

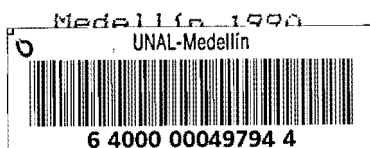
VARIACION DE LA TASA INTERNA DE RETORNO
EN UNA PLANTA DE CONCENTRACION DE PROTEINAS
DEL SUERO DE QUESERIA

Por:

DARIO DE J. GALLEGO SUAREZ

TRABAJO PARA PROMOCION A
PROFESOR ASISTENTE

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
Seccional de Medellín
FACULTAD NACIONAL DE MINAS
INGENIERIA QUIMICA

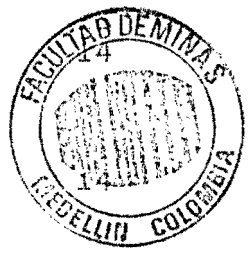


664.02
G15

Resumen en inglés (Grupo 190) p. 2.500

TABLA DE CONTENIDO

	Pág
LISTA DE TABLAS	iv
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE ABREVIATURAS Y SIMBOLOS	viii
RESUMEN	x
1. INTRODUCCION	1
2. EL LACTOSUERO DULCE DE QUESERIA	5
2.1 COMPOSICION DEL LACTOSUERO DULCE DE QUESERIA	5
2.1.1 Composición total del lactosuero	5
2.1.2 Composición proteínica del lactosuero dulce	6
2.2 CARACTERISTICAS DEL LACTOSUERO	7
2.2.1 Generales	7
2.2.2 Datos para el lactosuero de la Universidad Nacional, seccional Medellín	7
2.3 EL PUNTO ISOELÉCTRICO DEL LACTOSUERO DULCE DE QUESERIA	8
2.3.1 Significado	8
2.3.2 El punto isoelectrico del lactosuero de la Universidad Nacional, seccional Medellín	9
3. CONCENTRACION DE LAS PROTEINAS DEL LACTOSUERO CON CARBOXIMETIL CELULOSA DE SODIO	10
3.1 EL CONCENTRADO PROTEINICO DEL LACTOSUERO CON CMC	12
3.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PRECIPITACION DE LAS PROTEINAS DEL LACTOSUERO CON CMC	13
3.2.1 El pH	13
3.2.2 Fuerza iónica	
3.2.3 Cantidad de CMC a emplear	
3.3 PARAMETROS SELECCIONADOS Y CARACTERISTICAS DEL PROCESO DE CONCENTRACION DE PROTEINAS DEL LACTOSUERO CON CMC	
3.4 DESARROLLO DE LAS OPERACIONES PARA FORMAR EL COMPLEJO PROTEINA-CMC	16



29A34

3.4.1	Recepción	18
3.4.2	Enfriamiento	19
3.4.3	Almacenamiento	19
3.4.4	Preparación de las soluciones de CMC	20
3.4.5	Mezclado del lactosuero y la solución de CMC	21
3.4.6	Acondicionamiento del pH de la mezcla del lactosuero y la solución de CMC	21
3.4.7	Separación del complejo proteína-CMC precipitado	22
4.	LA PLANTA PARA CONCENTRAR PROTEINAS DEL LACTO SUERO CON CMC	24
4.1	CAPACIDAD DE LA PLANTA	25
4.2	BALANCES DE MASA Y ENERGIA TERMICA	27
4.2.1	Balance de masa en la formación del concentrado CMC-proteína, utilizando como materia prima el lactosuero de la Planta de Leches de la Universidad nacional, seccional de Medellín	27
4.2.2	Balance de energía térmica en la formación del concentrado proteína-CMC para el proceso que se ha propuesto	30
4.3	EQUIPOS NECESARIOS PARA LA PLANTA DE CONCENTRACION DE PROTEINAS DEL LACTOSUERO CON CMC, SEGUN EL PROCESO QUE SE HA PROPUESTO	34
4.3.1	Equipo para la recepción del lactosuero	35
4.3.2	Equipo para el enfriamiento de la materia prima	35
4.3.3	Equipo para el almacenamiento refrigerado del lactosuero	36
4.3.4	Equipo para la preparación de la solución de CMC	36
4.3.5	Equipo para la mezcla del lactosuero con la CMC y el ácido	37
4.3.6	Separación del complejo proteína-CMC	37
4.3.7	Bombas	37
5.	ANALISIS ECONOMICO DE PREFACTIBILIDAD	39
5.1	COSTOS E INVERSION DE CAPITAL	41
5.1.1	Costo de equipos	41
5.1.2	Costo de la materia prima	43
5.1.3	Costo de la mano de obra	43
5.1.4	Costo de secado del concentrado proteínico	45
5.1.5	Inversión de capital fijo y total	47

	Pág.
5.1.6 Costo total del producto	48
5.2 PRECIO DE VENTA DEL CONCENTRADO PROTEINICO CON 79,1 % DE HUMEDAD	51
5.3 GANANCIAS	52
5.4 PORCENTAJE ANUAL DE RETORNO	54
5.5 PRECIOS DE VENTA DEL CONCENTRADO PARA GARAN- TIZAR RETORNOS DEL 40 % ANUAL	63
6. ANALISIS	64
6.1 Análisis de los costos y la inversión de capital.	64
6.2 Análisis de ganancias	65
6.3 Análisis del porcentaje anual de retorno	67
7. CONCLUSIONES	69
8. RECOMENDACIONES	70
BIBLIOGRAFIA	71

LISTA DE TABLAS

Tabla	Pág
1. Composición del suero dulce de quesería	6
2. Composición proteínica de un suero dulce de quesería	7
3. Porcentaje de cenizas en los complejos formados entre los polielectrólitos y las proteínas del suero dulce de quesería	12
4. Capacidades de las plantas de procesamiento de lactosuero a estudiar	26
5. Composición del lactosuero sin filtrar que sirve como materia prima	27
6. Composición del complejo proteína-CMC húmedo que se obtiene	28
7. Resumen de los balances de material para las plantas propuestas en la concentración de proteínas del lactosuero con CMC	31
8. Identificación de las corrientes involucradas en los balances de energía térmica para la concentración de las proteínas del lactosuero con CMC	32
9. Energía térmica que se transfiere durante el proceso de precipitación de proteínas del suero con CMC, para cada una de las capacidades de planta que se han propuesto	34
10. Costo de los equipos para las plantas de concentración de proteínas del lactosuero dulce de quesería con CMC, según la capacidad de procesamiento. Actualizados a Junio de 1989	42
11. Costo de la materia prima en la concentración de proteínas del lactosuero dulce con CMC, según la capacidad de procesamiento. Precios a Junio de 1989	44

12.	Costo de la mano de obra para las diferentes capacidades de planta en el procesamiento del lactosuero dulce de quesería con CMC	45
13.	Costo del secado por spray para pasar el concentrado proteínico del 79,1 % al 6 % de humedad en las diferentes capacidades de planta	46
14.	Inversión de capital fijo y total, determinados con los factores de Lang, para las plantas de diferente capacidad que procesan lactosuero dulce de quesería con CMC	48
15.	Detalle de los costos de producción (CTP) según recomendación del proyecto de Gallego y Cuenca (8), para la concentración de proteínas del lactosuero dulce de quesería con CMC	49
16.	Costo total de producción, en la concentración de proteínas del lactosuero con CMC, según la capacidad de la planta	50
17.	Precios de venta del concentrado proteínico con 79,1 % de humedad (PVCH), según los factores de multiplicación del suero seco	52
18.	Ganancias brutas (GB) en \$/año, para las diferentes capacidades de planta de concentración de proteína del lactosuero con CMC y con los precios de venta seleccionados del concentrado húmedo (PVCH)	53
19.	Ganancias netas (GN) en \$/año, para las diferentes capacidades de planta de concentración de proteínas del lactosuero con CMC y con los precios de venta seleccionados del concentrado húmedo (PVCH)	55
20.	Porcentaje anual de retorno antes de impuesto (ra), para las diferentes capacidades de planta de concentración de proteínas del lactosuero con CMC y con los precios de venta del concentrado húmedo (PVCH) seleccionados	57

- | | | |
|-----|---|----|
| 21. | Porcentaje anual de retorno después de impuesto (rb), para las diferentes capacidades de planta de concentración de proteínas del lactosuero con CMC y con los precios de venta del concentrado húmedo (PVCH) seleccionados | 58 |
| 22. | Precios de venta del concentrado húmedo (PVCH) para obtener porcentajes de retorno del 40 % después de impuesto en cada una de las plantas | 63 |

LISTA DE FIGURAS

Figura	Pag
1. Diagrama de bloques del proceso de concentración de proteínas del lactosuero con CMC.	17
2. Diagrama de bloques de la planta de concentración de proteínas del lactosuero con CMC.	23
3. Diagrama de flujo para el balance de materiales de una planta que procesa 1000 litros de lactosuero.	29
4. Porcentaje anual de retorno de la inversión total de capital antes de impuesto, contra la capacidad de la planta.	59
5. Porcentaje de retorno de la inversión total de capital después de impuesto, contra la capacidad de la planta	60
6. Porcentaje anual de retorno de la inversión total de capital antes de impuesto, contra el precio de venta del concentrado húmedo.	61
7. Porcentaje anual de retorno de la inversión total de capital después de impuesto contra el precio de venta del concentrado húmedo.	62

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIMBOLOS

h	Hora
d	Día
m ³	Metro cúbico
t	Tonelada
g	Gramo
^{kg} kg	Kilogramo
ml	Mililitro
l	Litro
cp	Centipoise
°C	Grado centígrado
^{KJ} <u>KJ</u>	Kilo Joule
C	Capacidad calorífica
Q	Calor que se transfiere en la etapa de preenfriamiento en KJ/h
Q'	Calor que se transfiere en la etapa de enfriamiento en KJ/h
V	Rata volumétrica de suero que recircula en l/h
L	Longitud
D	Diámetro
CE	Costo de equipos
MO	Costo de la mano de obra
CSS	Costo del secado para el concentrado proteínico
ICF	Inversión de capital fijo
CTP	Costo total de producción
MP	Costo de la materia prima
PVCH	Precio de venta para el concentrado húmedo
CS	Cantidad de concentrado seco
CSP	Costo del suero en polvo

CH	Cantidad de concentrado número
GB	Ganancias brutas, o antes de impuesto
GN	Ganancias netas, o después de impuesto
ra	Porcentaje anual de retorno antes de impuesto
rb	Porcentaje anual de retorno antes de impuesto

RESUMEN

En la concentración de proteínas del suero dulce de quesería con carboximetilcelulosa de sodio, se estudian los efectos que la capacidad de procesamiento y los precios de venta del producto ejercen sobre el porcentaje anual de retorno de la inversión.

Se presenta un resumen de las condiciones y características que para este tipo de proceso, han fijado Hidalgo y Hansen (10,11,12), Alvarez (2), Hill y Zadow (13,14,15) y Gallego y Cuenca (8).

Entre 70 m³/d y 270 m³/d, se sitúan las once capacidades de planta que se someten a estudio. En cada una de ellas, se analizan cinco precios de venta para el concentrado proteínico húmedo, y se determinan no sólo las ganancias sino el porcentaje de retorno de la inversión.

La composición de la materia prima y de los productos, las concentraciones requeridas, y el rendimiento y

características del proceso, son las consideradas en el trabajo "Análisis de Tres Alternativas para la Separación de Proteínas del Suero" (8), que estudia este tipo de proceso en una planta de 70 m³/d.

Los balances de masa y energía térmica, en cualquiera de las capacidades de planta consideradas, se puede realizar con el método general que se expone.

El costo de los equipos para la planta que procesa 70 m³/d se obtiene actualizando, con los índices de Marshal, el presentado en (8).

En la determinación del costo de los equipos para las otras capacidades, se emplea la relación entre el tamaño de la planta, o equipo, y su costo, presentada por Feters y Timmerhaus (26).

Las inversiones de capital fijo y total, son el producto de los factores de Lang, para plantas sólido-líquido, y el correspondiente costo de los equipos.

Para fijar los costos de producción, se emplea el modelo presentado por Gallego y Cuenca en (8).

Las variaciones del porcentaje anual de retorno, antes y después de impuesto se analizan. En el estudio económico, se buscan los efectos que la variación en la capacidad de la planta, con precios de venta del producto fijos, causan en el retorno de la inversión; se observan además las incidencias, sobre el retorno de la inversión, cuando para una capacidad determinada se varían los precios de venta.

Finalmente, se indican qué precios de venta del concentrado proteínico húmedo garantizan un porcentaje anual de retorno del 40%, después de impuesto, en cada una de las plantas.

1. INTRODUCCION

Los efluentes de desecho liquido son de dificil manejo, y pueden contener gases o sólidos disueltos.

El lactosuero o suero dulce de queseria, es el desecho liquido que resulta de la separación de la caseína cuando se somete a coagulación la leche no acida; contiene aproximadamente 7% de sólidos; si no es tratado, representa un material con alto poder contaminante.

En muchos países existen disposiciones de tipo gubernamental que se imponen para que los materiales contaminantes de los desechos líquidos sean tratados. En nuestro medio, ya comienza a plantearse la necesidad de imponer normas que regulen la presencia de materiales no deseables en las descargas de las aguas de desecho; esto indica que en un futuro existe la posible demanda de tecnología de tratamiento de las descargas líquidas.

La ingeniería dedicada al diseño, tiene entre sus funciones la de decidir el tipo de proceso, o la combinación de varios, para el tratamiento de los desechos. El tratamiento puede ser fisico, químico o biológico; el tipo de tratamiento depende de las

características del desecho involucrado y de la clase de remoción que se requiera.

Cuando se trate de procesar un desecho líquido, inicialmente debe pensarse en la posibilidad de recuperar parcial o totalmente sus componentes para volver a utilizarlos o venderlos; con esto, además de solucionar un problema de contaminación, se consiguen nuevos ingresos por el uso o venta de los productos.

El suero dulce de quesería, conserva casi la totalidad de las vitaminas y minerales, y aproximadamente un 20% de las proteínas presentes originalmente en la leche que se ha sometido a coagulación. La composición del suero dulce implica: (1) Que es un contaminante de la industria láctea que puede descomponerse en forma aeróbica o anaeróbica, presentando en el primer caso un elevado consumo del oxígeno biológicamente disponible y en el segundo caso un notorio incremento de la acidez del medio. (2) La presencia de materia de alto valor nutritivo, como las proteínas, que no se encuentran formando una mezcla bien balanceada, y que por lo tanto no se recomienda ingerir directamente sin antes someterla a un proceso de acondicionamiento adecuado.

El suero líquido se puede tratar mediante un proceso de recuperación de los sólidos que encierra, para obtener suero integral en polvo, lactosa cristalizada o concentrado proteínico; de esta manera, se aprovecha en forma parcial este desecho líquido y se disminuye su efecto contaminante.

Un 25% del suero disponible en nuestro medio es procesado, desde hace pocos años, por una empresa local para producir suero integral en polvo: esto satisface las necesidades de un sector que antes requería importarlo. El porcentaje restante del suero disponible, podría ser procesado en forma parcial o total para abastecer el sector alimenticio que demanda el uso de los concentrados proteínicos. Se dice que mientras el mercado del suero integral en polvo y el de la lactosa cristalizada tiende a estancarse, el de los concentrados proteínicos tiende a incrementarse.

Los precios de venta de los concentrados proteínicos son superiores al del suero integral.

Existen varias formas de obtener concentrados proteínicos del suero. La utilización de polielectrólitos, como carboximetilcelulosa de sodio (CMC), permite precipitar las proteínas del suero en forma de un complejo.

Los complejos proteínicos con polielectrólitos, conservan las propiedades nutricionales y no desnaturalizan las proteínas.

Emplear la CMC tiene como ventaja, sobre la utilización de otros polielectrólitos, que el complejo proteína-CMC tiene un bajo contenido de cenizas. El presente trabajo, que emplea el proceso de precipitación de las proteínas del suero con CMC, utiliza parámetros que ya han sido seleccionados.

Algunos autores consideran que el proceso de precipitación de proteínas con CMC puede ser industrializado.

Se hace un estudio del porcentaje de retorno de la inversión para este proceso con CMC, variando la capacidad de la planta y los precios de venta del concentrado húmedo. Las capacidades de planta, van desde la mínima que procesa el suero necesario para satisfacer las demandas proteínicas actuales, hasta la máxima que utiliza todo el suero disponible. Se determinan, finalmente, los precios a los cuales se deben vender los productos para que cada una de las plantas tenga un porcentaje anual de retorno que se ha establecido como aceptable.

2. EL LACTOSUERO DULCE DE QUESERIA

El lactosuero o suero dulce de quesería procede de la coagulación enzimática o cuajado de las leches no ácidas (1,5). Diferentes autores, coinciden en el porcentaje en volumen que queda como residuo en el proceso de coagulación de la leche; Kosikowsky (18), estima que el lactosuero líquido constituye entre el 85% y 90% del volumen de la leche cruda tratada; Cerbullis (5), afirma que el 90% de la leche cruda queda como lactosuero líquido.

2.1 COMPOSICION DEL LACTOSUERO DULCE DE QUESERIA.

2.1.1 Composición total de lactosuero. En el lactosuero dulce de quesería del 6% al 7% lo constituyen los sólidos, el resto es agua; según lo reportan Gallego y Cuenca (8), los sueros de la planta de leches de la Universidad Nacional, Seccional Medellín, están dentro de este intervalo de sólidos. Los trabajos de Anderson (1), reportaron como composición del lactosuero dulce de quesería, la indicada en la tabla 1.

TABLA 1. Composición del suero dulce de quesería.

Componente	Intervalo de composición
Agua	93,00% - 93,50%
Lactosa	4,20% - 4,70%
Proteína	0,80% - 0,90%
Grasa	0,10% - 0,30%
Sales minerales	0,50% - 0,70%
Acido láctico	0,10% - 0,20%

Los sueros utilizados en los trabajos de Cristensen (7), Alvarez (2) y Madrid (21) tienen una composición proteínica que se ajusta al intervalo mostrado en la tabla 1; pero los datos reportados por Gallego y Cuenca (8) y por Barco (3), para sueros de la planta de leches de la Universidad nacional, seccional Medellín, en cuanto a contenido proteínico, difieren de ese intervalo. Se puede decir, que la composición de un suero dulce de quesería depende no sólo de la planta de donde procede, sino del tipo de proceso que se ha seguido en la coagulación de la leche. Los sueros utilizados para el análisis del presente trabajo tienen un intervalo proteínico entre 0,50% - 0,80% según (8).

2.1.2 Constitución proteínica del lactosuero dulce. De los constituyentes del suero dulce, las moléculas mas grandes son las proteínas (7). Monti (23), indica que las proteínas del suero dulce de quesería, por la composición que presentan, son de un alto valor nutritivo.

La composición proteínica del suero dulce de quesería, según Roller (citado en 25), es la que se indica en la tabla 2.

TABLA 2. Composición proteínica de un suero dulce de quesería.

Componentes	Intervalo de composición
Albúminas : - Lactoalbuminas	20% - 24%
- Seroalbuminas	5% - 7%
Globulinas: - Lactoglobulinas	44% - 52%
- Inmonoglobulinas	12% - 16%
Enzimas : - Proteosa-peptona	19% - 1%

2.2 CARACTERISTICAS DEL LACTOSUERO

2.2.1 Generales. El lactosuero dulce de quesería es un líquido turbio, de color amarillo verdoso; ebulle a temperaturas superiores a la del agua, tiene una densidad ligeramente mayor a la unidad, y presenta valores de pH un poco ácidos.

2.2.2 Datos para el lactosuero de la Universidad Nacional, Seccional Medellín. El suero de la planta de leches de la Universidad Nacional, Seccional Medellín, presenta, según los datos de Gallego y Cuenca (8), densidades en un intervalo de 1,025 g/ml - 1,030 g/ml medidas a 25 °C, el contenido de sólidos puede estimarse entre 6,6% y 6,7% y su pH varía entre 6,5 y 6,7.

2.3 EL PUNTO ISOELECTRICO DEL LACTOSUERO DULCE DE QUESERIA

2.3.1 Significado. Según Conn (6) y Wood (31), las proteínas son compuestos polielectrolíticos cuyas cargas dependen del pH. La movilidad de una proteína depende, del número de cargas que presente, el signo de éstas y el grado de disociación. La resistencia que se opone a la movilidad proteínica se relaciona con el tamaño y la forma del ión, la viscosidad del medio, la concentración del ión, la solubilidad de la proteína y las propiedades absorbentes del medio que sirve de vehículo.

Por el carácter iónico de las proteínas, un ajuste del pH hasta un punto en donde se presente una carga neta igual a cero, determina una solubilidad mínima y la posible precipitación (6); el anterior, es conocido como punto isoelectrónico de la proteína (31). Según Bensen (4), la viscosidad de la proteína es mínima en el punto isoelectrónico.

En el lactosuero dulce de quesería existe una mezcla de proteínas; por lo anterior, se dice que el valor del pH para el punto isoelectrónico del lactosuero de quesería depende de su composición proteínica.

Autores como Richert (27), reportan para el lactosuero un valor del pH, en su punto isoelectrónico, de 4,5. Gallego y Cuenca (8), indican que al variar la composición proteínica de un lactosuero, el punto isoelectrónico también debe alterarse.

2.3.2 El punto isoelectrico del lactosuero de la Universidad Nacional, Seccional Medellin. Como la composicion proteínica del lactosuero dulce de queseria varia de una planta a otra, y aun dentro de una misma planta, no se puede presentar un valor fijo de pH para el punto isoelectrico.

La determinación del pH en el punto isoelectrico, puede hacerse con medidas potenciométricas o viscosimétricas.

Los experimentos realizados por Gallego y Cuenca (8), indican que no es recomendable la determinación del punto isoelectrico por medidas viscosimétricas; estos reportaron para sueros de la Planta de Leches de la Universidad Nacional un intervalo de pH de 5 - 6 en el punto isoelectrico; el valor anterior, es aceptable sobre todo si se tiene en cuenta que los sueros de esta Planta tienen un contenido proteínico inferior al reportado por la literatura. Del trabajo (8), se puede concluir que el punto isoelectrico no se modifica por la operación de filtración o por las variaciones de temperatura. Altos contenidos proteínicos muestran bajos valores del pH para el punto isoelectrico.

3. CONCENTRACION DE LAS PROTEINAS DEL LACTOSUERO CON CARBOXIMETILCELULOSA DE SODIO (CMC)

Para el beneficio industrial, el lactosuero líquido es sometido a operaciones físicas o químicas; en la composición y características del producto que se obtiene influye el tipo de operación empleada; el rendimiento del proceso depende de la adecuada selección de los parámetros.

No son recientes los esfuerzos a nivel internacional, pero han sido pocos a nivel nacional, para buscar procesos que permitan utilizar el subproducto lactosuero líquido de queserías.

Como lo cita Morr (24), a partir del lactosuero de quesería se pueden obtener productos como: suero integral en polvo, lactosa, concentrados proteínicos, etc.

Alvarez (2), indica que el mercado de la lactosa y el suero integral en polvo tiende a estancarse, en tanto que el de los concentrados proteínicos tiende a aumentar.

Los concentrados proteínicos/ se pueden obtener por métodos como: la precipitación térmica, los procesos de membrana, y por la formación de complejos con polielectrólitos.

Los concentrados proteínicos serosos que se obtienen por formación de complejos con polielectrólitos, conservan las propiedades nutricionales de las proteínas, y las características de solubilidad y espumamiento, es decir, como no se trabaja a altas temperaturas no se presenta desnaturalización.

Entre los polielectrolíticos que se pueden utilizar para formar concentrados proteínicos con el lactosuero están: los ferripolifosfatos, el ácido poliacrílico, el hexametáfosfato de sodio, el cloruro férrico, la carboximetilcelulosa de sodio (CMC).

Mathur (22), indica que la diferencia fundamental en los concentrados proteínicos, con diversos polielectrolíticos, está en el contenido de cenizas; la tabla 3 muestra el contenido en cenizas de los concentrados proteínicos con diferentes polielectrólitos.

TABLA 3. Porcentaje de cenizas en los complejos formados entre los polielectrólitos y las proteínas del lactosuero dulce de quesería.

Complejo	Ceniza
CMC-proteína	1,7%
Ferripolifosfatos-proteína	28,4%
Acido poliacrílico-proteína	12,9%
Hexametafosfato de sodio-proteína	12,8%
Cloruro férrico-proteína	18,3%

3.1 EL CONCENTRADO PROTEINICO DEL LACTOSUERO CON CMC

Los estudios realizados por Hansen, Hidalgo y Gould (9), Hidalgo y Hansen (10,11,12), Hill y Zadow (13,14,15), sobre los factores que influyen en la formación del complejo CMC-proteína, indican que se debe ejercer control sobre el pH de precipitación, la fuerza iónica y la cantidad de CMC que se emplee. Según los estudios realizados por Alvarez (2), el efecto de la temperatura puede considerarse despreciable. Hill y Zadow (13,14,15) y Hansen e Hidalgo (9), concluyen que el pH de precipitación debe estar por debajo al correspondiente en su punto isoeléctrico.

Algo más del 90% de la proteína es recuperada con este método, si se utiliza CMC con un grado de sustitución igual a 1,68, según cita de Hill y Zadow (15), siempre y cuando exista un adecuado control de los factores que se han dado antes. Morr (24), muestra en la composición de

un concentrado proteínico con CMC, 50% de proteína y 20% de lactosa.

3.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PRECIPITACION DE LAS PROTEINAS DEL LACTOSUERO CON CMC.

3.2.1 El pH. Modificar el pH por encima o por debajo del punto isoeléctrico, indica variar la carga de la proteína; así, cuando el pH está por debajo del punto isoeléctrico, la proteína está cargada positivamente.

La CMC es un polielectrolito aniónico parcialmente ionizado; podría entonces, a pH por debajo del punto isoeléctrico, precipitar las proteínas del lactosuero. La precipitación, con un pH superior al del punto isoeléctrico es posible, pero utilizando polielectrolitos catiónicos.

La literatura recomienda, cuando el pH del punto isoeléctrico es 4,5, utilizar en la precipitación de las proteínas con CMC un medio ácido a 3,2 de pH.

3.2.2 Fuerza iónica. El número de unidades carboximéticas introducidas a cada grupo glucosídico, llamado grado de sustitución de la CMC, es un factor importante en la formación de los complejos proteínicos. La CMC con un grado de sustitución mayor que la unidad, podría ser adicionada en forma sólida al suero en la concentración adecuada; la CMC con grado de sustitución menor que la unidad, es necesario diluirla antes de adicionarla al suero, para disminuir la fuerza iónica.

Según Hidalgo y Hansen (10), si la CMC tiene un grado de sustitución menor que la unidad, la formación del complejo proteína-CMC es difícil si la fuerza iónica es mayor de 0,1. Hill y Zadow (14), consideran que para CMC con grados de sustitución menores de la unidad, se debe mantener una fuerza iónica inferior a 0,1 para conseguir precipitación de la proteína. Se puede concluir de la literatura, que la interacción de las proteínas del lactosuero y la CMC es más fuerte a bajos valores de la fuerza iónica, si la CMC tiene grados de sustitución menores de 1.

3.2.3 Cantidad de CMC a emplear. Los grupos catiónicos de las proteínas del lactosuero, cuando el medio está en el pH adecuado, deben ser precipitados con los grupos aniónicos de la CMC, como lo dicen Hansen e Hidalgo (9); si la cantidad de CMC no es suficiente, la precipitación no es completa; tampoco debe adicionarse la CMC en exceso; según lo indican Hidalgo y Hansen (11), si el número de grupos aniónicos de la CMC es superior al de grupos catiónicos de las proteínas, se presenta la resolubilización del complejo proteína-CMC que se ha formado.

3.3 PARAMETROS SELECCIONADOS Y CARACTERISTICAS DEL PROCESO DE CONCENTRACION DE PROTEINAS DEL LACTOSUERO CON CMC

Se utilizará lactosuero de quesería de la Planta de Leches de la Universidad Nacional, Seccional Medellín, y CMC producida por la compañía Química AMTEX de Medellín.

Gallego y Cuenca (8), en su trabajo con sueros de la Universidad Nacional, cuyo contenido proteínico está entre 0,58% y 0,80%, encuentran que la acidez del medio, para la precipitación debe estar en un rango de pH de 3,0 a 3,5; concluyen que, un pH de 3,2 es el efectivo para esta materia prima. Coinciden con los datos de Hill y Zadow (14) en el valor del pH de precipitación, aunque tienen diferencias con el valor en el punto isoelectrico.

Gallego y Cuenca (8), consideran adecuado trabajar con sueros sin someterlos a la filtración, ya que se evita una operación que es costosa, y en nada se afecta la precipitación de las proteínas.

La empresa química AMTEX de la ciudad de Medellín produce CMC; ofrece para el sector de alimentos ocho tipos de productos, cuya diferencia fundamental es la viscosidad; Alvarez (2), concluye al utilizar sueros de la Planta de Leches de la Universidad Nacional, Seccional Medellín, que de los productos disponibles en química AMTEX, es la CMC tipo FE 30 FGH la adecuada para la mayor recuperación de proteínas.

Según las conclusiones de (8), se puede decir que para el intervalo proteínico que presenta el suero de la Planta de Leches de la Universidad Nacional, la CMC FE 30 FGH deberá ser utilizada en una concentración de 2,0 g/l. Las soluciones pueden ser preparadas con agua fría, o caliente a temperaturas por debajo de 60°C para evitar la despolimerización; el trabajo (8), dice que con un adecuado almacenamiento, estas soluciones de CMC, pueden utilizarse hasta siete días después de preparadas.

Como la CMC utilizada tiene un grado de sustitución menor que la unidad, la adición de la solución al suero debe ser en una relación de volumen 1:1, para disminuir la fuerza iónica a valores por debajo de 0,1. La adición de la solución de CMC al lactosuero, se hace a temperatura ambiente.

Por ser la CMC, tipo PE 30 FGH seleccionada de la mayor viscosidad, se puede pensar que el complejo CMC-proteína puede tener aplicación de espesante, además de su valor como nutriente.

El ajuste del pH para la precipitación, se hace con HCl; el análisis de la proteína en la materia prima y el producto, se efectúa por el método micro Kjeldhal.

Con los parámetros seleccionados, se puede esperar que la recuperación, con sueros de bajo o alto contenido proteínico, sea la mayor.

El porcentaje de proteína recuperada, y la presente en el complejo, dependen de la cantidad de proteína en el suero a utilizar.

El proceso de concentración de proteínas con CMC puede representarse como lo muestra la figura 1.

3.4 DESARROLLO DE LAS OPERACIONES PARA FORMAR EL COMPLEJO PROTEINA-CMC.

Las conclusiones de Gallego y Cuenca (8), indican que para que este tipo de proceso sea industrializado, debe pensarse en procesar volúmenes mayores a 70 m³/d; esto implica la presencia de una serie de operaciones

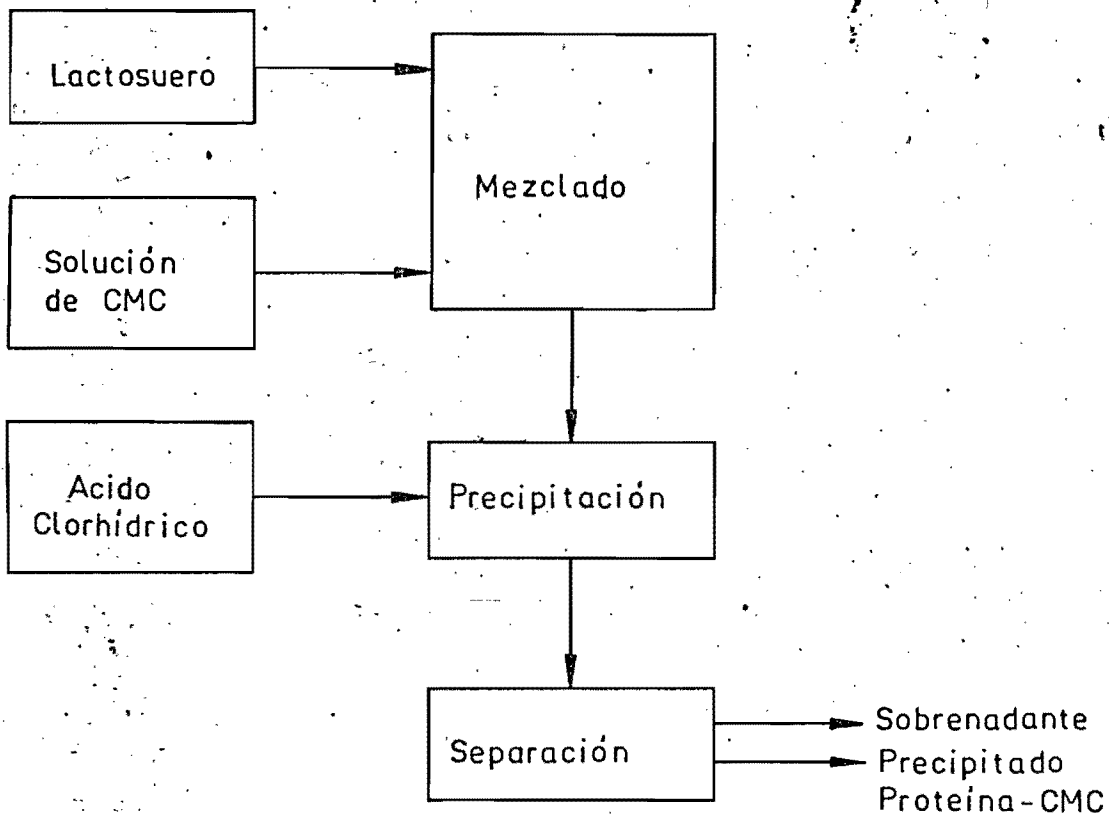


FIGURA 1. Diagrama de bloques del proceso de concentración de proteínas del Lactosuero con CMC.

adicionales como recepción, almacenamiento y pretratamiento.

3.4.1 Recepción. La composición del lactosuero favorece el crecimiento de microorganismos; por lo anterior, la aparición de la oxidación o enranciamiento, la fermentación y la variación del pH, son algunas de las consecuencias que se tienen en el lactosuero cuando no se procesa inmediatamente a su obtención, o cuando no es tratado cuidadosamente si se requiere almacenar, aún por algunas horas, antes de su tratamiento.

El transporte del lactosuero, desde el centro de recolección, hasta la planta procesadora, debe hacerse en carro-tanque refrigerado y en buenas condiciones de higiene. Para aceptar en la planta el lactosuero líquido como materia prima se debe hacer un análisis microbiológico.

Madrid (20), indica que el lactosuero debe someterse a las siguientes etapas después de su obtención si se pretende almacenar para su tratamiento: separación de finos y partículas de caseína aún presentes, separación de grasa, enfriamiento a 4°C si sólo se pretende almacenar por 24 horas, para más tiempo de almacenaje se debe pasteurizar o se le deben adicionar preservativos. Los preservativos pueden ser de tipo antiséptico o antioxidante, pero deben utilizarse en concentraciones atóxicas porque el producto será utilizado como fuente nutritiva.

Según Gallego y Cuenca (8), cuando las condiciones de almacenamiento son mayores a 36 horas, se requiere de filtración; las prácticas realizadas con sueros de la

Universidad Nacional, Seccional Medellín, mostraron que para almacenar por un periodo no mayor a 24 horas, la filtración no es necesaria. Son pocas las partículas de caseína que se retienen en la filtración; sólo se encontraron variaciones de densidad de 1,030 g/ml a 1,029 g/ml para suero sin filtrar y filtrado respectivamente; no se encontraron además efectos sobre la precipitación de las proteínas, por no efectuar la operación de filtración.

3.4.2 Enfriamiento. Siguiendo las recomendaciones dadas por Madrid (21), antes de almacenar el suero se debe enfriar. El lactosuero líquido que se acepta en la planta debe someterse a enfriamiento, para garantizar que en un periodo de 24 horas se mantenga a temperaturas no superiores a 4°C; esas son las condiciones adecuadas según los trabajos de Gallego y Cuenca (8).

3.4.3 Almacenamiento. El Instituto de Productos del Suero, citado por Thunell (28), recomienda mantener el suero a 7°C o menos, si se utiliza dos horas después de que se obtiene.

El peróxido de hidrógeno es el preservativo más utilizado para periodos cortos; Jaramillo (17) cita a Jsewresy y Porges, quienes utilizaron peróxido de hidrógeno en concentraciones de 0,2% en peso para mantener el lactosuero durante 10 días; Luck (19), indica que el uso del peróxido de hidrógeno no está permitido en la mayoría de los países; el peróxido de hidrógeno, es más un desinfectante que un preservativo, que mata los microorganismos si se emplea en la concentración adecua-

da, pero su acción no es duradera y se puede descomponer relativamente rápido.

Las experiencias de Gallego y Cuenca (8), de almacenamiento con sueros de la Planta de Leches de la Universidad Nacional, Seccional Medellín, indican que el lactosuero líquido sin filtrar puede almacenarse a temperaturas de 4°C, pero debe ser procesado antes de 24 horas; si el tiempo de procesamiento está entre el segundo y quinto día, el almacenamiento se puede hacer sin usar preservativo pero debe enfriarse, filtrado, y naturalmente mantenerse refrigerado máximo a 4°C.

3.4.4 Preparación de las soluciones de CMC. Los fabricantes de CMC recomiendan que siempre que se pretenda formar soluciones con ésta, se debe proceder primero que todo a dispersarla para evitar la formación de grumos.

Las soluciones de CMC, tipo PE 30 FGH que se selecciono, se pueden preparar en frío o caliente, en un medio agitado. La formación de la solución en frío es mucho más lenta que en caliente; si la solución se prepara en caliente, antes de la próxima etapa debe enfriarse, pues en la precipitación de proteínas, aunque no tiene un fuerte efecto la temperatura, son preferibles las temperaturas no altas.

Para el desarrollo del proceso en el laboratorio, Gallego y Cuenca (8), preparan la solución de CMC en la concentración de 2 g/l en frío, empleando un agitador magnético a una velocidad 30% por debajo de la máxima.

Esta solución de CMC tipo PE 30 FGH presento una viscosidad de 50 cp a 23°C, medida con un viscosímetro Broffield.

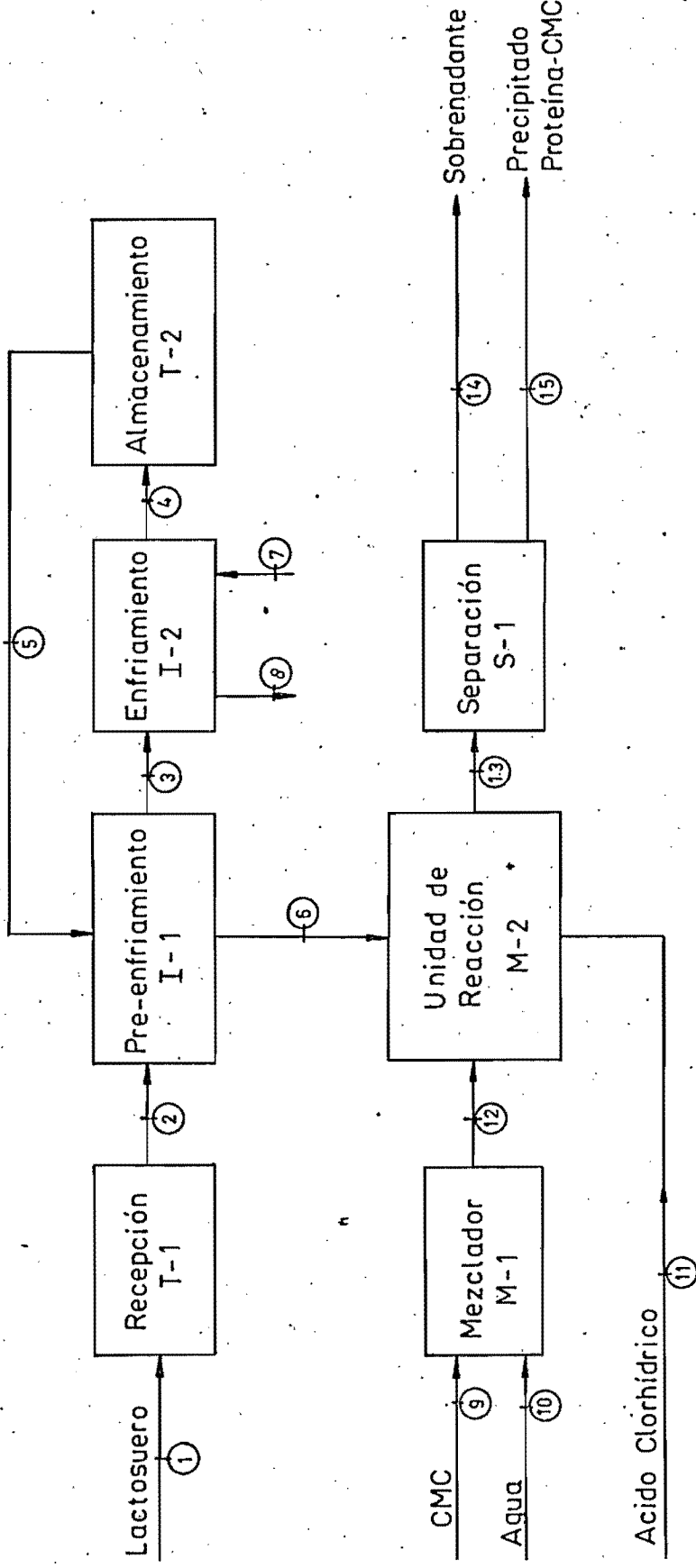
3.4.5 Mezclado del lactosuero y la solución de CMC. Antes de proceder a efectuar la mezcla, el lactosuero que está almacenado a temperatura de 4°C es calentado; como la temperatura no influye en la precipitación de las proteínas, el lactosuero frío se puede aprovechar como medio refrigerante en el preenfriamiento del que se va a almacenar.

Para efectuar las operaciones de mezclado del lactosuero y la solución de CMC, se siguen las indicaciones de Hidalgo y Hansen (10), y de Alvarez (2); a un volumen determinado de lactosuero líquido de quesería, se le adiciona un volumen igual de la solución de CMC preparada. La mezcla se hace en un medio agitado para garantizar un mejor contacto entre las partes reaccionantes.

3.4.6 Acondicionamiento del pH de la mezcla de lactosuero y la solución de CMC. Como se dijo antes, si se pretende recuperar la mayor cantidad de proteína, el pH debe ser ajustado a 3,2, que es el valor que se ha determinado como adecuado. Para ajustar el pH de la mezcla reaccionante se utiliza HCl. Al adicionar el HCl se mantiene la baja velocidad de agitación, para evitar que se destruyan los flóculos que se han formado del complejo proteína-CMC; la agitación también se hace con el fin de homogenizar la acidez del medio. La mezcla de las corrientes de lactosuero, HCl y solución de CMC se puede hacer en la misma unidad de reacción.

3.4.7 Separación del complejo proteína-CMC precipitado. Después que el complejo CMC-proteína se ha precipitado, la separación se puede hacer por decantación; la operación en esta forma tiene una eficiencia bastante baja, porque no se logra una precipitación completa de muchas pequeñas partículas que se pierden en el nadante desecado; y la humedad que retiene el precipitado separado es alta. En los trabajos de Barco (3), y de Gallego y Cuenca (8), la separación en el laboratorio se hace empleando la centrifugación a $2,5 \times 1000$ g, durante 20 minutos.

En la figura 2, se presentan mediante un diagrama de bloques, las diferentes operaciones en la planta para la formación de concentrados proteínicos con CMC.



- ① Suero entero fresco.
- ④ Suero entero frío para almacenar.
- ⑥ Suero entero para someter a precipitación.
- ⑦ Salmuera de NaCl para enfriar.
- ⑨ CMC comercial en polvo.
- ⑩ Agua para formar solución con la CMC.
- ⑪ Acido clorhídrico.
- ⑫ Solución de CMC.
- ⑬ Sobrenadante.
- ⑭ Concentrado proteínico húmedo precipitado.
- ⑮ Precipitado Proteína-CMC

FIGURA 2. Diagrama de bloques de la planta de concentración de proteínas del Lactosuero con CMC.

4. LA PLANTA PARA CONCENTRAR PROTEINAS DEL LACTOSUERO CON CMC

En el capítulo se presentan los balances de masa y energía, y una breve descripción de los equipos.

Los textos de Vilbrandt y Peters (29,26), relacionados con el diseño y estudio económico de plantas, son la base para este capítulo y el siguiente.

El diseño en ingeniería química está orientado a los procesos, equipos y plantas, que manufacturen un producto para satisfacer las necesidades de unos clientes. Para el desarrollo de un diseño se debe estar en capacidad de calcular las cantidades y rendimientos de unos materiales que se encuentran en proceso; esto exige aplicar conocimientos relacionados con balance de masa, energía, transferencia de calor, flujo de fluidos, operaciones de separación, condiciones de equilibrio y reactividad de los sistemas. En el diseño completo, se deben tener en cuenta además, los espacios requeridos, la selección y especificación de los equipos necesarios, la localización de la planta, la futura expansión, los riesgos de explosión y de incendio, los perjuicios por contaminación

química o térmica, la disponibilidad de mano de obra y de vapor y potencia. Este trabajo no se ocupará de un diseño completo, sino de un análisis de prefactibilidad, por lo tanto, sólo se tiene en cuenta lo mínimo para cumplir el análisis propuesto.

El trabajo que presentan Gallego y Cuenca (8), que analiza una planta de concentración de proteínas con CMC de 70 m³/día, sirve de base para los cálculos que se requieren en el presente trabajo.

4.1 CAPACIDAD DE LA PLANTA.

Es uno de los aspectos que se deben tener en cuenta cuando se van a seleccionar los equipos que hacen parte de una planta en donde se va a efectuar un proceso.

Se plantean diferentes capacidades de procesamiento para la planta de concentración de proteínas del lactosuero dulce de quesería con CMC, basados en la disponibilidad de materia prima.

De acuerdo a los estudios realizados por Idárraga (16), en Antioquia hay una disponibilidad aproximada de 100'000.000 kg/año de suero dulce de quesería, descontando el que procesa PROLECHE en su planta de suero integral en polvo; quiere decir esto, que se dispone de 270 m³/día. Como mucha parte de este lactosuero proviene de pequeñas queseras, se deberán crear centros de recolección, en donde se almacene en buenas condiciones, para luego llevarlos a la planta de procesamiento.

El trabajo, que es una ampliación del proyecto de Gallego y Cuenca (8), asume una ubicación en la ciudad de Medellín, y plantea procesar el suero disponible en las queseras del departamento de Antioquia. Se considera que la planta operará 16 h/d, en dos turnos durante 365 días al año; los equipos estarán trabajando en forma continua 10 h/d, quedando 6 h/d para mantenimiento, limpieza y montaje.

Las capacidades a estudiar, están en el rango de 70 - 270 m³ de lactosuero por día. La tabla 4 indica las capacidades diarias de procesamiento, y sus correspondientes ratas másicas y volumétricas por hora.

TABLA 4 Capacidades de las plantas de procesamiento de lactosuero a estudiar.

m ³ suero	kg suero	lt. suero	kg suero
día	día	hora	hora
70	72.100	7.000	7.200
90	92.700	9.000	9.270
110	113.300	11.000	11.330
130	133.900	13.000	13.390
150	154.500	15.000	15.450
170	175.100	17.000	17.510
190	195.700	19.000	19.570
210	216.300	21.000	21.630
230	236.900	23.000	23.690
250	257.500	25.000	25.750
270	278.100	27.000	27.810

El estudio será realizado, partiendo de una capacidad mínima que satisface las necesidades de concentrado según los estudios de Idarraga (16), hasta una capacidad máxima que procesa todo el suero disponible, pero que crearía la necesidad de abrir nuevos mercados de concentrado proteínico.

4.2 BALANCES DE MASA Y ENERGIA TERMICA.

4.2.1 Balances de masa en la formación del concentrado proteína-CMC, utilizando como materia prima el lactosuero de la Planta de Leches de la Universidad Nacional, Seccional de Medellín. El balance de masa en la concentración de proteínas del lactosuero con CMC, según la figura 2, se llevará a cabo para cada una de las capacidades que se han presentado en la tabla 4. Todos los datos sobre composición y densidades que se enuncian, son tomados del trabajo (8) que se realiza con el lactosuero de la Planta de Leches de la Universidad Nacional, Seccional Medellín; es decir, se asume que toda la materia prima, tiene la composición que se expone en ese trabajo (8), y que es presentada en la tabla 5.

TABLA 5 Composición del lactosuero sin filtrar que sirve como materia prima.

Componente	Porcentaje
Proteína	0,6714%
Lactosa	4,7475%
Grasa y ceniza	0,9432%
Agua	93,6379%

Se emplea como polielectrolito, carboximetilcelulosa de sodio tipo PE 30 FBH producida por la empresa química AMTEX en Medellín, con una pureza del 85%, el 15% restante es ceniza; la solución de CMC de 2 g/l, presenta una densidad de 0,9913 kg/l. Se utiliza HCl 1,28 N, para provocar la precipitación a un pH de 3,2.

El concentrado que se obtiene, presenta la composición que se describe en la tabla 6.

TABLA 6 Composición del complejo proteína-CMC húmedo que se obtiene.

Componente	Porcentaje
Proteína	8,8682%
Lactosa	7,0586%
CMC	3,7587%
Grasa y ceniza	1,2024%
Agua	79,1121%

Se considera una recuperación de proteína del 58%. En los balances que se presentan, se asume que las cenizas que aparecen en los productos provienen solamente del lactosuero y del polielectrolito.

En la figura 3 se resume, tomanado como base la figura 2, el balance de masa para una planta que procesa 1000 litros de lactosuero.

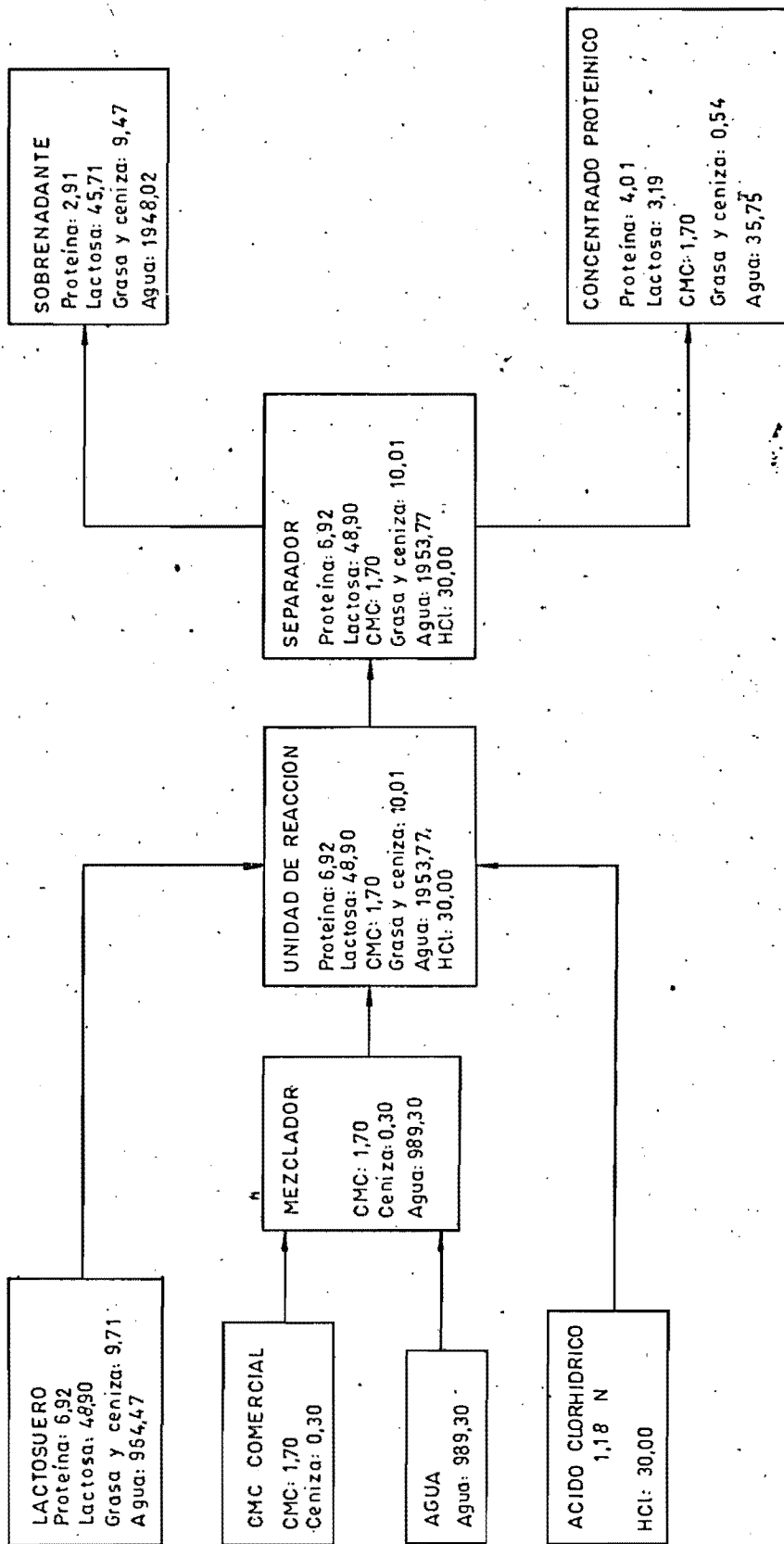


FIGURA 3. Diagrama de flujo para el balance de materiales de una planta que procesa 1.000 litros de Lactosuero. Todos los valores son dados en Kilogramos.

Con ayuda de la figura 3, es posible obtener la cantidad de cada una de las corrientes en cualesquiera de las capacidades que se han propuesto. Así por ejemplo, si se requiere encontrar la cantidad de proteína en el concentrado en una hora para la planta que procesa 90 m³ al día (9000 l/hr), sólo basta con efectuar la siguiente operación: $4,01 * 9$; para esta misma planta, el consumo de agua en una hora será: $989,3 * 9$; empleando el factor apropiado, se pueden encontrar las cantidades por día, o por año. Un resumen de los balances totales entre materias primas y productos para las once plantas propuestas se presenta en la tabla 7.

4.2.2 Balance de energía térmica en la formación del concentrado proteína-CMC para el proceso que se ha propuesto. El balance de energía térmica para el proceso que se ha propuesto en la concentración de proteínas del lactosuero con CMC, se llevará a cabo para cada una de las once capacidades que se han presentado; la figura 2 sirve de guía para este caso.

Para estos balances de energía se tiene en cuenta:

- La etapa de preenfriamiento, será dada en el intercambiador, o grupo de intercambiadores, denotados en la figura 2 como i-1. La etapa de enfriamiento en i-2.
- El lactosuero tiene una capacidad calorífica igual a la del agua, $C = 4,18 \frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C}$
- En la etapa de preenfriamiento, la corriente refrigerante es lactosuero que viene del almacenamiento

TABLA 7. Resumen de los balances de material para las plantas propuestas en la concentración de proteínas del lactosuero con CMC. Todas las cantidades aparecen en kg/h.

Lactosuero	Materias primas				Productos	
	CMC-comercial	Agua	HCl (1,28 N)	Concentrado proteínico	Sobrenadante	
7.210,0	14,0	6.925,1	210,0	316,3	14.042,8	
9.270,0	18,0	8.903,7	270,0	406,7	18.055,0	
11.330,0	22,0	10.882,3	330,0	497,1	22.067,2	
13.390,0	26,0	12.860,9	390,0	587,5	26.079,4	
15.450,0	30,0	14.839,5	450,0	677,9	30.091,6	
17.510,0	34,0	16.818,1	510,0	768,2	34.103,9	
19.570,0	38,0	18.796,7	570,0	858,6	38.116,1	
21.630,0	42,0	20.775,3	630,0	949,0	42.128,3	
23.690,0	46,0	22.753,9	690,0	1.039,4	50.152,7	
25.750,0	50,0	24.732,5	750,0	1.129,8	50.152,7	
27.810,0	54,0	26.711,1	810,0	1.220,1	54.165,0	

a 4 °C; esta corriente puede intercambiar energía hasta llegar a 19°C, que es la temperatura a la cual se efectúa la mezcla con la disolución de CMC.

- Se considera, que la corriente que se va a refrigerar en la etapa de preenfriamiento tiene las condiciones más extremas a la entrada de 25 °C.
- En la etapa de enfriamiento, la corriente que sirve de refrigerante es una solución de cloruro de sodio al 12 %.
- En la etapa de preenfriamiento, las dos corrientes circulan a igual rata másica.

En la tabla 8, se presenta una identificación de las corrientes involucradas, enumeradas como en la figura 2.

TABLA 8. Identificación de las corrientes involucradas en los balances de energía térmica para la concentración de proteínas del lactosuero con CMC según la figura 2.

Intercambiador	Corriente		Temperatura °C
	Entrada	Salida	
I-1	2		25
		3	10
	5		4
		6	19
I-2	3		10
		4	2
	7		-2
		8	4

- En la etapa de preenfriamiento, los $\frac{k}{h}$ que se deben transferir entre las corrientes esta dado por la ecuación $Q = 65,5810 * V$, en donde V es la rata volumétrica, en l/h, del lactosuero que circula.
- Para la etapa de enfriamiento, la energía que debe retirar el fluido refrigerante en kJ/h esta dado por la ecuación $Q = 34,4432 * V$, en donde V es la rata volumétrica, en l/h, de lactosuero que circula.
- En este arreglo, los costos energéticos estarán centrados en el retiro de calor del intercambiador 1-2 mediante la solución de cloruro de sodio.
- Las dos ecuaciones anteriores, permiten calcular las cantidades de energía transferidas en cada intercambio para las plantas que se han propuesto.

En la tabla 9 aparece un resumen de los balances de energía térmica para cada una de las once plantas.

TABLA 9. Energía térmica que se transfiere durante el proceso de precipitación de proteínas del suero con CMC para cada una de las capacidades de planta que se han propuesto.

Capacidad de planta l/h	Preenfriamiento Intercambiador I-1 KJ/h		Enfriamiento Intercambiador I-2 KJ/h	
	7000	459067,0		241102,4
9000	590229,0		309988,8	
11000	721391,0		378875,2	
13000	852553,0		447761,6	
15000	983715,0		516648,0	
17000	1114877,0		585534,4	
19000	1246039,0		654420,8	
21000	1377201,0		723307,2	
23000	1508363,0		792193,6	
25000	1639525,0		861080,0	
27000	1770687,0		929966,4	

4.3 EQUIPOS NECESARIOS PARA LA PLANTA DE CONCENTRACION DE PROTEINAS DEL LACTOSUERO CON CMC, SEGUN EL PROCESO QUE SE HA PROPUESTO.

Quando se trata de seleccionar los equipos necesarios para efectuar un proceso, se debe disponer de la información suficiente de las sustancias que se pretenden manipular, como: estado, temperatura, corrosividad, higiene necesaria. Los equipos deben ser seleccionados para que den la producción más eficiente con un mínimo de manipulación de materiales en el proceso. El diseño debe hacer provisiones para almacenaje y expansión futura en

el arreglo original sin perturbar el trabajo: se debe pensar en la presencia de las condiciones de operación más favorables y económicas, para cada equipo con respecto a todas las variables. Para la selección de los equipos se recurre a la información de textos y revistas especializadas; en últimas, la selección se hace combinando los aspectos técnicos y de costos.

Siendo el lactosuero una materia prima corrosiva, y un producto lácteo que requiere buena higiene, se recomienda que los materiales de los equipos sean de acero inoxidable 304. En el trabajo (8) se presenta el cálculo de los equipos para una planta de 70 m³ de suero/día; este modelo se puede seguir para las demás capacidades.

4.3.1 Equipo para la recepción del lactosuero. El lactosuero que es aceptado en la planta como materia prima, debe depositarse en los tanques de recepción; éstos son de acero inoxidable 304 y no requieren ser aislados. Según (8), la planta de concentración de proteínas con CMC, tiene tanques de recepción cilíndricos, con una relación $L = 2.9D$, y con tapa. Los tanques cilíndricos tienen la ventaja de su fácil construcción, bajo costo y comodidad para la limpieza. Estos tanques pueden ubicarse en forma horizontal o vertical; los horizontales ocupan poco espacio, y los verticales requieren de fuerte anclaje. Los tanques de recepción están denotados en la figura 2 como I-1.

4.3.2 Equipo para el enfriamiento de la materia prima. Como el lactosuero que se recibe en la planta no se procesa inmediatamente, se debe enfriar para someterlo al almacenamiento.

En la figura 2 aparecen dos intercambiadores; el 1-1 para preenfriamiento, el segundo, 1-2, para enfriamiento. El trabajo de Gallego y Cuenca (8), indica la selección y diseño de éstos para una capacidad de planta de 70 m³/d; los intercambiadores de placas son los adecuados en este tipo de plantas; estos intercambiadores tienen la ventaja de ser fáciles de construir, tener buena transferencia de calor y poder variarseles el área de transferencia adicionando o retirando placas. El material para la fabricación de los intercambiadores es acero inoxidable 304.

4.3.3 Equipo para almacenamiento refrigerado de lactosuero. En la figura 2 se identifica como T-2. El cálculo del número de tanques y sus dimensiones, para la capacidad de planta de 70 m³/d está detallado en el trabajo (8). Como el suero se almacena por menos de 24 horas, la temperatura de almacenaje debe ser inferior a 4 °C. Los tanques son cilindricos, con tapa, de acero inoxidable 304, pueden ser colocados en forma horizontal o vertical, y deben ser aislados. La temperatura de entrada al almacenamiento, cuando el tanque es aislado en lana, es de 2 °C; la relación $L = 2,9D$, se seguirá como lo recomienda el trabajo citado.

4.3.4 Equipo para la preparación de la solución de CMC. Están denotados en el diagrama de bloques de la figura 2 como M-1. Gallego y Cuenca (8) detallan los cálculos del número de tanques, las dimensiones y el consumo de potencia para una capacidad de 70 m³/d; recomiendan, y es lo empleado para las diferentes capacidades, una relación $L = 2,9D$; son construidos en acero inoxidable 304, sin aislamiento, con agitador de turbina de palas planas.

4.3.5 Equipo para la mezcla del lactosuero con la CMC y el ácido. En el diagrama de bloques de la figura 2 se identifica como M-2. El suero, la solución de CMC y el ácido deben ser bombeados simultáneamente a la unidad de reacción, a las ratas másicas adecuadas para lograr las condiciones de operación seleccionadas. El material de construcción es acero inoxidable 304; no requiere ser aislado. En el trabajo de (8), se presenta el cálculo y las dimensiones para la planta que procesa 70 m³/día; siguiendo el modelo y sugerencias de ese trabajo, se pueden hacer los cálculos para las otras capacidades de la planta; lo importante es que la longitud y el diámetro sean los adecuados para el tiempo de reacción y la velocidad de agitación.

4.3.6 Separación del complejo proteína-CMC. La precipitación del complejo proteína-CMC puede, después de una hora de reposo, ocurrir por gravedad; si la separación se hace por decantación, la recuperación es muy baja y de humedad muy alta. Por lo anterior, la operación de separación se hace por centrifugación. En el diagrama de bloques de la figura 2 aparece identificada como C-1. La referencia que se ha citado (8), muestra la selección para una planta que procesa 70 m³/d; su modelo es el que se puede emplear para las demás capacidades. El material es acero inoxidable 304; tiene descarga por válvulas tipo centrífugo de discos y es de flujo continuo.

4.3.7 Bombas. La selección adecuada de las bombas, es un aspecto fundamental en la selección de los equipos para una planta. De acuerdo con el diagrama de bloques de la figura 2, la planta requiere de cinco puntos de bombeo, que se pueden identificar así: 1) Entre el tanque

de recepción y el de almacenamiento pasando el lactosuero por los intercambiadores de calor; 2) Entre el tanque de almacenamiento de lactosuero y la unidad de reacción; 3) Para pasar solución de CMC a la unidad de reacción; 4) Para la dosificación del ácido clorhídrico a la unidad de reacción; 5) por último, la que pasa de la unidad de reacción a la centrífuga.

Un modelo de cálculo de las bombas, en una planta de 70 m³/d es presentado por Gallego y Cuenca (8); este trabajo se puede seguir para calcular las bombas con las demás capacidades que se proponen para el estudio.

5. ANALISIS ECONOMICO DE PREFACTIBILIDAD

El principal factor para que la dirección de una compañía acepte comercializar un nuevo producto o permita modificar o expandir una línea de proceso, es el económico.

Antes de invertir un capital en un proyecto o empresa, es necesario conocer cuantas ganancias se pueden obtener. La determinación de las ganancias de una inversión de capital, es la meta de todo análisis económico; así, se decide el cómo, o en qué invertir.

El ingeniero químico puede desarrollar costos, rápidos o detallados, de cada una de las unidades de operación o de toda una planta, incluyendo los costos de la materia prima. Una evaluación corta, se hace como base para justificar los desembolsos de un proyecto; se requiere de información exacta, cuando se trata de la decisión final para comercializar el proceso; entre esos dos extremos, existen varios grados de análisis económico, pero en todos siempre se encuentran involucrados los costos.

El ingeniero químico puede estar en capacidad de dar un estimativo de costos, basado en un diseño preliminar de

planta para manufacturar un producto; en este caso, estimar las ganancias es hacer un estudio de prefactibilidad. Se puede decir, que la prefactibilidad es el comun denominador para todas las actividades comerciales.

Si el análisis económico de una compañía es adecuado, la relación entre las entradas y las salidas para beneficiar un producto es determinada.

El análisis de prefactibilidad es el fallo final para decidir si un proyecto se puede considerar para ser financiado.

Cada compañía y cada analista, tienen uno o varios caminos para determinar mediante el análisis económico, la mejor prefactibilidad; el método más comun para el análisis económico es el de la rata de retorno de la inversión de capital, que se expresa ordinariamente en la base de porcentaje anual.

A las entradas por ventas, se les resta el costo total del producto, para obtener las ganancias; si a las ganancias brutas se les restan los impuestos sobre las ventas, se obtienen las ganancias netas; estas ultimas, se pueden relacionar con la inversión de capital para determinar la atracción de la aventura. Si las ganancias netas, se dividen por la inversión total de capital, se obtiene el retorno de la inversión despues de impuesto referido a la inversión total de capital; ésta se expresa ordinariamente en la base de porcentaje anual.

La respuesta a la pregunta: cuál será el retorno de la inversión?, indicará si es o no adecuada la inversión.

Las conclusiones manejadas en forma adecuada, permiten comparar las diferentes alternativas de inversión, para finalmente decidir que prefactibilidad es la mejor.

Para el análisis económico que se propone, se tienen en cuenta las consideraciones impuestas en (8) y las siguientes:

- Se considera como impuesto sobre las ventas, el 31% de las ganancias brutas.
- Para determinar el costo de los equipos, se toma como base el costo encontrado por Gallego y Cuenca (8) para una planta que tiene una capacidad de 70 m³/d en 1988
- El costo de los equipos en 1988, es actualizado a junio de 1989 utilizando los índices de Marshall, reportados en la revista Chemical Engineering como 864,7.
- No se tiene en cuenta para los datos de materia prima el valor del agua, por representar sólo el 0,1% del costo total de la materia prima.
- El porcentaje anual de retorno atractivo, después de impuesto para la inversión total de capital, se considera en 40 %.

5.1 COSTOS E INVERSIÓN DE CAPITAL

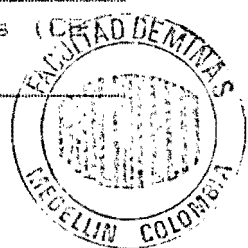
5.1.1 Costos de equipos (CE). En el texto de Peters (26), se presenta una relación entre el costo y la

capacidad de los equipos; con ésta, se pueden determinar estos costos. Se toma como base, el costo actual de los equipos para la planta que procesa 70 m³/d y que se detalla en (8); la actualización a junio de 1989, se hizo con los índices de Marshall, que aparecen en la revista Chemical Engineering.

En la tabla 10 aparecen los costos totales de los equipos para las diferentes capacidades de planta.

TABLA 10. Costo de los equipos para las plantas de concentración de proteínas del lactosuero dulce de quesería con CMC, según la capacidad de procesamiento. Actualizados a junio de 1989.

Capacidad de la planta m ³ de lactosuero / día	Costo total de equipos en junio de 1989
70	56'716.875
90	65'947.597
110	74'385.636
130	82'227.953
150	89'600.044
170	96'587.921
190	103'253.701
210	109'644.044
230	115'795.097
250	121'735.565
270	127,488.711



5.1.2 Costo de la materia prima (MP). La tabla 7. del capítulo 4, nos da la información que se requiere para determinar las cantidades de materia prima en cada una de las plantas que se analizan. Para calcular los costos de las materias primas, para un año de producción se emplean, los datos suministrados por los proveedores y las cantidades que se requieren en cada planta.

El precio del lactosuero se puede fijar en 3,0 \$/l, puesto en la planta; el ácido clorhídrico comercial, cuesta 200 \$/l; la CMC comercial, tipo PE 30 FGH, según química AMTEX tiene un precio de 2.531 \$/kg. Los precios de las materias primas para todas las capacidades a estudiar, se indican en la tabla 11.

5.1.3 Costo de la mano de obra (MO). La determinación se hace de acuerdo al texto de Peters y Timmerhaus (26), empleando la figura 5-8 que cita; se considera en la evaluación las condiciones promedio de esta figura. Para hacer el estimativo, se asume que el salario es 1,5 veces el mínimo; así lo consideran Gallego y Cuenca en su trabajo (8). En la tabla 12 se indican los valores de la mano de obra para cada una de las plantas.

TABLA 11. Costo de la materia prima en la concentración de proteínas del lactosuero dulce con CMC, según la capacidad de procesamiento. Precios a junio de 1989

Capacidad de la planta m ³ lactosuero/día	Precio del Lactosuero \$/año	CMC comercial \$/año	HCL \$/año	Costo Total de la materia prima (MP) \$/año
70	102'200.000	129'334.100	153'300.000	384'834.100
90	131'400.000	166'286.700	197'100.000	494'786.700
110	160'600.000	203'239.300	240'900.000	604'739.300
130	189'800.000	240'191.900	284'700.000	714'691.900
150	219'000.000	277'144.500	328'500.000	824'644.500
170	248'200.000	314'097.100	372'300.000	934'597.100
210	306'600.000	388'002.300	459'900.000	1.154'502.300
230	335'800.000	424'954.900	503'700.000	1.264'454.900
250	365'000.000	461'907.500	547'500.000	1.374'407.500
270	394'200.000	498'860.100	591'300.000	1.484'360.100

TABLA 12 Costo de la mano de obra para las diferentes capacidades de planta en el procesamiento del lactosuero dulce de quesería con CMC.

Capacidad de la planta m ³ de lactosuero / día	Costo de la mano de obra (MC) \$ / año
70	11'530.355
90	12'195.563
110	12'860.775
130	13'304.250
150	13'747.725
170	14'191.200
190	14'634.675
210	15'078.150
230	15'521.625
250	15'743.363
270	15'965.100

5.1.4 Costo de secado del concentrado proteínico (CSS). El concentrado proteínico con un contenido de humedad de 79,1%, representado en el diagrama de bloques de la figura 2 como la corriente 15, es el producto final del proceso al cual se refiere la evaluación del presente trabajo.

Conociendo los precios de venta del concentrado seco, con 6% de humedad, y el costo del secado, para obtener este a partir del concentrado con 79,1% de humedad, es posible determinar el precio de venta para el producto húmedo que se obtiene.

Por 1000 litros de lactosuero que se procesen, se producen 49,19 kilogramos de concentrado húmedo; para obtener el concentrado con 6% de humedad, se deben evaporar 35,18 kilogramos de agua.

Para secar el complejo proteína-CMC se utiliza el spray; así se evitan las altas temperaturas. La consulta con ingenieros de proyectos, permite fijar el precio del secado por spray en 90 \$/kg de agua evaporada.

En la tabla 13 se indican los costos de secado por spray, para cada una de las capacidades de planta que se proponen.

TABLA 13. Costo del secado por spray para pasar el concentrado proteínico del 79,1% al 6% de humedad en las diferentes capacidades de planta.

Capacidad de la planta m ³ de lactosuero / día	Costo del secado (CSS) \$/h
70	22.167
90	28.494
110	34.830
130	41.157
150	47.493
170	53.820
190	60.156
210	66.483
230	72.819
250	79.155
270	85.482

5.1.5 Inversión de capital, fijo y total. La determinación de éstas, permitirá más adelante fijar el porcentaje anual de retorno con respecto a una de ellas.

La utilización del texto de Peters y Timmerhaus (26), sirve de guía para determinar estas cantidades; con los factores de Lang para plantas sólido-líquido y el costo de los equipos, se hace el cálculo. El factor para estimar la inversión de capital fijo (ICF) es de 4,1, y para la inversión total de capital (ICT) es 4,9. La ecuación empleada es,

inversión de capital = factor * costo de equipos.

En la tabla 14, se presentan estas cantidades para cada una de las capacidades de la planta.

TABLA 14. Inversión de capital fijo y total, determinados con los factores de Lang, para las plantas de diferente capacidad que procesan lactosuero dulce de quesería con CMC.

Cap. de la planta m ² lactosuero/día	Inv.de capital fijo (ICF)	Inv.total de capital(ICT)
70	232'359.188	277'912.688
90	270'539.148	323'143.226
110	304'981.108	364'489.617
130	337'134.604	402'916.696
150	367'360.180	439'040.215
170	396'010.476	473'280.813
190	423'340.174	505'934.135
210	449'540.580	537'255.815
230	474'759.898	567'395.986
250	499'115.817	596'504.269
270	522'703.715	624'694.684

5.1.6 Costo total del producto (CTP). La tabla 27 del texto de Peters (26), permite establecer una relación en términos de algunas cantidades que han sido evaluadas, para determinar el costo total del producto en cada una de las once capacidades de planta sometidas a estudio.

Los valores considerados por Gallego y Cuenca (8), en la planta de concentración de proteínas del lactosuero, se acogen para estimar el costo total del producto, en el presente caso, en cualquiera de las capacidades de planta.

Los factores que influyen en el CTP, y sus valores, aparecen indicados en la tabla 15.

TABLA 15. Detalle de los costos de producción (CTP), según recomendación del proyecto de Gallego y Cuenca (8), para la concentración de proteínas del lactosuero dulce de quesería con CMC.

ITEM	Valor considerado
I. Costo de manufactura	
A. Costos directos de producción	
1. Materia prima	100,00% MP
2. Mano de obra	100,00% MO
3. Supervisión	17,50% MO
4. Servicios	15,00% CTP
5. Mantenimiento y reparación	6,00% ICF
6. Suministros	0,75% ICF
7. Cargas de laboratorio	15,00% MO
B. Cargas fijas anuales	
1. Depreciación	10,00% ICF
2. Seguros	0,70% ICF
C. Gastos generales de planta	10,00% CTP
II. Costos generales	
A. Gastos de admón.	4,00% CTP
B. Gastos de mercadeo y distribución	11,00% CTP

La tabla 15, permite obtener la expresión para la determinación del CTP en \$ / año así:

$$CTP = \frac{132,5 MD + 100 MP + 17,45 ICF}{60}$$

Con la ecuación anterior, se obtienen los CTP para cada una de las capacidades consideradas; la tabla 16 presenta estos valores.

TABLA 16. Costo total de producción, en la concentración de proteínas del lactosuero dulce de quesería con CMC, según la capacidad de la planta.

Capacidad de planta m ³ lactosuero/día	Costo total de producción (CTP) \$ / año
70	734'483.170
90	930'258.171
110	1.124'998.384
130	1.318'583.366
150	1.511'607.645
170	1.704'173.780
190	1.896'355.841
210	2.088'209.467
230	2.279'777.759
250	2.470'605.277
270	2.661'209.426

5.2 PRECIO DE VENTA DEL CONCENTRADO PROTEINICO CON 79,1% DE HUMEDAD (PVCH).

De acuerdo con las conclusiones de Gallego y Cuenca (8), con un precio de venta para el concentrado proteínico de 5,96 veces el del suero integral seco, la planta de 70 m³/d no registraría pérdidas.

Se establecerán en forma arbitraria factores entre 5,5 y 6,4 para multiplicar los precios del suero en polvo, y obtener los precios de venta del concentrado húmedo.

La consulta con distribuidores de suero en polvo, permite fijar en \$ 580 el kilogramo de suero en polvo.

La siguiente expresión, del trabajo citado antes, sirve para establecer el precio de venta del concentrado húmedo (PVCH).

$$PVCH = \frac{(FC) (CS) (CSP) - (CSS)}{(CH)}$$

PVCH, es el precio de venta del concentrado húmedo (79,1%) en \$/kg.

CS, es la cantidad de concentrado seco, en kg/h.

CSS, es el costo del secado por spray, en \$/kg.

CSP, es el costo del suero en polvo, en \$/kg.

CH, es la cantidad de concentrado húmedo en kg/h.

FC, es el factor de multiplicación.

En la tabla 17, aparecen los PVCH para los cinco factores considerados.

TABLA 17. Precios de venta del concentrado proteínico con 79,1% de humedad (PVCH), según los factores de multiplicación del suero seco.

Factor de multiplicación del suero seco	PVCH	\$/kg
5,5		639
5,7		665
6,0		703
6,2		729
6,4		755

5.3 GANANCIAS.

Las ganancias brutas (GB), que se obtienen antes de impuesto, son definidas como la diferencia entre las entradas por ventas y las salidas por costos de producción.

Las ganancias, son función de la cantidad de bienes servidos o producidos, de los precios de venta, y también de la eficiencia de la operación. El incremento de las ganancias, se puede dar por el uso de métodos efectivos que reduzcan los gastos de operación.

La tabla 18, presenta las ganancias brutas (GB) para las capacidades de planta y precios de venta que se han considerado

Las ganancias también pueden ser expresadas después de impuestos, y a estas se les llama ganancias netas (GN). Para calcular las ganancias netas, se resta a las

TABLA 18. Ganancias brutas (GB) en \$/año para las diferentes capacidades de planta de concentración de proteínas del lactosuero con CMC y con los precios de venta del concentrado húmedo (PVCH) seleccionados.

Capacidad de la planta de lactosuero/día	GB, en \$/año con PVCH de 639 \$/Kililo	GB, en \$/año con PVCH de 665 \$/Kililo	GB, en \$/año con PVCH de 703 \$/Kililo	GB, en \$/año con PVCH de 729 \$/Kililo	GB, en \$/año con PVCH de 755 \$/Kililo
70	3'239.135	33'256.005	77'126.815	107'143.685	137'160.555
90	18'308.574	56'904.404	113'313.694	151'909.524	190'505.354
110	34'412.801	81'587.591	150'535.361	197'710.151	244'884.941
130	51'672.259	107'426.009	188'912.259	244'666.009	300'419.759
150	69'492.420	133'825.130	227'849.860	292'182.570	356'515.280
170	87'537.490	160'439.670	266'989.010	339'891.190	412'793.370
190	106'199.869	187'681.009	306'768.826	388'249.969	469'731.109
210	125'190.683	215'250.783	346'877.083	436'937.183	526'997.283
230	144'466.831	243'105.891	387'270.671	485'909.731	584'548.791
250	164'483.753	271'701.773	428'405.033	535'623.033	642'841.073
270	184'490.809	300'278.299	469'506.169	585'293.659	701'081.149

ganancias brutas (GB), el impuesto sobre las ventas; se asume como impuesto para las ventas el 31 % de las ganancias brutas, por indicación de economistas dedicados al análisis de inversión. En la tabla 19, aparecen las ganancias netas (GN) para las diferentes capacidades de planta y los precios de venta considerados.

5.4 PORCENTAJE ANUAL DE RETORNO.

Son varios los métodos que se pueden usar para el análisis de prefactibilidad. Uno de estos métodos, es el porcentaje anual de retorno de la inversión. El retorno de la inversión, permite hacer un cuidadoso análisis económico particularmente cuando se trata de empresas nuevas. El método consiste en buscar una relación entre las ganancias y la inversión total de capital, para determinar la atracción de una aventura de inversión.

El porcentaje anual de retorno de la inversión, como su nombre lo dice, indica la rata anual a la cual las ganancias pueden retornar la inversión. Del texto de Vilbrand y Dryen (29), se puede extraer la relación que se emplea para determinar el retorno de la inversión, así:

$$\text{Porcentaje anual de retorno} = \frac{\text{Ganancias} \times 100}{\text{Inversión}}$$

La inversión que se utilizará, será la inversión total de capital (ICT). Las ganancias pueden ser las brutas o las netas.

Generalmente cuando se trata de una planta nueva, en donde el tamaño y los precios son inciertos, se tiene un

TABLA 19. Ganancias netas (GN) en \$/año para las diferentes capacidades de concentración de proteínas del lactosuero con CMC y con los precios de venta del concentrado húmedo (PVCH) seleccionados.

Capacidad de la planta m ³ lactosuero/día	GN, en \$/año con PVCH de 639 \$/Kilo	GN, en \$/año con PVCH de 665 \$/Kilo	GN, en \$/año con PVCH de 703 \$/Kilo	GN, en \$/año con PVCH de 729 \$/Kilo	GN, en \$/año con PVCH de 755 \$/Kilo
70	2'235.003	22'946.643	53'217.502	73'929.143	94'640.783
90	12'632.916	39'264.039	78'186.449	104'817.572	131'448.694
110	23'744.833	56'295.438	103'869.399	136'420.004	168'970.609
130	35'653.859	74'123.946	130'349.459	168'819.546	207'289.634
150	47'949.770	92'339.340	157'216.403	201'605.973	245'995.543
170	60'400.868	110'703.372	184'222.417	234'524.921	284'827.425
190	73'277.910	129'499.896	211'670.492	267'892.479	324'114.465
210	86'381.571	148'523.040	239'345.187	301'486.656	363'628.125
230	99'682.113	167'743.065	267'216.763	335'227.714	403'338.666
250	113'493.790	187'474.223	295'599.473	369'579.907	443'560.340

riesgo alto, y por lo tanto la tasa de retorno aceptable debe ser alta. Se considera que el porcentaje anual de retorno aceptable después de impuestos (r_b) es de 40%.

Para el análisis económico, se determina el porcentaje anual de retorno de la inversión total de capital, antes y después de impuesto, para varios precios de venta en cada una de las capacidades de planta.

En la tabla 20, se presenta el porcentaje anual de retorno antes de impuesto (r_a), es decir, utilizando las ganancias brutas (GB).

En la tabla 21, se presenta el porcentaje anual de retorno después de impuesto (r_b), o sea, utilizando las ganancias netas (GN).

En la figura 4 y figura 6, se presenta la información que se tiene en la tabla 20.

En la figura 5 y 7, se presenta la información de la tabla 21.

TABLA 20. Porcentaje anual de retorno antes de impuesto (ra), para las diferentes capacidades de planta de concentración de proteínas del lactosero con CMC y con los precios de venta del concentrado húmedo (PVCH) seleccionado.

Capacidad de la planta m ³ lactosero/día	ra con PVCH de 639 \$/Kililo	ra con PVCH de 665 \$/Kililo	ra con PVCH de 703 \$/Kililo	ra con PVCH de 729 \$/Kililo	ra con PVCH de 755 \$/Kililo
70	1,2%	12,0%	27,8%	38,6%	49,4%
90	5,7%	17,6%	35,1%	47,0%	59,0%
110	9,4%	22,4%	41,3%	54,2%	67,2%
130	12,8%	26,7%	46,9%	60,7%	74,6%
150	15,8%	30,5%	51,9%	66,6%	81,2%
170	18,5%	33,9%	56,4%	71,8%	87,2%
190	21,0%	37,1%	60,6%	76,7%	92,8%
210	23,3%	40,1%	64,6%	81,3%	98,1%
230	25,5%	42,8%	68,3%	85,3%	>100%
250	27,6%	45,5%	71,8%	89,8%	>100%
270	29,5%	48,1%	75,2%	93,7%	>100%

TABLA 21. Porcentaje anual de retorno despues de impuesto (rb), para las diferentes capacidades de planta de concentracion de proteinas del lactosero con CHC y con los precios de venta del concentrado humedo (PVCH) seleccionado.

Capacidad de la planta m ³ lactosero/dia	rb con PVCH de 639 \$/Kililo	rb con PVCH de 665 \$/Kililo	rb con PVCH de 703 \$/Kililo	rb con PVCH de 729 \$/Kililo	rb con PVCH de 755 \$/Kililo
70	0,8%	8,3%	19,1%	26,6%	34,0%
90	3,9%	12,2%	24,2%	32,4%	40,7%
110	6,5%	15,4%	28,5%	37,4%	46,4%
130	8,8%	18,4%	32,4%	41,9%	51,4%
150	10,9%	21,0%	35,8%	45,9%	51,2%
170	12,8%	23,4%	38,9%	49,6%	60,2%
190	14,5%	25,6%	41,8%	52,9%	64,1%
210	16,1%	27,6%	44,5%	56,1%	67,7%
230	17,6%	29,6%	47,1%	59,1%	71,1%
250	19,0%	31,4%	49,6%	62,0%	74,4%
270	20,4%	33,2%	51,9%	64,6%	77,4%

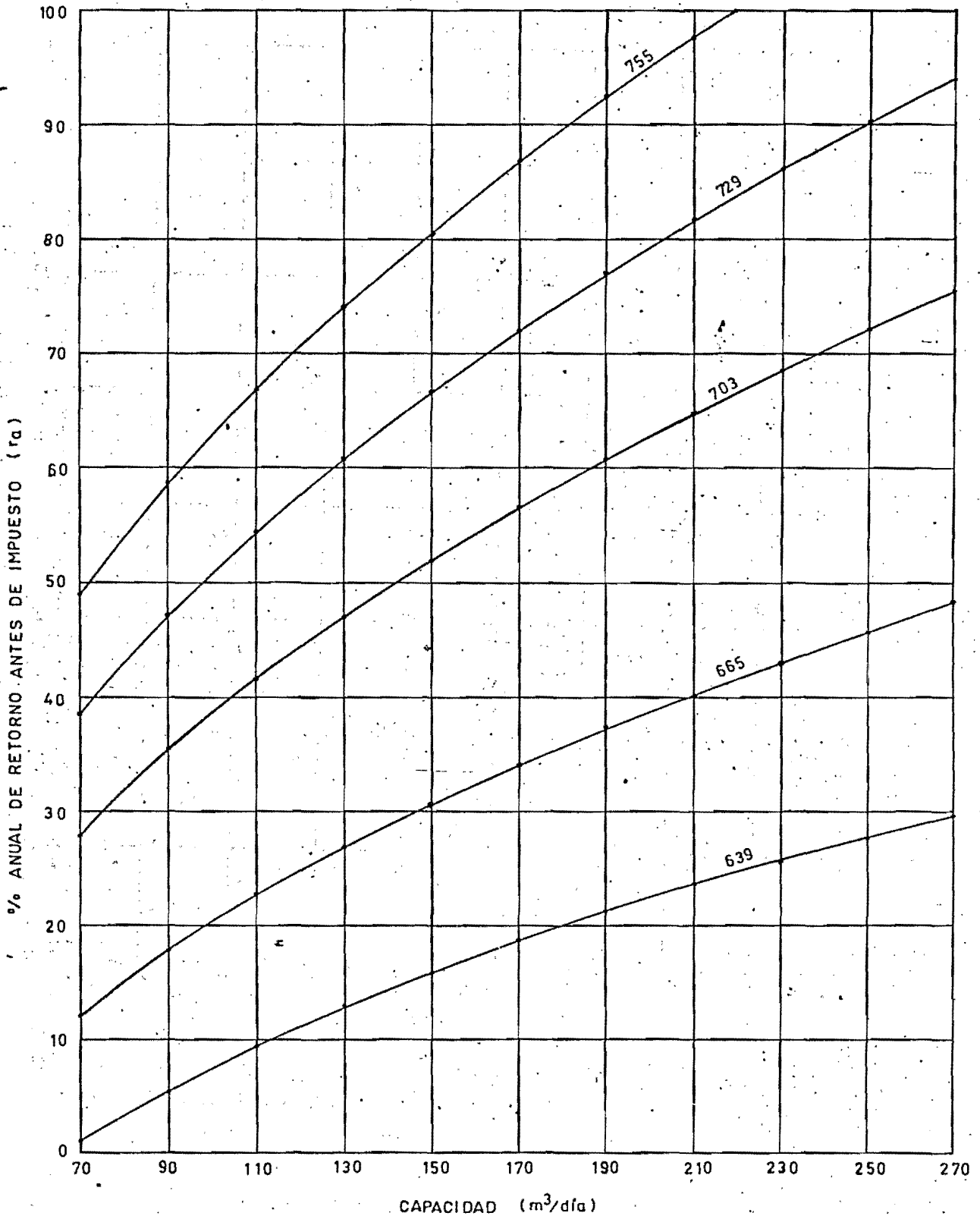


FIGURA 4. Porcentaje anual de retorno de la inversión total de capital antes de impuesto, contra la capacidad de la planta. Cada línea representa un precio de venta del concentrado húmedo en \$/Kg.

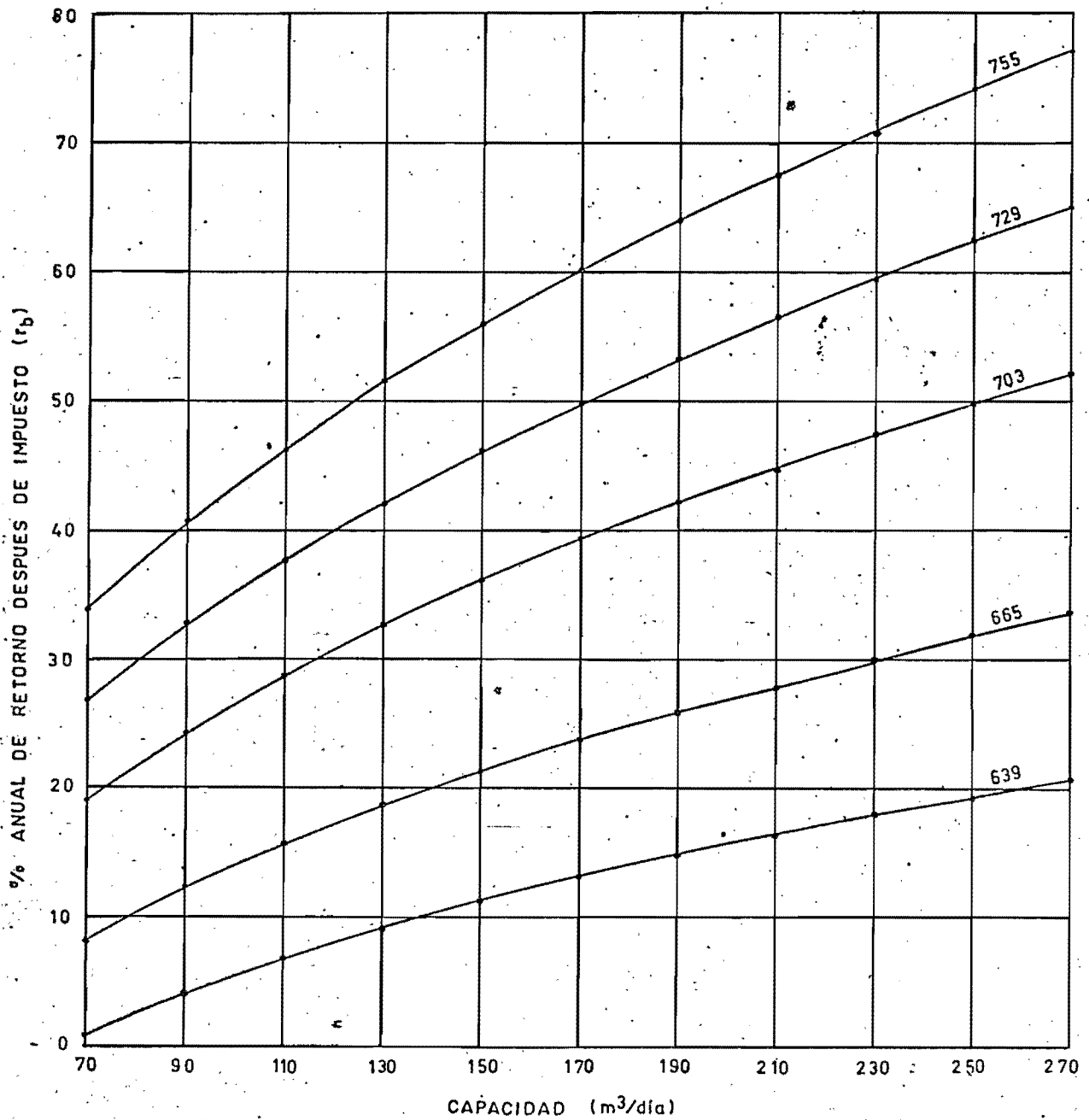


FIGURA 5. Porcentaje de retorno de la inversión total de capital después de impuesto, contra la capacidad de la planta. Cada línea representa un precio de venta del concentrado húmedo en \$/Kg.

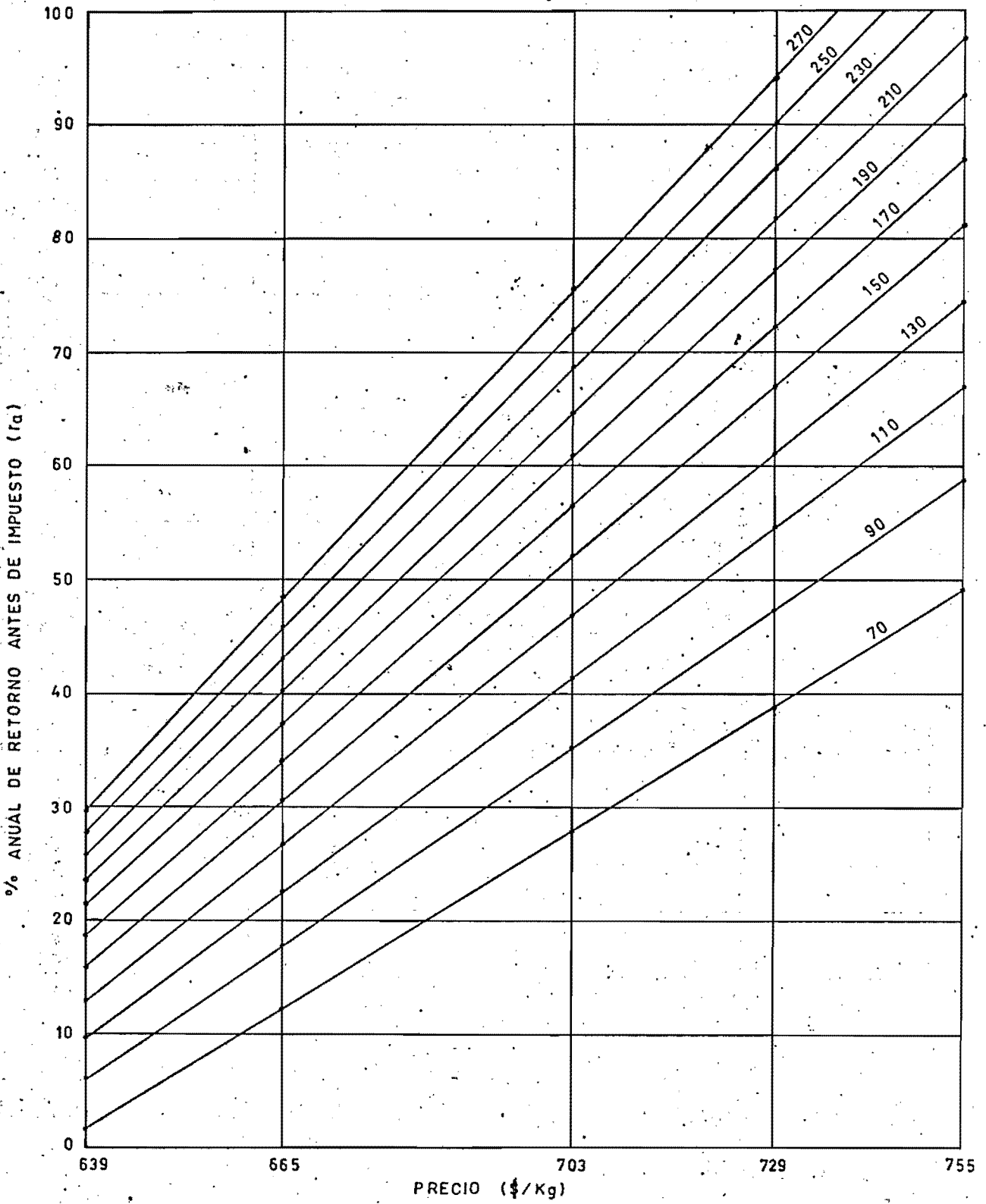


FIGURA 6. Porcentaje anual de retorno de la inversión total de capital antes de impuesto contra precio de venta del concentrado húmedo. Cada línea representa una capacidad de procesamiento en unidades de m³/día.

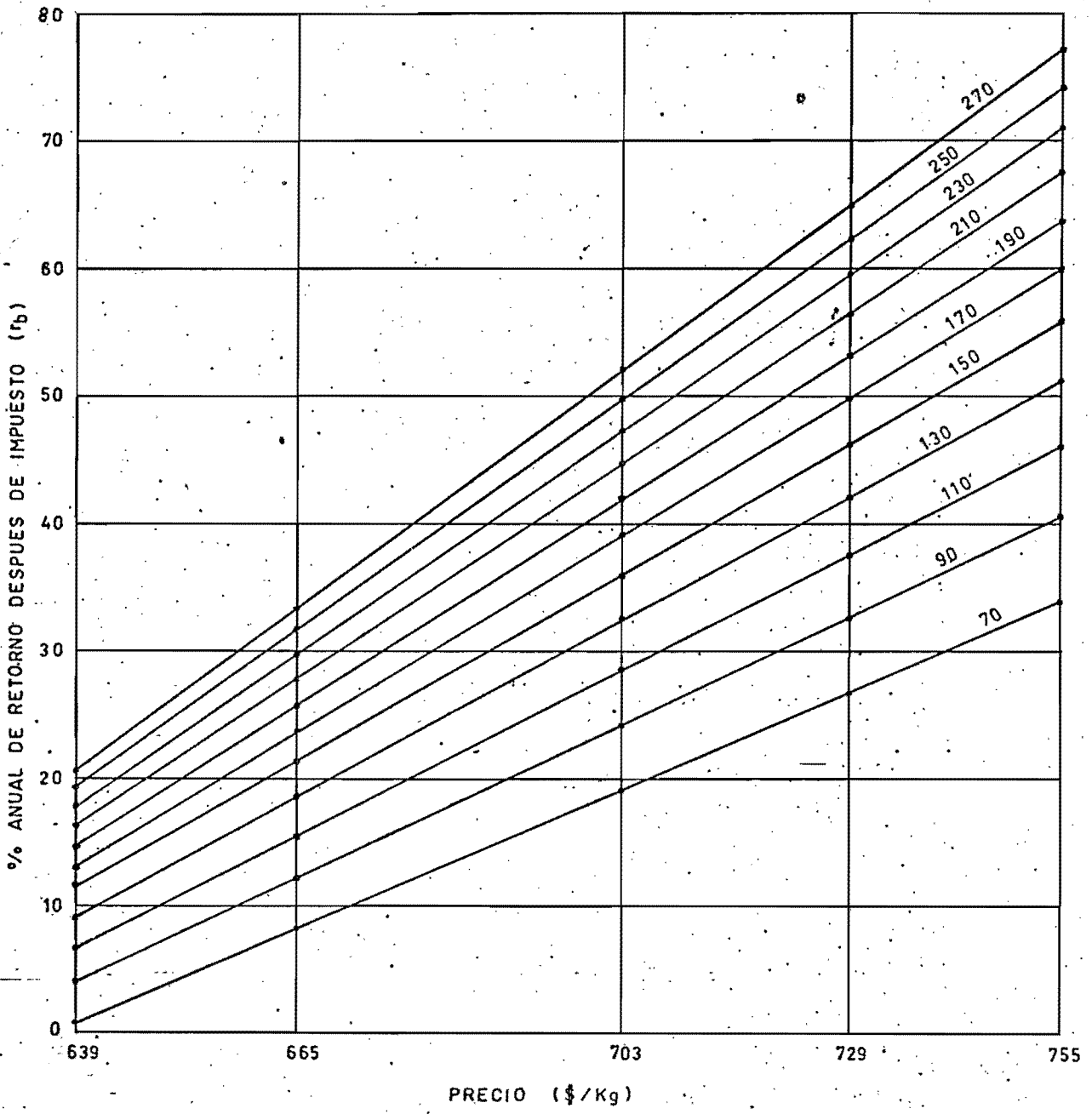


FIGURA 7. Porcentaje anual de retorno de la inversión total de capital después de impuesto contra precio de venta del concentrado húmedo. Cada línea representa una capacidad de procesamiento en unidades de m³/día.

5.5 PRECIOS DE VENTA DEL CONCENTRADO, PARA GARANTIZAR RETORNOS DEL 40% ANUAL.

Considerando, según la figura 7, que entre el porcentaje anual de retorno después de impuesto (rb) y el precio de venta del concentrado húmedo (PVCH) existe una relación lineal, se determinan los precios a los cuales se debe vender el concentrado húmedo para obtener porcentajes anuales de retorno del 40% en las diferentes capacidades de planta. Los resultados se presentan en la tabla 22.

TABLA 22 Precios de venta del concentrado húmedo (PVCH) para obtener porcentajes de retorno del 40% después de impuesto en cada una de las plantas.

Capacidad de la planta m ³ d ^o lactosuero/día	Precio de venta (PVCH) \$/kg.
70	776
90	753
110	737
130	724
150	714
170	706
190	699
210	693
230	688
250	683
270	679

6. ANALISIS DE RESULTADOS

6.1 ANALISIS DE LOS COSTOS Y LA INVERSION DE CAPITAL.

El aumento en la capacidad de procesamiento de la planta de concentración de proteínas con CMC, implica no sólo mayores costos de los equipos, de la mano de obra y de producción, sino también alzas en las inversiones de capital fijo y total. La relación entre las capacidades de la mayor y menor de las plantas, que es de 3,9, no se conserva para los costos o la inversión de capital.

En la tabla 10, se presentan los costos de los equipos para cada una de las plantas según su capacidad; se observa que a medida que aumenta el tamaño de la planta, el costo de los equipos para los incrementos uniformes de 20 m³/d es menor; no existe una variación lineal de este costo y la capacidad de la planta. La relación del costo de los equipos entre las plantas de mayor y menor capacidad es de 2,3.

En la tabla 12, aparecen los costos de la mano de obra para las diferentes plantas sometidas a estudio. Para los incrementos uniformes de 20 m³/d, los costos de la mano de obra son mayores si éstos se efectúan en plantas de poca capacidad. La relación para los costos de la mano de obra, entre las plantas de mayor y menor capacidad es de 1,4; no se puede considerar que entre el

costo de la mano de obra y la capacidad de la planta la variación sea lineal en todo el intervalo de estudio.

La tabla 14, presenta las inversiones de capital fijo y total para las once plantas que se han propuesto. La inversión total de capital, se mantiene en un 19,5% por encima de la inversión de capital fijo. Como estas, se obtienen al multiplicar por 4,1 y 4,9 el costo de los equipos, el análisis que se les puede hacer, al variar la capacidad de la planta, es el mismo que se realizó con el costo de los equipos. La relación que se presenta en la inversión de capital fijo, o total, de las plantas de mayor y menor capacidad es la misma que se encontró con los equipos.

La tabla 16, permite hacer un análisis de los costos de producción según la capacidad de procesamiento. Se puede decir que los costos de producción para los incrementos uniformes de 20 m³/d, son mayores si éstos se hacen en las plantas de menor capacidad. Entre la mayor y menor de las plantas, la relación de estos costos es aproximadamente de 3,6. Se puede decir, de manera aproximada, que estos costos varían en forma lineal con la capacidad. En la menor de las plantas producir un kilogramo de concentrado húmedo cuesta \$ 37,00 más que en la planta de mayor tamaño.

6.2 ANALISIS DE GANANCIAS.

Las ganancias brutas, o netas, aumentan cuando se incrementa la capacidad de la planta, aún sin hacer variaciones en los precios de venta del concentrado proteínico; también se presentan alzas en las ganancias cuando los precios de venta se aumentan sin variar la capacidad

de la planta.

Según la tabla 18, se puede decir que las ganancias brutas, para los diferentes precios de venta que se han fijado, crecen conforme aumenta el tamaño de la planta. Para los incrementos uniformes de 20 m²/d, las ganancias brutas por unidad de concentrado producido, disminuyen conforme crecen los tamaños de las plantas; la diferencia de éstas, entre dos plantas consecutivas, se mantiene igual sin importar el incremento de los precios de venta.

Según la tabla 18, se puede decir que para una planta de capacidad fija, las ganancias brutas se incrementan por aumentos en los precios de venta del concentrado húmedo; en este caso, las ganancias brutas para cada kilogramo de concentrado producido se incrementan en la misma cantidad en la que se aumentó el precio de venta. La relación entre las ganancias brutas y el precio de venta es lineal.

En la tabla 19, aparecen las ganancias netas para todos los precios de venta que se han fijado; éstas aumentan cuando se incrementa el tamaño de la planta. Las ganancias netas, para cada kilogramo de concentrado producido, no aumenta en forma lineal con la capacidad; se observa que a medida que crece la capacidad de la planta, los incrementos en éstas ganancias son menores, para cualquiera de los precios estudiados.

La información de la tabla 19, permite estudiar la variación de las ganancias netas para diferentes precios de venta, con capacidades fijas. Se puede decir que los efectos acá, son los mismos que se observan en las ganancias brutas cuando se hace un estudio con idénticas

condiciones. La relación entre las ganancias brutas y las netas para cualquiera de las plantas, o precios, se mantiene en 1,45.

La relación que se presenta, en las ganancias brutas, cuando se comparan las plantas de mayor y menor capacidad, para uno cualquiera de los precios, es igual a la que se presenta cuando la comparación, entre las mismas plantas, se realiza con las ganancias netas. La relación de las ganancias brutas o netas, entre las plantas de mayor y menor capacidad, disminuye a medida que se aumentan los precios de venta.

6.3 ANALISIS DEL PORCENTAJE ANUAL DE RETORNO.

La tabla 20, que reúne información de los porcentajes de retorno, referidos a la inversión total, antes de impuesto para los diferentes precios, o capacidades, permite realizar la Figura 4 y la Figura 6.

En la Figura 4, se observa que el porcentaje anual de retorno, aumenta a medida que se incrementa el tamaño de la planta para todos los precios de venta; esta variación no es lineal; para cualquiera de los precios que se han fijado, se presenta una variación mucho más rápida cuando los incrementos de 20 m³/d se hacen en las plantas de menor capacidad; entre más alto sea el precio de venta, mayor será esta variación.

En la figura 6, se observa el efecto que tiene el precio de venta en el porcentaje anual de retorno; se puede decir que, para cualquier capacidad de planta, siempre la relación es lineal. La variación es mayor en las plantas de mayor capacidad.

La tabla 21, que presenta los porcentajes de retorno referidos a la inversión total después de impuesto, para los diferentes precios o capacidades, permite realizar la Figura 5 y la Figura 6. Comparando la tabla 20 y la tabla 21, se puede decir que el porcentaje anual de retorno antes de impuesto es siempre mayor al que se presenta después de impuesto; la relación entre el porcentaje de retorno antes y después de impuesto para cualquier precio o capacidad, se mantiene en 1,5.

En la Figura 5 y 7, se presenta el porcentaje anual de retorno después de impuesto, cuando se mantienen fijos los precios y las capacidades respectivamente. El análisis de estas Figuras, indica que los efectos del precio de venta y la capacidad, son de la misma forma que el observado en la Figura 4 y Figura 6.

La comparación de los porcentajes de retorno antes y después de impuesto, permite decir que un incremento en la capacidad de la planta, para cualquier precio de venta, implica aumentos de la diferencia entre los porcentajes de retorno antes y después de impuesto; este mismo efecto se observa cuando, para capacidades fijas, se incrementan los precios de venta. Para plantas que mantengan bajas capacidades y pequeños precios de venta, se encuentran leves diferencias entre los porcentajes de retorno, antes y después de impuesto.

7. CONCLUSIONES

7.1 No se puede aceptar la sola exepción de impuestos como el atractivo para que se proceda a concentrar proteínas del lactosuero dulce con CMC, en ninguna de las capacidades de planta estudiadas, si los precios de venta para el concentrado no pueden ser superiores a los del suero en polvo en un factor mayor de tres.

7.2 La mayor participación en los costos de producción son los de la materia prima; el aumento en la capacidad no garantiza disminuir la incidencia de estos en los costos de producción. El porcentaje de estos de más del 50% de los costos totales de producción, indica que las ganancias pueden variar demasiado con pequeñas fluctuaciones en los precios de la materia prima.

7.3 Como para cualquiera de las capacidades de planta propuestas en el estudio, el 40 % de retorno después de impuesto sólo se logra con precios de venta del concentrado proteínico mayores en más de cinco veces el del suero en polvo, se puede decir que concentrar proteínas del lactosuero dulce de quesería con CMC, en nuestro medio, no es el proceso adecuado si las plantas tienen capacidades entre 70 y 270 m³/d.

8. RECOMENDACIONES

8.1 Hacer estudios de prefactibilidad en la concentración de proteínas del lactosuero empleando otros agentes precipitantes de menor costo, sería adecuado con este tipo de procesos que no requieren de alto consumo de potencia.

8.2 Un estudio similar al presentado, se debe hacer a las alternativas que Gallego y Cuenca (8), citan como la vía térmica y de membranas en la concentración de proteínas del lactosuero dulce de quesería.

8.3 Efectuar estudios similares pero empleando CMC de mayor grado de sustitución.

BIBLIOGRAFIA

1. ANDERSON, M.J., LAMB, R.C. and WISONTE, B.C. Feeding liquid whey to Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*. Illinois, vol. 57, no. 10, pp 1206-1210. Oct, 1974.
2. ALVAREZ, A. y GIRALDO, F. Recuperación de Proteínas del Suero Mediante Carboximetilcelulosa. Tesis, Ingeniería Química, Medellín, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Medellín. 1986. 75 p.
3. BARCO, S. y RAMIREZ, M. Recuperación y Reutilización de la carboximetilcelulosa del Complejo Formado en la Precipitación de Proteínas del Suero. Tesis, Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Medellín. 1988. 75 p.
4. BENSEN, J.E. Viscosimetric Determination of the Isoelectric Point of a Protein. *Journal Chemical Education*. vol.40 no.99, pp 488-496. 1963.
5. CERBULLIS, J. Application of Steffen Process and it Modifications to Recovery of Lactose and Proteins from Whey. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Washington, vol.21, no.2, pp 255-257.
6. CONN, E.E. y STUMPEF, P.K. *Bioquímica Fundamental*. Limusa, México, tercera edición. 1980.
7. CRISTENSEN, W.V. Whey Utilization in the United States. *Dairy Industries International*. United States, vol.41, no.3. pp 84-87. 1976.
8. GALLEGDO, D. y CUENCA, J. Análisis de Tres Alternativas Para la Separación de Proteínas de Suero Lácteo Proveniente de Queserías. Trabajo de investigación. COLCIENCIAS-Universidad Nacional de Colombia. 1988. Medellín. pp 148.

9. HANSEN, P.M.T., HIDALGO, J. and GOULD, I.A. Reclamation of Whey Protein with Carboxymethylcellulose. *Journal of Dairy Science*. Illinois, vol.54, no.6, pp 830-834. Jun,1971.
10. HIDALGO, J. and HANSEN, P.M.T. Interactions of Whey Proteins with Carboxymethylcellulose. *Journal of Dairy Science*. Illinois, vol.52, no.6, 885p. Jun, 1969
11. HIDALGO, J. and HANSEN, P.M.T. Interactions Between Food Stabilizers and Beta-Lactoglobulin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Washington, vol. 17, no. 5 pp 1089-1092. Sep-Oct, 1971.
12. HIDALGO, J. and HANSEN, P.M.T. Selectives precipitation of Whey Proteins with Carboxymethylcellulose. *Journal of Dairy Science*. Illinois, vol. 54, no. 9, pp 1270-1274. Sep,1971.
13. HILL, R.D. and ZADOW, J.G. The Precipitation of Whey Proteins by Carboxymethylcellulose of Differing degree of Substitution. *Journal of Dairy Research*. Cambridge. vol. 41, pp 373-380. 1974.
14. HILL, R.D. and ZADOW, J.G. Recovery of Whey Proteins from Precipitated Complexes of Carboxymethylcellulose and protein. *Journal of Dairy Research*. Cambridge, vol. 45, pp 77-83. 1978.
15. HILL, R.D. and ZADOW, J.G. The Recovery of Proteins from Cheddar Cheese Whey by Complex Formation with Carboxymethylcellulose. *The Australian Journal of Dairy Technology*. Australian, vol. 33, no. 33. pp 97-99. Sep,1978.
16. IDARRAGA, A. y VELEZ, D. Diseño de una planta Para la Producción de Suero Láctico en Polvo. Tesis, Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Medellín. 1987. 112p.
17. JARAMILLO DE A., M. Empleo del Peróxido de Hidrógeno en la Industria Lechera. Seminario de Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía. 1974. 64p.
18. KOSIKOWSKY, F.V. *Cheese and Fermented Milk Food*, Illinois, Edward Brothers, 1982. 420p.

19. LUCK, P.E. Conservación Química de Alimentos. Traducido del Alemán por A. Pérez T. Editorial Acribia, Zaragoza, España, 97p.
20. MADRID, A. Trattamento Previo del Lattosiero antes de su Industrialización. Industrias Lácteas. U.S.A., 1979. pp 18-24.
21. MADRID, A. Preparación por Ultrafiltración de concentrados proteínicos a Partir de Suero Lácteo. Industrias Lácteas. Houston, vol.29, no.6. pp 12-18. Nov-Dic,1980.
22. MATHUR, B.N. and SHAHANI, K.M. Used of total Whey Constituents for Human Food. Journal of Dairy Science. Illinois, vol.62, no.1. pp 99-105. 1979.
23. MONTE, J.C. and JUST, R. Enzymatic solubilization of Heat de Nature. Cheese Whey Protein. Journal of Dairy Science. Illinois, vol. 6, Suppl. 1. pp 1233-1237.
24. MORR, C.V. Whey Protein Concentrates: An Update Food Technology. London, vol.30, no. 3. pp 18-19,22-42 mar,1976.
25. NIELSEN, V.H. Replacement of Non Fat Milk Solids with Dry Whey. American Dairy Reviews, vol.37(2) pp 22-24.
26. PETERS, M.S. and TIMMERHAUS, K.D. Plant Design and Economics for Chemical Engineering, tercera edición, Mc Graw-Hill. 1980. 973p.
27. RICHERT, S.H., MORR, C.V. and COUNEY, C.M.E. Effect of Heat and Other Factors Upon Foaming Properties of Whey Protein Concentrates. Journal of Food Science. Champaign, vol. 39, no. 1. pp 42-48. 1974.
28. THUNELL, R.K., DUERSCH, J.W. and ERNSTON, C.A. Thermal Inactivation of Residual Milk. Clotting Enzymes in Whey J.D.S. Illinois, vol. 26, no. 3. 373p. 1979.
29. VILBRANDT, F.C. and DRYDEN, C.E. Chemical Engineering Plant Design. Cuarta edición. Mc Graw-Hill. 1959. 533p.
30. WOOD, W.B. and WILSON, J. y otros. Bioquímica. Fondo Educativo Interamericano, 1977.