyección

Análisis de varianza

Tabla 14.2. Resultados del análisis de varianza

Resultados de ANOVA					
Source	DF	SS	MS	F	P
Tipo ampolleta	1	0.00376	0.00376	1.11	0.296
Presion	2	10.34726	5.17363	1532.93	0.000
Vacio	2	1.29438	0.64719	191.76	0.000
Tipo ampolleta*Presion	2	0.15420	0.07710	22.84	0.000
Tipo ampolleta*Vacio	2	0.02785	0.01393	4.13	0.021
Presion*Vacio	4	0.50337	0.12584	37.29	0.000
Tipo ampolleta*Presion*Vacio	4	0.04734	0.01183	3.51	0.013
Error	54	0.18225	0.00337		
Total	71	12.56040			

S = 0.0580948 R-Sq = 98.55% R-Sq(adj) = 98.09%

Análisis gráfico

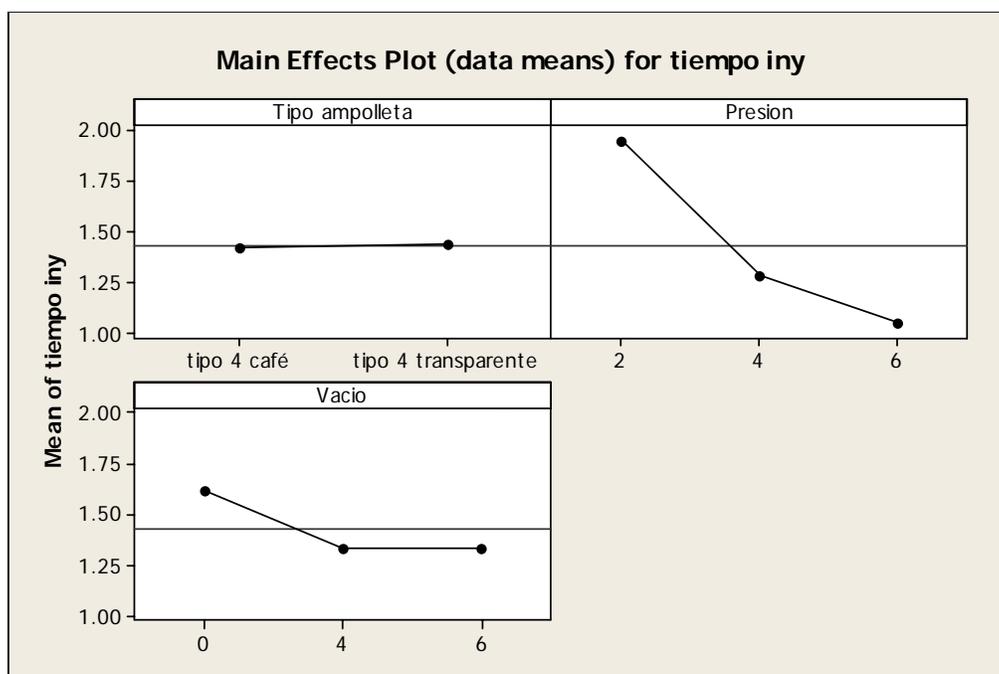


Figura 14.3. Efectos principales (presión, vacío y tipo vs tiempo inyección)

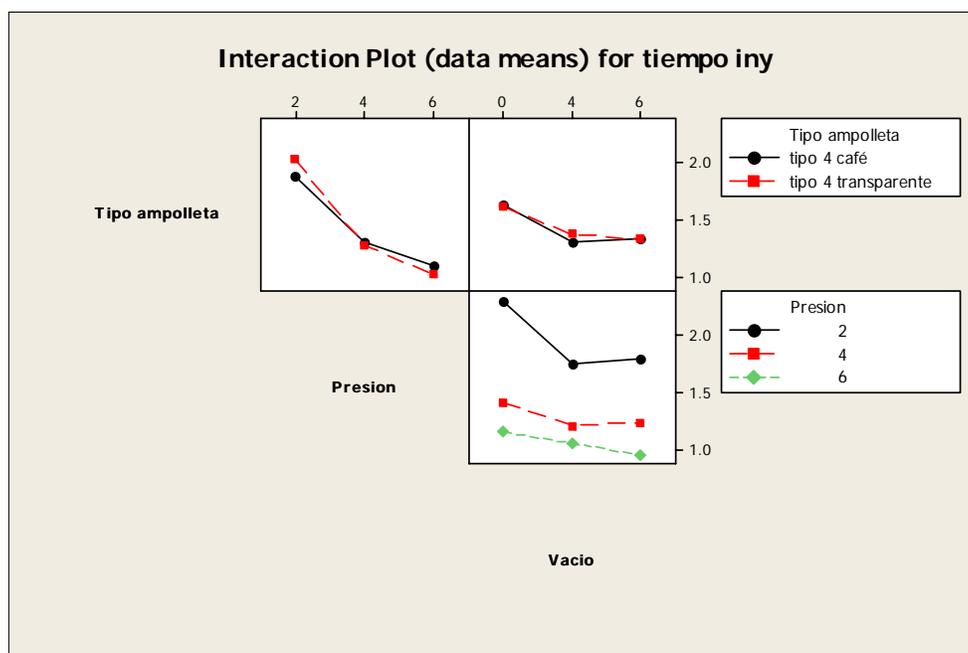


Figura 14.4. Interacciones (presión y vacío vs tiempo inyección)

Volumen vertido

Análisis de varianza

Tabla 14.3. Resultados del análisis de varianza

Resultados de ANOVA						
Source	DF	SS	MS	F	P	
Tipo ampolleta	1	0.1168	0.1168	2.66	0.109	
Presion	2	5.9409	2.9705	67.61	0.000	
Vacio	2	28.5544	14.2772	324.96	0.000	
Tipo ampolleta*Presion	2	0.6092	0.3046	6.93	0.002	
Tipo ampolleta*Vacio	2	0.3853	0.1926	4.38	0.017	
Presion*Vacio	4	1.0749	0.2687	6.12	0.000	
Tipo ampolleta*Presion*Vacio	4	0.4224	0.1056	2.40	0.061	
Error	54	2.3725	0.0439			
Total	71	39.4765				

S = 0.209607 R-Sq = 93.99% R-Sq(adj) = 92.10%

Análisis gráfico

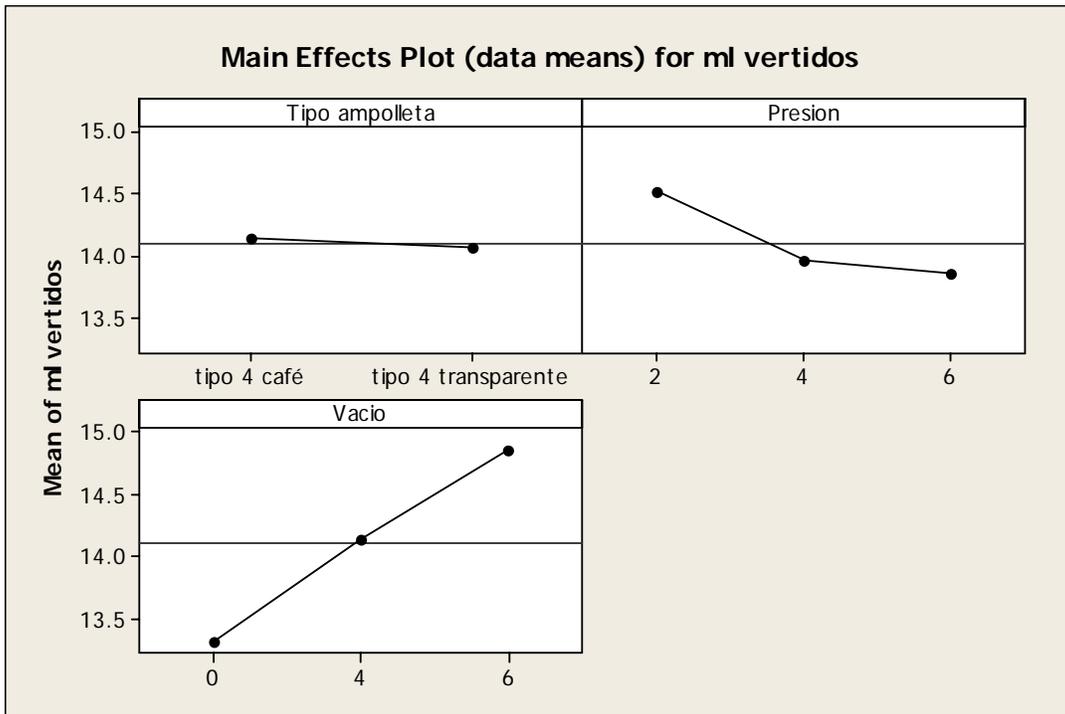


Figura 14.5. Efectos principales (presión, vacío y tipo vs volumen vertido)

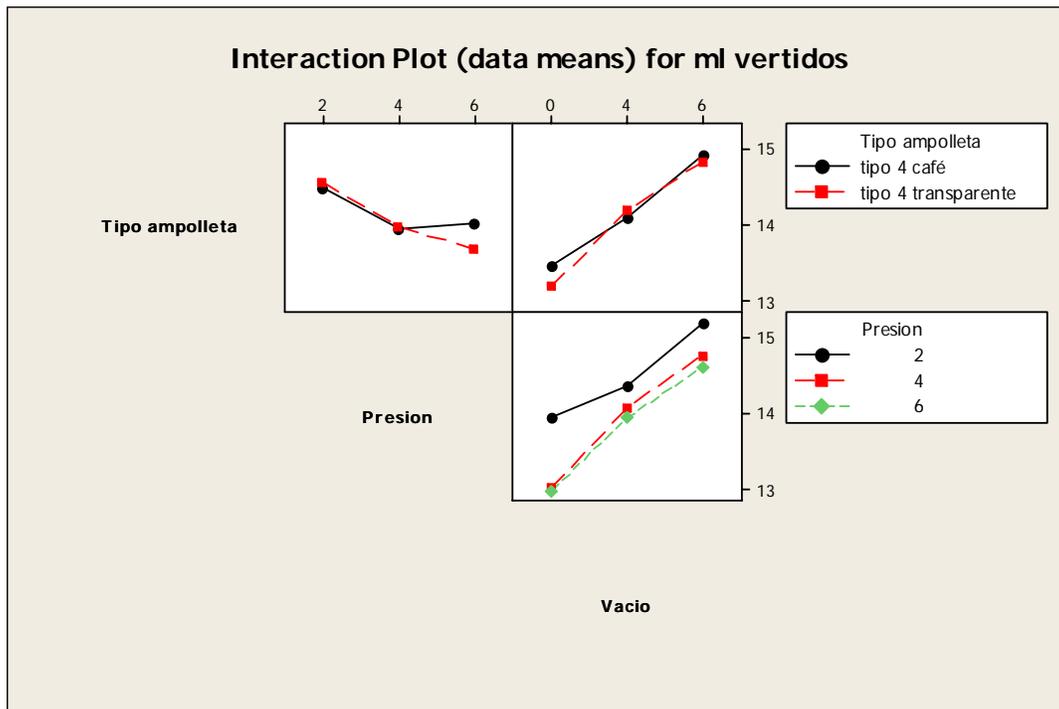


Figura 14.6. Interacciones (presión y vacío vs volumen vertido)

Residuo fuera

Análisis gráfico

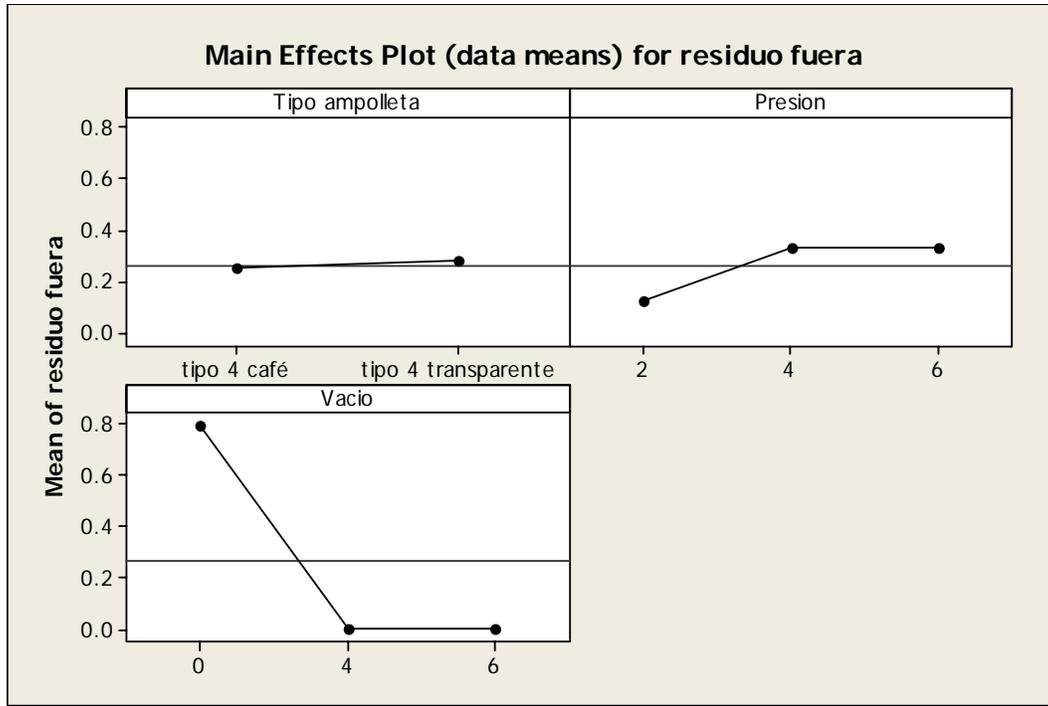


Figura 14.7. Efectos principales (presión, vacío y tipo vs residuo fuera)

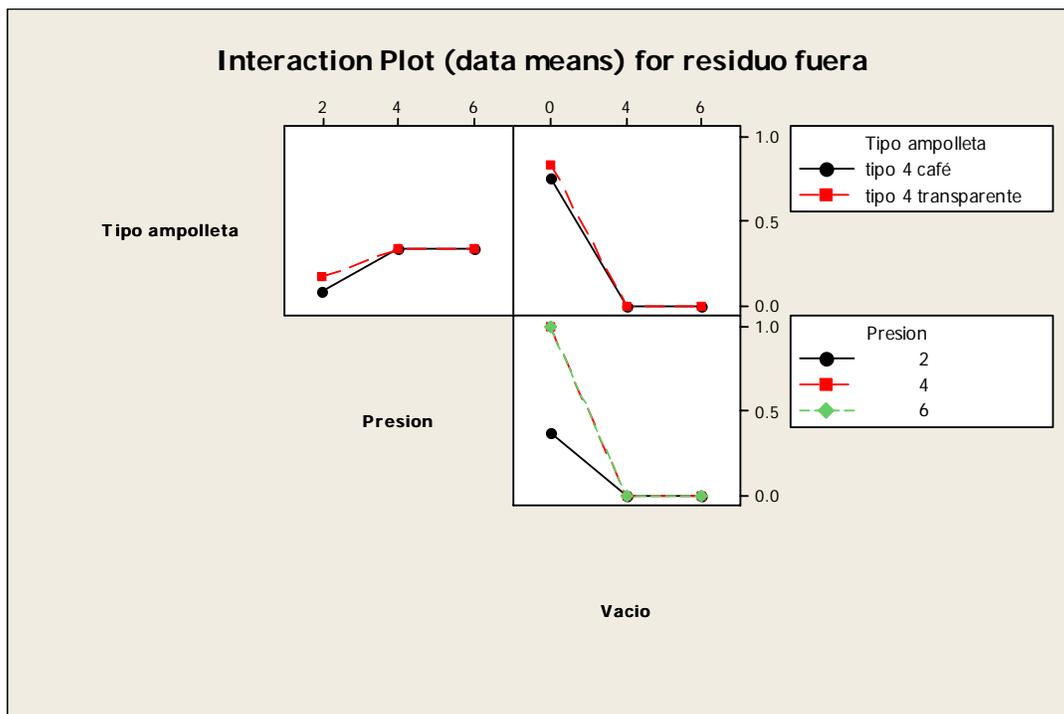


Figura 14.8. Interacciones (presión y vacío vs residuo fuera)

Residuo dentro

Análisis gráfico

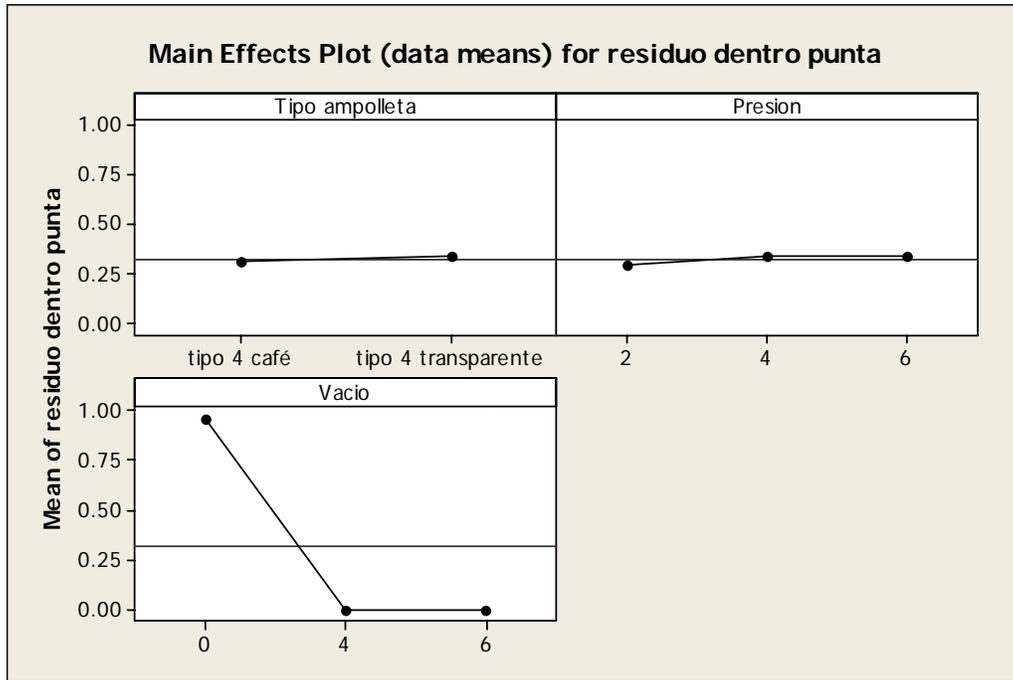


Figura 14.9. Efectos principales (presión, vacío y tipo vs residuo dentro)

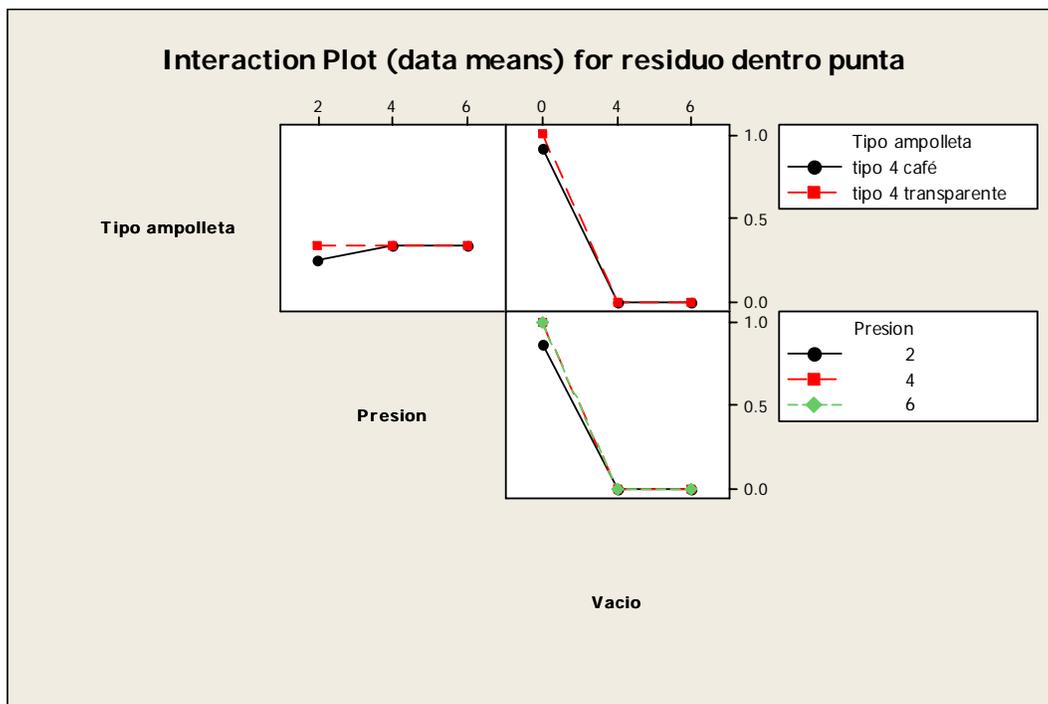


Figura 14.10. Interacciones (presión y vacío vs residuo dentro)

CONCLUSIONES

- A mayor presión de inyección, mayor presión en el sistema. El vacío y el tipo de ampollita afectan la presión de inyección. El análisis ANOVA muestra valores P menores a 0.05 para presión, vacío, material e interacción.
- Al aumentar la presión, disminuye el tiempo de inyección. Al aumentar el vacío, disminuye el tiempo de inyección. El material de la ampollita también afecta el tiempo de inyección. Existe interacción entre el vacío y la presión de inyección al determinar el tiempo de inyección. El efecto de vacío es mayor cuando la presión de inyección es baja (2 bar). El análisis ANOVA da valores P menores a 0.05 para vacío, presión, material e interacciones.
- Al aumentar la presión de inyección, disminuye el volumen vertido. Al aumentar el vacío, aumenta el volumen vertido. Así, cada factor tiene un efecto contrario para el volumen vertido. El material de la ampollita también influye en el volumen vertido. El análisis ANOVA indica que los efectos principales y las interacciones son estadísticamente significativas con valores P menores a 0.05.
- El residuo fuera de ampollita depende del vacío y presión de inyección. El vacío es el que determina si una ampollita tiene residuo o no. Con vacío, el nivel de residuo cae drásticamente.
- El residuo dentro de ampollita depende del vacío solamente. Al aplicar vacío, el residuo dentro de la ampollita se elimina drásticamente.

Capítulo 15: Experimento 5 en banco de pruebas 2

OBJETIVO

- Llevar a cabo mediciones de presión en sistema de inyección, tiempo de inyección, volumen vertido, residuo dentro y fuera de punta variando la presión en el pistón de inyección y el nivel de vacío para determinar la relación de éstos con los factores de entrada.

Ficha de experimento

Diseño factorial completo de 3 factores

Factor 1: presión, niveles de factor: 3 (2.5, 4, 6 bar)

Factor 2: vacío, niveles de factor: 3 (0, 4, 6 bar)

Factor 3: líquido loción 619 extra y loción porosity

No de combinaciones: 18

No. de replicas: 4

Total de tratamientos: 72

Ampolleta: Tipo 3 transparente

Líquido: loción 619 extra y loción porosity

Sistema: Banco de pruebas 2

Se llevará a cabo el análisis ANOVA y análisis gráfico para las salidas presión en el sistema de inyección, tiempo de inyección y volumen vertido. Se empleará solamente el análisis gráfico para analizar el residuo dentro y fuera de punta, ya que al haber solo valores si o no el análisis ANOVA no es adecuado por no haber normalidad en los datos. En las siguientes figuras y tablas se muestran los resultados de dichos análisis.

DESARROLLO

Presión en sistema de inyección

Análisis de varianza

Tabla 15.1. Resultados del análisis de varianza

Source	DF	SS	MS	F	P
Presion	2	377.931	188.965	42078.90	0.000
Vacio	2	0.356	0.178	39.62	0.000
Liquido	1	0.050	0.050	11.16	0.002
Presion*Vacio	4	0.013	0.003	0.74	0.567
Presion*Liquido	2	0.192	0.096	21.37	0.000
Vacio*Liquido	2	0.322	0.161	35.85	0.000
Presion*Vacio*Liquido	4	0.062	0.016	3.46	0.014
Error	54	0.242	0.004		
Total	71	379.169			

S = 0.0670130 R-Sq = 99.94% R-Sq(adj) = 99.92%

Análisis gráfico

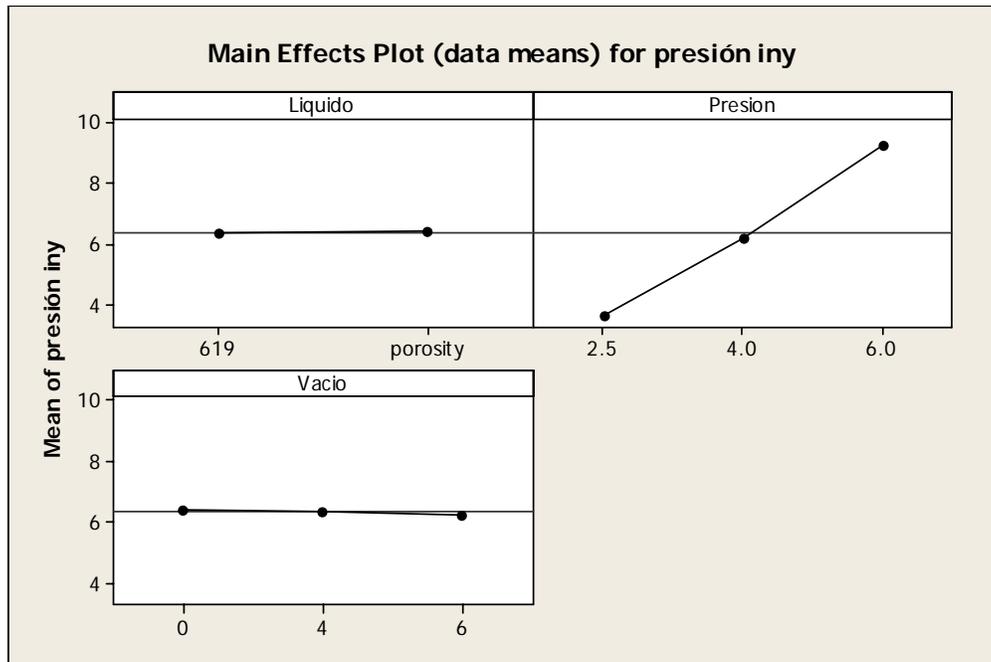


Figura 15.1. Efectos principales (presión, vacío y tipo vs presión inyección)

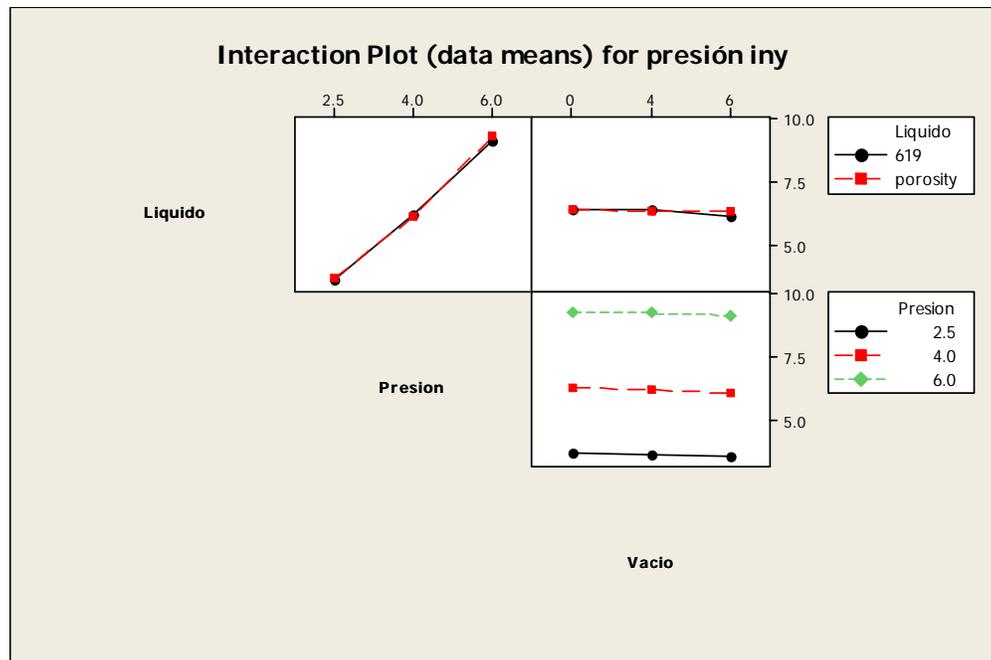


Figura 15.2. Interacciones (presión y vacío vs presión inyección)

Tiempo de inyección

Análisis de varianza

Tabla 15.2. Resultados del análisis de varianza

Source	DF	SS	MS	F	P
Presion	2	67.558	33.779	209.13	0.000
Vacio	2	24.981	12.490	77.33	0.000
Liquido	1	56.942	56.942	352.54	0.000
Presion*Vacio	4	21.850	5.462	33.82	0.000
Presion*Liquido	2	28.411	14.205	87.95	0.000
Vacio*Liquido	2	8.372	4.186	25.92	0.000
Presion*Vacio*Liquido	4	16.584	4.146	25.67	0.000
Error	54	8.722	0.162		
Total	71	233.420			

S = 0.401897 R-Sq = 96.26% R-Sq(adj) = 95.09%

Análisis gráfico

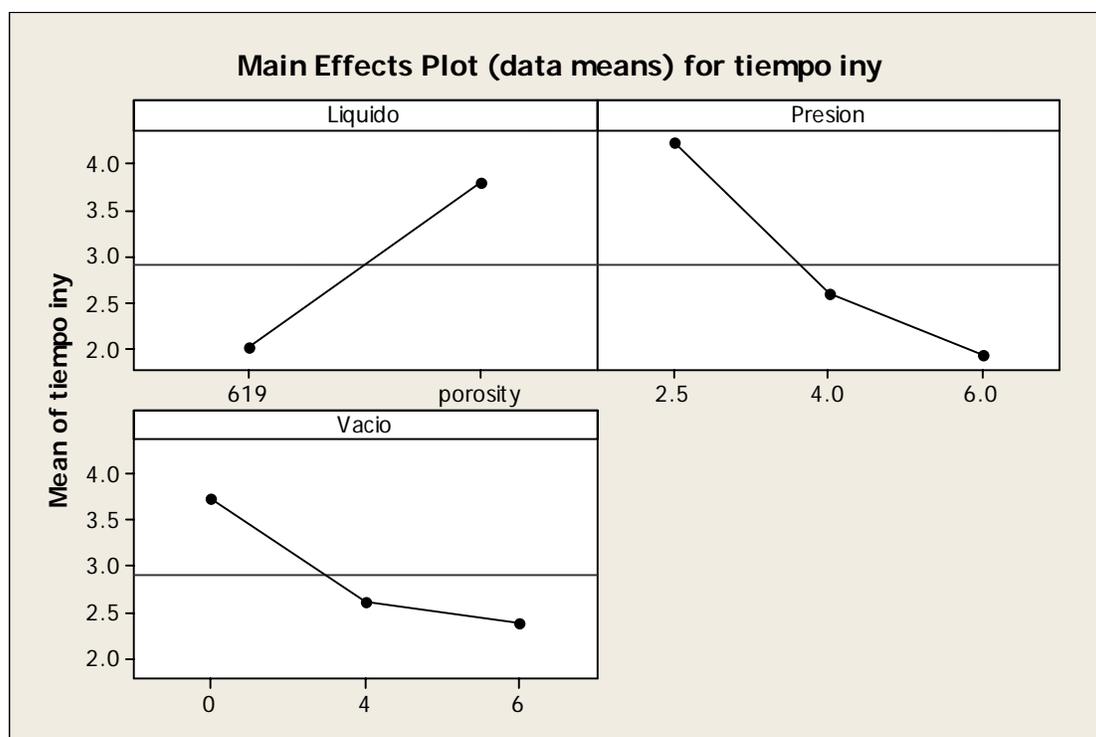


Figura 15.3. Efectos principales (presión, vacío y tipo vs tiempo inyección)

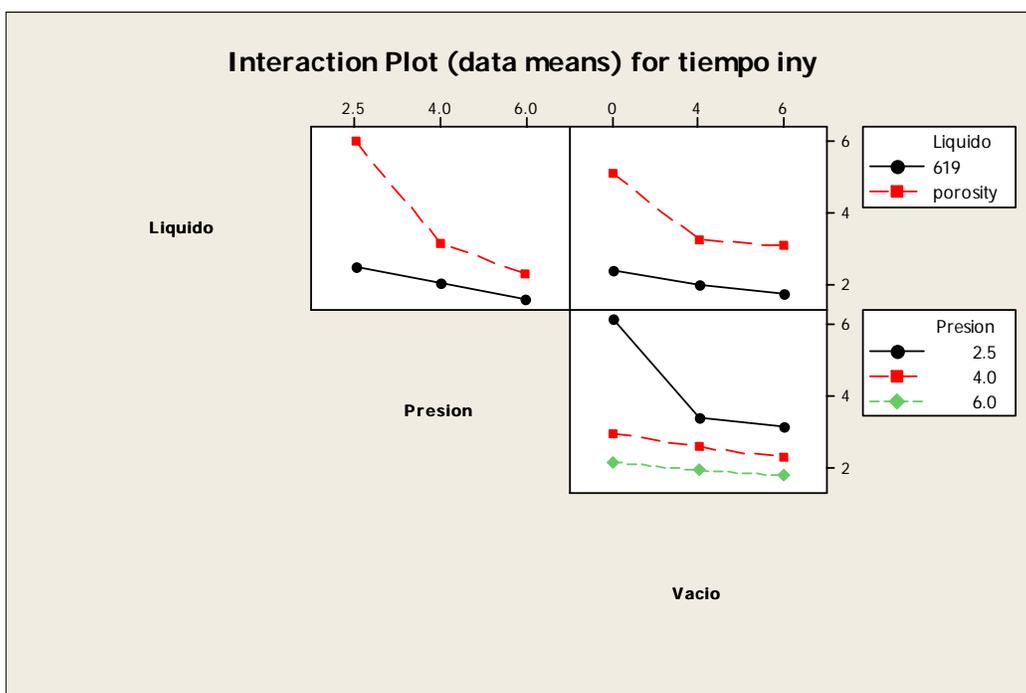


Figura 15.4. Interacciones (presión y vacío vs tiempo inyección)

Volumen vertido

Análisis de varianza

Tabla 15.3. Resultados del análisis de varianza

Resultados de ANOVA						
Source	DF	SS	MS	F	P	
Presion	2	2.2180	1.1090	31.59	0.000	
Vacio	2	16.4130	8.2065	233.78	0.000	
Liquido	1	36.3378	36.3378	1035.14	0.000	
Presion*Vacio	4	1.7806	0.4451	12.68	0.000	
Presion*Liquido	2	1.0190	0.5095	14.51	0.000	
Vacio*Liquido	2	6.4290	3.2145	91.57	0.000	
Presion*Vacio*Liquido	4	2.4371	0.6093	17.36	0.000	
Error	54	1.8956	0.0351			
Total	71	68.5300				

S = 0.187361 R-Sq = 97.23% R-Sq(adj) = 96.36%

Análisis gráfico

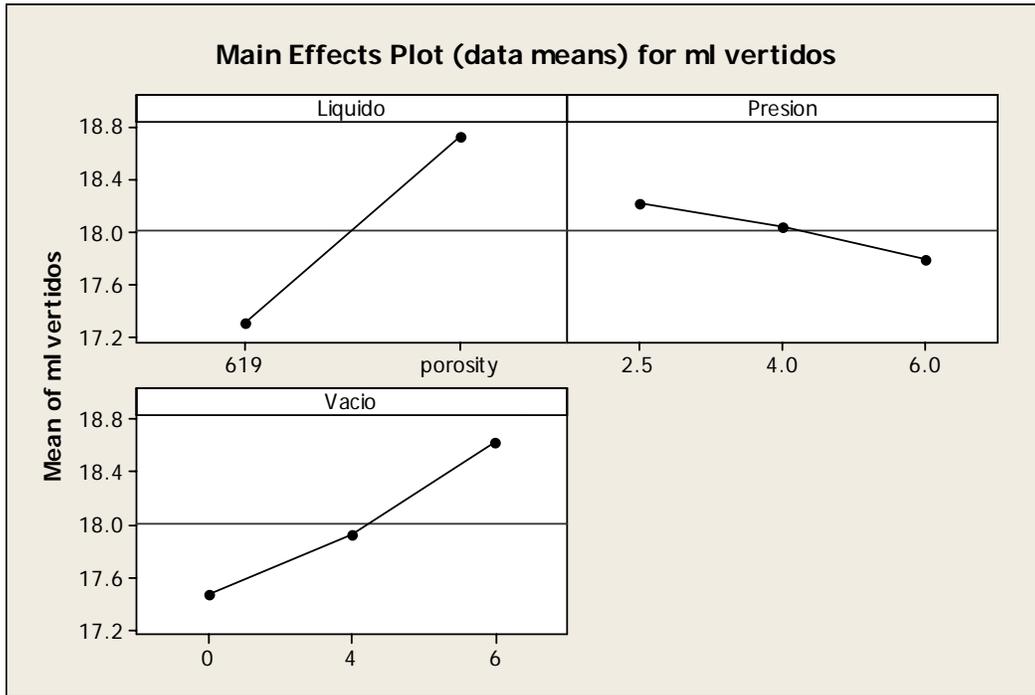


Figura 15.5. Efectos principales (presión, vacío y tipo vs volumen vertido)

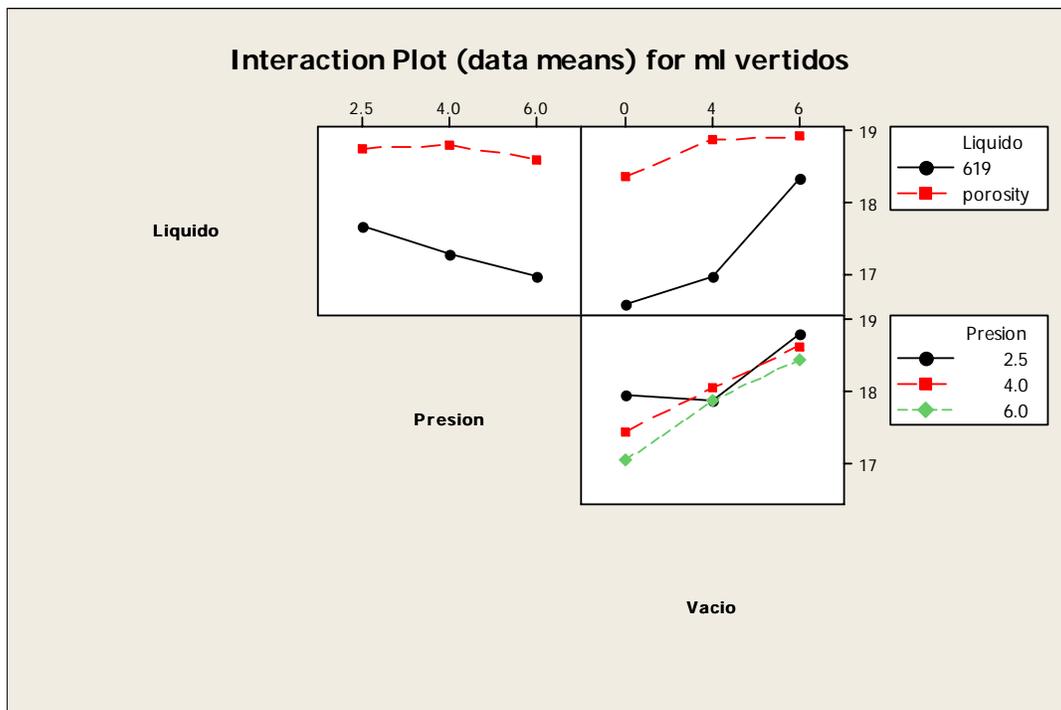


Figura 15.6. Interacciones (presión y vacío vs volumen vertido)

Residuo fuera

Análisis gráfico

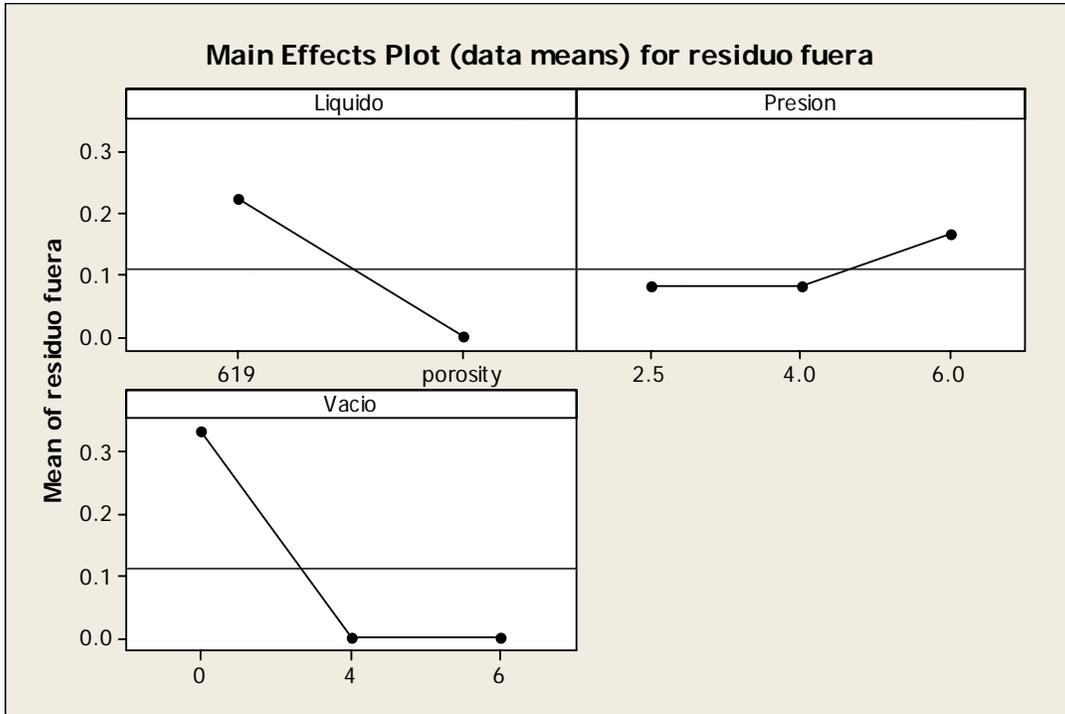


Figura 15.7. Efectos principales (presión, vacío y tipo vs residuo fuera)

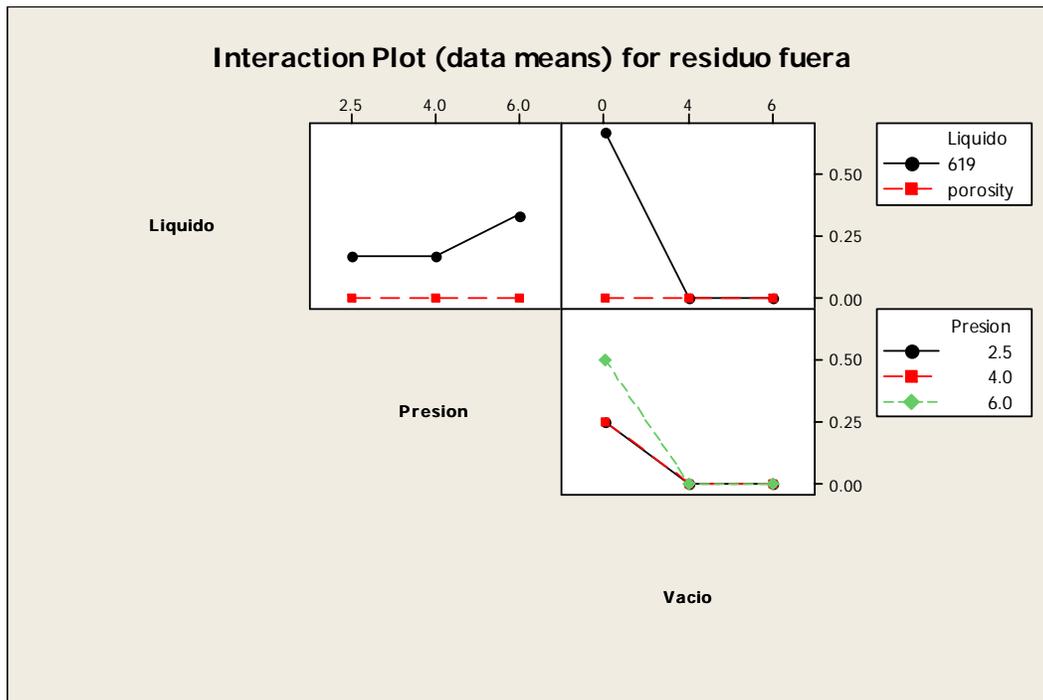


Figura 15.8. Interacciones (presión y vacío vs residuo fuera)

Residuo dentro

Análisis gráfico

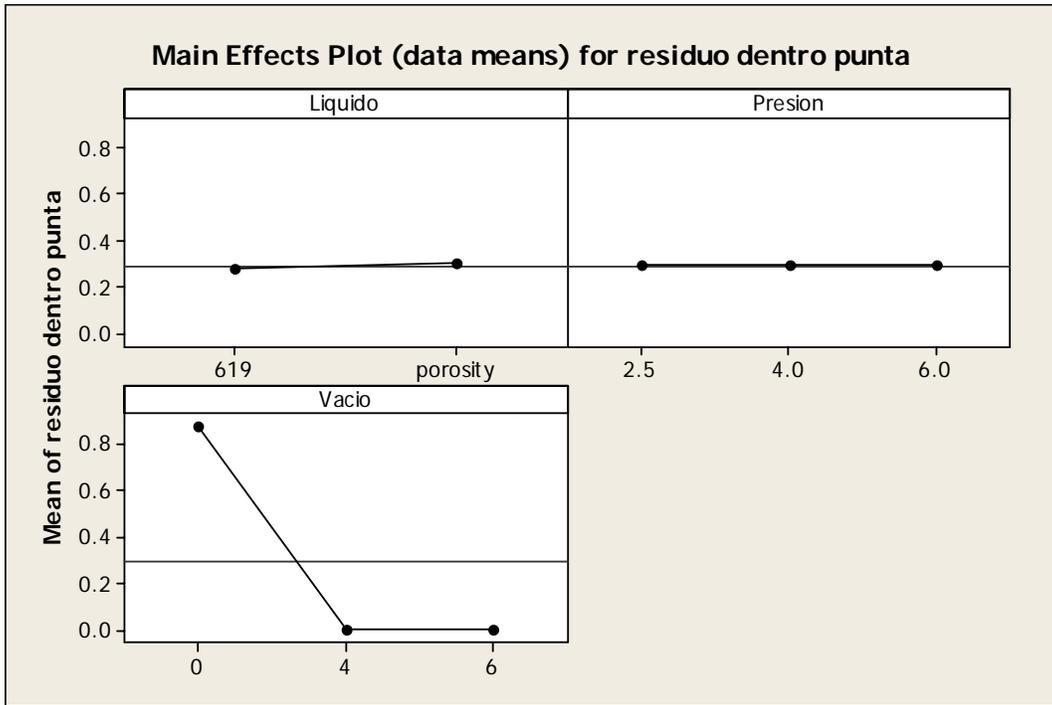


Figura 15.9. Efectos principales (presión, vacío y tipo vs residuo dentro)

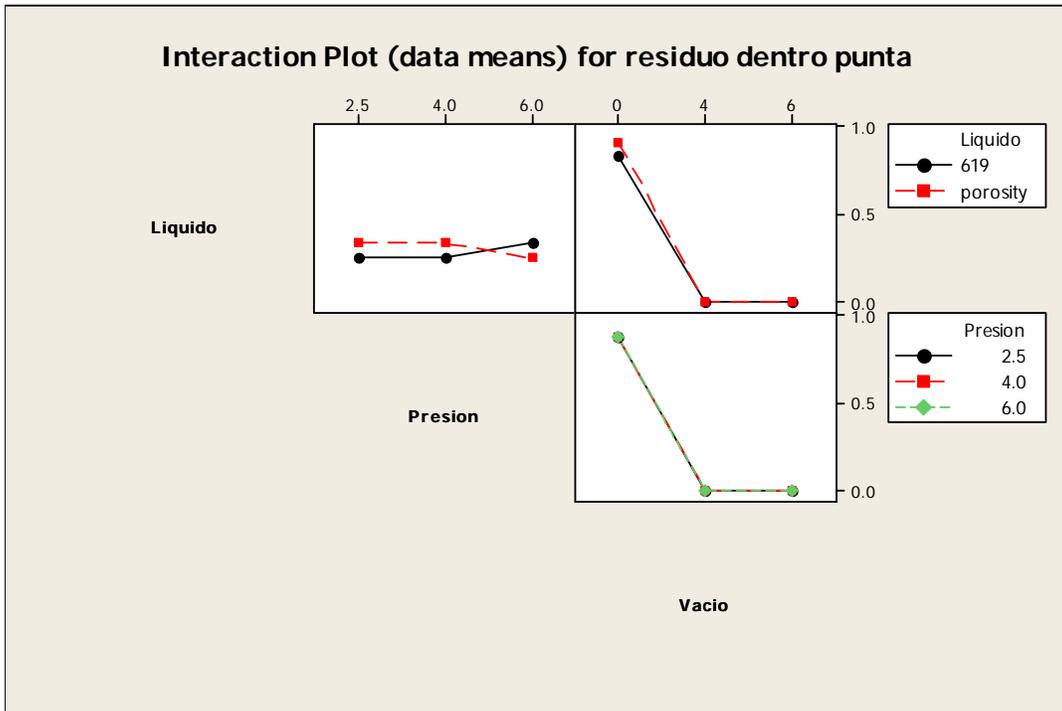


Figura 15.10. Interacciones (presión y vacío vs residuo dentro)

CONCLUSIONES

- A mayor presión de inyección, mayor presión en el sistema. El vacío y el tipo de líquido afectan la presión de inyección. El análisis ANOVA muestra valores P menores a 0.05 para presión, vacío, líquido e interacción.
- Al aumentar la presión, disminuye el tiempo de inyección. Al aumentar el vacío, disminuye el tiempo de inyección. Existe interacción entre el vacío y la presión de inyección al determinar el tiempo de inyección. El efecto de vacío es mayor cuando la presión de inyección es baja (2 bar). El tipo de líquido influye en el tiempo de inyección. La loción 619 requiere menos tiempo de inyección que la loción porosity (casi la mitad de tiempo). El análisis ANOVA da valores P menores a 0.05 para vacío, presión, líquido e interacciones.
- Al aumentar la presión de inyección, disminuye el volumen vertido. Al aumentar el vacío, aumenta el volumen vertido. Así, cada factor tiene un efecto contrario para el volumen vertido. El tipo de líquido también influye, ya que se puede inyectar más cantidad de líquido porosity que 619. Esto puede deberse a la succión de espuma al eliminar el vacío residual en el segundo ciclo de vacío. El análisis ANOVA indica que los efectos principales y las interacciones son estadísticamente significativas con valores P menores a 0.05.
- El residuo fuera de ampollita depende del vacío, presión de inyección y tipo de líquido. El vacío es el que determina si una ampollita tiene residuo o no. Con vacío, el nivel de residuo cae drásticamente. Así mismo, la loción 619 es la más propensa de dejar residuo fuera de punta respecto a la loción porosity.
- El residuo dentro de ampollita depende del vacío solamente. Al aplicar vacío, el residuo dentro de la ampollita se elimina drásticamente.

Capítulo 16: Resumen y análisis de experimentos

OBJETIVO

- Determinar las relaciones básicas que existen entre las salidas analizadas (presión en sistema, tiempo de inyección, volumen vertido, residuos dentro y fuera) en los experimentos factoriales realizados y los factores de entrada (presión de inyección y vacío)
- Determinar si existen combinaciones de presión de inyección y vacío tales que permitan llenar ampollitas con los líquidos seleccionados con la menor variabilidad y sin residuos en la punta de éstas.

INTRODUCCIÓN

Se realizaron experimentos con agua y ampollitas seleccionadas para determinar el comportamiento del sistema al variar presión y vacío. Estos experimentos preliminares permitieron obtener información sobre como diseñar los experimentos posteriores y determinar las herramientas de análisis adecuadas para las salidas a observar.

Posteriormente se llevaron a cabo experimentos factoriales con líquidos y geometrías de ampollitas seleccionadas, alterando parámetros en el banco de pruebas 2 (los cuales fueron presión en el inyector y vacío generado) y observar su efecto en el llenado de las ampollitas plásticas.

A continuación se muestra la ficha general de los experimentos realizados. En ésta se muestran los parámetros que se controlaron en el banco de pruebas, las entradas del sistema y las salidas observadas a lo largo de los experimentos.

Entradas:

- *Presión en el inyector. Niveles: 2, 4, 6 bar (ampollita tipo 4), 2.5, 4, 6 bar (ampollita tipo 3)*
- *Vacío en el sistema. Niveles: 0, 4, 6 bar (en presión del generador venturi empleado). Equivalente en % de vacío: 0, 56, 77%*
- *Material de ampollita: PVC cristal y café*
- *Tipo de ampollita: tipo 3 y tipo 4*
- *Tipo de líquido: Loción 619 extra para representar líquidos espumosos y poco viscosos. Loción porosity para líquidos viscosos y no espumosos.*

Salidas observadas:

- *Volumen introducido*
- *Tiempo de inyección*
- *Presión en la vía de líquido*
- *Residuo en el exterior de la ampollita*
- *Residuo en el interior de la ampollita*

DESARROLLO

Después de llevar a cabo los experimentos con diseño factorial para determinar como afectan el vacío y la presión en el inyector el llenado de ampollitas plásticas y otras salidas, se encontraron las siguientes relaciones básicas:

- A mayor presión de inyección, mayor presión en la vía de líquido. El vacío, líquido y tipo de ampollita tienen participación en el efecto, pero la presión en el inyector es la variable dominante.
- Al aumentar la presión del inyector, disminuye el tiempo de inyección. Al aumentar el vacío, disminuye el tiempo de inyección. El efecto de vacío es mayor cuando la presión de inyección es baja (2 bar). El tipo de líquido y ampollita también afectan el tiempo de inyección. El líquido porosity requiere un mayor tiempo de inyección. La ampollita tipo 3 requiere mayor tiempo de inyección dada su mayor capacidad. Las ampollitas cafés requieren más tiempo en la inyección que las ampollitas transparentes para una misma geometría.
- Al aumentar la presión de inyección, disminuye el volumen vertido. Al aumentar el vacío, aumenta el volumen vertido. Así, cada factor tiene un efecto contrario para el volumen vertido. El material de la ampollita y tipo de líquido también tienen influencia. El tipo de líquido también influye, ya que se puede inyectar más cantidad de líquido porosity que 619. Esto puede deberse a la succión de espuma al eliminar el vacío residual en el segundo ciclo de vacío.
- El residuo fuera de la ampollita depende de la presión de inyección, vacío y tipo de líquido. Las variables dominantes son el vacío y el tipo de líquido. Al aplicar vacío en cualquier nivel, disminuye drásticamente la posibilidad de residuo en fuera de la ampollita. Así mismo, el líquido 619 es mucho más propenso a dejar residuo en el exterior que el líquido porosity.
- El residuo dentro de ampollita depende del vacío solamente. Al aplicar vacío, el residuo dentro de la ampollita se elimina drásticamente.

Resumen de experimentos

Con base en los resultados obtenidos se ha creado una tabla con los resultados condensados de valores de medias, varianzas y porcentajes de presiones en el sistema, residuos fuera y dentro de punta así como gasto. Este último se obtuvo combinando los resultados de tiempo de inyección y volumen vertido.

El parámetro de gasto se obtuvo combinando los resultados de tiempo y volumen de inyección debido a que el banco de pruebas No.2 posee una cámara de inyección limitada y no es posible introducir volúmenes superiores de 18 ml. Así, se determinó generar el parámetro de gasto para poder visualizar el desempeño del sistema sin la limitación de la cámara de inyección.

Los resultados condensados de los experimentos se muestran en la tabla 16.1. En esta tabla se muestra el gasto, presión de sistema, residuos en punta y una predicción del tiempo de llenado con base en el gasto y la especificación de volumen. Se calculó la varianza en el gasto, la cual se utilizó para generar una varianza en el líquido introducido para poder predecirla de acuerdo a la especificación y calcular la desviación estándar.

Con los resultados anteriores se dividió el rango de tolerancia (9% de contenido neto respecto a contenido neto) con el número de desviaciones estándar. Las combinaciones de presión y vacío que poseen 6 o más desviaciones estándar se seleccionaron y de éstas se observó cuáles no presentaban residuos en punta. Así, se encontró que existe al menos una combinación de presión y vacío que cumple con las especificaciones de residuos y de variación en el llenado. En la tabla 16.1 dichas combinaciones se encuentran marcadas como “viables”.

Con base en las combinaciones de presión y vacío adecuadas por tipo de ampollita y líquido, se obtuvo el tiempo máximo de llenado. Este se situó en los 3.19 s. Con el objeto de tener un margen de seguridad, se situará el tiempo de llenado en 4 s como especificación del banco de pruebas 2.

CONCLUSIONES

- Los experimentos realizados a diversas geometrías de ampollitas y líquidos con combinaciones diferentes de presión y vacío han permitido observar el comportamiento del llenado y presentación de ampollitas bajo estos cambios.
- Se utilizaron los resultados anteriores para determinar si existen combinaciones de presión y vacío que hacen que se cumplan los diversos requerimientos de variabilidad y residuos en punta.
- Existe al menos una combinación de presión y vacío por tipo de ampollita y líquido adecuada para llenado.
- Se obtuvo un estimado del tiempo de llenado máximo con base en las combinaciones de presión y vacío que cumplen con todos los requisitos. Este tiempo (4 s) se utilizará para establecer el tiempo de ciclo del sistema.
- Se llevarán a cabo series de llenados con las combinaciones de presión y vacío viables por tipo de ampollita y líquido para verificar si cumplen con los requisitos. Así mismo, se observará si los resultados de la tabla 16.1 sirven para predecir el comportamiento del sistema de llenado con condiciones fijas.

Tabla 16.1. Resumen de experimentos

Tipo de ampolleta	Líquido	Presión inyector (bar)	Presión vacío (bar)	Presión sistema (media, kg/cm ²)	Gasto (media, ml/s)	Varianza gasto	Residuo fuera de presencia de residuo (% de residuo)	Residuo dentro (% de presencia de residuo)	Especificación (ml)	Predicción de volumen				Calibración que tiene 6 S y no presenta residuos	
										Tiempo de inyección estimado	Varianza estimada	Desviación estándar	Rango de variación permitido		No de desv est en rango
Tipo 4 café (3.4 g)	loción 619 extra	2	0	2.80	6.29	0.0593	25.0	25.0	15	2.39	0.5379	0.5813	1.35	2	
Tipo 4 café (3.4 g)	loción 619 extra	2	4	2.80	8.68	0.0590	0.0	0.0	15	1.73	0.1761	0.4196	1.35	3	
Tipo 4 café (3.4 g)	loción 619 extra	2	6	2.63	8.60	0.0958	0.0	0.0	15	1.74	0.2912	0.5396	1.35	2	
Tipo 4 café (3.4 g)	loción 619 extra	4	0	6.03	9.12	0.0133	100.0	100.0	15	1.65	0.0361	0.1901	1.35	7	
Tipo 4 café (3.4 g)	loción 619 extra	4	4	6.00	11.88	0.1124	0.0	0.0	15	2.46	0.1791	0.4233	1.35	3	
Tipo 4 café (3.4 g)	loción 619 extra	4	6	6.00	11.81	2.8257	0.0	0.0	15	1.27	4.5556	2.1344	1.35	0	
Tipo 4 café (3.4 g)	loción 619 extra	6	0	9.00	10.91	0.3155	100.0	100.0	15	1.37	0.9569	0.7719	1.35	1	
Tipo 4 café (3.4 g)	loción 619 extra	6	4	8.90	12.91	0.2007	0.0	0.0	15	1.16	0.2711	0.5206	1.35	2	
Tipo 4 café (3.4 g)	loción 619 extra	6	6	9.00	15.30	0.0296	0.0	0.0	15	0.98	0.0285	0.1667	1.35	8	viable
Tipo 3 trans (4.6 g)	loción 619 extra	2.5	0	3.73	5.97	0.0111	50.0	75.0	20	3.35	0.1248	0.3533	1.80	5	
Tipo 3 trans (4.6 g)	loción 619 extra	2.5	4	3.70	7.40	0.0513	0.0	0.0	20	2.70	0.3741	0.8116	1.80	2	
Tipo 3 trans (4.6 g)	loción 619 extra	2.5	6	3.40	8.63	0.0156	0.0	0.0	20	2.32	0.0838	0.2895	1.80	6	viable
Tipo 3 trans (4.6 g)	loción 619 extra	4	0	6.40	7.04	0.0072	50.0	75.0	20	2.84	0.0580	0.2409	1.80	7	
Tipo 3 trans (4.6 g)	loción 619 extra	4	4	6.30	8.13	0.0064	0.0	0.0	20	2.46	0.0390	0.1974	1.80	9	viable
Tipo 3 trans (4.6 g)	loción 619 extra	4	6	6.00	11.19	0.0000	0.0	0.0	20	1.79	0.0000	0.0065	1.80	276	viable
Tipo 3 trans (4.6 g)	loción 619 extra	6	0	9.25	8.71	0.0710	100.0	100.0	20	2.29	0.3737	0.8113	1.80	2	
Tipo 3 trans (4.6 g)	loción 619 extra	6	4	9.20	10.71	0.4853	0.0	0.0	20	1.87	1.5866	1.2596	1.80	1	
Tipo 3 trans (4.6 g)	loción 619 extra	6	6	9.05	13.50	0.0114	0.0	0.0	20	1.48	0.0250	0.1580	1.80	11	viable
Tipo 3 trans (4.6 g)	loción porosidad	2.5	0	3.73	1.92	0.1180	0.0	1.0	20	10.40	12.7511	3.5709	1.80	0	
Tipo 3 trans (4.6 g)	loción porosidad	2.5	4	3.60	4.05	0.0462	0.0	0.0	20	4.94	1.1266	1.0614	1.80	1	
Tipo 3 trans (4.6 g)	loción porosidad	2.5	6	3.70	4.54	0.0188	0.0	28.5	20	4.40	0.3633	0.8028	1.80	2	
Tipo 3 trans (4.6 g)	loción porosidad	4	0	6.19	5.21	0.0054	0.0	85.7	20	3.84	0.0794	0.2819	1.80	6	
Tipo 3 trans (4.6 g)	loción porosidad	4	4	6.11	6.26	0.0074	0.0	0.0	20	3.19	0.0758	0.2754	1.80	6	viable
Tipo 3 trans (4.6 g)	loción porosidad	4	6	6.20	6.56	0.0025	0.0	28.5	20	3.05	0.0230	0.1516	1.80	11	
Tipo 3 trans (4.6 g)	loción porosidad	6	0	9.37	7.62	0.0326	0.0	71.4	20	2.62	0.2247	0.4740	1.80	3	
Tipo 3 trans (4.6 g)	loción porosidad	6	4	9.31	8.47	0.0209	0.0	0.0	20	2.36	0.1168	0.3418	1.80	5	
Tipo 3 trans (4.6 g)	loción porosidad	6	6	9.33	8.55	0.0346	0.0	2.4	20	2.34	0.1890	0.4348	1.80	4	
Tipo 4 trans (3.4 g)	loción porosidad	2	0	2.64	2.39	0.0148	0.0	71.4	15	6.27	0.5629	0.7635	1.35	1	
Tipo 4 trans (3.4 g)	loción porosidad	2	4	2.74	3.81	0.0060	0.0	0.0	15	3.93	0.0931	0.3051	1.35	4	
Tipo 4 trans (3.4 g)	loción porosidad	2	6	2.71	4.05	0.0088	0.0	0.0	15	3.71	0.1205	0.3471	1.35	3	
Tipo 4 trans (3.4 g)	loción porosidad	4	0	6.06	5.84	0.0046	14.3	1.0	15	2.57	0.0302	0.1738	1.35	7	
Tipo 4 trans (3.4 g)	loción porosidad	4	4	6.07	6.83	0.0012	0.0	0.0	15	2.19	0.0056	0.0749	1.35	18	viable
Tipo 4 trans (3.4 g)	loción porosidad	4	6	5.96	6.92	0.0069	0.0	0.0	15	2.17	0.0325	0.1803	1.35	7	viable
Tipo 4 trans (3.4 g)	loción porosidad	6	0	9.21	8.22	0.0254	0.0	100.0	15	1.82	0.0846	0.2908	1.35	4	
Tipo 4 trans (3.4 g)	loción porosidad	6	4	9.23	9.18	0.0099	0.0	14.3	15	1.63	0.0264	0.1624	1.35	8	
Tipo 4 trans (3.4 g)	loción porosidad	6	6	9.11	9.08	0.0414	0.0	0.0	15	1.65	0.1132	0.3864	1.35	4	
Tipo 4 café (3.4 g)	loción porosidad	2	0	2.71	2.58	0.0082	0.0	100.0	15	5.82	0.2793	0.5285	1.35	2	
Tipo 4 café (3.4 g)	loción porosidad	2	4	2.61	3.87	0.0347	0.0	0.0	15	3.88	0.5221	0.7226	1.35	1	
Tipo 4 café (3.4 g)	loción porosidad	2	6	2.61	4.06	0.0233	0.0	14.3	15	3.70	0.3180	0.5639	1.35	2	
Tipo 4 café (3.4 g)	loción porosidad	4	0	6.10	6.03	0.0023	28.5	85.7	15	2.49	0.0142	0.1192	1.35	11	
Tipo 4 café (3.4 g)	loción porosidad	4	4	5.99	6.94	0.0055	0.0	0.0	15	2.16	0.0257	0.1604	1.35	8	
Tipo 4 café (3.4 g)	loción porosidad	4	6	6.03	7.18	0.0088	0.0	0.0	15	2.09	0.0385	0.1961	1.35	6	viable
Tipo 4 café (3.4 g)	loción porosidad	6	0	9.19	8.26	0.0167	28.5	100.0	15	1.82	0.0550	0.2346	1.35	5	
Tipo 4 café (3.4 g)	loción porosidad	6	4	9.10	8.86	0.0751	0.0	0.0	15	1.69	0.2163	0.4640	1.35	2	
Tipo 4 café (3.4 g)	loción porosidad	6	6	9.03	9.28	0.0287	0.0	0.0	15	1.62	0.0750	0.2738	1.35	4	
Tipo 4 trans (3.4 g)	loción 619 extra	2	0	2.58	5.90	0.0037	50	100	20	3.39	0.0424	0.2060	1.8	8	
Tipo 4 trans (3.4 g)	loción 619 extra	2	4	2.48	7.82	0.0029	0	0	20	2.56	0.0189	0.1376	1.8	13	viable
Tipo 4 trans (3.4 g)	loción 619 extra	2	6	2.48	8.30	0.0364	0	0	20	2.41	0.2111	0.4595	1.8	3	
Tipo 4 trans (3.4 g)	loción 619 extra	4	0	5.90	9.39	0.0822	100	100	20	2.13	0.2818	0.5309	1.8	3	
Tipo 4 trans (3.4 g)	loción 619 extra	4	4	5.98	11.44	0.0241	0	0	20	1.75	0.0737	0.2715	1.8	6	viable
Tipo 4 trans (3.4 g)	loción 619 extra	4	6	5.80	12.28	0.0158	0	0	20	1.63	0.0418	0.2044	1.8	8	viable
Tipo 4 trans (3.4 g)	loción 619 extra	6	0	8.93	11.72	0.0720	100	100	20	1.71	0.2095	0.4577	1.8	3	
Tipo 4 trans (3.4 g)	loción 619 extra	6	4	8.93	13.64	0.0437	0	0	20	1.47	0.0940	0.3065	1.8	5	
Tipo 4 trans (3.4 g)	loción 619 extra	6	6	8.85	15.32	0.0828	0	0	20	1.31	0.1582	0.3977	1.8	4	
Tiempo máximo de ciclo cumpliendo especificaciones:													3.19		

Capítulo 17: Experimentos de comprobación

OBJETIVO

- Comprobar que la inyección de líquido empleando el banco de pruebas No.2 (alternativa de solución 6) se encuentra estadísticamente en control y que cumple con los requisitos respecto a mililitros vertidos y residuos en punta. Así mismo, se analizará el comportamiento de otras variables como tiempo de inyección, presión en sistema y gasto volumétrico.

INTRODUCCIÓN

El control estadístico de procesos es una herramienta que permite determinar si un proceso se encuentra bajo control y determinar si la variabilidad en éste se encuentra sujeta solo a fluctuaciones aleatorias o a fluctuaciones o variaciones que son asignables.

Una herramienta que emplea el control estadístico de procesos para vigilar el desarrollo de éstos en el tiempo son las gráficas de control para una variable de calidad. Básicamente es necesario graficar la magnitud de la variable bajo control a lo largo del tiempo.

Estas gráficas de control emplean 3 líneas que se construyen con base en los datos analizados, datos históricos o especificaciones de medida y variabilidad. Estas son:

Línea central: En una gráfica de control de variable es la media de las mediciones de la muestra (\bar{x}).

Límite de control inferior (LCI): Es el límite inferior que no debe de rebasar la magnitud de la variable medida. Se obtiene mediante la fórmula:

$$LCI = \bar{x} - 3s$$

Donde s es la desviación estándar de las mediciones de la muestra.

Límite de control superior (LCS): Es el límite superior que no debe de rebasar la magnitud de la variable medida. Se obtiene mediante la fórmula:

$$LCS = \bar{x} + 3s$$

Donde s es la desviación estándar de las mediciones de la muestra.

En la figura 17.1 se muestra una grafica de control completa.

Es común elegir que el límite inferior y el superior se establezcan a 3 desviaciones estándar cada uno de la media.

Se dice que un proceso se encuentra bajo control si todas las observaciones tomadas del proceso se encuentran contenidas dentro de los límites superior e inferior.

Además, las gráficas de control permiten analizar si existen patrones en el proceso, los cuales pueden indicar fluctuaciones no aleatorias en éste. Para esto existen una serie de reglas denominadas reglas *Western Electric* para detectar patrones, las cuales son:

- Un punto esta fuera de los límites a 3S (límites LCL y LCS)
- 2 de 3 puntos consecutivos están afuera de 2S.
- 4 de 5 puntos consecutivos se encuentran a 1S o más de la línea central.
- 8 puntos consecutivos es encuentran a un lado de la línea central.

Existe diversos tipos de gráficas de control de acuerdo al tamaño de la muestra y lo que se quiera medir. Para muestras con más de un elemento por unidad de tiempo se tiene la gráfica X para determinar si la media esta bajo control y la gráfica R para determinar si la varianza se encuentra bajo control.

En el caso de muestras con un solo elemento por unidad de tiempo existen los diagramas de control para individuos si se quiere supervisar el control de la media y el diagrama de control de rangos movibles para supervisar la variabilidad.

Se emplearán las herramientas de gráficas de control para individuos y de rangos movibles para determinar si el proceso se encuentra en control para volumen vertido y si cumple con la tolerancia especificada por la norma *NOM 002 SCFI 1993*.

Así mismo, se evaluarán otros parámetros como residuos en punta, presión en sistema, gasto y tiempo inyectado y determinar posibles interacciones entre estos parámetros así como determinar si los valores predichos por los resultados de los experimentos factoriales se cumplen.

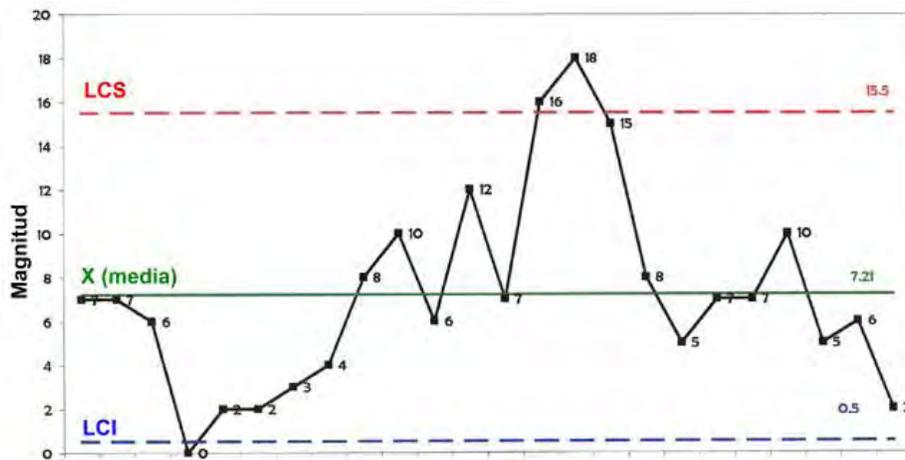


Figura 17.1. Ejemplo de gráfica de control

DESARROLLO

Experimento de comprobación No. 1

Ficha del experimento

<p>Corrida de llenado bajo condiciones predeterminadas. <i>Factor 1:</i> presión a 4 bar <i>Factor 2:</i> vacío a 4 bar <i>No. de muestras:</i> 30</p>	<p><i>Ampolleta:</i> tipo 3 transparente <i>Líquido:</i> loción 619 extra</p>
---	--

Los resultados de la corrida experimental se muestran en la tabla 17.1.

Las ampollas bajo estudio son del tipo 3 transparente. Su especificación indica que deben de ser llenadas con 20 ml. Sin embargo, el banco de pruebas tiene limitada su capacidad de inyección y no es posible llegar a dicho valor. La capacidad máxima se ubica en los 17.5 – 18 ml, que fue lo que se determinó inyectar.

La figura 17.2 muestra el diagrama de control de media y rangos movibles para el volumen vertido. La media del volumen se ubica en los 17.5 ml, lo cual concuerda con el volumen máximo a inyectar que se ha observado en las pruebas anteriormente.

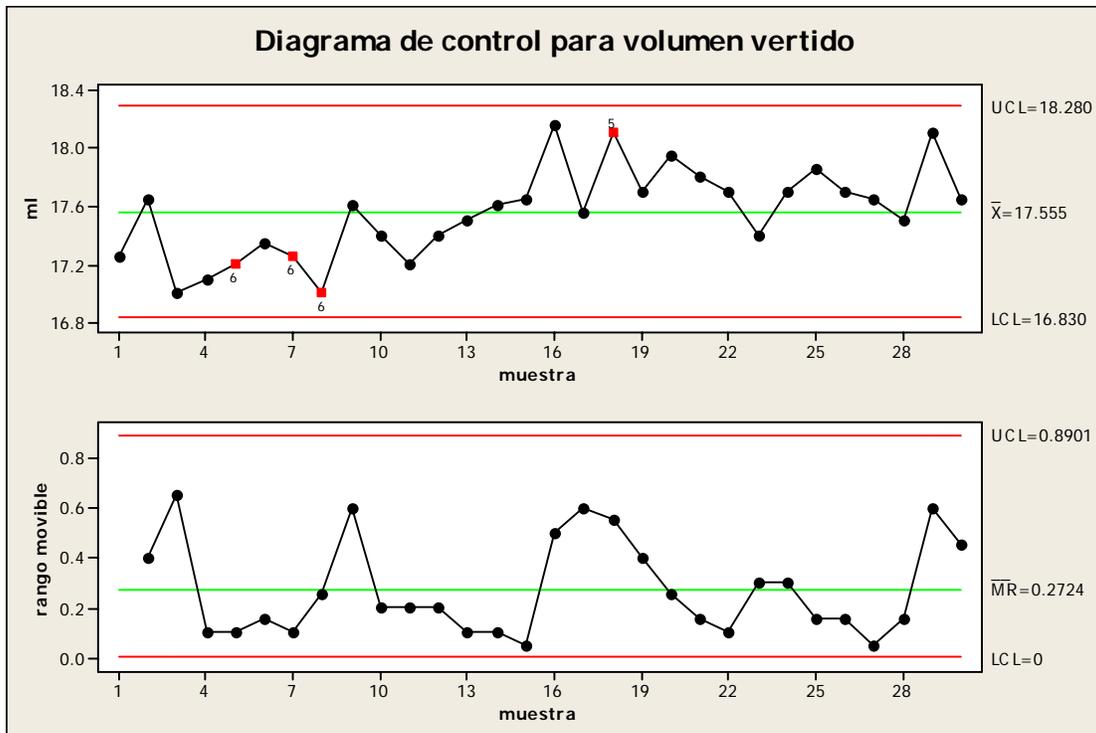


Figura 17.2. Gráfica de control para volumen vertido

Tabla 17.1 Corrida de comprobación 1

No.	Tipo de ampollita	presión inyector (bar)	vacío (bar)	Presión inyección (kg/cm ²)	Residuo en punta	Residuo dentro de punta	PLC		Convertidos			volumen vertido (ml)	masa total (g)	Masa ampollita (g)	Gasto (ml/s)
							tiempo inyección (ms)	tiempo ciclo (ms)	tiempo inyección (s)	tiempo ciclo (s)	Tiempo restante (s)				
1	Tipo 3 trans	4	4	6.4	0	0	9810	9101	1.9	8.99	7.09	17.25	21.85	4.6	9.08
2	Tipo 3 trans	4	4	6.3	0	0	9760	9052	2.4	9.48	7.08	17.65	22.25	4.6	7.35
3	Tipo 3 trans	4	4	6.3	0	0	9804	9096	1.96	9.04	7.08	17	21.6	4.6	8.67
4	Tipo 3 trans	4	4	6.3	0	0	9773	9064	2.27	9.36	7.09	17.1	21.7	4.6	7.53
5	Tipo 3 trans	4	4	6.3	0	0	9760	9052	2.4	9.48	7.08	17.2	21.8	4.6	7.17
6	Tipo 3 trans	4	4	6.3	0	0	9775	9067	2.25	9.33	7.08	17.35	21.95	4.6	7.71
7	Tipo 3 trans	4	4	6.3	0	0	9762	9053	2.38	9.47	7.09	17.25	21.85	4.6	7.25
8	Tipo 3 trans	4	4	6.3	0	0	9799	9090	2.01	9.1	7.09	17	21.6	4.6	8.46
9	Tipo 3 trans	4	4	6.3	0	0	9755	9046	2.45	9.54	7.09	17.6	22.2	4.6	7.18
10	Tipo 3 trans	4	4	6.2	0	0	9782	9074	2.18	9.26	7.08	17.4	22	4.6	7.98
11	Tipo 3 trans	4	4	6.2	0	0	9771	9063	2.29	9.37	7.08	17.2	21.8	4.6	7.51
12	Tipo 3 trans	4	4	6.3	0	0	9763	9054	2.37	9.46	7.09	17.4	22	4.6	7.34
13	Tipo 3 trans	4	4	6.2	0	0	9779	9071	2.21	9.29	7.08	17.5	22.1	4.6	7.92
14	Tipo 3 trans	4	4	6.2	0	0	9774	9065	2.26	9.35	7.09	17.6	22.2	4.6	7.79
15	Tipo 3 trans	4	4	6.3	0	0	9775	9067	2.25	9.33	7.08	17.65	22.25	4.6	7.84
16	Tipo 3 trans	4	4	6.3	0	0	9737	9028	2.63	9.72	7.09	18.15	22.75	4.6	6.90
17	Tipo 3 trans	4	4	6.2	0	0	9767	9059	2.33	9.41	7.08	17.55	22.15	4.6	7.53
18	Tipo 3 trans	4	4	6.2	0	0	9753	9045	2.47	9.55	7.08	18.1	22.7	4.6	7.33
19	Tipo 3 trans	4	4	6.2	0	0	9687	8979	3.13	10.21	7.08	17.7	22.3	4.6	5.65
20	Tipo 3 trans	4	4	6.2	0	0	9689	8980	3.11	10.2	7.09	17.95	22.55	4.6	5.77
21	Tipo 3 trans	4	4	6.2	0	0	9687	8979	3.13	10.21	7.08	17.8	22.4	4.6	5.69
22	Tipo 3 trans	4	4	6.2	0	0	9752	9043	2.48	9.57	7.09	17.7	22.3	4.6	7.14
23	Tipo 3 trans	4	4	6.2	0	0	9766	9057	2.34	9.43	7.09	17.4	22	4.6	7.44
24	Tipo 3 trans	4	4	6.2	0	0	9700	8991	3	10.09	7.09	17.7	22.3	4.6	5.90
25	Tipo 3 trans	4	4	6.2	0	0	9630	8921	3.7	10.79	7.09	17.85	22.45	4.6	4.82
26	Tipo 3 trans	4	4	6.2	0	0	9705	8997	2.95	10.03	7.08	17.7	22.3	4.6	6.00
27	Tipo 3 trans	4	4	6.2	0	0	9731	9023	2.69	9.77	7.08	17.65	22.25	4.6	6.56
28	Tipo 3 trans	4	4	6.2	0	0	9756	9048	2.44	9.52	7.08	17.5	22.1	4.6	7.17
29	Tipo 3 trans	4	4	6.2	0	0	9678	8969	3.22	10.31	7.09	18.1	22.7	4.6	5.62
30	Tipo 3 trans	4	4	6.2	0	0	9735	9027	2.65	9.73	7.08	17.65	22.25	4.6	6.66

Para volumen vertido se puede observar que el sistema se encuentra bajo control. Sin embargo, existen algunas observaciones inusuales que se muestran numeradas. Estas observaciones no cumplen con las reglas *Western electric*. Los puntos marcados con 6 muestran varios puntos consecutivos fuera de 1S, mientras que el punto marcado con 5 es el resultado de varios puntos seguidos fuera de 2S. Estos puntos marcados son indicios de posibles alteraciones debido a causas no aleatorias. Sin embargo, el sistema esta bajo control.

En la figura 17.3 se muestra el valor de la presión de inyección a lo largo del tiempo. Es posible observar como su magnitud cambió después de la mitad de la prueba en 0.1 kg/cm².

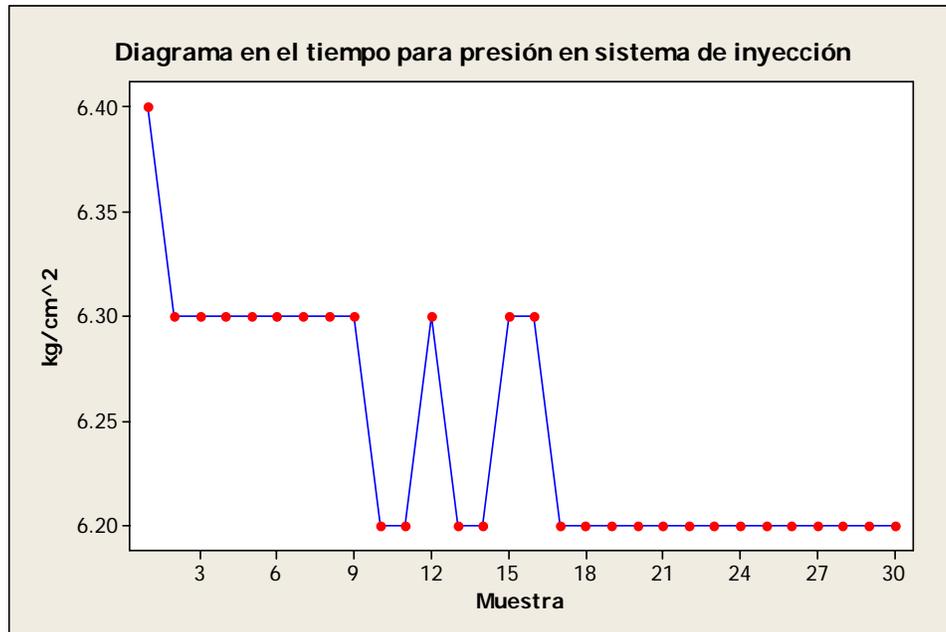


Figura 17.3. Magnitud de presión en sistema a lo largo de la prueba

No se reportaron residuos dentro o fuera de punta a lo largo del experimento. Ninguna de las muestras presentó indicio de residuo de algún tipo.

Se emplearon los valores de la tabla condensada de experimentos para predecir los valor de tiempo de inyección y gasto para un valor de 17.55 ml vertidos. Las tabla 17.2 y 17.3 muestran los valores que se estimaron para el experimento de acuerdo a los resultados anteriores.

Los valores de media para gasto y tiempo de inyección se emplearon como referencia para ubicar la línea central en los diagramas de control. Otros diagramas para las variables antes mencionadas se presentan en las figuras 17.4 y 17.5.

Es posible observar que para gasto y tiempo de inyección el sistema se encuentra fuera de control. Existen valores que salen de los límites de 3S y existen observaciones inusuales que no cumplen con las reglas *Western Electric*.

Es posible observar que las variaciones en la presión de inyección, en el tiempo de inyección y en el gasto están relacionadas. En cuanto la presión de inyección cambia de 6.3 a 6.2 kg/cm², el tiempo de inyección y el gasto también cambian. Esto ocurre poco después de la mitad de la prueba para los tres parámetros.

Tabla 17.2. Valores de predicción para experimento de comprobación 1 (1)

Presion inyector (bar)	Presion vacio (bar)	Presion sistema (media, kg/cm ²)	Gasto (media, ml/s)	Varianza gasto	Residuo fuera (% de presencia de residuo)	Residuo dentro (% de presencia de residuo)
2.5	0	3.73	5.97	0.0111	50.0	75.0
2.5	4	3.70	7.40	0.0513	0.0	0.0
2.5	6	3.40	8.63	0.0156	0.0	0.0
4	0	6.40	7.04	0.0072	50.0	75.0
4	4	6.30	8.13	0.0064	0.0	0.0
4	6	6.00	11.19	0.0000	0.0	0.0
6	0	9.25	8.71	0.0710	100.0	100.0
6	4	9.20	10.71	0.4553	0.0	0.0
6	6	9.05	13.50	0.0114	0.0	0.0

Tabla 17.3. Valores de predicción para experimento de comprobación 1 (2)

Presion inyector (bar)	Predicción de volumen						Calibración que tiene 6 S y no presenta residuos
	Especificación (ml)	Tiempo de inyección estimado	Varianza estimada	Desviación estandar	Rango de variación permitido	No de desv est en rango	
2.5	17.5	2.93	0.0955	0.3091	1.58	5	
2.5	17.5	2.36	0.2864	0.5352	1.58	2	
2.5	17.5	2.03	0.0642	0.2533	1.58	6	viable
4	17.5	2.49	0.0444	0.2108	1.58	7	
4	17.5	2.15	0.0298	0.1728	1.58	9	viable
4	17.5	1.56	0.0000	0.0057	1.58	276	viable
6	17.5	2.01	0.2861	0.5349	1.58	2	
6	17.5	1.63	1.2147	1.1021	1.58	1	
6	17.5	1.30	0.0191	0.1383	1.58	11	viable

También es posible observar que existe un cambio en el líquido introducido. Sin embargo, el volumen vertido se encuentra en control debido a que tiene una variabilidad menor y es capaz de soportar algunos cambios.

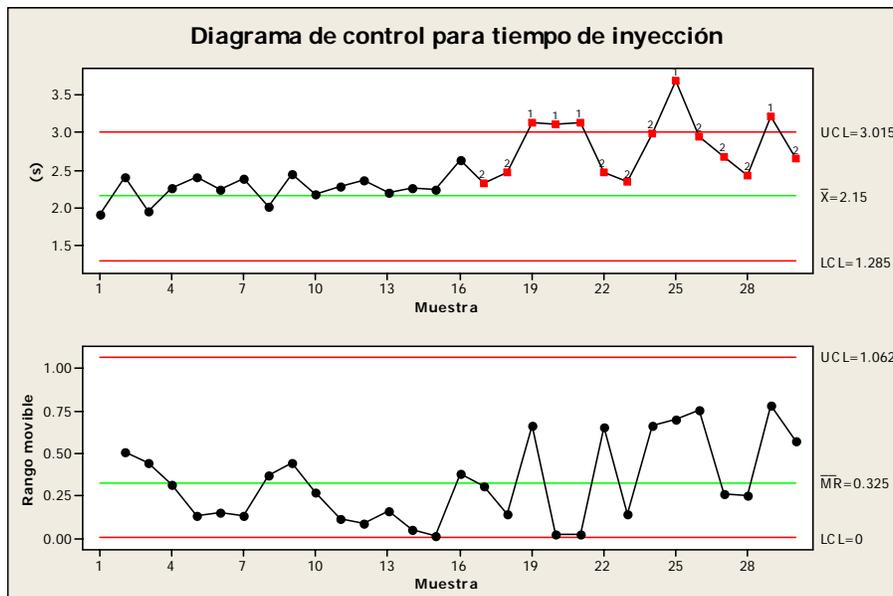


Figura 17.4. Gráfica de control para tiempo de inyección (media de tabla como referencia)

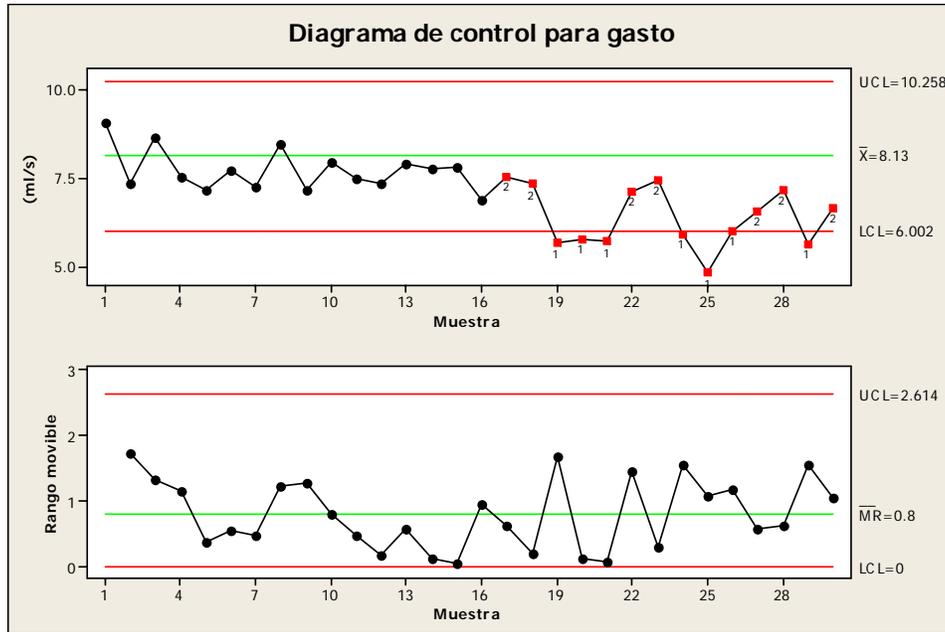


Figura 17.5. Gráfica de control para gasto volumétrico (media de tabla como referencia)

Es posible ver el efecto de la presión de inyección al traslapar las magnitudes de la presión del sistema, el tiempo de llenado y el gasto en una sola gráfica a lo largo del tiempo. Esto se muestra en la figura 17.6.

La desviación estándar para el volumen vertido es de 0.2416 ml. La tolerancia que indica la norma es de 9%. Llevando este valor a volumen se tiene que la tolerancia es de: 1.5795 ml. Existe un índice denominado índice de capacidad de proceso el cual relaciona las tolerancias de especificaciones con el control del proceso y determina que tan capaz es éste para absorber desviaciones o perturbaciones.

El índice de capacidad de proceso es:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

Donde:

- LSE es el límite superior de las especificaciones
- LIE es el límite inferior de las especificaciones
- σ es la desviación estándar (se obtiene del diagrama de control)

Sustituyendo valores en la fórmula anterior, se tiene para el proceso de llenado de las muestras:

$$C_p = \frac{17.55(0.090)}{6(0.2416)} = 1.089$$

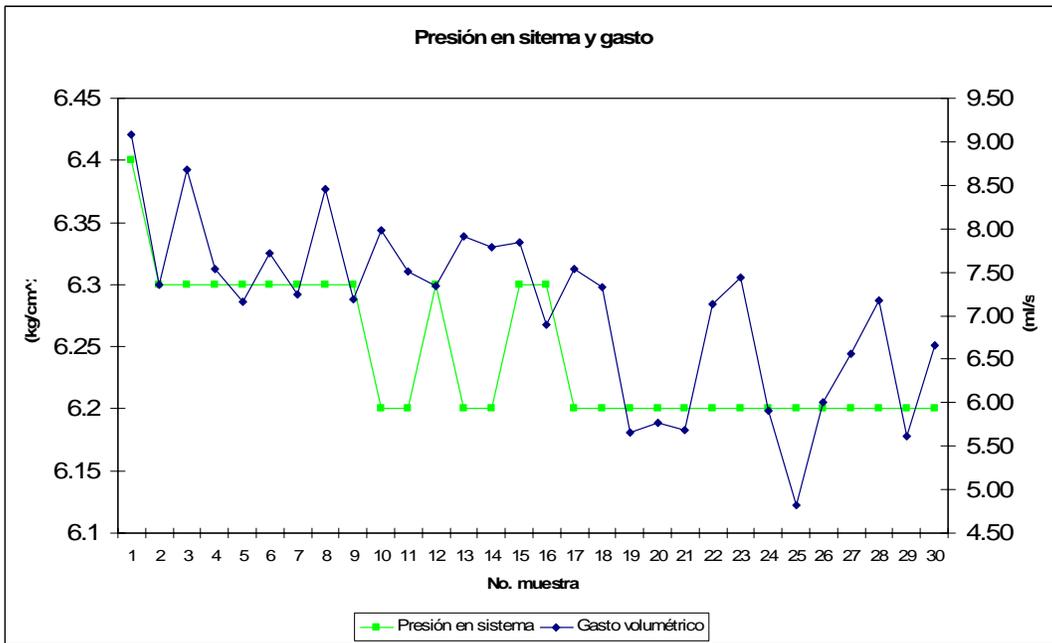
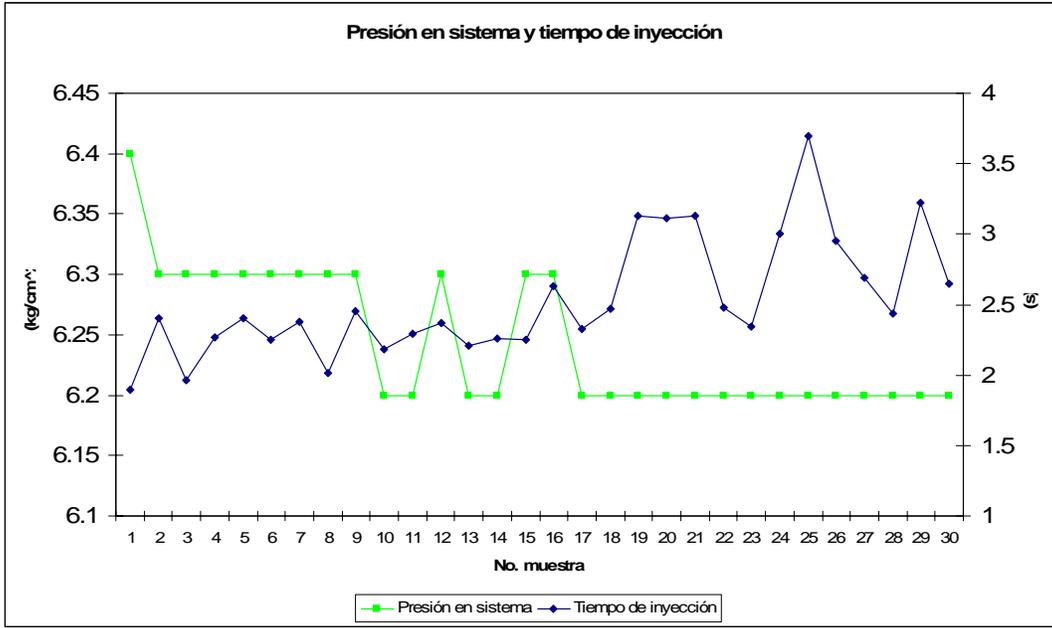


Figura 17.6. Gráfica conjunta de presión, tiempo y gasto

Este valor indica que el proceso tiene un margen ligeramente mayor a 6σ (3σ a cada lado de la media) lo que le da capacidad soportar algunas variaciones. Un $C_p = 1$ es equivalente a tener 2700 partes defectuosas por millón. Un C_p de 1.08 disminuye la tasa a 1160 partes defectuosas por millón.

CONCLUSIONES PARA EXPERIMENTO 1

- El banco de pruebas 2 (alternativa de solución 6) cumple la norma para llenado debido a que no sobrepasa la tolerancia especificada de 9.0% con el líquido 619.
- El sistema está bajo control para el volumen vertido. Tiene un C_p de 1.08 lo cual le da una capacidad de 1160 partes defectuosas por millón de operaciones.
- El sistema no se encuentra en control para el gasto y el tiempo de inyección. Analizando los resultados, parece ser que el cambio ocurrido en la presión del sistema coincide con el cambio en el tiempo de inyección y el gasto.
- Es posible que el cambio en la presión del sistema se deba a que haya habido un cambio en la presión neumática en el inyector. Una ligera variación en la presión de éste pudo haber alterado el sistema. Aún cuando la variación no afectó significativamente el volumen vertido (aún cuando se puede ver un cambio a partir de la mitad de la prueba) el cambio sí afectó el tiempo de inyección y el gasto. Así, el sistema sería sensible a ligeros cambios de presión en el sistema neumático. Sería necesario tener unidades FRL con mayor graduación para poder detectar estos cambios y corregirlos.
- Si se logra identificar plenamente la fuente de variación en el proceso, sería posible llevar todos los parámetros a control y aumentar el C_p para disminuir la tasa de defectos por millón.
- Los valores de la tabla resumida de experimentos sirven para predecir los residuos en las puntas adecuadamente. Sin embargo, para tiempo de inyección y gasto los valores presentaron falla, debido a que hubo valores que salieron del rango de tolerancia del proceso. Aún cuando los valores parecen adecuados al principio de la prueba, al presentarse la variación en presión éstos ya no predicen satisfactoriamente el comportamiento del sistema.

Experimento de comprobación No. 2

Ficha del experimento

<p>Corrida de llenado bajo condiciones predeterminadas. <i>Factor 1:</i> presión a 4 bar <i>Factor 2:</i> vacío a 4 bar <i>No. de muestras:</i> 30</p>	<p><i>Ampollita:</i> tipo 3 transparente <i>Líquido:</i> loción porosity</p>
---	---

Los resultados de la corrida experimental se muestran en la tabla 17.4.

Las ampollitas bajo estudio son del tipo 3 transparente. Su especificación indica que deben de ser llenadas con 20 ml. Sin embargo, el banco de pruebas tiene limitada su capacidad de inyección y no es posible llegar a dicho valor. La capacidad máxima se ubica en los 17.5 – 18 ml, que fue lo que se determinó inyectar.

La figura 17.7 muestra el diagrama de control de media y rangos movibles para el volumen vertido. La media del volumen se ubica en los 18.67 ml, lo cual concuerda con el volumen máximo a inyectar que se ha observado.

Para volumen vertido se puede observar que el sistema se encuentra bajo control. No existen algunas observaciones inusuales y todas cumplen con las reglas *Western electric*.

En la figura 17.8 se muestra el valor de la presión de inyección a lo largo del tiempo. De la corrida anterior se creía que había oscilaciones o cambios en el sistema neumático, los cuales repercutían en la presión del sistema, así como en el gasto y tiempo de inyección. Se controló el valor de la presión que reportaba la unidad filtro reguladora. Al parecer, dicho control tuvo un efecto favorable, al mantenerse la presión en un valor fijo.

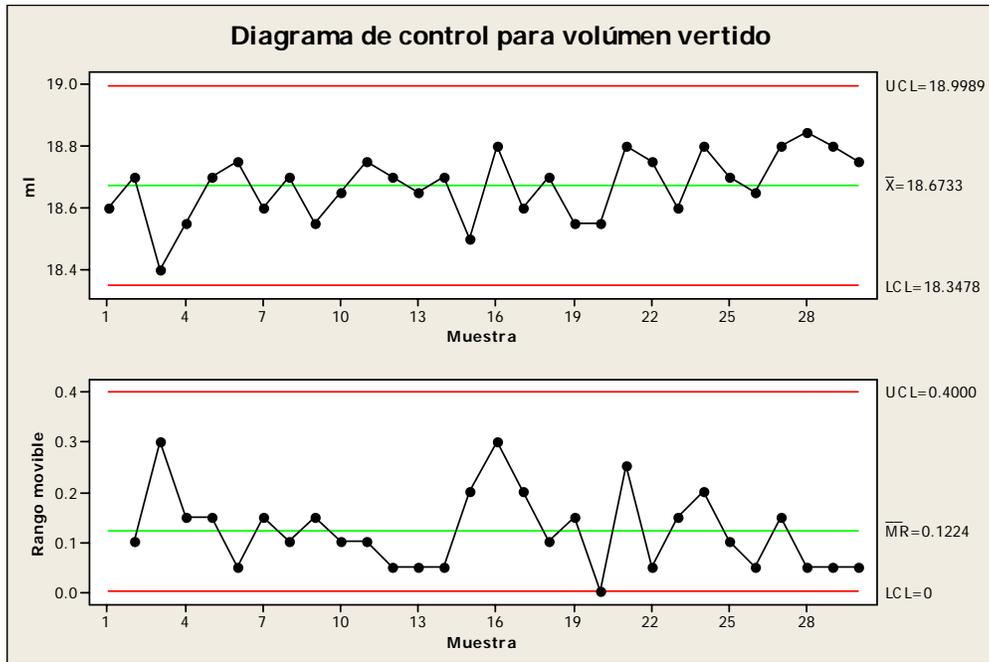


Figura 17.7. Gráfica de control para volumen vertido

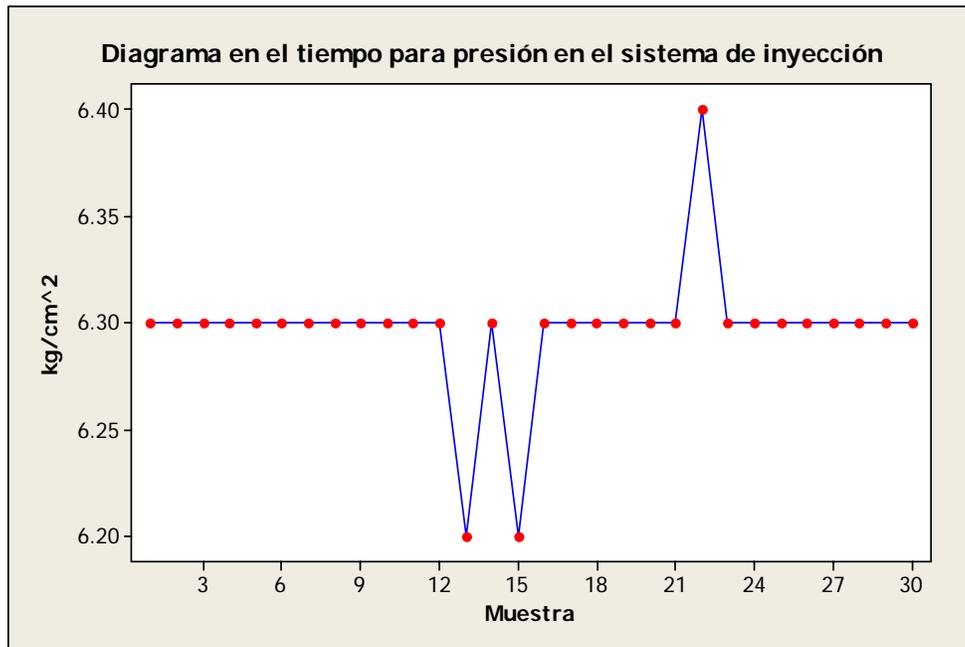


Figura 17.8. Magnitud de presión en sistema a lo largo de la prueba

Tabla 17.4 Corrida de comprobación 2

No.	Tipo de ampollita	presión inyector (bar)	vacío (bar)	Presión inyección (kg/cm ²)	Residuo en punta	Residuo dentro de punta	PLC			Convertidos			Tiempo restante (s)	volumen vertido (ml)	masa total (g)	Masa ampollita (g)	Gasto (ml/s)
							tiempo inyección (ms)	tiempo ciclo (ms)	tiempo ciclo inyección (ms)	tiempo inyección (s)	tiempo ciclo (s)	tiempo ciclo inyección (s)					
1	Tipo 3 trans	4	4	6.3	0	0	9704	8994	2.96	10.06	18.6	23.2	4.6	6.28			
2	Tipo 3 trans	4	4	6.3	0	0	9682	8972	3.18	10.28	18.7	23.3	4.6	5.88			
3	Tipo 3 trans	4	4	6.3	0	0	9659	8949	3.41	10.51	18.4	23	4.6	5.40			
4	Tipo 3 trans	4	4	6.3	0	0	9685	8975	3.15	10.25	18.55	23.15	4.6	5.89			
5	Tipo 3 trans	4	4	6.3	0	0	9659	8949	3.41	10.51	18.7	23.3	4.6	5.48			
6	Tipo 3 trans	4	4	6.3	0	0	9643	8934	3.57	10.66	18.75	23.35	4.6	5.25			
7	Tipo 3 trans	4	4	6.3	0	0	9683	8973	3.17	10.27	18.6	23.2	4.6	5.87			
8	Tipo 3 trans	4	4	6.3	0	0	9678	8968	3.22	10.32	18.7	23.3	4.6	5.81			
9	Tipo 3 trans	4	4	6.3	0	0	9685	8975	3.15	10.25	18.55	23.15	4.6	5.89			
10	Tipo 3 trans	4	4	6.3	0	0	9613	8903	3.87	10.97	18.65	23.25	4.6	4.82			
11	Tipo 3 trans	4	4	6.3	0	0	9671	8961	3.29	10.39	18.75	23.35	4.6	5.70			
12	Tipo 3 trans	4	4	6.3	0	0	9622	8912	3.78	10.88	18.7	23.3	4.6	4.95			
13	Tipo 3 trans	4	4	6.2	0	0	9679	8969	3.21	10.31	18.65	23.25	4.6	5.81			
14	Tipo 3 trans	4	4	6.3	0	0	9668	8958	3.32	10.42	18.7	23.3	4.6	5.63			
15	Tipo 3 trans	4	4	6.2	0	0	9665	8956	3.35	10.44	18.5	23.1	4.6	5.52			
16	Tipo 3 trans	4	4	6.3	0	0	9650	8940	3.5	10.6	18.8	23.4	4.6	5.37			
17	Tipo 3 trans	4	4	6.3	0	0	9657	8947	3.43	10.53	18.6	23.2	4.6	5.42			
18	Tipo 3 trans	4	4	6.3	0	0	9624	8914	3.76	10.86	18.7	23.3	4.6	4.97			
19	Tipo 3 trans	4	4	6.3	0	0	9665	8956	3.35	10.44	18.55	23.15	4.6	5.54			
20	Tipo 3 trans	4	4	6.3	0	0	9665	8956	3.35	10.44	18.55	23.15	4.6	5.54			
21	Tipo 3 trans	4	4	6.3	0	0	9643	8934	3.57	10.66	18.8	23.4	4.6	5.27			
22	Tipo 3 trans	4	4	6.4	0	0	9633	8923	3.67	10.77	18.75	23.35	4.6	5.11			
23	Tipo 3 trans	4	4	6.3	0	0	9674	8964	3.26	10.36	18.6	23.2	4.6	5.71			
24	Tipo 3 trans	4	4	6.3	0	0	9645	8935	3.55	10.65	18.8	23.4	4.6	5.30			
25	Tipo 3 trans	4	4	6.3	0	0	9638	8928	3.62	10.72	18.7	23.3	4.6	5.17			
26	Tipo 3 trans	4	4	6.3	0	0	9627	8917	3.73	10.83	18.65	23.25	4.6	5.00			
27	Tipo 3 trans	4	4	6.3	0	0	9641	8931	3.59	10.69	18.8	23.4	4.6	5.24			
28	Tipo 3 trans	4	4	6.3	0	0	9670	8960	3.3	10.4	18.85	23.45	4.6	5.71			
29	Tipo 3 trans	4	4	6.3	0	0	9670	8960	3.3	10.4	18.8	23.4	4.6	5.70			
30	Tipo 3 trans	4	4	6.3	0	0	9642	8932	3.58	10.68	18.75	23.35	4.6	5.24			

Se emplearon los valores de la tabla condensada de experimentos para predecir los valores de tiempo de inyección y gasto para un valor de 18.67 ml vertidos. Las tablas 17.5 y 17.6 muestran los valores que se estimaron para el experimento de acuerdo a los resultados anteriores.

Los valores de media para gasto y tiempo de inyección se emplearon como referencia para ubicar la línea central en los diagramas de control. Los diagramas para las variables antes mencionadas se presentan en las figuras 17.9 y 17.10.

Es posible observar que para gasto y tiempo de inyección el sistema se encuentra fuera de control. Existen valores que salen de los límites de 3S y existen observaciones inusuales que no cumplen con las reglas Western Electric.

En general, para el tiempo de inyección y el gasto, las medias de la tabla de predicción no sirven como predictores de los valores de la corrida de comprobación. Esto se puede observar en que todos los datos tienen una fluctuación aleatoria y pequeña pero no alrededor del valor predicho en la tabla. Esto sucede también para la presión dentro del sistema, donde se está prediciendo una presión de 6.1 kg/cm² y la reportada en la corrida es de 6.3 kg/cm².

Los valores de las tablas de predicción surgen de los experimentos factoriales realizados anteriormente. Los valores surgen de mediciones repetidas donde se cambiaron continuamente los valores de presión y vacío. En la realización de los experimentos no se sabía que el sistema es altamente sensible a la presión de inyección y en las puestas a punto no se vigilaban el valor de presión con demasiada exactitud. Así, la discrepancia entre valores de predicción y obtenidos puede surgir de variaciones en la presión neumática del sistema.

Sin embargo, las tablas resultan útiles para la predicción de residuos, ya que ninguna de las ampollas presentó residuo dentro o fuera de la punta.

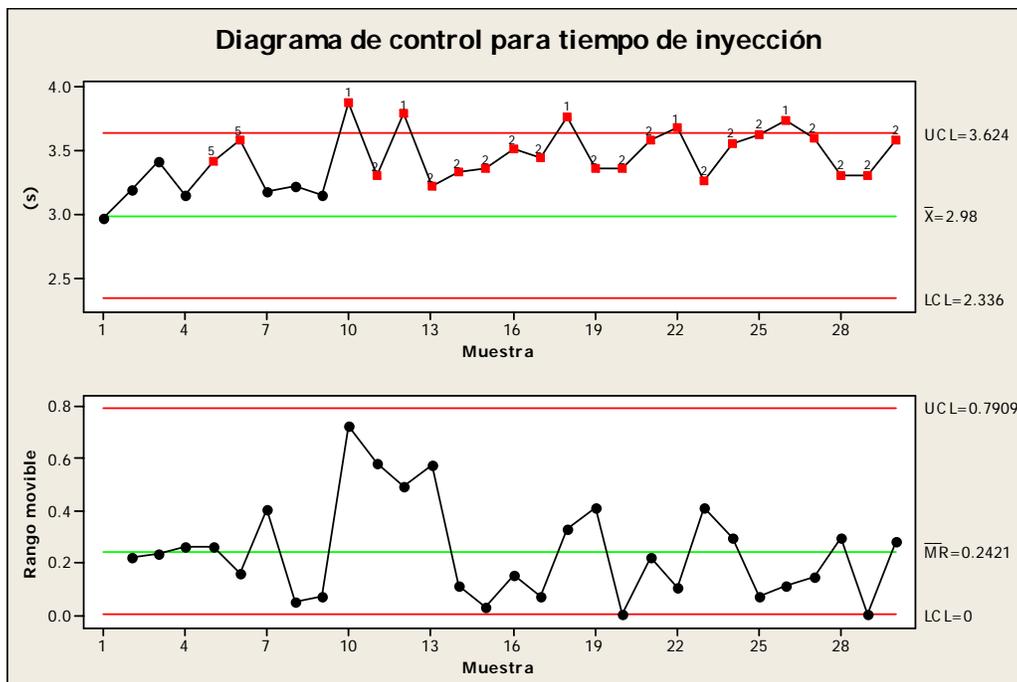


Figura 17.9. Gráfica de control para tiempo de inyección (media de tabla como referencia)

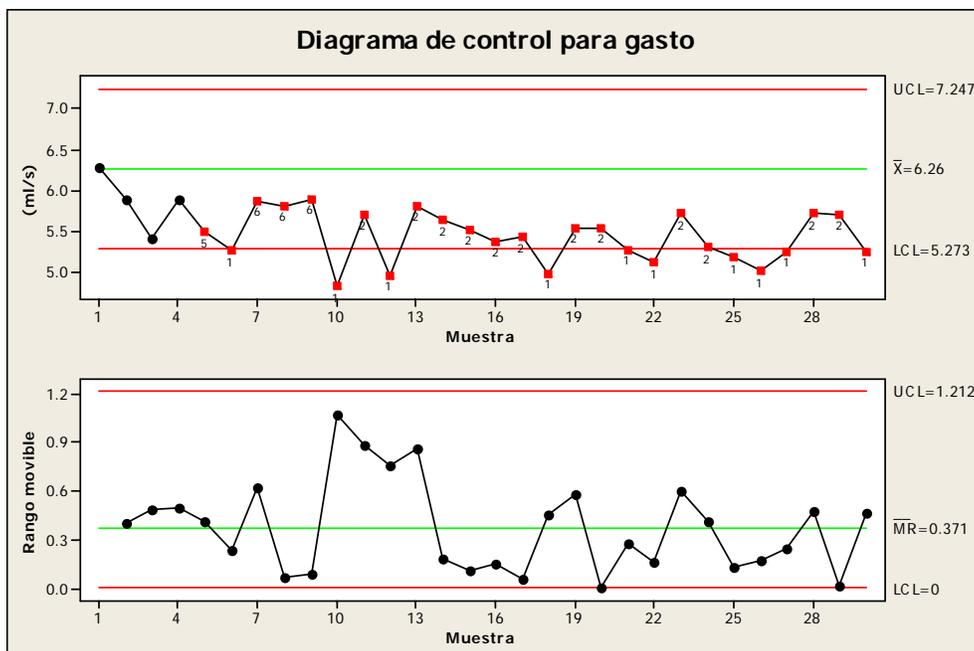


Figura 17.10. Gráfica de control para gasto volumétrico (media de tabla como referencia)

Tabla 17.5. Valores de predicción para experimento de comprobación 2 (1)

Presion inyector (bar)	Presion vacio (bar)	Presion sistema (media, kg/cm ²)	Gasto (media, ml/s)	Varianza gasto	Residuo fuera (% de presencia de residuo)	Residuo dentro (% de presencia de residuo)
2.5	0	3.73	1.92	0.1180	0.0	1.0
2.5	4	3.60	4.05	0.0462	0.0	0.0
2.5	6	3.70	4.54	0.0188	0.0	28.5
4	0	6.19	5.21	0.0054	0.0	85.7
4	4	6.11	6.26	0.0074	0.0	0.0
4	6	6.20	6.56	0.0025	0.0	28.5
6	0	9.37	7.62	0.0326	0.0	71.4
6	4	9.31	8.47	0.0209	0.0	0.0
6	6	9.33	8.55	0.0346	0.0	0.0

Tabla 17.6. Valores de predicción para experimento de comprobación 2 (2)

Presion inyector (bar)	Predicción de volumen						Calibración que tiene 6 S y no presenta residuos
	Especificación (ml)	Tiempo de inyección estimado	Varianza estimada	Desviación estandar	Rango de variación permitido	No de desv est en rango	
2.5	18.67	9.70	11.1116	3.3334	1.68	0	
2.5	18.67	4.61	0.9817	0.9908	1.68	1	
2.5	18.67	4.11	0.3166	0.5627	1.68	2	
4	18.67	3.59	0.0692	0.2631	1.68	6	
4	18.67	2.98	0.0661	0.2571	1.68	6	viable
4	18.67	2.85	0.0200	0.1416	1.68	11	
6	18.67	2.45	0.1958	0.4425	1.68	3	
6	18.67	2.21	0.1018	0.3191	1.68	5	
6	18.67	2.18	0.1647	0.4059	1.68	4	

Dado que ahora se controló la presión neumática, también hubo control en la presión del sistema. No existe patrón o asociación entre la presión y el gasto o el tiempo. Simplemente el valor de la tabla difiere con el obtenido. Esto se muestra en la figura 17.11 y 17.12.

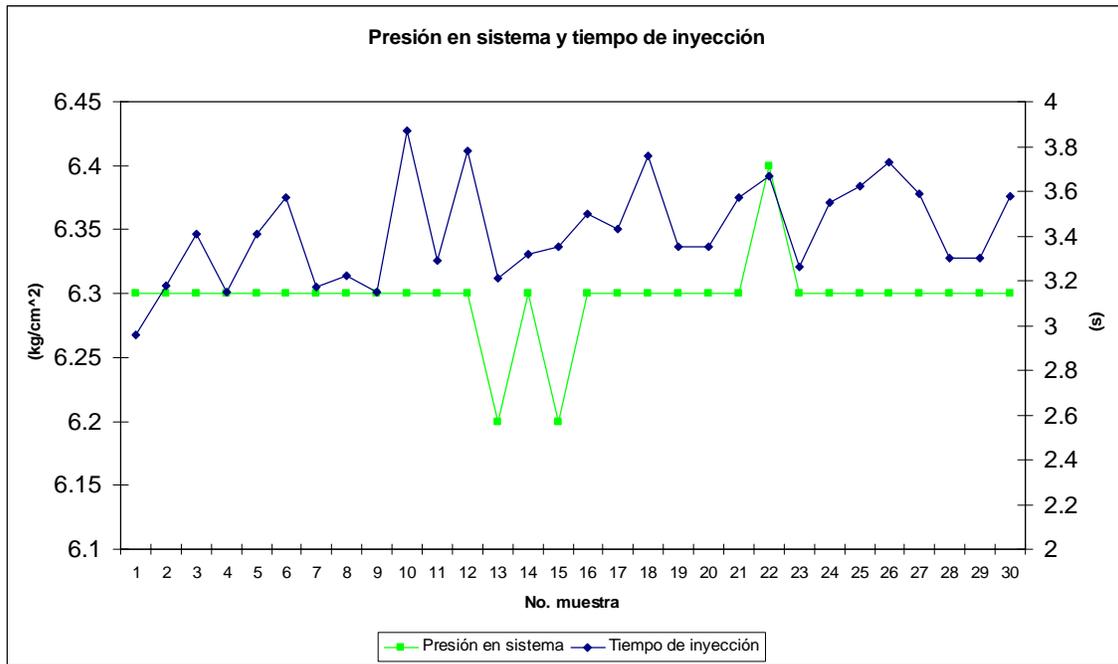


Figura 17.11. Gráfica conjunta de presión y tiempo.

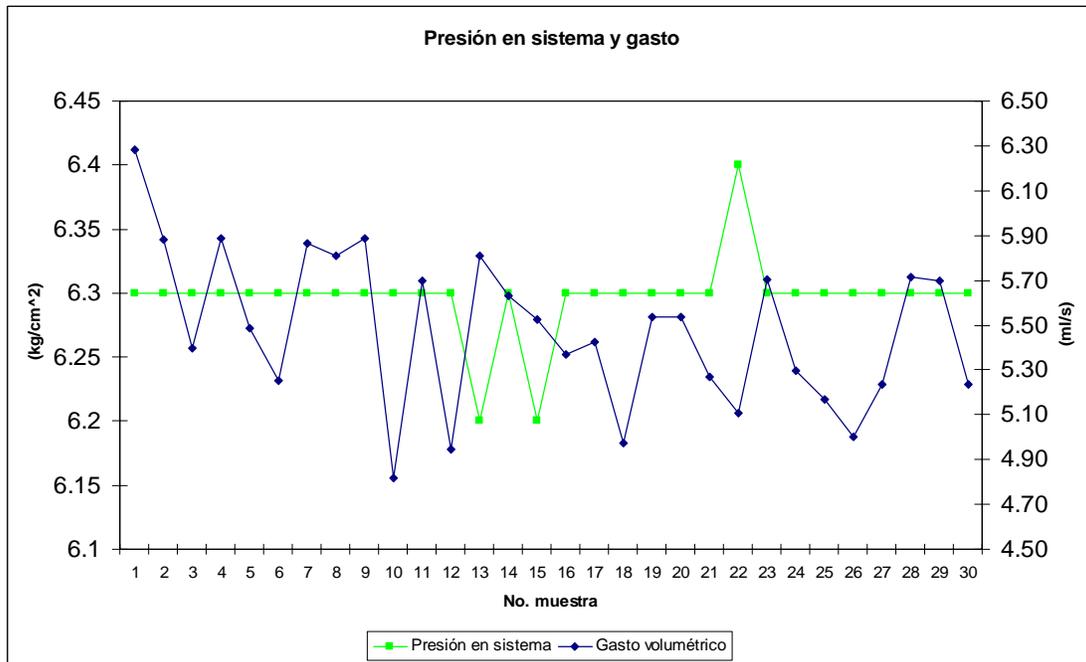


Figura 17.12. Gráfica conjunta de presión y gasto.

La desviación estándar para el volumen vertido es de 0.1085 ml. La tolerancia que indica la norma es de 9%. Llevando este valor a volumen se tiene que la tolerancia es de: 1.6805 ml.

El índice de capacidad de proceso es:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

Donde:

LSE es el límite superior de las especificaciones

LIE es el límite inferior de las especificaciones

σ Es la desviación estándar (se obtiene del diagrama de control)

Sustituyendo valores en la fórmula anterior, se tiene para el proceso de llenado de las muestras:

$$C_p = \frac{18.67(0.090)}{6(0.1085)} = 2.58$$

Este valor indica que el proceso tiene un margen mucho mayor a 6σ (3σ a cada lado de la media) lo que le da capacidad soportar grandes variaciones y ser ajustado fácilmente respecto a norma. Un $C_p = 1$ es equivalente a tener 2700 partes defectuosas por millón. Un C_p de 2 es equivalente a 12σ (6σ a cada lado) y es un estándar empleado algunas industrias. Equivale a 3.4 defectos por millón de operaciones. Un C_p de 2.58 esta por debajo de este número de defectos por millón de operaciones.

CONCLUSIONES PARA EXPERIMENTO 2

- El banco de pruebas 2 (alternativa de solución 6) cumple la norma para llenado con loción porosity debido a que no sobrepasa la tolerancia especificada de 9.0%.
- El sistema está bajo control para el volumen vertido. Tiene un C_p de 2.58 lo cual le da una capacidad de producir menos de 3.4 defectos por millón de operaciones.
- El sistema no se encuentra en control para el gasto y el tiempo de inyección. Analizando los resultados, los valores de la tabla de predicción y la media en los experimentos no coinciden. La variación es pequeña para la corrida de comprobación, pero el valor de la tabla no es adecuado. Esto puede deberse a que en los experimentos factoriales que dieron origen a la tabla de predicción no se sabía de la sensibilidad a la presión neumática ni de las oscilaciones del sistema a lo largo de una prueba larga. Así, la presión en la tabla de referencia solo provee de un valor de referencia aproximado.
- Fue posible identificar plenamente la fuente de variación en el proceso. Controlando la presión neumática del sistema cuidadosamente, el proceso se vuelve muy preciso y no tiene variaciones considerables.
- Contrastando los valores de ambas corridas de comprobación, es posible observar una diferencia entre ambas cantidades de líquido introducido para el mismo tipo de ampollita y capacidad de inyección puesta en el sistema (fue la misma puesta a punto). El líquido en la corrida No. 1 fue espumoso y tuvo valores de líquido menores (17.5 ml). Lo contrario sucedió en la corrida No. 2 con el líquido no espumoso (18.6 ml).
- El sistema extrae espuma en el caso del líquido susceptible a este fenómeno. Si la diferencia de niveles de líquido se debe a la extracción de la espuma, es importante la consideración de la incorporación funcional del tanque de recuperación en el sistema para evitar la pérdida de líquido, la cual puede resultar considerable (1 ml aproximadamente por operación de inyección)

Conclusiones

Respecto al diseño desarrollado se concluye:

- Se ha desarrollado un diseño conceptual para un sistema de llenado de ampollitas plásticas, el cual cumple con los requerimientos y especificaciones planteados. Este sistema se basa en la aplicación de vacío para evacuar el aire contenido en la ampollita para después introducir el líquido por medio de una inyección controlada volumétricamente. Un ciclo de vacío posterior permite eliminar residuos y entregar ampollitas limpias para las etapas posteriores del proceso de envasado.
- El sistema desarrollado fue analizado experimentalmente y con ello fue posible obtener información respecto a su desempeño y cumplimiento de los requerimientos planteados. Los experimentos realizados permitieron encontrar relaciones entre las variables de entrada (presión en el actuador de inyección y vacío) con diferentes salidas medidas (volumen introducido, tiempo de inyección, presión en el sistema, así como residuos en la punta).
- Gracias a los experimentos realizados con el banco de pruebas desarrollado para la alternativa de solución seleccionada, se determinó que es posible llenar ampollitas plásticas sin aplicar vacío para evacuar el aire contenido inicialmente. Al principio del proceso de diseño no se pensó que pudiera ser posible comprimir el aire en la ampollita al llenarla. Esto se puede apreciar en las alternativas de solución planteadas a lo largo de este documento. Sin embargo, gracias a la construcción del banco de pruebas y a sus características (como la fuerza de cierre que ejercía entre la ampollita y la válvula de llenado) fue posible conocer y estudiar esta forma de llenado.
- En este sistema de llenado la generación de vacío no ha sido suprimida. Aún cuando no es el principio de solución fundamental, su intervención en el sistema permite disminuir el tiempo de inyección y permite la remoción de residuos en la punta de las ampollitas. Sin éste, no es posible cumplir con los requerimientos de limpieza en la punta de las ampollitas estudiadas.
- En el mercado actual existen soluciones comerciales para el llenado de envases con principios de solución muy diversos. Sin embargo, debido a la geometría particular de los envases en estudio, no se encontró una solución comercial o propiedad intelectual aplicable para el envase en cuestión. Debido a esto, partes de la solución desarrollada como la válvula de llenado de tres vías y dos posiciones que integra la interfaz para el sellado de la ampollita serían susceptibles de ser protegidas en su diseño por medio de una patente. Así mismo, podría ser susceptible de protección intelectual el ciclo de llenado, ya que es una solución diseñada específicamente para la geometría de empaque en estudio.
- El diseño del sistema de llenado que se ha propuesto es preliminar. Sus componentes principales se ilustran en las figuras 11.2, 11.3 y 11.4. Es necesario llevar a cabo más estudios sobre los componentes y el proceso de llenado planteado. Entre el trabajo que es necesario desarrollar en etapas posteriores se encuentra:
 - a) Modificar el diseño de la válvula de llenado para simplificar su diseño y componentes. Se ha encontrado que su ensamble y desensamble son complicados y requieren de mucho tiempo, complicando el mantenimiento de este elemento en el sistema. Así mismo, se tienen que eliminar partes redundantes y no operantes en ésta.
 - b) Realizar una selección de materiales óptima para los diversos elementos que constituyen al sistema. La normatividad aplicable en el ramo de la industria cosmética no es muy estricta en ese sentido, ya que indica que solo es necesario tener materiales que no sean reactivos a los productos que se están envasando.

- c) Revisar los requerimientos y especificaciones del proyecto respecto a dimensiones y configuración. El diseño conceptual propuesto de este sistema de llenado es susceptible de montarse en una máquina que transporte las ampollas en lote o individualmente, en forma continua o indexada. Estos requerimientos obligaron a que se tuviera que diseñar la interfaz y válvula de llenado con un cuerpo esbelto y al no poderse integrar los demás componentes, desplazarlos para integrarlos externamente. Si la configuración de transporte queda establecida, sería posible rediseñar los componentes y simplificar el sistema de llenado.
- d) Llevar a cabo pruebas para determinar la vida operativa de los componentes del sistema. En algunos casos no fue posible encontrar información de diseño aplicable para algunos componentes como los empaques usados en la válvula de llenado. En manuales de diseño de empaques [3] se indican dimensiones para el ajuste de los o-rings que permiten retener líquidos con presiones de hasta 1500 psi que generan un ajuste muy forzado. Existen ajustes para menor presión (200 psi) pero que son óptimos para aplicaciones neumáticas y no recomendados para líquidos. Así el ajuste de empaques es único. Se desconoce cuantos ciclos de llenado transcurrirán para que se presente una falla en estos elementos.
- e) Las tablas A1 y A2 del anexo 1 muestran las especificaciones del sistema para llenado de ampollas plásticas planteado. Parte de sus métricas ya han sido completadas gracias a la información recopilada. Falta completar dichas tablas y modificar las especificaciones en caso necesario conforme progrese el diseño.

Respecto al método de diseño seguido se concluye:

- La metodología de diseño planteada por Ulrich y Eppinger [1] para el desarrollo del concepto del sistema planteado, se ilustra en la figura 18.1. Debido a que el proceso de diseño del sistema se restringió a la etapa conceptual, se siguió la misma línea de etapas, pero con una integración mayor de la etapa experimental. El proceso seguido se ilustra en la figura 18.2.
- Ulrich y Eppinger [1] comentan sobre la importancia de generar prototipos a lo largo del diseño conceptual con el objeto de evaluar el producto a desarrollar frente a los requerimientos planteados, el equipo de trabajo y el cliente. Principalmente, se aborda la generación de pruebas para determinar la aceptación del cliente y poder seleccionar y refinar conceptos de solución. Así mismo, abordan el diseño experimental para la generación de pruebas por medio del diseño robusto de Taguchi. Sería necesario comentar con mayor profundidad otro tipo de técnicas estadísticas (método experimental clásico, con herramientas estadísticas convencionales) que son susceptibles de emplearse.
- El método de diseño de experimentos seguido en la evaluación del banco de pruebas fue el clásico, analizando los resultados gráficamente y con el análisis de varianza (ANOVA). Con base en la información obtenida con los experimentos realizados en el banco de pruebas se puede concluir que:
 - a) Cuando un sistema en estudio tiene una gran cantidad de factores de entrada, es posible emplear diseños factoriales fraccionarios o completos con 1 o 2 repeticiones para poder determinar rápidamente cuales son los factores principales que afectan una salida. Así mismo, es posible emplear la metodología de Taguchi para este caso.

- b) Cuando el número de entradas es bajo (menor a 6) es posible emplear el método de diseño robusto o el método clásico dependiendo si se quieren analizar efectos principales y/o interacciones entre éstos. Con el método clásico es posible analizar interacciones y efectos principales, pero con el diseño robusto solo se analizan los efectos de las entradas sin interacción. El análisis gráfico en ambos métodos es útil para detectar la influencia de los factores rápidamente.
 - c) Si se quiere proseguir con un análisis más detallado y analítico, en el caso de los métodos clásicos es posible emplear herramientas de análisis como el ANOVA y los modelos lineales. Sin embargo, estos modelos requieren de aumentar el número de repeticiones para generar la varianza con un nivel adecuado de certidumbre, aumentando el tiempo y complejidad del experimento.
 - d) La información que se obtenga de los experimentos realizados debe de poder completar de alguna forma las especificaciones y requerimientos del diseño planteado o establecer criterios para la selección de alternativas. Las tablas A1 y A2 muestran las especificaciones del sistema completadas hasta el momento de redacción de este documento.
- Los prototipos experimentales pueden ser conceptuales, físicos, matemáticos o virtuales, dependiendo del tipo y etapa de diseño. En este proyecto se emplearon modelos CAD en algunas etapas del desarrollo del sistema que permitieron resolver componentes satisfactoriamente para después llevarlos a la manufactura. Un ejemplo de esto fue la válvula de llenado. El empleo de un modelador de sólidos permitió dimensionar los componentes adecuadamente y ubicarlos espacialmente, así como determinar si era viable su producción por medio del método de manufactura seleccionado.
 - Los requerimientos y especificaciones en un diseño son los documentos básicos que permiten dirigir un proceso de diseño. Estos se basan en las necesidades de los “clientes” para el producto o proceso a diseñar. Dentro de éstas, se encuentran las necesidades y requerimientos propios del equipo de diseño, como el tiempo para el desarrollo, costos, capacidades de manufactura y conocimiento previo relacionado entre otros.
 - Conforme un producto o proceso va completándose a lo largo del proceso de diseño, las especificaciones deben de ir cambiando para medir y caracterizar completamente el sistema en estudio. Así, las especificaciones iniciales que se ajustan a varios conceptos de solución generales deben de cambiar hasta especificaciones concretas para el diseño ya seleccionado. No deben de ser excluyentes ambas listas, sino la última ser una adaptación de la primera que la contenga y extienda para caracterizar adecuadamente el diseño elegido.
 - El uso de la clasificación propuesta por Pahl y Beitz [2] para requerimientos y especificaciones permite determinar rápidamente que tipo de información falta por recopilar. Debido a que estas categorías básicas (17 en total) engloban casi todas las áreas en el diseño de un producto, la falta de algunas de éstas establece rápidamente el tipo de información que se carece.
 - En la etapa de diseño conceptual es necesario definir, probar y seleccionar los principios básicos de funcionamiento que definirán a los sistemas constituyentes del diseño final. En tanto los principios operacionales básicos no se encuentren definidos y seleccionados, refinamiento y detallado de elementos auxiliares ocasionarán pérdida de tiempo y recursos valiosos en esta etapa de diseño y posteriores.

Respecto a la documentación del proyecto se concluye:

- El proceso de diseño para el sistema estudiado fue documentado por medio de reportes. Resúmenes de éstos integran el cuerpo del presente documento. El desarrollo de los reportes a lo largo del proceso de diseño permitió resumir y condensar la información e investigación adquirida a lo largo del tiempo y generar un archivo de ésta para su uso inmediato o posterior.
- Los reportes generados tuvieron la siguiente estructura básica: *objetivos, introducción, desarrollo y conclusiones*. Esta estructura permitió determinar claramente el propósito del reporte (objetivo), ligarlo al problema a resolver, así como su ubicación en el proceso de diseño (introducción) para posteriormente desarrollar y concluir sobre el contenido del mismo. Esta estructura básica permite tener flexibilidad en cuanto al contenido del reporte, pero permite ubicarlo en el proceso de diseño.
- La estructura de reportes empleada en este proceso de diseño conceptual permitió recuperar rápidamente la información generada en momentos anteriores. Así mismo, permitió tener un registro del proceso de diseño a lo largo del tiempo. Si no se hubiera documentado el proceso, algunos elementos (como alternativas de solución y selección de éstas) podrían haberse omitido, perdiendo información sobre el estado de avance del proyecto en un momento determinado, la cantidad de información disponible y las decisiones tomadas en el momento.
- La elaboración de los reportes tiene como consecuencia negativa el uso de tiempo y recursos. Con base en las experiencias tomadas del proyecto que se documenta, se recomendaría que los reportes se elaboraran cada vez que se completa una actividad (basándose en actividades) o bien, cada 2 o 3 semanas (basándose en una escala de tiempo).
- La longitud del reporte depende de las actividades realizadas, pero una longitud de 10 páginas en promedio es recomendable. La presentación de éstos no es importante. La edición de un reporte formal o la conservación y organización adecuada de la información por medio de notas, dibujos y redacciones personales por medio del formato antes descrito es adecuada. La presentación de la información dependerá del flujo de ésta en los diferentes niveles del equipo de diseño y cliente.

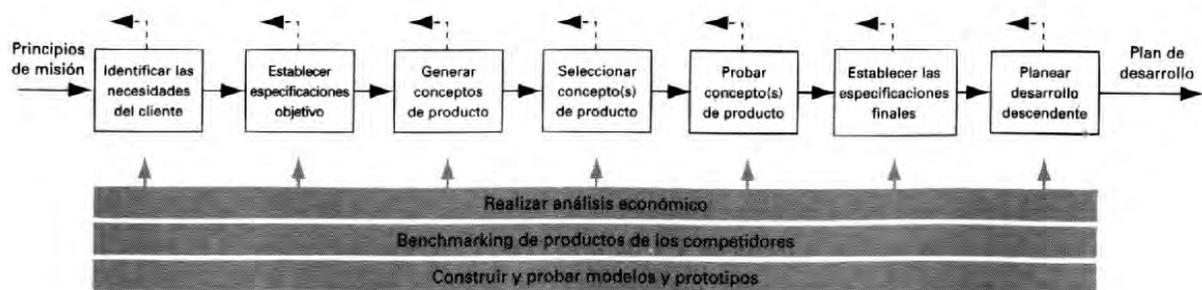


Figura 18.1 Proceso de diseño establecido por Ulrich y Eppinger [1]



Figura 18.2 Variación de proceso de diseño empleada para diseño conceptual

Anexo 1. Especificaciones finales

Tabla A1. Lista de especificaciones 1

	Especificación	Valor nom.	Tol.	Unidades	Tipo	Descripción	Observaciones	Fuente
A	Producción por minuto	250	±20%	ampollitas por minuto	Cinemática	Capacidad de producción del sistema a diseñar	Obtenida	Compañía productora de cosméticos
B	Líquidos admisibles	12	-	líquido	Material	Lista de líquidos admitidos	Ver tabla de referencia	Compañía productora de cosméticos
C	Viscosidad de líquidos admisibles	1 - 1700	-	centipoises	Material	Viscosidad admitida en líquidos	Obtenida	Compañía productora de cosméticos
D	Densidad de líquidos admisibles	1000	Por definir	kg/m ³	Material	Densidad admitida en líquidos	Parcialmente obtenida	Compañía productora de cosméticos
E	Sustancia base de líquidos admisibles	Agua	-	nombre	Material	Sustancia base de líquidos admitidos	Obtenida	Compañía productora de cosméticos
F	Ampollitas admisibles	Tipo 1,2,3 y 4	-	tipo de ampollita	Material	Ampollitas que pueden ser llenadas en el módulo de llenado	Ver tabla de referencia	Compañía productora de cosméticos
G	Material de ampollitas admisibles	Cristal, Café, Blanco.	-	PVC	Material	Material constituyente de las ampollitas	Obtenida	Compañía productora de cosméticos
H	Nivel de ruido	Por definir	> 90	dB	Seguridad	90 dB por 8 hrs, 93 dB por 4 hrs, 96 dB por 2 hrs, 99 dB por 1 hr, 102 dB por 30 min, 105 dB por 15 min	Obtenida	NOM-011-STPS-2001
I	Costo del módulo	Por definir	Por definir	pesos	Costos	Costo total del diseño y construcción del módulo	Por obtener	CDM
J	Tipo de operación	automático	-	operación	Ergonomía	El módulo de llenado no debe requerir la asistencia de personal en su ciclo de trabajo.	Por obtener	CDM y compañía productora de cosméticos
K	Volumen de líquido a verter	0- 20	9%	mililitros	Material	Cantidad de líquido y tolerancia a verter por tipo de ampollita	Ver tabla de referencia	Compañía productora de cosméticos y NOM-002-SCFI-1993
L	Tiempo de cambio entre líquidos	Por definir	-	min	Mantenimiento	Tiempo que se transcurre entre cambio de un líquido a otro	Por obtener	CDM
M	Tiempo de cambio entre ampollitas	5	-	min	Mantenimiento	No depende del sistema de llenado. Solamente. Depende de los cambios que se tengan que hacer sistema de transportación y altura del sistema.	Obtenida	CDM
N	Ancho máximo en componentes	Por definir	-	mm	Geometría	Ancho máximo encontrado en los componentes del sistema	Por obtener	CDM y compañía productora de cosméticos
O	Largo máximo en componentes	Por definir	-	mm	Geometría	Largo total esperado del sistema de llenado (por dispositivo)	Por obtener	CDM y compañía productora de cosméticos
P	Altura máxima en componentes	Por definir	-	mm	Geometría	Altura máxima en componente del sistema	Por obtener	CDM y compañía productora de cosméticos
Q	Operatividad con módulos restantes	Pasa	-	operatividad	Operación	Capacidad de acoplarse con módulos restantes del sistema de envasado	Obtenida	CDM
R	Cantidad de líquido en exterior de ampollitas	Poco	poco, nada	líquido	Material	Residuos en el exterior de la ampollita	Obtenida	CDM y compañía productora de cosméticos
S	Revisión y mantenimiento de componentes	Por definir	Por definir	ciclos de llenado	Mantenimiento	mantenimiento programado para componentes del sistema a diseñar	Por obtener	CDM y compañía productora de cosméticos
T	Tipo de llenado de ampollita	Individual	-	llenado	Ensamble	forma en que el módulo llena las ampollitas	Obtenida	CDM
U	Tipo de montaje	Individual o en lote	-	montaje	Ensamble	Capacidad que tiene el dispositivo de instalarse para trabajar individualmente o en conjunto	Obtenida	CDM
V	Detección de ampollita defectuosa	Si	-	señal de detección	Señal	Una ampollita defectuosa es aquella en la que no se puede generar vacío en ella.	Parcialmente obtenida	CDM

Tabla A2. Lista de especificaciones 2

	Especificación	Valor nom.	Tol.	Unidades	Tipo	Descripción	Observaciones	Fuente
W	Características y formas susceptibles de conformarse en operaciones de taller (excepto fresa) y pailería	Si	-	conformado	Producción	El diseño de los componentes del sistema de llenado pueden fabricarse con operaciones de taller, maquinado, pailería, exceptuando fresa.	Obtenida	Diseñador
X	Material de componentes mecánicos	Por definir	Por definir	material	Control de calidad	Normatividad nacional no existe, solo relacionada la de la industria farmacéutica. En EE.UU. La FDA lo norma con tres documentos.	Al diseñarse el equipo tomar en cuenta limpieza y mantenimiento. Los materiales no debe de alterar el producto en ninguna forma (física o químicamente)	NOM-164- SSA1-1998, NOM 059-SSA1-1993, PROY-NOM-059-SSA1-2004, FD&C Act, Cosmetic Product Related Regulatory Requirements And Health Hazard Issues, Cosmetic Good Manufacturing Practice Guidelines
Y	Material de tubería de conexión	Por definir	Por definir	material	Control de calidad			
Z	Material en sellos y empaques	Por definir	Por definir	material	Control de calidad			
A1	Diámetro máximo de válvula de llenado	19.05	< 19.55	milímetros	Geometría	diámetro máximo permisible para poder instalar válvulas en configuración individual o en lote.	Obtenida	Diseñador
B1	Tiempo máximo de inyección	4	-	s	Cinemática	tiempo máximo que tarda en introducir líquido a la ampolla de mayor capacidad	Obtenida	CDM
C1	Tiempo máximo de vacío	4	-	s	Cinemática	tiempo máximo que tarda en evacuar el aire de la ampolla con mayor capacidad	Obtenida	CDM
D1	Tiempo de ciclo por válvula	14	-	s	Cinemática	Tiempo nominal entre llenado de ampollas sucesivas	Obtenida	CDM
E1	Nivel de vacío generable	0 - 90%	-	vacío	Energía	Nivel de vacío que el sistema puede generar para evacuar el aire de las ampollas.	Obtenida	CDM
F1	Capacidad de tanque de recuperación	400	Por definir	mililitros	Geometría	Capacidad que tiene el tanque para recuperar el líquido no introducido y evitar su desperdicio.	Obtenida	CDM
G1	Fuerza de cierre	295	Por definir	newtons	Fuerza	Fuerza que requiere la válvula de llenado para evitar la salida de líquido en la inyección.	Obtenida	CDM
H1	No. de dispositivos de llenado requeridos	58	±20%	dispositivos	Geometría	Número de dispositivos de llenado que se requieren para cumplir con la producción objetivo de 250 ampollas por minuto.	Obtenida	CDM
I1	Máxima presión de trabajo en vía de vacío	-0.88	-	bar	Seguridad	Máxima presión de trabajo tolerada en componentes de vía de vacío	Obtenida	CDM
J1	Máxima presión de trabajo en vía de líquido	9.02	-	bar	Seguridad	Máxima presión de trabajo tolerada en componentes de vía de líquido	Obtenida	CDM
K1	Tipo de actuación en elementos de sistema	Electro-neumática	-	actuación	Energía	Tipo de actuación disponible para el prototipo del sistema en el posgrado.	Obtenida	Diseñador
L1	Tipo de control de sistema de llenado	Electro-neumático	-	control	Señal	tipo de control disponible para los elementos que comanden el sistema prototipo.	Obtenida	Diseñador
M1	Presión de trabajo neumática requerida	0 - 6	-	bar	Energía	Presión de trabajo requerida para operación automática de componentes.	Obtenida	CDM

Anexo 2. Minutas de reuniones

MINUTA DE REUNIÓN EN CENTRO DE DISEÑO Y MANUFACTURA	
Clave:	MIN TA-140605
Fecha:	14 de Junio de 2005
Hora:	9:00 a.m. a 11:00 a.m.
Asistentes:	Dr. Alejandro Ramírez, Dr. Vicente Borja, Dr. Marcelo López Parra, Ricardo Lozada.

Puntos tratados	Acuerdos
<p>1. Se presentó el diseño conceptual de la alternativa de solución 2 y 3 para el llenado de las ampollitas.</p>	<p>Se acordó que el tema de investigación solo será el principio de llenado. Se eliminará de investigar el sistema transporte de ampollitas.</p> <p>Por el momento, no se tiene clara la configuración de la máquina, ya sea llenado individual o por lotes. Dado esto, el nuevo principio de llenado y diseño tendrá que ser independiente de la configuración.</p> <p>La restricción en las ampollitas será que las puntas no se modificarán.</p> <p>Se considerará que la ampollita estará fija en su extremo inferior. Así se tendría que llenar las ampollitas por arriba de la boquilla.</p>
<p>2. Se analizaron los diseños propuestos, analizando sus ventajas y desventajas.</p>	<p>Se consideró que la solución 2 y 3 propuestas tienen una posibilidad de falla mayor a la del sistema empleado en la actualidad en la planta de productora de cosméticos.</p>
<p>3. Se han añadido dos modos de falla en el sistema de llenado:</p> <ul style="list-style-type: none"> - La ampollita puede venir rota de fábrica. - Pérdida de vacío por falta de sello en punta. 	<p>Ante estos 2 posibles modos de falla, es posible la falla parcial en el llenado con la alternativa de solución 2 (válvulas con llenado por grupos) y es posible la falla completa en el llenado con la alternativa de solución 3, al poderse fugar completamente el vacío de la cámara por una vía mal sellada.</p> <p>Los dos diseños propuestos son inviables y es necesario rediseñar los conceptos de solución.</p>

<i>Asuntos pendientes</i>	<i>Responsables</i>
<p>Se generará un nuevo diseño para la solución del llenado de ampollitas. Dicha solución deberá tener las siguientes características:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Deberá de llenar una ampollita a la vez. 2. Deberá ser susceptible de detectar y evitar el mal llenado de ampollitas o fuga de líquido y/o vacío si: <ol style="list-style-type: none"> a) La ampollita viene rota de fábrica. b) Hay pérdida de vacío por falta de sello en la punta. c) No hay ampollita presente. 3. La nueva solución deberá de poderse instalar en una máquina que llene en ampollitas individualmente o por lotes. 4. se hará una nueva lista de requerimientos y especificaciones con base en la lista anterior y los nuevos requerimientos añadidos. 	<p>Ricardo Lozada B.</p>

MINUTA DE REUNIÓN EN CENTRO DE DISEÑO Y MANUFACTURA	
Clave:	MIN TA-121005
Fecha:	12 de Octubre de 2005
Hora:	7:00 p.m. a 9:30 p.m.
Asistentes:	Dr. Alejandro Ramírez, Dr. Vicente Borja, Dr. Marcelo López Parra, Ricardo Lozada.

Puntos tratados	Acuerdos
<p>4. Se presentó la válvula de llenado 3/2 para ampolletas plásticas. Se realizaron pruebas con agua utilizando vacío como elemento de succión solamente. También se llevaron a cabo pruebas con el líquido COLORFIX y se vio que el vacío solo no podía introducir líquido a la ampolleta. Se empleo un volumen de control (jeringa) para poder efectuar el llenado. Fue satisfactorio.</p>	<p>Se determinó proseguir con el desarrollo de la idea de la válvula de llenado 3/2 y poderla equipar con todos los componentes periféricos para generar la solución 6 completa. Se usará apoyo volumétrico para la inyección de líquido.</p>

Asuntos pendientes	Responsables
<p>I. Se fabricará un banco de pruebas para la válvula de llenado 3/2, con el objeto de evaluar toda su funcionalidad. Se empleará apoyo volumétrico para efectuar la inyección y no depender solo del vacío.</p>	<p>Ricardo Lozada B.</p>

Referencias

- [1] Ulrich, T., Karl y Eppinger, D., Steven. Diseño y desarrollo de productos: enfoque multidisciplinario. Tercera edición. México: Mc. Graw Hill, 2004.
- [2] Pahl, G. y Beitz, W. Engineering Design. A Systematic Approach. Segunda edición. Reino Unido: Springer – Verlag, 1996.
- [3] Parker-O-ring Handbook. Segunda edición. EE.UU: Parker Hannifin Corporation, 2001.

Bibliografía

- Budinski, G., Kenneth y Budinski, K., Michael. Engineering Materials Properties and Selection. Sexta edición. EE.UU: Prentice Hall, 1999.
- Gere, M., James y Timoshenko, P., Stephen. Mecánica de materiales. Cuarta edición. México: International Thompson editors, 1998.
- Electropneumatics Basic Level Textbook. Alemania: Festo Didactic GmbH & Co., 2004.
- Jensen, Cecil. Et al. Engineering Drawing and Design. Sexta edición. EE.UU: Mc. Graw Hill, 2002.
- Montgomery, C., Douglas y Runger, C., George. Applied Statistics and Probability for Engineers. Segunda edición. EE.UU: John Wiley & Sons, Inc., 1999.
- Munson, R., Bruce. Et al. Fundamentals of Fluid Mechanics. Cuarta edición EE.UU: John Wiley & Sons, Inc., 2002.
- Mendenhall, William y Sincich, Terry. Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. Cuarta edición. México: Prentice Hall, 1997.
- Norton, Robert. Diseño de Máquinas. Primera edición. México, Prentice Hall, 1999.
- Otto, N., Kevin y Wood, L., Kristen Product Design: Techniques in Reverse Engineering and New Product Development. Primera edición, EE.UU: Prentice Hall, 2001.
- Pahl, G. y Beitz, W. Engineering Design. A Systematic Approach. Segunda edición. Reino Unido: Springer – Verlag, 1996.
- Parker-O-ring Handbook. Segunda edición. EE.UU: Parker Hannifin Corporation, 2001.
- Pugh, Stuart. Total Design Integrated Methods for Successful product Engineering. Primera edición. Reino Unido: Addison Wesley, 1991
- Schimdt, R., Stephen y Launsby, G., Robert. Understanding Industrial Designed Experiments. Cuarta edición. EE.UU: Air Academy Press, 1994.
- Ulrich, T., Karl y Eppinger, D., Steven. Diseño y desarrollo de productos: enfoque multidisciplinario. Tercera edición. México: Mc. Graw Hill, 2004.