

Simulación digital del proceso de Llenado en la planta de Soluciones Parenterales en el Laboratorio Farmacéutico Oriente

Digital simulation of the filling process in the plant of Parenteral Solutions in the Pharmaceutical Laboratory Oriente

Ing. Emilio Álvarez-Monier, ceam@uo.edu.cu, DraC. Dania del Toro-Álvarez, MSc. Osmar Santiesteban-Biset, Ing. Dariel Machado-Martínez

Facultad de Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba

Resumen

El trabajo radica en la presentación de una propuesta factible desde el punto de vista técnico y económico que permite solucionar los problemas actuales que presenta el llenado de las bolsas de soluciones de 1000 mL o más, en la Planta de Soluciones Parenterales de la Empresa "Laboratorio Farmacéutico Oriente" de la provincia Santiago de Cuba. Para ello, se identificaron las características esenciales del sistema de tuberías del área de llenado y los equipos presentes en el mismo, así como elementos importantes sobre las soluciones parenterales, los tipos de materiales donde estas se envasan y sus características. Se obtuvo un modelo matemático con vista a desarrollar una simulación digital del proceso de llenado, lo que permitió la identificación de cuatro alternativas técnicamente factibles para dar solución al problema del llenado de las bolsas de 1000 mL, seleccionando como la mejor, la que consiste en reducir el diámetro de la tubería del tramo 2 de la rama 4-5 de $\frac{1}{2}$ a $\frac{1}{4}$ plg, con un Valor Actual Neto de 1103,69 \$; una Tasa Interna de Rendimiento de 32 % y un Tiempo de Recuperación de la Inversión de 3,69 años

Palabras clave: simulación digital, flujo de fluidos, selección de alternativas, algoritmo

Abstract

The work lies in the presentation of a feasible proposal from the technical and economic perspective that helps solve the current problems of filling bags solutions 1000 mL or more, Plant Parenteral Solutions Company "Laboratorio Farmacéutico Oriente", Santiago de Cuba province. To do so, the essential characteristics of piping system filling area and equipment present therein, as well as important elements of parenteral solutions, the types of materials where these are packed and their characteristics were identified. a mathematical model with a view to develop a digital simulation of the filling process was obtained, which allowed the identification of four technically feasible alternatives to solve the problem of filling bags 1000 mL, selecting the best, which is reduce the diameter of the pipe section 2 of the branch 4-5 $\frac{1}{2}$ to $\frac{1}{4}$ inch, with a net present value of 1103.69 \$; an Internal Rate of Return of 32% and Time Payback of 3.69 years.

Keywords: *digital simulation, fluid flow, selection of alternatives, algorithm*

Introducción

La planta de Soluciones Parenterales de Gran Volumen (SPGV), es una de las fábricas productivas pertenecientes al Laboratorio Farmacéutico Oriente, situada en el municipio de Santiago de Cuba. La misma se dedica a la producción de bolsas de suero (producto médico altamente utilizado para la salud humana).

Actualmente la planta tiene una capacidad disponible de 15 MMU anuales. Las soluciones parenterales son envasadas en bolsas plásticas de PVC de 250, 500 y 1000 mL. El proceso de llenado fue diseñado para una producción considerando tres máquinas que pueden trabajar independientes o al mismo tiempo. Trabajando las tres máquinas llenadoras al mismo tiempo, se garantiza una alta productividad del proceso de llenado. Esto se logra solamente en el llenado de las bolsas de hasta 500 mL; pero con 1000 mL o más, no se obtiene un llenado de las bolsas, según las normas. Esto trae como consecuencia el aumento del costo de producción por concepto de mermas, al rechazar todas las bolsas que no contengan el volumen requerido y el aumento del índice de consumo de la materia prima, además de propiciar una baja eficacia y eficiencia en el proceso productivo. Para evitar este efecto indeseado en la actualidad, se debe trabajar con una o dos máquinas llenadoras, por lo que, la productividad del proceso decae, el número de bolsas que se llenan disminuye en la unidad de tiempo, o lo que es lo mismo, se necesita más tiempo para el llenado de un lote ordinario.

Objetivos:

Desarrollar y validar un modelo matemático que permita reproducir el comportamiento del proceso de llenado de las bolsas de soluciones parenterales.

Identificar alternativas técnicamente factibles para dar solución al problema del llenado de las bolsas de 1000 mL, partiendo del modelo matemático y el programa confeccionado.

Evaluar desde el punto de vista económico, la opción resultante del proceso de selección.

Materiales y métodos

- ◆ Realizar un estudio bibliográfico sobre los aspectos teóricos que caracterizan el sistema objeto de estudio.
- ◆ Modelar matemáticamente el sistema desde el punto de vista del flujo de fluido.
- ◆ Confeccionar los algoritmos de solución, partiendo del modelo matemático con las exigencias de la simulación digital que se quiere realizar.
- ◆ Programar los algoritmos de solución en un lenguaje adecuado para la simulación.
- ◆ Validar la modelación, la confección de algoritmos y la programación a través de la simulación en comparación con los resultados reales del proceso.
- ◆ Generar alternativas de solución mediante la simulación digital del proceso de llenado, evaluarlas desde el punto de vista técnico-económico y seleccionar la mejor opción de solución.

Fundamento teórico

El proceso de llenado de las bolsas se enmarca en un sistema de flujo de fluidos que debe ser descrito a un nivel macroscópico, balanceando las cantidades de energía mecánica en régimen estacionario; siendo las variables más importantes: dentro de las geométricas, el diámetro, longitud y rugosidad de la tubería; dentro de las termodinámicas, la temperatura, la densidad, viscosidad y dentro de las operacionales, los flujos volumétricos y las presiones [1].

❖ **Características de los diferentes tramos de tuberías en el proceso de llenado**

La modelación matemática de este sistema exige la definición de los estados (iniciales y finales) más importantes a tener en cuenta en el desarrollo de las ecuaciones de balances de energía mecánica necesarias para dar solución al problema planteado.

La figura 1 muestra los estados más importantes de forma general. Los estados 1 y 5 son los iniciales y finales globales en el proceso y los estados 2, 3, 4 son parciales y es donde se realizan la toma de las máquinas llenadoras. Se

presentan además las características geométricas más importantes de los diferentes tramos de tuberías del proceso [3].

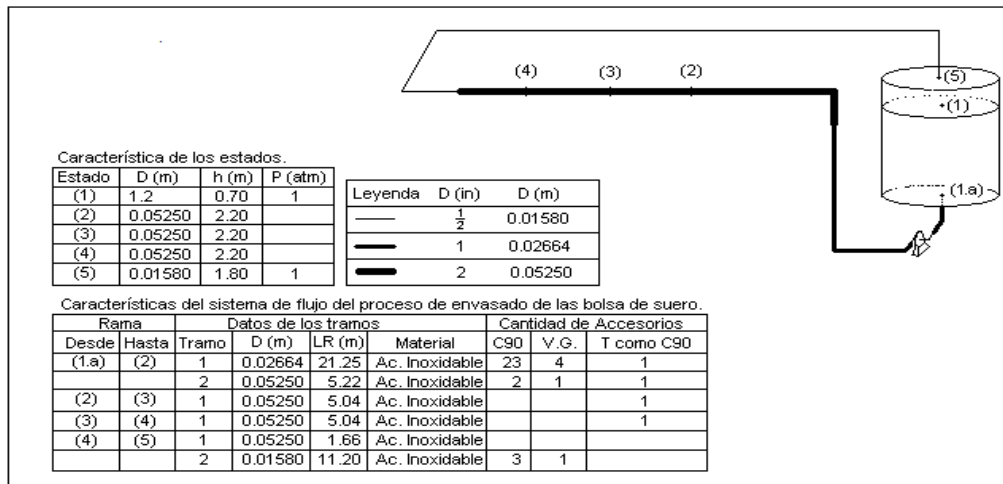


Fig. 1 Caracterización del sistema de flujo en el proceso de llenado.

En la figura 1 se consideran cinco ramas. En la rama 1-2, existe un tramo de 1 plg y otro de 2 plg; en la rama 2-3 y 3-4 existe un solo tramo de 2 plg, mientras que en la rama 4-5 existen dos tramos, uno de 2 plg y el otro de 1/2 plg.

❖ Exigencias relevantes de la simulación digital

En [2] el fabricante de las máquinas recomienda una presión en la línea de alimentación del suero a las mismas de 3 a 4 bar (300000 a 400000 Pa) y un flujo permanente mayor o igual que 0,5 L/s (0,5E-3 m³/s). Es importante tener en cuenta que basta con el incumplimiento de una de las dos para que se obtenga un resultado desfavorable; es por ello que, la simulación digital en este proceso exige la determinación de la presión y de los flujos en los estados 2, 3 y 4 de la figura 1 para chequear el cumplimiento de estas condiciones de operación.

La obtención de alternativas técnicamente factibles descansa en la determinación de las variables mencionadas en el párrafo anterior frente a cambios que se realicen en las variables geométricas del sistema. En este trabajo sólo se tiene en cuenta el cambio en el diámetro de los tramos de tuberías importantes.

❖ Análisis de Eficiencia Económica

La evaluación económica financiera constituye la etapa de la evaluación del proyecto donde se mide la magnitud de la Inversión realizada, los gastos

durante el proceso productivo y los beneficios obtenidos con la ejecución el proyecto.

Cuando en el proceso de evaluación se cuenta con más de dos alternativas, para la selección de la oferta u ofertas adecuadas se utiliza el Tamizado de Alternativas empleando para ello diferentes métodos, siendo los más utilizados el método cualitativo y el cuantitativo, los cuales constituyen un dispositivo eficaz para eliminar las ofertas poco convenientes [4].

Método cualitativo

Este método se caracteriza por evaluar los criterios que se seleccione para el estudio del proceso en cuestión, de cada una de las alternativas de una forma cualitativa, teniendo en cuenta la siguiente clasificación:

- (-): Criterio Indeseable
- (+): Criterio Deseable
- (¿?): Criterio Incierto
- (0): Criterio Neutral

Tabla 1
Método de Evaluación Cualitativa según los criterios de evaluación

Alternativa de solución	Criterios de Evaluación				
	I	II	III	...	n
1					
2					
n					

La primera columna muestra la cantidad de alternativas presentes en el proyecto y en las restantes, los criterios más significativos a evaluar en cada alternativa. De aquí se selecciona aquella que tenga mayor cantidad de criterios positivos o deseables.

Método cuantitativo

Es una técnica más elaborada, la cual fue promovida por Kepner y Tregoe. Para aplicar esta técnica es necesario seguir los siguientes pasos:

El primer paso es la clasificación de las alternativas en “deseo” y “debo de”. Las alternativas que no satisfacen los criterios esenciales “debo de”, se eliminan automáticamente.

Dar a todos los criterios una jerarquía de prioridad de 1 a 10.

A cada una de las alternativas se le asigna un valor numérico de (0-10) de acuerdo a la satisfacción del criterio

Los números de cada fila se multiplican por la jerarquía de prioridad que corresponde al criterio de evaluación que califica y se suman para obtener la puntuación total que se muestra en la última columna.

La alternativa con puntuación final más alta se considera superior.

La calificación de cada alternativa se realiza utilizando como guía la tabla cualitativa, aunque en este caso las valoraciones requieren un mayor cuidado.

Una vez realizada la evaluación con la clasificación anterior, se recomienda una segunda evaluación teniendo en cuenta la clasificación siguiente:

a) Deseables b) Imprescindibles

Método para la determinación del costo de capital o de Inversión del proyecto

El costo de capital de la planta se determina por:

Capital Total o Inversión Total = Capital Fijo + Capital Operativo

$$I = I_F + I_O$$

El capital operativo, es el que se invierte para mantener la planta en operación.

Estimación del capital operativo

Para estimados de pre diseño, es aceptable un valor de 10 a 20 % del capital fijo.

- Cercano a un 10 % cuando la materia prima sea barata o el costo del equipo excesivamente caro.
- Cercano a un 20 % para situaciones contrarias.

- 15 % para una operación normal.

También puede estimarse considerando su valor igual al de un mes de materia prima o al inventario de tres meses del producto.

Estimación del capital fijo

A diferencia de los bienes de consumos y aparatos que se compran y se usan de inmediato, el equipo de proceso debe ser diseñado, construido o seleccionado a la medida y comprado e instalado por especialistas. En la mayoría de las aplicaciones esto significa que el costo final de la planta es varias veces mayor que la suma de los precios de los equipos sin instalar pues al precio de estos se debe de sumar las obras de montaje y puesta en marcha entre otras.

Procedimiento para la estimación del capital fijo

1. Precio de compra de los equipos actualizados, $E = \sum E_i$
2. Costo del equipamiento instalado actualizado, C_{ei}
3. Edificaciones principales, $E_{dp} = 12 \% E$
4. Edificaciones auxiliares, $E_{da} = 10 \% E$
5. Facilidades y servicios instalados, $F_s = 55 \% E$

La suma de 2 → 5 = Costo directo de la planta = C_d

$$C_d = C_{ei} + E_{dp} + E_{da} + F_s$$

6. Movimiento de tierras, $M_t = 13 \% E$
7. Fletes, seguros e impuestos, $F_{si} = 8 \% E$
8. Otros gastos directos, $O_{gd} = 6 \% C_d$

La suma de 2 → 8 = Costo directo total de la planta = C_{dt}

$$C_{dt} = C_d + M_t + F_{si} + O_{gd}$$

9. Personal indirecto del campo de acción, $P_{ica} = 12 \% C_{dt}$ (3 – 19 % C_{dt})
10. Otros gastos indirectos del campo de acción, $O_{gica} = 21 \% C_{dt}$ (7 – 44 % C_{dt})

La suma de 2 → 10 = Costo de construcción = C_c

$$C_c = C_{dt} + P_{ica} + O_{gica}$$

11. Gastos de la oficina matriz de la empresa constructora, $G_{om} = 17 \% C_c$ (3 – 19 % C_c)
12. Gastos de la dirección del Proyecto, $G_{dp} = 8 \% C_c$ (3 – 27 % C_c)

13. Gastos del personal supervisor, $Gps = 3 \% Cc(0 - 7 \% Cc)$

La suma de 2 \rightarrow 3 = Capital depreciable excluyendo Imprevisto = Cadi

$$Cadi = Cc + Gom + Gdp + Gps$$

14. Imprevistos del proyecto, $IPC = 5 \% Cadi (3 - 8 \% Cadi)$

15. Imprevistos del proceso, $IPS = 8 \% Cadi (5 - 15 \% Cadi)$

La suma de 1 \rightarrow 15 = Capital depreciable incluyendo Imprevisto = Cadii

16. Compra del terreno, $Ctr = 2 \% Cadii$

La suma de 1 \rightarrow 16 = Capital Fijo o Inversión Fija = I_F

$$I_F = Cadii + Ctr$$

También es imprescindible estimar los costos de producción, que son todos aquellos en que es necesario incurrir para desarrollar el proceso productivo.

Para ello se seguirán los pasos que a continuación se enumeran:

Método para la estimación del costo de producción

1. Materias Primas.
2. Ventas de subproductos.
3. Materiales de producción (catalizadores, disolventes, etc.).
4. Mano de obra de operación.
5. Supervisión directa (10- 20 % de la mano de obra de operación).
6. Servicios auxiliares del proceso.
7. Mantenimiento y reparaciones (2 – 10 % del capital fijo)
8. Suministro de operación (10 – 20 % de mantenimientos y reparaciones)
9. Laboratorio de control (10 – 20 % de la mano de obra de operación)
10. Patentes y derechos (0 – 6 % del Costo de producción total)

Costo de fabricación directos = $C_{FD} = 1 - 2 + \text{suma } 3 \rightarrow 10$

Generales (nomina, empackado, almacenamiento, etcétera), (50 – 70 % de la suma 4 + 5 + 7)

11. Impuestos locales (1 – 2 % del capital fijo)

12. Seguro (0,4 – 1 % del capital fijo)

Costo de fabricación indirecto = $C_{FI} = 11 + 12 + 13$

Costo de fabricación totales = $C_{FT} = C_{FD} + C_{FI}$

13. Depreciación, $D = (\text{aprox. } 10 \% \text{ del capital fijo})$

14. Costos administrativos (25 % de los gastos generales)

15. Distribución y costo de venta (10 % del costo de producción total)

16. Investigación y desarrollo (5 % del costo de producción total)

Gastos generales = $G_G = 16 + 17 + 18$

Gastos de producción totales = $C_T = C_{FT} + D + G_G$

Valor Actual Neto (VAN)

Se define como el valor actualizado del flujo de ingresos netos obtenidos durante la vida útil económica del proyecto a partir de la determinación por años de las entradas y salidas de divisas en efectivo desde que se incurre en el primer gasto de inversión durante el proceso inversionista hasta que concluyen los años de operación o funcionamiento del proyecto.

$$VAN = \frac{FNE_1}{(1+TMAR)^1} + \frac{FNE_2}{(1+TMAR)^2} + \dots + \frac{FNE_n + V_s}{(1+TMAR)^n} - I \quad (1)$$

donde:

FNE: Es el flujo neto de efectivo de un proyecto en los años 1, 2,...n.

Vs: Valor de salvamento

I: Inversión Total de la planta

TMAR: Tasa mínima de ganancia sobre la inversión propuesta. Se calcula de la siguiente forma:

$$TMAR = i + f + i * f$$

donde:

f: índice de inflación (Promedio para el período en que se evalúa)

i: índice de riesgo o premio de riesgo (Se estima entre un 10 y 15 %)

La alternativa es factible siempre que se cumpla que el $VAN \geq 0$, y si se tienen varias alternativas se toma aquella que tenga mayor valor de VAN.

Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)

La Tasa Interna de Rentabilidad (TIR) es la tasa de actualización a la cual el valor actual del flujo de ingresos en efectivo es igual al valor actual del flujo de egresos en efectivos, dicho de otra manera es la tasa a la cual el VAN es cero, o sea nula la rentabilidad del proyecto. Mientras mayor sea el valor del TIR más

rentable es el proyecto. Para lograr calcular el valor del TIR es necesario calcularlo por métodos numéricos como el Newton Raphson.

$$0 = \frac{FNE_1}{(1+TIR)^1} + \frac{FNE_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{FNE_n + V_s}{(1+TIR)^n} - I \quad (2)$$

Discusión de los resultados

Los resultados se obtienen a través de la simulación digital llevada a cabo en un programa sobre una hoja de cálculo Excell, en el que se deben suministrar datos como: diámetro, longitud, presiones, rugosidades, los flujos que se manejan en las máquinas llenadoras para cada formato de bolsa de llenado y las propiedades físicas del fluido. Como resultados fundamentales, el programa brinda las presiones y los flujos en cada uno de los estados, priorizando los estados 2, 3, y 4.

Los resultados de esta investigación se presentan en dos partes fundamentales.

- ❖ Resultados que permiten validar la veracidad de la simulación digital realizada en este proceso.
- ❖ Resultados obtenidos a partir de la simulación digital que generan las alternativas de solución.

1. Resultados que permiten validar la veracidad de la simulación digital realizada en este proceso

Para garantizar los resultados que demuestren la veracidad de la simulación se utilizan los datos reales del proceso para la operación de llenado en cada formato.

Los resultados obtenidos para el llenado de las bolsas de 250, 500 y 1000 mL se corresponden con el comportamiento real del proceso en cualquier combinación de cantidad de máquinas empleadas, tanto en situaciones favorables como en las desfavorables. A continuación se muestran los resultados para el llenado de las bolsas de 1000 mL, con dos y con tres máquinas al mismo tiempo.

- **Resultados obtenidos en el llenado de las bolsas de 1000 mL, empleando dos máquinas al mismo tiempo (Resultado favorable)**

En la tabla 2 se relacionan los flujos de solución que manejan las máquinas 1 y 2, mientras que en la tabla 3 se relacionan los datos geométricos de las tuberías en cada tramo de las tuberías, así como el resultado de la presión y los flujos que se obtienen a través del programa.

Tabla 2
Datos de los Flujos que manejan las máquinas para el llenado de las bolsas de 1000 mL

Flujos en las máquinas (m ³ /s)x 10 ⁴	
Q ₁ (Estado 2)	Q ₂ (Estado 3)
3,33	3,33

Tabla 3
Datos y resultados obtenidos empleando dos máquinas llenadoras (1000 mL)

Estación	Datos		Resultados	
	D(m)	H(m)	P(Pa)	Qx10 ³ (m ³ /s)
1	1,200 00	0,7	101 325,00	1,389
2	0,052 50	2,2	335 441,67	1,389
3	0,052 50	2,2	334 777,91	1,389
4	0,052 50	2,2	332 789,06	1,055
5	0,015 80	1,8	101 325,00	0,722

Como se observa en la tabla 3 los resultados de las presiones y los flujos se encuentran por encima de los valores recomendados por el fabricante; lo que se corresponde con el comportamiento real, es decir, no se presentan problemas en el llenado de las bolsas.

➤ **Resultados obtenidos en el llenado de las bolsas de 1000 mL, empleando tres máquinas al mismo tiempo (Resultado desfavorable)**

En la tabla 4 se relacionan los flujos de solución que manejan las máquinas 1, 2 y 3 mientras que en la tabla 5 se relacionan los datos geométricos de las tuberías en cada tramo de las tuberías, así como el resultado de la presión y los flujos que se obtienen a través del programa.

Tabla 4
Datos de los Flujos que manejan las máquinas para el llenado de las bolsas de 1000 mL

Flujos en las máquinas (m ³ /s)x 10 ⁴		
Q ₁ (Estado 2)	Q ₂ (Estado 3)	Q ₃ (Estado 4)
3,33	3,33	3,33

Tabla 5
Datos y resultados obtenidos empleando dos máquinas llenadoras (1000 mL)

Estación	Datos		Resultados	
	D(m)	h(m)	P(Pa)	Qx10 ³ (m ³ /s)
1	1,200 00	0,7	101 325,00	1,546
2	0,052 50	2,2	236 822,84	1,546
3	0,052 50	2,2	236 402,79	1,213
4	0,052 50	2,2	235 025,38	0,879
5	0,015 80	1,8	101 325,00	0,546

Como se observa en la tabla 5 los resultados de las presiones están por debajo de los niveles recomendados por el fabricante, lo cual es una causa para que el contenido de las bolsas sea inferior al establecido por las normas; aunque los flujos se encuentren por encima, como se obtiene en este caso. Todo esto se corresponde con la realidad.

Los resultados mostrados anteriormente demuestran la validez de la simulación digital de este proceso; es decir la validez de la modelación matemática, la algoritmización de las soluciones, la programación y su puesta a punto.

➤ **Resultados obtenidos a partir de la simulación digital que generan las alternativas de solución**

Para generar las alternativas de solución, se cambian los diámetros de los tramos importantes de la instalación, manteniendo constante el resto de los datos reales. Los resultados que se obtienen reflejan de igual manera los valores de presiones y flujos en cada uno de los estados.

Alternativa 1: Aumentar el diámetro de la tubería del tramo 1 de la rama 1-2, el cual es crítico, por ser el más pequeño, de 1 a 1 1/4 plg.

Tabla 6
Datos y resultados para la Alternativa 1

Diámetro de la tubería tramo 1 de la rama 1-2 (1 1/4 plg)				
Estación	Datos		Resultados	
	D(m)	h(m)	P (Pa)	Qx10 ³ (m ³ /s)
1	1,200 00	0,7	101325	1,73
2	0,052 50	2,2	339871	1,73
3	0,052 50	2,2	339312	1,39
4	0,052 50	2,2	337296	1,06
5	0,015 80	1,8	101325	0,73

Alternativa 2: Reducir el diámetro de la tubería del tramo 2 de la rama 4-5 de 1/2 a 3/8 plg.

Tabla 7
Datos y resultados para la Alternativa 2

Diámetro de la tubería tramo 1 de la rama 4-5 (3/8 plg)				
Estación	Datos		Resultados	
	D(m)	h(m)	P (Pa)	Qx10 ³ (m ³ /s)
1	1,200 00	0,7	101325	1,41
2	0,052 50	2,2	325720	1,41
3	0,052 50	2,2	325394	1,07
4	0,052 50	2,2	324429	0,74
5	3/8 plg	1,8	101325	0,41

Alternativa 3: Reducir el diámetro de la tubería del tramo 2 de la rama 4-5 de 1/2 a 1/4 plg.

Tabla 8
Datos y resultados para la Alternativa 3

Diámetro de la tubería tramo 2 de la rama 4-5 (¼ plg)				
Estación	Datos		Resultados	
	D(m)	h(m)	P (Pa)	Qx10 ³ (m ³ /s)
1	1,20000	0,7	101325	1,23
2	0,05250	2,2	422777	1,23
3	0,05250	2,2	422552	0,90
4	0,05250	2,2	421991	0,57
5	⅜ plg	1,8	101325	0,23

Los resultados que se muestran en las tablas 6, 7 y 8 demuestran que los cambios que se proponen en cada una de las alternativas cumplen con las exigencias que propone el fabricante, por tanto, las tres resuelven el problema desde el punto de vista técnico; sin embargo es recomendable seleccionar la mejor desde el punto de vista económico.

Para la selección desde el punto de vista económico se escogen cinco criterios clasificados como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9
Clasificación de los criterios

No	Criterios	Clasificación
I	Costo de la inversión	Deseable
II	Costo de producción	Deseable
III	Calidad del producto	Imprescindible
IV	Preservación del medio ambiente	Imprescindible
V	Obtención de la capacidad de producción	Deseable

Aplicando los criterios a cada una de las alternativas se obtiene lo siguiente:

Tabla 10
Resultados que se obtienen al aplicar la Evaluación Cualitativa

Alternativas de solución	Criterios de Evaluación				
	I	II	III	IV	V
1	-	+	+	+	+
2	-	+	+	+	+
3	+	+	+	+	+

Los resultados de la tabla 10 muestran que las alternativas 1 y 2 son evaluadas negativamente en el primer criterio, no siendo así la alternativa 3, que es positiva, esto se debe a que las dos primeras presentan mayor diámetro que la 3ra, por tanto, ambas tendrán mayor inversión. De esta manera se concluye que desde el punto de vista cualitativo la 3ra alternativa es la mejor. Corresponde entonces evaluar esta alternativa desde el punto de vista cuantitativo.

A continuación se presentan los datos fundamentales que permiten estimar los indicadores de eficiencia fundamentales:

Precio de venta: 2,54 \$/bolsa

Capacidad de Producción: 288000 Bolsas/año

Tasa Mínima Aceptable del Rendimiento: 15 %

Tabla 11
Resultados Económicos principales

Parámetros	Resultados
Inversión Total (\$)	1 802,68
Costo de producción Total (\$/a)	731 030,96
Ingresos por Ventas (\$/a)	731 520,00
VAN (\$)	1 103,69
TIR (%)	32
Tiempo de Recuperación de la Inversión (años)	3, 69

Los resultados que se logran de los indicadores de eficiencia económica, VAN = 1 103,69 y TIR =32 % demuestran que la alternativa es factible desde el punto de vista económico. En este proyecto, la inversión se recupera en aproximadamente 4 años (3 años y 252 días).

Conclusiones

- 1. Se simuló el proceso de llenado de las bolsas de 1000 mL de soluciones parenterales, con 2 y 3 máquinas trabajando al mismo tiempo, cuyos resultados demostraron la validez de la modelación matemática, la algoritmización de las soluciones y la programación.**
- 2. El proceso de simulación permitió la identificación de tres alternativas técnicamente factibles para dar solución al problema del llenado de las bolsas de 1000 mL, seleccionando a través del**

método cualitativo como la mejor, la consistente en reducir el diámetro de la tubería del tramo 2 de la rama 4-5 de $\frac{1}{2}$ a $\frac{1}{4}$ plg.

- 3. Se demostró que la alternativa seleccionada es factible desde el punto de vista económico, ya que se obtuvo un Valor Actual Neto de \$ 1103,69, una Tasa Interna de Rendimiento de 32 % y un Tiempo de Recuperación de la Inversión de 3,69 años.**

Nomenclatura

FNE: flujo neto de efectivo de un proyecto en los años 1, 2,...n.

Vs: Valor de salvamento

I: Inversión Total de la planta

TMAR: Tasa mínima de ganancia sobre la inversión propuesta.

f: índice de inflación (Promedio para el período en que se evalúa)

i: índice de riesgo o premio de riesgo (Se estima entre un 10 y 15%)

MMU: miles de miles de unidades.

Bibliografía

1. DÍAZ G. A., *et al.* "Temas de flujos de fluidos". Facultad de Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, 2007.
2. ENDRESS+HAUSER. Dosimag Flow Measuring System Technical Information Electromagnetic volume flow measuring system for filling Applications., México, S.A. de C.V.Av. Gustavo Baz No. 43 Fracc. Bosques de Echeagaray, Naucalpan de Juárez, Estado de México.
3. SAPAGCHAIN, N. "Evaluación de Proyecto". Tarea Técnica Planta de Bolsas Plásticas. Tecnología y Desarrollo. Laboratorio Farmacéutico Oriente. 1994.
4. ULRICH, G. D. "Diseño de economía de los procesos de Ingeniería Química". Editorial Mc Graw-Hill. Ínter América de México, SA de C.V, 1992.