



TRABAJO FINAL DE GRADO
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA/ALIMENTOS

Departamento de Proyecto Industrial
Instituto de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de la República



ELABORACIÓN DE SUERO EN POLVO LÁCTEO 90 % DESMINERALIZADO

INTEGRANTES: Guillermo Albisu, Fiorella Amoeiro, Lucía de Oliveira,
Santiago Díaz, Felipe Gómez, Jimena Lázaro

TUTORES: Jorge Castro, Norberto Casella

Montevideo, agosto 2014

RESUMEN EJECUTIVO

El lactosuero es uno de los problemas de contaminación ambiental más grave de la industria láctea, lo que ha llevado a desarrollar diversas tecnologías que permiten el aprovechamiento del mismo y su incorporación a otros alimentos. Sus propiedades son beneficiosas tanto a nivel nutricional como tecnológico, utilizándose las distintas presentaciones en una gran cantidad de alimentos. En particular, el suero en polvo desmineralizado al 90 % o D-90 se utiliza como ingrediente fundamental en fórmulas infantiles por ser el más adecuado para este tipo de productos.

Hoy en día la demanda de alimentos para bebés, en especial de fórmulas infantiles, es la de mayor crecimiento en el mundo, siendo China el mercado de mayor importancia. La demanda de suero D-90 en China es actualmente la más grande del mundo. El Gobierno chino se encuentra en un proceso para fomentar la producción nacional de fórmulas pediátricas, invirtiendo en compañías locales y desarrollando un intenso plan de fortalecimiento luego del escándalo de la melamina. Para lograrlo, es fundamental la utilización de materias primas de confianza y calidad. A pesar del gran crecimiento proyectado en la industria láctea China, no se podrán satisfacer esas necesidades, de modo que aún les será necesario importar suero en polvo D-90.

Uruguay se presenta como un interesante proveedor de suero D-90 por sus bajos costos de producción, por sus acuerdos comerciales estratégicos con China y por ser considerado como un país confiable, exportador de productos lácteos de alta calidad. Por las cuestiones anteriormente mencionadas, se decide que China es el mercado a colocar el producto.

En vista del alto valor agregado proyectado para esta materia prima una vez que comience la producción, se considera de modo conservador un valor máximo de 0,2 USD/L. El precio FOB del producto en el mercado actual es de 2.500 USD la tonelada.

Se propone la instalación de la planta industrial en la localidad de Cardona, sobre la ruta 57 en el departamento de Soriano, con un tamaño de 2 ha y 3.700 m² edificados. La materia prima única es suero lácteo nanofiltrado y su recepción proveniente de las industrias Indulacsa y Calcar se recibe diariamente, procesándose en su totalidad. Se trabajan 312 días por año, 6 días a la semana. Se planifica un tiempo estimado para la puesta a punto del proyecto y funcionamiento de la planta de un año, de los cuales se dedican 3 meses para la confección del anteproyecto. Los funcionarios administrativos cumplen un turno de 9:00 a 17:00 horas de lunes a viernes. En planta se trabaja en tres turnos de 8 horas cada uno, de lunes a sábados, comenzando la actividad semanal el día lunes a las 6:30 a.m culminando el domingo a las 6:00 a.m. La empresa se constituye como una Sociedad Anónima y para el pico de producción se cuenta con 50 empleados, destinando un total de 1.100.000 USD/año para sueldos y salarios. El proceso productivo consta básicamente de las etapas de recepción, desmineralización, pasteurización, evaporación, secado, envasado y estiba.

La recepción de materia prima se realiza en el horario de la mañana, mediante camiones cisterna de 30 m³ provenientes de Indulacsa y Calcar refrigerado a 4°C. Se

cuenta con dos dársenas para recibir dicho suero y posterior lavado de los camiones. A continuación, para la etapa de desmineralización se cuenta con dos equipos encargados de retirar las cenizas del suero. En primer lugar por medio de la tecnología de membranas (electrodialisis) se alcanza una desmineralización del 60%, y en segundo lugar se retira un 30% más de cenizas mediante resinas de intercambio iónico, alcanzando un total de 90% de desmineralización al final de esta etapa. La electrodialisis es una tecnología no muy comúnmente utilizada en Uruguay que permite reducir los costos en comparación al método que utiliza únicamente las resinas en aproximadamente un 65%. Este equipo es importado de India, mientras que las resinas al ser una metodología de trabajo frecuentemente utilizada en Uruguay, se encuentran más fácilmente en el mercado interno. Previo a las etapas de concentración el suero debe ser pasteurizado, utilizando para esto un intercambiador de placas. El fluido caliente utilizado para pasteurizar el suero es agua tratada proveniente de un circuito cerrado, calentada en un intercambiador de camisa y tubos que utiliza vapor de caldera como fluido calefactor. En una primera instancia de concentración, se utiliza un sistema de evaporadores múltiple efecto compuesto por tres evaporadores de tubos largos verticales de film descendente, ubicados en serie con flujos co-corriente, con recompresión térmica parcial de los vapores generados en el primer efecto (utilizando vapor motriz $9,8 \text{ Kg}^*/\text{cm}^2$) y condensación de los vapores generados en el tercero mediante un condensador barométrico; siendo éstos equipos importados de Argentina. Por otra parte, en la última etapa de concentración se utiliza un equipo de secado tipo Spray con atomizador, con un sistema de ingreso de aire co-corriente, el que es importado de Brasil. El aire utilizado es calentado en dos etapas con radiadores de tubos aletado, la primera utilizando vapor de caldera como fluido calefactor y en la segunda etapa fluido térmico proveniente de la caldera de fuel oil. En la primera etapa se logra concentrar hasta un 54% y en segundo lugar hasta 96%. Por último, el producto es envasado en bolsas de 25 Kg de papel Kraft multicapa de 4 pliegos con un gramaje de 80 g/m^2 , con bolsa interna de polietileno de baja densidad de 100 micrones. Luego, las bolsas son estibadas en pallets que, posteriormente a su embalaje con papel film, son enviados al depósito mediante autoelevador, permaneciendo en el mismo una semana hasta la liberación del lote en función de los resultados microbiológicos. La producción es de 5.100 toneladas de D-90 para el primer año, incrementando hasta 11.700 toneladas para el décimo año, comercializándose el mismo bajo la marca registrada UruWhey®.

El agua necesaria para cubrir la demanda de la planta es obtenida de dos fuentes, subterránea (dos pozos) y de la red de O.S.E., siendo el consumo total de $500 \text{ m}^3/\text{día}$. Mediante un tratamiento de ósmosis inversa se recupera el 68% del total utilizado en la planta, por lo que es necesario obtener de los pozos un caudal de $350 \text{ m}^3/\text{día}$. El vapor se utiliza en distintos procesos de la planta, fundamentalmente en la concentración del producto y efluentes y calentamiento directo o indirecto de distintas clases de fluidos. La planta cuenta, para generación de vapor, con una caldera humotubular que trabaja con leña como combustible, a una presión de $11 \text{ kg}^*/\text{cm}^2$. Para cubrir la demanda total es necesario un flujo mínimo de vapor 6.300 kg/h . El suministro de energía eléctrica es brindado por U.T.E a través de una línea de media tensión de 31,5 kV, debiéndose instalar una subestación en el predio, para poder transformar la media tensión a baja tensión de 380 V trifásico a una frecuencia de 50 Hz. El consumo máximo en planta es de aproximadamente 650 kW, trabajando a 220 V para los equipos fuera de línea de

producción y para la iluminación, y a 380 V para los equipos de alta demanda de producción. La planta cuenta con un suministro de aire comprimido mediante un compresor a tornillo que incluye sistema de refrigeración, deshumidificador y filtros, para ser utilizado en la envasadora y las válvulas. El consumo total máximo resulta entonces 16 (m³N)/min a una presión de 7,5 Bar. Se determina utilizar leña como combustible en la caldera para la generación de vapor. En cambio, se opta por utilizar fuel oil en el caso de la caldera de fluido térmico. El costo de combustible es de 80.000 USD/año y 300.000 USD/año respectivamente. Los efluentes se clasifican según su composición en orgánicos e inorgánicos por lo que son tratados de manera diferente. En el primer caso es tratado en un reactor aerobio y en el segundo mediante ósmosis inversa, siendo luego el retenido secado en un evaporador-cristalizador tipo Oslo triple efecto.

La inversión total para la implementación del Proyecto es de 10.500.000 USD utilizando capital propio, mientras que es de 11.150.000 USD para capital mixto, el Proyecto resulta económica y financieramente viable bajo ambas hipótesis de financiamiento. Para el caso de capital propio la utilidad neta disponible para el año 1 es de 2.000.000 USD, obteniéndose una TIR de 44%. Para capital mixto, el BROU otorga un préstamo de 6.800.000 USD correspondiente al 70% de las inversiones amortizables con una tasa de interés de 7,5% anual en dólares, a pagar en 9 años con un año de gracia. La utilidad neta disponible obtenida para el año 1 es de 1.000.000 USD, siendo la TIR de 77%.

Cabe destacar que para la elaboración del Proyecto se tiene en cuenta la utilización de tecnologías que favorecen la sustentabilidad del medio ambiente, como son el uso eficiente de la energía por intermedio de procesos que reciclan las energías en los distintos sistemas utilizados y el agua como recurso natural es tratado por métodos de ósmosis inversa, permitiendo reutilizar la empleada en los distintos procesos de la planta.