

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y MANUFACTURERA



“PROCESOS DE PURIFICACION DE CLORURO DE SODIO, MATERIA PRIMA PARA LOS SECTORES ALIMENTICIO Y FARMACEUTICO

INFORME TECNICO

**Para optar el Título Profesional de:
INGENIERO QUIMICO**

PRESENTADO POR

Luís Felipe Mulanovich Barreda

Promoción 88 – II

LIMA – PERU

2 0 0 0

INDICE

1.	INTRODUCCION	8
2.	ACTIVIDAD PROFESIONAL	10
2.1.	El Organo Empresarial.	10
2.2.	Relación Profesional-Empleador.	14
2.3.	Trabajo Profesional desarrollado.	15
2.4.	Funciones desempeñadas que necesitaron el conocimiento de técnicas profesionales.	15
2.5.	Objetivos, alcances y características principales del proceso productivo.	17
2.5.1.	Descripción del proceso de purificación de cloruro de sodio para la fabricación de margarinas y bocaditos.	19
2.5.2.	Ventajas del uso de la Sal Purificada en la fabricación de bocaditos y galletas saladas.	39
2.5.3.	Proceso de obtención de Cloruro de Sodio USP XXII libre de pirógenos.	42
2.6.	Alternativas de solución, análisis técnico-económico y selección de las más convenientes.	53
2.6.1.	Proceso alternativo de lavado de sal de la Salina de Letirá, ubicada al sud-oeste de Piura.	53
2.6.2.	Análisis técnico – económico del proceso para el caso de la sal purificada para fabricación de margarinas y bocaditos.	58
2.6.3.	Valores estadísticos de materias primas, implementos auxiliares de producción y suministros diversos.	62

2.6.4.	Incidencia de los componentes del costo en el costo total de producción.	62
2.6.5.	Alternativa económica para la fabricación de cloruro de sodio USP XXII .	67
2.6.6.	Balance de materia en el proceso de purificación de la sal para margarinas.	68
2.6.7.	Balance de energía en el evaporador – cristalizador en el proceso de purificación de la sal para margarinas.	87
2.6.8.	Balance de energía en el proceso de secado.	93
2.7.	Apreciación de riesgos ambientales, en el proceso de purificación del cloruro de sodio.	98
2.7.1.	Agentes ambientales	98
2.7.2.	Condiciones básicas de saneamiento y bienestar.	99
2.7.3.	Conclusiones y recomendaciones sanitarias	100
2.8.	Ambito legal. Ley 25623. Insumos que pueden ser desviados para la elaboración de drogas. Influencia en el proceso descrito.	101
2.9.	Estudio de mercado para el cloruro de sodio con pureza igual o superior a 99,5 %.	108
2.10.	Conclusiones y recomendaciones	
2.10.1.	Conclusiones	114
2.10.2.	Recomendaciones	115
3.	RESUMEN	119
4.	BIBLIOGRAFIA	122
5.	APENDICES	124
5.1.	Documentos probatorios de la relación Laboral con Química ITD s.c.r.l.	
5.2.	Documentos probatorios de la relación Laboral	

- con Ind. y Comercial Química Andina S.A.
- 5.3. Documentos probatorios de la relación Laboral con Sociedad Minera Dogaresa S.A.
 - 5.4. Documentos probatorios de la relación Laboral con Yeso La Limeña S.A.
 - 5.5. Reporte de INFOCORP, Representante Legal.
 - 5.6. Norma ITINTEC 209.014 ; 209.015 y 209.016
 - 5.7. Norma Británica BS-998:1969
 - 5.8. Método LAL para la determinación de pirógenos.
 - 5.9. Norma USP XXII, para el cloruro de sodio.
 - 5.10. Autorización Sanitaria del producto SAL PURIFICADA, expedida por el CONAMAD.
 - 5.11. Diversos análisis de los Laboratorios Farmacéuticos Aprobando el cloruro de sodio USP XXII.
 - 5.12. Cálculo de calores específicos

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Figura 2.1	Estructura orgánica de Química ITD	12
Figura 2.2	Diagrama de flujo del proceso de fabricación de sal purificada para margarinas	13
Tabla 2.1	Datos técnicos para las sales industriales	21
Figura 2.3	Lixiviación de la sal industrial	24
Figura 2.4	Tanques de sedimentación	26
Tabla 2.2	Resultados para un análisis típico de salmuera	29
Figura 2.5	Evaporador – Cristalizador	34
Tabla 2.3	Composición de la sal purificada según la Norma Británica BS-998 : 1969	39
Tabla 2.4	Valores Típicos y especificación técnica del cloruro de sodio USP XXII	52
Figura 2.6	Diagrama de flujo del proceso de lavado de la sal industrial de la Salina de Letirá, Piura	55
Tabla 2.5	Resultados de lavados de Sal de Letirá, Piura	57
Tabla 2.6	Ratios de consumo por T.M. de sal purificada seca	62
Figura 2.7	Incidencia de los componentes del costo de producción	63
Tabla 2.7	Costos y utilidad en el proceso de fabricación de sal para margarinas. Año 1990	64
Tabla 2.8	Costos y utilidad en el proceso de fabricación de sal para margarinas. Año 1991	65
Tabla 2.9	Costos y utilidad en el proceso de fabricación de sal para margarinas. Año 1992	66
Tabla 2.10	Comparación de cotizaciones de sal importada	

	de alta pureza para uso alimenticio	68
Tabla 2.11	Especificaciones de sal Morton Culinox 999	68
Tabla 2.12	Costo de producción de Cloruro de Sodio USP XXII en mayo y agosto de 1995	70
Figura 2.8	Balance de materia en el proceso de purificación de cloruro de sodio	71
Tabla 2.13	Composiciones de las corrientes A, B y C que intervienen en la Etapa 1	73
Tabla 2.14	Balance de materia en el lixiviador y tanque de salmuera cruda	73
Tabla 2.15	Balance de materia en la batería de reactores	75
Tabla 2.16	Composición de las corrientes S, P y V, que Intervienen en la Etapa 3	76
Tabla 2.17	Composición elemental de la leña de madera, en porcentaje en peso	77
Tabla 2.18	Composición de los gases de combustión por 100 Kg de leña quemada en el evaporador	79
Tabla 2.19	Balance de materia en el evaporador – Cristalizador	82
Tabla 2.20	Composiciones de las corrientes C_o , C_f , H y A, que intervienen en la Etapa 4	84
Tabla 2.21	Balance de materia en la centrífuga	85
Tabla 2.22	Composición de las corrientes C_f , C_s , y V_s que intervienen en la Etapa de secado	86
Tabla 2.23	Balance de materia en el secador	86
Tabla 2.24	Constantes para el cálculo del calor específico a presión constante de los gases de combustión	89
Tabla 2.25	Balance de energía en el evaporador	96

Tabla 2.26	Balance de energía en el secador	97
Tabla 2.27	Formato N° 1 MITINCI, DINANDRO	104
Tabla 2.28	Formato N° 2 MITINCI, DINANDRO	105
Tabla 2.29	Formato N° 3 MITINCI, DINANDRO	106
Tabla 2.30	Formato N° 5 MITINCI, DINANDRO	107
Tabla 2.31	Valores FOB y CIF del cloruro de sodio con un mínimo de 99,5 % de pureza. Años 1992 y 1993	109
Tabla 2.32	Cuadro consolidado por importador de cloruro de sodio con un mínimo de 99,5 % de pureza. Año 1999	110
Tabla 2.33	Cuadro consolidado por importador de cloruro de sodio con un mínimo de 99,5 % de pureza. Primer semestre año 2000	110
Tabla 2.34	Participación de los sectores de consumo en la importación de cloruro de sodio con un mínimo de 99,5 % de pureza	112
Tabla 2.35	Valores FOB y CIF del cloruro de sodio con un mínimo de 99,5 % de pureza. Año 1999	113
Tabla 2.36	Valores FOB y CIF del cloruro de sodio con un mínimo de 99,5 % de pureza. Enero a Junio del año 2000	113
Figura 2.9	Distribución de planta	121

I.- INTRODUCCION

El presente informe técnico, resume la labor del autor durante los años 1990 hasta 1996. Las cuatro empresas que en la actualidad representa, en calidad de director y gerente, pertenecen a un grupo, que ha tenido un crecimiento considerable de carácter tecnológico, económico y de recursos humanos.

La principal de las cuatro es Industrial y Comercial Química Andina S.A., dedicada a la producción é importación de diversos productos químicos orientados a satisfacer los distintos sectores de la industria, como lo son la minería, la industria cervecera, azucarera, la pesca y a las empresas de saneamiento de agua potable.

Le sigue en importancia, la segunda empresa, denominada Sociedad Minera Dogaresa S.A., cuyo objetivo es la molienda de carbonato de calcio natural, materia prima que es extraída de canteras ubicadas en nuestra sierra central. En función a los rangos de granulometría obtenidos en el producto final, atendemos a una gama de sectores que va desde las fábricas de pinturas y masillas, hasta los fabricantes de vidrios, pisos vinílicos, tubos de PVC, así como en las granjas avícolas.

El tercer lugar en el grupo, lo ocupa Yeso La Limeña S.A., fabricante de yesos para distintos usos, a partir de la deshidratación del sulfato de calcio natural.

Para terminar, la cuarta empresa, Química ITD s.c.r.l., dedicada a la purificación de cloruro de sodio para fabricación de margarinas, bocaditos y de grado USP XXII, para uso farmacéutico, es la compañía que ha brindado al autor, la mayor oportunidad para desempeñarse en el campo de la profesión por haber sido su participación en el proceso productivo y de control de calidad, más directa que en las otras empresas mencionadas, en las que debido al cargo directivo que actualmente ocupa, mantiene una participación indirecta, y no por ello desvinculada, de los distintos procesos de fabricación.

Es por todo lo expuesto, que el presente informe técnico tratará específicamente sobre los procesos de purificación, envasado y comercialización del cloruro de sodio, para el sector de manufactura de productos alimenticios y para el sector farmacéutico.

Setiembre del 2000

2. ACTIVIDAD PROFESIONAL :

2.1. El Organo Empresarial.

Nombre y Razón Social de la Empresa : **QUIMICA ITD s.c.r.l.**

Dirección : Av. Los Castillos 311 Urbanización Santa Rosa, Ate-Vitarte.

Sector al cual pertenece : Pequeña Industria. Constituida en 1984, con el objeto de desarrollar procesos de purificación de sales inorgánicas. La sociedad está conformada por dos socios.

Estructura orgánica : la empresa está conformada por dos accionistas, en consecuencia no es una Sociedad Anónima, carece de un directorio y tiene la representación mediante tres gerentes.

Dos de los gerentes son los accionistas y el tercero encargado directo de la producción , administración y comercialización, corresponde al cargo del autor.

El personal administrativo consta de una secretaria de gerencia, un contador, un responsable de registros de compras y ventas, un administrador , un encargado de la caja, y el responsable de facturación y cobranza, lo que en suma da seis personas. Cabe señalar, que dicho personal desempeña esas mismas funciones para tres compañías adicionales, que son del mismo grupo empresarial. En consecuencia, muchas veces, el gerente de producción y administración se encarga de las compras de materia prima, pago de planillas, visitas a clientes, entre otras funciones.

El jefe de planta ha sido formado durante dos años, aprendiendo conceptos fundamentales para el normal funcionamiento de la planta, y ha demostrado reiteradas veces tener el criterio suficiente para el cargo que desempeña.

Los obreros conforman uno de los pilares de la empresa, pues constituyen el capital humano de la misma, en su totalidad son conocidos del jefe de personal, viven casi todos en la misma zona, y el máximo número de ellos ha sido de 16, laborando tres turnos diarios. A partir del año 1995 y hasta 1996, se contaba con tres obreros y un jefe de planta, por haber reducido los turnos a uno diario, y haberse simplificado enormemente el proceso productivo.

En cuanto a Ventas, esta área constituye el otro pilar de la empresa. Es importante tener en cuenta que si no existen ventas, la producción se paraliza, y si no existe producción no hay nada que vender. De allí se desprende la importancia del equilibrio de estos dos pilares que mantienen a la empresa firme.

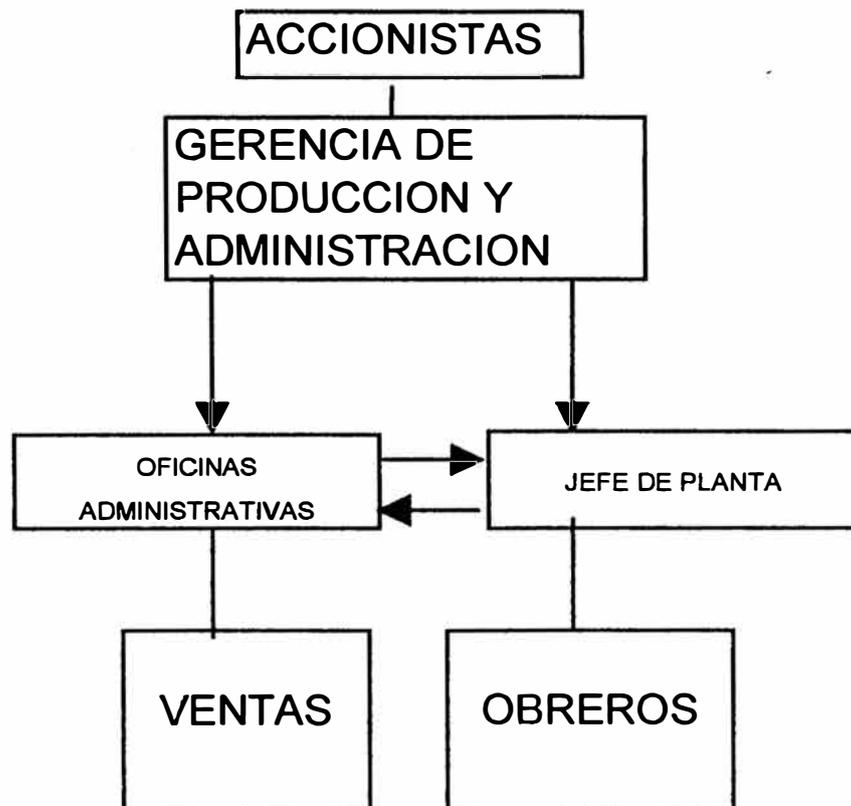
En la figura 2.1 se muestra la estructura orgánica de la empresa.

Líneas de producción

La principal línea de producción fue inicialmente, entre los años 1984 a 1990, la purificación de sal industrial proveniente de las salinas de Huacho, obteniéndose un producto que cumple con la norma británica BS-998 : 69, tomada de Industrias Pacocha S.A. como la norma que les imponía su casa matriz Lever de Inglaterra, en donde se define las especificaciones de la sal para margarinas.

Posteriormente, a partir de 1990, la empresa desarrolló una segunda línea de producción que consiste en un cloruro de sodio de mayor valor agregado, que cumple con la norma de Farmacopea USP XXII, y que por estar libre de pirógenos, es considerada como grado inyectable. De gran aceptación en los principales Laboratorios Farmacéuticos de

Figura 2.1
ESTRUCTURA ORGANICA
QUIMICA ITD SCRLTDA.

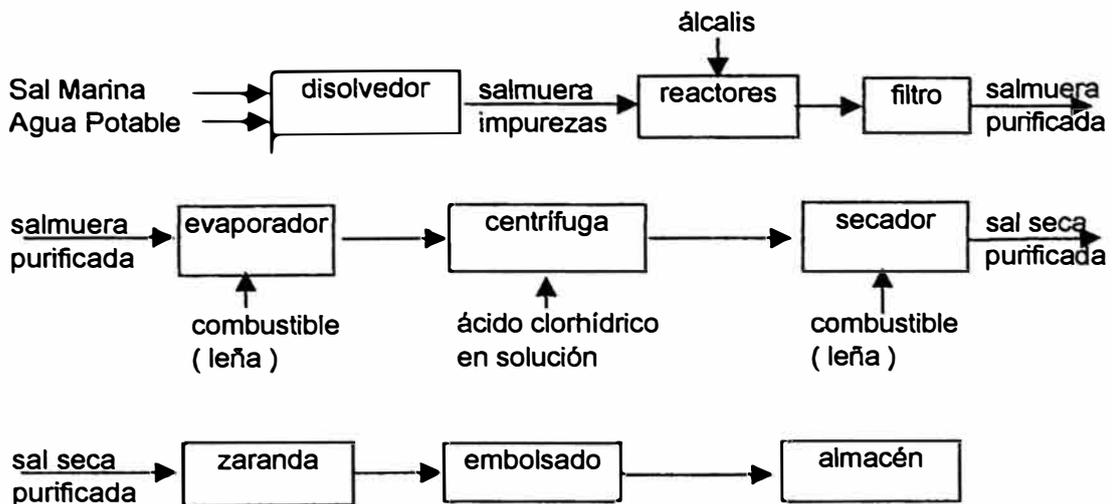


Lima, como Laboratorios Trifarma, Laboratorios Unidos, Laboratorios Intraven y Laboratorios Daniel Alcidez Carrión.

Proceso Productivo

El proceso consiste en disolver sal marina; eliminar las impurezas por adición controlada de álcalis, filtrar; evaporar; centrifugar; secar; zarandear y envasar el producto. El diagrama de flujo está representado en la figura 2.2.

Figura 2.2. Diagrama de flujo del Proceso de fabricación de sal purificada para margarinas.



2.2. Relación Profesional – Empleador

QUIMICA ITD S.C.R.L.

Condición : Nombrado con el cargo de Gerente.

Documentos Probatorios : Ver certificado de trabajo en el Apéndice 5.1.

INDUSTRIAL Y COMERCIAL QUIMICA ANDINA S.A.

Condición : Nombrado con el cargo de Director Gerente.

Documentos Probatorios: Ver el certificado de trabajo correspondiente, en el Apéndice 5.2.

SOCIEDAD MINERA DOGARESA S.A.

Condición : Nombrado con el cargo de Director Gerente.

Documentos Probatorios : Ver el certificado de trabajo en el Apéndice 5.3.

YESO LA LIMEÑA S.A.

Condición : Nombrado con el cargo de Gerente General .

Documentos Probatorios: Ver el certificado de trabajo correspondiente, en el Apéndice 5.4.

Adicionalmente se muestra un reporte de Infocorp de participación como representante legal, con los cargos mencionados, como se aprecia en el Apéndice 5.5.

2.3. Trabajo Profesional Desarrollado en QUIMICA ITD s.c.r.l.

2.3.1. Cargos desempeñados :

Jefe de Producción (1984 -1990)

Gerente (1991 –2000)

2.4. Funciones desempeñadas que necesitaron el conocimiento de técnicas profesionales

- **Función de Logística :** Control de stocks y adquisiciones de las materias primas y suministros diversos que intervienen en el proceso productivo.

- **Función de Control de Calidad :** Dentro de esta función se abarcó lo siguiente :

Visitas frecuentes a las salinas de Huacho, para determinar la parva de sal adecuada para su utilización, en función a su menor contenido de calcio y magnesio .

Verificación del estado de saturación de la salmuera, mediante la medida de la densidad con un densímetro Baumé.

Análisis del contenido de calcio y magnesio de la salmuera saturada, por titulación volumétrica con EDTA.

Dosificación de Carbonato de sodio y soda cáustica en solución, en las cantidades necesarias para precipitar el calcio y magnesio existentes en la salmuera, previamente determinados mediante el análisis descrito en la página 24.

Verificación de la calidad de la salmuera que ingresa a los evaporadores - cristalizadores.

Constatación del buen uso de los elementos que garantizan la limpieza absoluta de la sal refinada desde que sale de los cristalizadores hasta su envasado.

Finalmente, el control de cada lote, obtenido mediante un muestreo sistemático, al inicio, al intermedio y al final del lote, para comprobar que se cumplen con las exigencias de las normas técnicas correspondientes.

-Función de Manejo de Personal : Orientada al área administrativa y a producción. En éste último caso, se establecieron parámetros que conducían a mejorar la productividad de la empresa y consecuentemente, mejorar los ingresos de los trabajadores. Se diseñaron partes diarios de producción en los que se resaltaba el avance de las distintas etapas en función del tiempo.

Función Administrativa : Manejo de los recursos económicos de la empresa y evaluación de costos y utilidades.

Función Comercial

Recepción y programación de las órdenes de compra de los clientes.

Las visitas a las oficinas y plantas de Industrias Pacocha S.A. , Cía Industrial Perú Pacífico y COPSA . con la finalidad de brindar asesoría técnica y logística .

Visitas a los Laboratorios Farmacéuticos, consumidores de la materia prima cloruro de sodio USP XXII, a las áreas de Logística, Control de Calidad y Producción.

2.5. Objetivos, alcances y características principales de la purificación de cloruro de sodio.

El objetivo de la elaboración de este producto ha sido, en primer término, la sustitución de la importación de sal purificada para margarinas y bocaditos. Asimismo, la sustitución en menor grado del sulfato de sodio, en el sector textil, donde se utiliza el cloruro de sodio en el área de teñido, en algunos casos específicos donde se permite trabajar con la sal, como elemento fijador del tinte. También, la elaboración de una sal purificada de grano grueso para combinarse con saborizantes como cebolla, ajos, apio, etc., de acuerdo a las exigencias de los fabricantes de especias.

Finalmente la empresa introdujo en el sector farmacéutico, el cloruro de sodio USP nacional, como materia prima en la formulación de sales para rehidratación oral, tan necesarias durante los años que nuestro país se vió azotado fuertemente por el cólera. Estas sales de rehidratación oral, contienen otros elementos que se desean desarrollar como lo son el cloruro de potasio y el acetato de sodio, ambos de grado U.S.P. Igualmente, existe la posibilidad de obtener sulfato de magnesio USP (sal de epsom), a partir de yacimientos de epsomita que existen en el departamento de Ica. Actualmente el sulfato de magnesio hepta hidratado (epsomita) se utiliza en agricultura como corrector de suelos, al igual que el sulfato de calcio anhidro (anhidrita).

Una etapa posterior es la inserción en el mercado nacional, del cloruro de Sodio USP libre de pirógenos, Grado Inyectable de Química ITD. Se conoce que la demanda de cloruro de sodio USP es de 85 a 100 T.M. anuales, consumidas principalmente por tres Laboratorios : LUSA, Trifarma e Intravén.

Los alcances obtenidos son, en cuanto a la sal purificada, la sustitución de las importaciones de sal para margarinas, en las empresas Industrias Pacocha S.A. y Compañía Industrial Perú Pacífico S.A. así como en las fabricas de Bocaditos, como Chipi, Carter, Laurel, Karinto, Pitz, Krimpi, entre otros. Durante los años 1989 a 1991, se vendieron a los fabricantes de margarinas y Bocaditos un total de 1 006 T.M. de sal purificada ahorrándole divisas al país, por US \$ 503 105,00. Entre los años 1992 hasta 1994 se vendió 109 T.M. de sal purificada a dicho sector. La notable disminución en la venta se debió a la política del gobierno, que determinó una reducción de 10 % en la tasa ad-valorem a la partida arancelaria del producto importado similar. Al ser el costo de producción, superior al valor CIF del cloruro de sodio importado, puesto en bodega, los fabricantes de margarina optaron por la alternativa de importar.

En lo que se refiere al sector textil, al principio se utilizó el cloruro de sodio purificado, destinado a los fabricantes de margarina. Cuando el precio del sulfato de sodio importado lo permitía, el cloruro de sodio lo podía sustituir en ciertos casos de teñidos. Posteriormente y particularmente, en Textil El Amazonas, Química ITD ofreció como alternativa el producto líquido obtenido en la centrífuga, que consiste en una salmuera saturada, en equilibrio con la sal purificada

recristalizada. Dicha salmuera, denominada “ agua madre “, es un cloruro de sodio, con un gran contenido de sulfatos en solución, con una densidad de 1,2 Kg / L , correspondiente a 25 ° Bé y un pH ajustado con ácido clorhídrico, a 6,8 – 7,0 .

En cuanto al cloruro de sodio para rehidratación oral, su demanda creció notablemente cuando nuestro país se vio azotado por el cólera, por ser el cloruro de sodio uno de los principales electrolitos que debe reponerse al ser humano en casos de deshidratación. De otro lado, a partir de 1993, se comenzó a ofrecer lotes industriales de cloruro de sodio USP , libre de pirógenos , ciertamente con mucho recelo por parte de los laboratorios farmacéuticos al comienzo, pero finalmente, la oportunidad de contar con un stock local de una materia prima que cumple con las exigencias que se requieren , y el uso paulatino y creciente del cloruro de sodio de Química ITD, consolidaron un mercado constante para este insumo tan importante en la industria farmacéutica nacional.

Durante los años 1989 a 1995, se vendieron 302 T.M. de cloruro de sodio a los laboratorios farmacéuticos, ahorrándole divisas al país por la suma de US \$ 256 976,00.

2.5.1. Descripción del proceso de purificación de cloruro de sodio para la fabricación de margarinas y bocaditos .-

El proceso consiste en preparar una salmuera que no contenga calcio, magnesio e insolubles, para luego evaporar el agua y recuperar sal pura, eliminándose de ésta, los residuos de álcalis por medio de un lavado ácido en la centrífuga.

Las etapas del proceso se ennumeran a continuación y se describen posteriormente. La distribución de las distintas etapas se puede apreciar en la figura 2.9, página 121.

- 1.- Selección y evaluación de la materia prima.
- 2.- Disolución de la sal industrial en agua por el proceso de lixiviación en contracorriente.
- 3.- Bombeo de la salmuera saturada a los tanques de sedimentación.
- 4.- Análisis del contenido de calcio y magnesio, en la salmuera.
- 5.- Tratamiento con carbonato de sodio y soda cáustica en solución acuosa al 50 % en peso, para precipitar los elementos indeseables en forma de carbonatos e hidróxidos.
- 6.- Reposo de la salmuera tratada, hasta su total clarificación, para separar la fase líquida de la sólida, que contiene las impurezas.
- 7.- Bombeo de la salmuera purificada hacia los evaporadores – cristalizadores.
- 8.- Obtención y almacenamiento de la pulpa de cloruro de sodio.
- 9.- Enfriamiento, centrifugación y lavado de la pulpa con agua acidificada.
- 10.- Secado de los cristales de cloruro de sodio, en un recipiente de acero inoxidable, calentado mediante la combustión de desechos de madera.
- 11.- Ensayo de alcalinidad.
- 12.- Envasado y rotulado del producto.

Selección y evaluación de la materia prima

Para el proceso de purificación de cloruro de sodio adoptado por la empresa, se requiere de una sal de pila que contenga la menor cantidad de calcio y de magnesio. Las denominadas Sal de Pila tipo

B, y Sal de Pila tipo A, son por su bajo costo, las más adecuadas. Estas sales de pila, son cosechadas de las pozas de cristalización y almacenadas en las parvas, sin ningún proceso de lavado ni secado. Existen sales industriales de mayor grado de pureza, obtenidas al lavar los cristales, para eliminar gran parte del calcio y magnesio que contenían y luego secarlos en un horno rotatorio a temperaturas entre 180 y 190 ° C. Estas sales se denominan Sal K D, Sal 6 / 20, y Sal 30 / 80 . Indudablemente, el costo de esta materia prima es notablemente mayor y solamente se usó , entre los años 1983 – 1984, cuando la planta comenzó sus actividades.

En la tabla 2.1 se muestran la características de los distintos tipos de sal industrial que ofrecía Química del Pacífico, entre los años 1984 y 1987.

Tabla 2.1 Datos técnicos proporcionados por Quimpac S.A. entre 1984 y 1987, para las sales que se indican.

	SAL K D	SAL 6/20	SAL 30/80	SAL DE PILA "A"	SAL DE PILA "B"
Humedad (%)	0,100	0,108	0,119	4,080	1,087
Insolubles (%)	0,032	0,036	0,037	0,087	0,725
Ca ²⁺ (%)	0,054	0,046	0,047	0,102	0,286
Mg ²⁺ (%)	0,067	0,077	0,073	0,148	0,082
SO ₄ ⁼ (%)	0,157	0,172	0,163	0,364	0,957
Cl ⁻ (%)	60,543	60,530	60,428	60,346	59,434
Na ⁺ (%)	39,146	39,137	39,071	38,909	38,514
CaSO ₄ (%)	0,182	0,155	0,160	0,343	0,977
Mg SO ₄ (%)	0,035	0,081	0,063	0,142	0,337
Mg Cl ₂ (%)	0,234	0,237	0,236	0,503	0,855
Na Cl (%)	99,517	99,410	99,323	98,912	97,90
Fe ppm	11,45	11,38	12,60	12,18	86,44
Pb ppm	exento	exento	exento	exento	exento
As ppm	exento	exento	exento	exento	exento
I ppm	exento	exento	exento	exento	exento

De los datos presentados en la tabla 2.1 se concluye que la Sal de Pila tipo A, tiene una mayor humedad, y un contenido más alto de magnesio, por ser una sal relativamente nueva por su menor tiempo de almacenamiento después de ser cosechada de las pozas. En cuanto a la Sal de Pila Tipo B, es una sal denominada “ sal de piso “, pues se obtuvo de la parte inferior de las pilas de sal, recuperándose cerca de 2 000 T.M. de dicha sal, cuya humedad es mínima, y el contenido de magnesio es bastante más bajo. Se observa también que el contenido de hierro en esta última sal (86,44 ppm) , es bastante más elevado que en las otras, sin embargo es fácil de eliminar esta impureza, llegando al final del proceso con un valor aceptable de contenido de hierro. Estas condiciones determinan que la Sal de Pila tipo B, resulta ser la más apropiada técnica y económicamente para el proceso. Durante años se estuvo trabajando con este tipo de sal de bajo costo, hasta que finalmente se agotó el stock de Química del Pacífico y se comenzó a trabajar con la Sal de Pila tipo A.

Una de las propiedades visuales que ayudan a la selección de la parva adecuada, ya que son muchas las parvas que se almacenan según la zona y el tiempo de cosecha de las pozas, es la humedad, que se observa al tomar una muestra con la mano. Otra es la relación entre la cantidad de magnesio que contiene la sal y la astringencia o picazón que produce ésta al ser colocada una pequeña cantidad en la lengua, sin ser ingerida. En algunos casos se observa una fuerte coloración amarillenta, que indica la presencia de microorganismos que al absorber el hierro que contiene la sal, hacen que ésta tome esa coloración. No obstante, no es perjudicial al proceso pues al disolverla en agua potable y luego recristalizarla, su color es blanca.

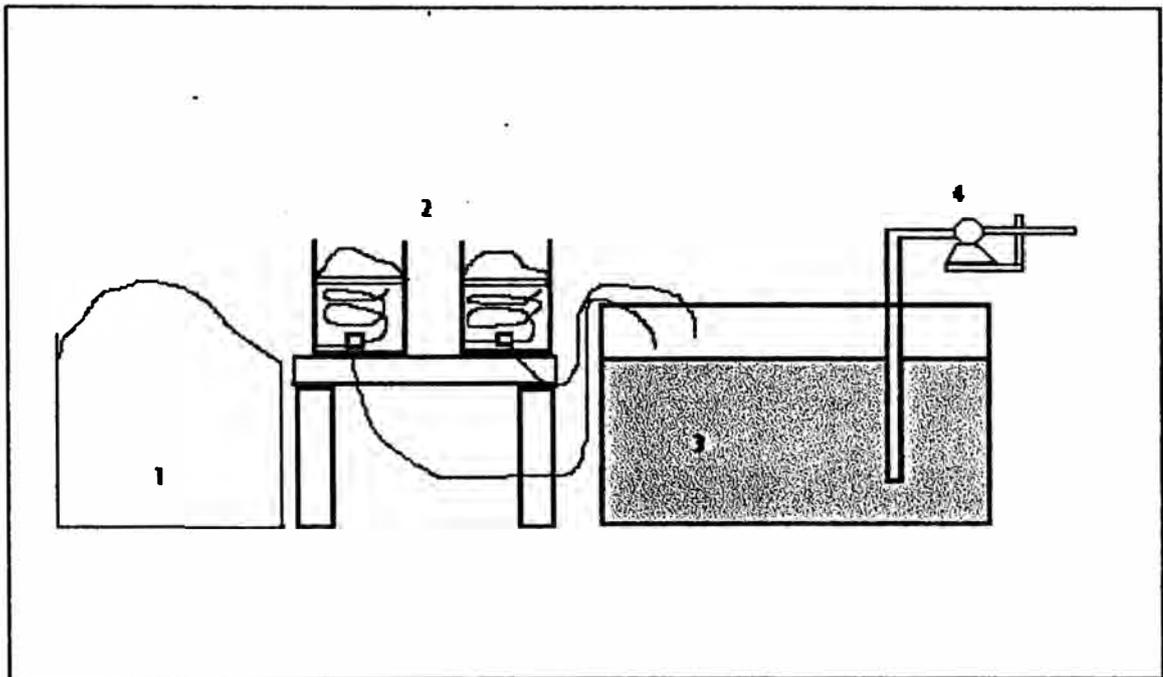
El análisis químico, que determina el contenido de calcio y magnesio se hace mediante una valoración complexométrica, con EDTA, utilizando como indicadores el Negro de Eriocromo - T, y el Calcón Carboxílico. La metodología de análisis y los cálculos se presentan en las páginas 27 a 29, en este mismo capítulo.

Como alternativa para la adquisición de la materia prima se tenía en ese entonces (1984 – 1991) a Química del Pacífico, Sociedad Paramonga Ltda. y EMSAL, todas con sus salinas ubicadas camino a Huacho, en el kilómetro 134 de la carretera Panamericana Norte. Como se sabe, en la actualidad Quimpac (ex Química del Pacífico) es la dueña de las salinas al haber adquirido en primera instancia a EMSAL, y posteriormente las Salinas de Sociedad Paramonga Ltda.

Disolución de la sal industrial en agua por medio de lixiviación en contracorriente.

En esta etapa, graficada en la figura 2.3, se alimenta en forma manual y constantemente con sal industrial en trozos, a dos cilindros de polipropileno, de una altura de 1,50 metros, que tienen una malla como soporte de la sal en su parte intermedia, mientras que agua potable de la red, es rociada constantemente a través de un tubo circular de PVC, con agujeros, desde la parte baja hasta la parte media de los cilindros. El encargado de llenar los cilindros tiene la responsabilidad de verificar que la salmuera producto de la lixiviación, mantenga una densidad igual o superior a los 25 ° Bé, con lo cual se garantiza su saturación. Si dicha

FIGURA 2.3 LIXIVIACION DE LA SAL INDUSTRIAL

**LEYENDA :**

- 1.- Pila de sal industrial
- 2.- Cilindros lixivadores con serpentín de agua en contracorriente.
- 3.- Tanque de salmuera impura a 25 ° Bé.
- 4.- Bomba que transfiere la salmuera a los tanques de decantación.

densidad es menor, quiere decir que los cilindros lixiviadores no funcionan bien, o no se cargaron con sal con la frecuencia debida. Una menor densidad en la salmuera, implica un mayor consumo de combustible para su evaporación.

La salmuera impura es almacenada en un tanque rectangular, de fierro revestido interiormente con brea, de 3 metros cúbicos de capacidad. Luego es bombeada a los tanques de sedimentación, hasta alcanzar un volumen predeterminado.

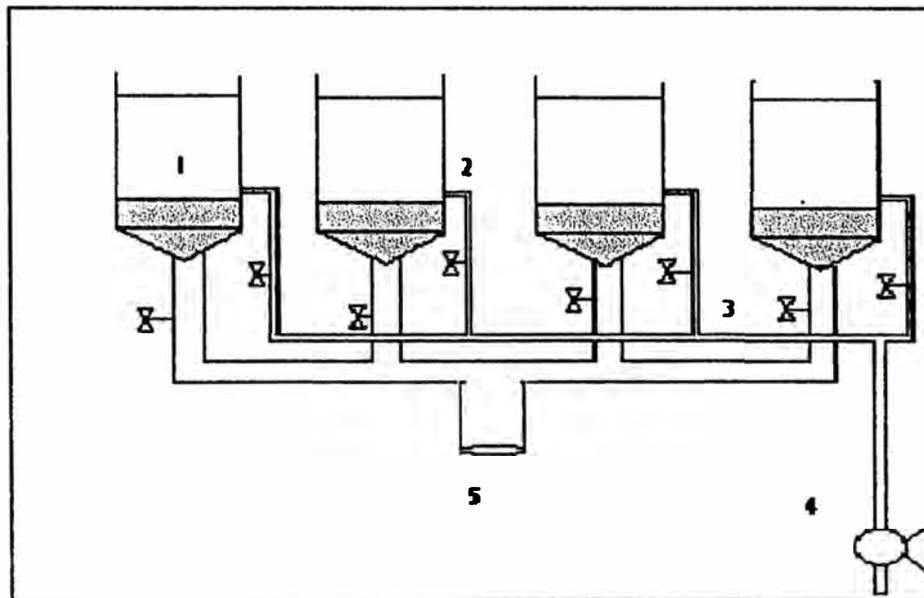
Bombeo de la salmuera saturada a los tanques de sedimentación.-

Se cuenta con cuatro tanques cilíndricos verticales de 120 cm. de diámetro, hechos de fierro de $\frac{1}{4}$ ", abiertos en la parte superior y de forma cónica en la parte inferior, y capacidad para 1 784 litros de salmuera. Los tanques, graficados en la figura 2.4, están revestidos interiormente con resina de poliéster, para evitar la corrosión por picadura producida por el anión cloruro.

Análisis del contenido de calcio y magnesio en la salmuera .-

El objetivo de la purificación de la sal, es desposeerla de la mayor cantidad de calcio, magnesio y hierro, sin alterar sus propiedades que la hacen apta para uso alimenticio y/o farmacéutico. Se debe determinar en la salmuera saturada la cantidad de Calcio y Magnesio en g / L, existentes en un volumen conocido. Dicha determinación se hace de la siguiente manera :

FIGURA 2.4 TANQUES DE SEDIMENTACION.



LEYENDA.

- 1.- CUATRO TANQUES DE SEDIMENTACION
- 2.- NIPLA DE DESCARGA DE SALMUERA PURIFICADA
- 3.- VALVULAS DE DESCARGA DE IMPUREZAS AL DESAGUE.
- 4.- BOMBA QUE TRANSFIERE LA SALMUERA PURIFICADA HACIA EL EVAPORADOR.
- 5.- DESAGUE.

Determinación de calcio y magnesio .

Procedimiento

Toma de muestra Se realiza enjuagando el depósito unas dos veces con la salmuera, luego se llena con la muestra y se lleva al laboratorio.

Dilución de muestra : Tomar 10 mL de muestra y aforar hasta 100 mL. Tomar 10 mL de esta dilución enjuagando previamente la pipeta con agua destilada y con muestra y diluirla nuevamente aforada hasta 100 mL.

Toma de alícuota de muestra : En un erlenmeyer de 125 mL, se toman 10 mL de muestra diluida, habiendo enjuagado previamente la pipeta con agua destilada y después con muestra diluida.

Acondicionamiento de la muestra : Se le agregan los siguientes reactivos :

- a.- 10 gotas de KCN 0,1 N
- b.- 5 gotas de hidroxilamina
- c.- 5 gotas de solución buffer.
- d.- 5 gotas de sal magnésica

se agita para uniformizar la muestra.

Titulación : Se agregan 2 ó 3 gotas de indicador Negro de Eriocromo T, se enrasa la bureta, luego se titula con solución de EDTA 0,01 N,

hasta que la solución vire del color violeta al azul. Leer el volumen gastado y anotar como A.

Determinación de calcio

Procedimiento

Se toma una muestra igual que en la determinación de calcio y magnesio.

Acondicionar la muestra agregando los siguientes reactivos :

- a.- 10 gotas de KCN 0,1 N
- b.- 5 gotas de hidroxilamina
- c.- 4 mL de KOH 8 N.

se agita para uniformizar la muestra.

Titulación Se agrega unos gránulos del indicador Calcón Carboxílico, hasta disolverlos totalmente. Se enrasa la bureta y se titula con solución EDTA 0,01 N hasta que el color violeta vire al azul. Leer el volumen gastado y anotarlo como B.

C A L C U L O S

$$\text{Mg g / L} = (A - B) \times (0,01 \times \text{factor} \times 1000) \times 0,012$$

$$\text{Ca g / L} = B \times (0,01 \times \text{factor} \times 1000) \times 0,020$$

Las titulaciones son efectuadas por triplicado, y los consumos se promedian. Además consideraremos que el factor de corrección de la normalidad es 1,000. Los resultados de un caso típico han sido tabulados en la tabla 2.2

Tabla 2.2 Resultados para un análisis típico de salmuera.

	1	2	3	Promedio	g/L
Ca + Mg (mL)	9,00	8,90	9,00	8,97	
Ca (mL)	5,24	5,20	5,26	5,23	1,0460
Mg (mL)	3,76	3,70	3,74	3.74	0,4488

El análisis de la salmuera recientemente descrito se realiza en cada tanque de sedimentación que se carga, debido a que la composición de la sal es muy variable.

Conocidas las cantidades de calcio y magnesio en g/L de salmuera, se procede al tratamiento de la misma con carbonato de sodio y soda cáustica en solución, para precipitar los elementos indeseables en forma de carbonatos e hidróxidos.

Tratamiento de la salmuera para precipitar el calcio y magnesio cuantificados en la etapa anterior.-

Dosificación de carbonato de sodio : La adición de carbonato de sodio tiene como objetivo precipitar el calcio, de acuerdo a la siguiente reacción :



40 g de Ca^{++} requieren 106 g de Na_2CO_3
 1 g de Ca^{++} requiere X g de Na_2CO_3 $X = 2,65 \text{ g de } \text{Na}_2\text{CO}_3$

Luego, trabajando con los datos de la tabla 2.2

1,0460 g/L de Ca^{++} requieren de 2,7719 g/L de Na_2CO_3 al 100 %.

Volumen de salmuera a tratar = 1 784 L.

En el tanque existen 1 866,06 g de calcio, en consecuencia habrá que dosificar 4 945,06 g de Na_2CO_3 al 100 %, que equivale a 5 173 g de Na_2CO_3 al 95,6 %, los cuales se agregan al tanque disolviéndolo previamente en agua desionizada, en una solución al 15 % en peso.

De esta manera el carbonato de calcio, que es insoluble en medio acuoso, precipitará, arrastrando la gran parte del calcio existente en la salmuera.

Para que surta el efecto buscado de precipitar todo el calcio, luego de regar la solución de carbonato de calcio por la superficie se debe agitar con la ayuda de una paleta de madera durante 45 minutos formando un vórtice.

Sin embargo para garantizar una precipitación total del calcio existente se le añade un exceso del 20 % de carbonato de sodio, con respecto al valor calculado.

Dosificación de soda cáustica en solución al 49 % en peso : El objetivo de la adición de soda cáustica , es el de precipitar el magnesio, de acuerdo a la siguiente reacción estequiométrica :



De esta manera el hidróxido de magnesio, que es insoluble en medio acuoso, precipitará, arrastrando la gran parte del magnesio existente en la salmuera.

24,32 g de Mg^{++} requieren 80 g de NaOH al 100 %

1 g de Magnesio necesitará X g. de NaOH al 100 %

X = 3,2895 g de NaOH al 100 %

$d^{20^\circ\text{C}}$ del NaOH al 49 % = 1,5158 g/mL ⁽⁹⁾

1 g de Mg^{++} requerirá 4,4289 mL de NaOH al 49 %

Luego, trabajando con los datos de la tabla 2.2

0,4488 g/L de Mg^{++} requerirán de 1,9877 mL/L de NaOH al 49 %.

Volumen de salmuera a tratar = 1 784 L.

En el tanque existen 800,66 g de magnesio, en consecuencia habrá que dosificar $800,66 \times 4,4289 = 3\,546,04$ mL de NaOH al 49 % , los cuales se incorporan al tanque con mucho cuidado rociando a modo de lluvia en forma circular en la superficie del tanque previamente agitado. Luego con la ayuda de una paleta de madera se agita sin romper la película de hidróxidos en suspensión que se forma

inmediatamente, y luego se deja reposar de cinco a ocho horas hasta que la salmuera quede totalmente cristalina, y en el fondo, en la parte cónica del tanque estén depositados todos los productos de la reacción química que se ha llevado a cabo para eliminar las impurezas.

Sin embargo para garantizar una precipitación casi total del magnesio y otros hidróxidos como el férrico, se le añade un exceso del 30 % de soda cáustica, con respecto al valor calculado.

Reposo de la salmuera tratada, para separar la fase líquida de la sólida, que contiene las impurezas.-

Esta etapa del proceso es fundamental y debe durar lo suficiente como para que la salmuera purificada esté límpida y se pueda ver con claridad el precipitado en el fondo del tanque.

Luego de darle a la salmuera el reposo recomendado de 5 a 8 horas, una vez que se observe que la salmuera está totalmente cristalina, y que todos los elementos precipitados se encuentran depositados debajo del niple de salida de salmuera, situado en la parte baja cilíndrica del tanque, se efectúa un último control consistente en determinar el pH de la salmuera tratada, el cual deberá estar entre 11,5 y 13, y adicionalmente se realiza un chequeo final al producto antes de su evaporación, extrayendo una muestra para ser tratada con carbonato de sodio y soda cáustica en cantidades pequeñas en el laboratorio para garantizar que ya no existe más formación de precipitados, permaneciendo la salmuera igualmente cristalina.

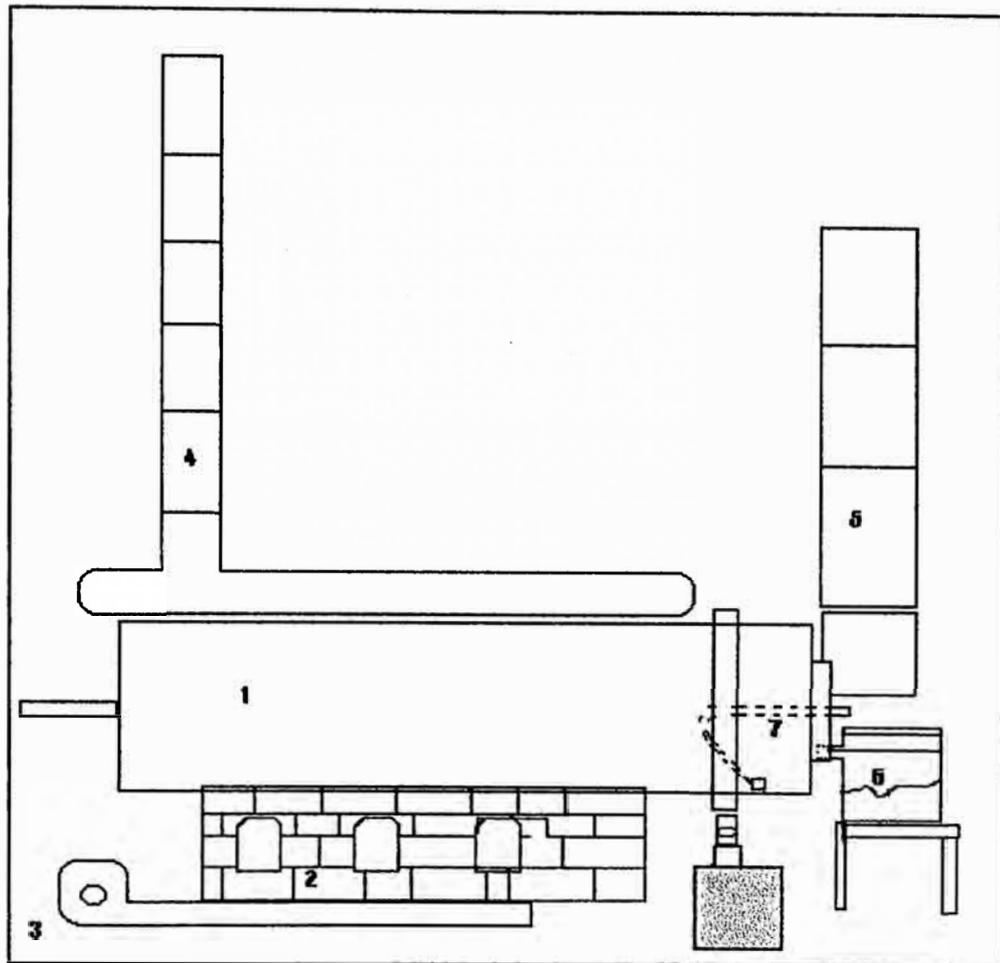
Bombeo de la salmuera hacia los evaporadores cristalizadores.-

Una vez que se ha determinado que la salmuera purificada está apta para su evaporación, ésta es bombeada hacia dos evaporadores rotatorios que se describen a continuación y se grafican en la figura 2.5.

Se construye cada uno con dos planchas de 1/8 ", de acero inoxidable de calidad AISI 316-L, de 1,52 m. x 3,05 m. altamente resistentes a la corrosión por cloruros y a los ataques de ácidos y bases, soldadas a lo largo de su mayor dimensión y luego roladas, hasta cerrar la circunferencia, obteniéndose de esa forma, un cilindro de 3,05 m. de largo y 0,96 m. de diámetro exterior. Dicho cilindro trabaja en posición horizontal, apoyado sobre rodillos frontales y posteriores, que permiten que gire mientras se evapora la salmuera. Tiene en su parte posterior un disco de 1/8 " del mismo material, del que sale un eje, el cual remata en una catalina dentada. De esta manera se le trasmite el movimiento con un motor trifásico de 5 HP

En su parte frontal, el cilindro tiene un cuello por donde recibe la salmuera fresca y un tubo que recoge la pulpa de sal concentrada y en cada vuelta del cilindro, la expulsa hacia un cilindro receptor, que mantiene el mismo nivel de salmuera que el cilindro evaporador, por "vasos comunicantes". Es importante la relación de diámetros entre la catalina descrita, el piñón de ataque, la polea del motor y la del contra-eje del motor, porque así se consigue fijar la velocidad de giro del evaporador. La velocidad óptima de trabajo es de 40 rpm.

FIGURA 2.5 EVAPORADOR - CRISTALIZADOR



LEYENDA

- 1.- EVAPORADOR CILINDRICO ROTATORIO DE ACERO INOXIDABLE AISI – 316-L.
- 2.- HORNO DE LADRILLOS DE TRES HORNILLAS.
- 3.- SOPLADOR
- 4.- CHIMENEA DE GASES DE COMBUSTION
- 5.- CHIMENEA DE VAPOR DE AGUA
- 6.- DEPOSITO RECOLECTOR DE PULPA DE SAL
- 7.- TUBO CURVADO CAPTADOR DE PULPA

La salmuera purificada, transportada desde los tanques sedimentadores hacia los cilindros evaporadores, pasa por un cartucho filtrante marca CUNO, de designación G-78-B2, de 5 micrones. Con este filtro se retiene cualquier impureza existente y garantiza la transparencia de la salmuera que se va a concentrar.

Obtención y almacenamiento de la pulpa de cloruro de sodio .-

La planta cuenta con dos evaporadores como el descrito anteriormente. Estos evaporadores son calentados con retazos de madera de los desechos de carpintería, los cuales son quemados en hornos de ladrillo construidos directamente debajo de los evaporadores , ayudados por sopladores regulables para mantener la distribución del calor pareja a lo largo de todo el cilindro, y evitar el efecto "soplete " que acelera el desgaste de la plancha de acero, al focalizarse el calor en un punto particular. Es indispensable que la alimentación al evaporador sea continua, para evitar que se seque indebidamente la pared del evaporador, lo que puede dar origen a la formación de grandes costras de sal adheridas a la plancha, ocasionando que se queme la misma al no tener por donde disipar el calor. Si esto sucede, cambia las propiedades del metal volviéndose fácilmente atacable por la salmuera.

El evaporador va entregando en cada vuelta una cantidad de sal, que se recibe en un depósito cilíndrico. Al llenarse este depósito se retira la pulpa de sal, se transporta en baldes de acero inoxidable de 20 litros con tapa y se almacena en un tanque cuadrado del mismo material, cubierto con un toldo, en una habitación cerrada.

Enfriamiento, centrifugación y lavado de la pulpa con agua acidificada.-

La pulpa, que se encuentra almacenada en el tanque cuadrado, tiene un contenido de humedad del orden de 11 a 12 %, se enfría hasta los 25 ° C para luego disminuir la humedad hasta 4 % en una centrífuga de canasta, con capacidad para 45 kilos de producto húmedo. De 10 a 15 minutos de centrifugación permiten la separación de toda el agua madre, rica en sulfatos solubles, que contiene la pulpa de cloruro de sodio extraída del evaporador. La canasta de la centrífuga está provista en su interior de una malla N° 100 de acero inoxidable calidad AISI 316 que se apoya a su vez, en una malla N° 10, de la misma calidad .

Posteriormente se le añade a la sal centrifugada 20 L de una solución ligeramente acidificada, (1 L de HCl al 30 % / 200 L de salmuera purificada) para mantener el pH entre 6,8 a 7,0, ya que al tratar la salmuera con soda cáustica y carbonato de sodio, el pH se incrementa hasta 11,5 - 13,0.

Después del lavado, se retira la sal purificada de la centrífuga, para luego ser secada y envasada.

Secado del cloruro de sodio.-

Los cristales de cloruro de sodio que contienen un 4 % de humedad aproximadamente, son secados en una paila de acero inoxidable calidad 304, calentada mediante la combustión de trozos selectos de madera. La paila está fija, en el interior de la habitación cerrada, en el extremo de la pared colindante con el horno del secador, que se encuentra en el exterior.

Para evitar la acumulación de vapor producto del secado de la sal, se cuenta con un extractor. La temperatura de 200 ° C, que se alcanza en el secador,

garantiza que la sal está exenta de microorganismos y o bacterias, permitiendo obtener un cloruro de sodio anhidro, con una pureza de 99,9 %. Se seca la sal hasta que alcance la fluidez adecuada, en un lapso de 15 minutos, por batch de 30 kilos. Luego se pasa por una zaranda vibratoria, para clasificar los finos que pasen la malla 30, y se pasa igualmente por una parrilla magnética de doble hilera de 8 ½ " de ancho por 6 " de largo, que contiene imanes de segunda generación, consistentes en elementos magnéticos de tierras raras (lantánidos) , que son capaces de atraer a las partículas de hierro magnéticas y débilmente magnéticas, garantizando que la sal no se contamine con partículas de hierro provenientes del desgaste de los equipos.

Ensayo de alcalinidad .-

La sal purificada así obtenida es sometida a un control final de análisis denominado alcalinidad. El cual consiste en disolver 50 g de sal seca en 200 mL de agua destilada y agregar 10 gotas de solución indicadora de azul de bromotimol. El líquido normalmente será azul o verdoso. Titular con ácido clorhídrico 0,02 N hasta viraje del color azul al amarillo. Si se gastan menos de 3,12 mL de HCl 0,02 N, lo que equivale a 66 ppm de Na₂CO₃ , la sal es aceptable.

$$\% \text{Na}_2\text{CO}_3 = \frac{V (\text{mL.}) \times f \times N \times 5,3}{\text{peso muestra (g)}}$$

donde : V (mL.) , es el gasto de ácido clorhídrico.

f es el factor de la solución, que es 1.

N es la normalidad de la solución , 0,02 N

Peso de la muestra es de 50 g.

Entonces : ppm de $\text{Na}_2\text{CO}_3 = V \text{ (mL.)} \times 21,2$

Si se da el caso de obtener un color amarillo con el azul de bromotimol, antes de la titulación, el límite inferior permitido se obtiene al titular con NaOH 0,02 N. Si se gasta 1,00 mL. ó menos, la sal es aceptable.

Envasado y rotulado del producto

Se deja enfriar hasta 60 ° C, para luego envasarla en bolsas de polietileno virgen de baja densidad, de 6 milésimas de pulgada de espesor, las cuales son selladas con cinta de embalaje y etiquetadas, con un peso de 25 kilos netos.

El enfriamiento previo al envasado es muy importante por permitir que escape el vapor de agua del interior de los cristales de sal. Si no se da tiempo a la sal para que "sude", la liberación de ese vapor de agua en las bolsas creará problemas de aglomeración por humedad.

La sal purificada obtenida mediante el proceso descrito en estas doce etapas, es un cloruro de sodio, prácticamente exento de calcio, magnesio, hierro, yodo, fluor y aditivos antiaglomerantes, que por el contrario, la sal de mesa y/o de cocina, sí contiene, como parte de su composición. La sal purificada cumple con la norma británica BS-998 : 1969 ^(5.6)

Esta norma técnica, adoptada por Industrias Pacocha S.A., define los requisitos que debe cumplir el cloruro de sodio para ser utilizado en la

elaboración de margarinas, quesos y otros productos alimenticios , cuya composición se indica en la tabla 2.3

Tabla 2.3 Composición de la sal purificada según la norma Británica BS-998 : 1969 ^(5.7)

Humedad	Máximo 0,20 % en base seca
Cloruro de Sodio	Mínimo 99,6 % en base seca
Alcalinidad	Máximo 300 ppm como Na_2CO_3
Insolubles	Máximo 300 ppm
Sulfatos	Máximo 3 000 ppm como Na_2SO_4
Hierro	Máximo 10 ppm
Cobre	Máximo 2 ppm
Arsénico	Máximo 1 ppm
Plomo	Máximo 2 ppm
Calcio	Máximo 100 ppm
Magnesio	Máximo 100 ppm
Aditivo Anti-aglomerante	Máximo 15 ppm

2.5.2. Ventajas del uso de la sal purificada en la fabricación de bocaditos y galletas saladas.-

Sabor .-

La sal purificada da un sabor menos salobre que la sal industrial, a igualdad de cantidad agregada. Esto se debe al bajo contenido de magnesio, 100 ppm en la primera, frente a 600 a 700 ppm. en la sal industrial lavada.

La sal purificada no deja el gusto residual amargo típico de las sales que contienen magnesio. El sabor amargo proviene de la presencia de sulfato de magnesio, cuyo nombre en alemán “ bittersalz –sal amarga” ratifica esta característica organoléptica.

Enfriamiento .-

Los envases de los bocaditos y galletas saladas dejan pasar paulatinamente algo de aire húmedo al interior del paquete. La humedad tiende a disolver la sal que se encuentra en la superficie, dando una salmuera que moja al producto y lo “enfria”.

La velocidad con la que se produce la deliquesencia es proporcional a la diferencia entre la presión parcial del vapor de agua en el aire que entra al paquete y la presión parcial del vapor de agua de la salmuera saturada que se forma sobre las partículas de sal. Esta diferencia es mucho menor cuando la sal es pura que cuando contiene sales de magnesio.

Los datos y cálculos que se indican a continuación, sirven para ilustrar estos conceptos :

Por ejemplo, si el aire que entra al paquete tiene una humedad relativa del 60% y una temperatura de 25 ° C, la presión parcial del vapor de agua es 24 mm Hg. A esta temperatura, las presiones parciales de vapor de agua sobre soluciones saturadas de sal pura y de sal que contiene sales magnésicas son

sal pura 18 mm Hg

sal industrial 8 mm Hg

siendo las diferencias de presión parcial

sal purificada 24 - 18 = 6 mm Hg

sal industrial 24 - 8 = 16 mm Hg

o sea que la velocidad de absorción de agua de la sal común respecto de la sal purificada es $16 / 6 = 2,7$ veces mayor.

El cálculo anterior muestra que a igualdad de otras condiciones cuando se usa sal purificada el producto debería mantenerse seco casi tres veces más tiempo que el que se prepara usando sal que contiene magnesio.

El proceso de la deliquesencia es mucho más lento, mientras menor es la humedad inicial de la sal. Esta es otra ventaja de la sal purificada cuya humedad es del orden de 0,02% mientras que la humedad de la sal industrial es 0,1% o mayor.

Enranciamiento .-

La penetración paulatina de aire a los envases significa el contacto del producto con oxígeno, contacto que eventualmente produce enranciamiento del aceite. Uno de los catalizadores de este proceso es el hierro, siendo la velocidad del proceso de enranciamiento, función del contenido de hierro en la sal. La ventaja de la sal purificada en este caso reside en su bajo contenido de hierro, que es del orden de 2,5 ppm máximo, frente a 12-13 ppm que contienen las sales industriales comunes.

Fluidez .-

En aquellos casos en que los productos se espolvorean con sal usando esparcidores automáticos, la sal purificada tiene la ventaja de ser más fluida que otras sales industriales debido a su menor contenido de humedad y a su menor tamaño de granos. Lo primero se explica porque al ser más pura y más seca, deliquesce menos y los granos no se pegan entre si. Lo segundo se debe a que el producto más fino se deja espolvorear con mayor facilidad.

2.5.3 Proceso de obtención de cloruro de sodio USP XXII libre de pirógenos .-

La materia prima para este proceso es la sal purificada obtenida en la etapa previa a la centrifugación. El proceso comprende dos etapas :

Etapa de preparación .-

Procedimiento

Centrifugar sal purificada de los evaporadores, hasta que sólo salgan gotas.

No lavar, con la solución acidificada.

Pesar y echar hasta 150 kilos de esta sal centrifugada a un cilindro limpio de 200 litros. Repetir esta etapa para determinar el tamaño del lote a producir, por ejemplo: 300 , 450 ó 600 kilos.

Preparar una salmuera saturada disolviendo 45 kilos de cualquiera de los siguientes productos en 150 litros de agua destilada (o desionizada si no hubiera agua destilada): en orden de preferencia descendente, "bolas" (sal retenida en la malla 30 de la zaranda vibratoria) ; sal purificada destinada a ser reprocesada, o sal de "limpieza del secador". Si no hubiera cualquiera de estos materiales en cantidad suficiente, usar sal purificada, centrifugada sin lavar ni secar.

Filtrar la salmuera con un paño de bombasi limpio, nuevo, destinado solo a este servicio. Mezclar con 150 mL. de ácido clorhídrico industrial, y

agregar al cilindro que contiene la sal centrifugada, luego agitar o si ello es más fácil, hacerlo al revés, es decir, agregar la sal centrifugada a los cilindros previamente llenos con la salmuera filtrada. Ajustar el pH usando ácido clorhídrico industrial, y verificarlo agregando a una muestra en un vaso precipitado, azul de bromotimol como indicador hasta color verdoso o amarillento.

Dejar reposar los cilindros tapados entre 20 a 24 horas. Luego de las primeras dos horas de reposo, comprobar la alcalinidad de la salmuera disolviendo 50 mL. de la pulpa en 200 mL. de agua destilada y agregando 10 gotas de azul de bromotimol. Si no es verde amarillento, añadir más ácido, agitar y dejar reposar. Lo que se desea conseguir en esta etapa es eliminar las trazas que aun existen de calcio y magnesio, mediante el lavado de los cristales sin tener que disolver la sal nuevamente en agua y su posterior evaporación, sino más bien se la "remoja " en una salmuera saturada y purificada incapaz de disolver mayor cantidad de sal.

Centrifugar sin lavar y luego secar.

Tomar muestras de aproximadamente 100 g. al inicio, en el intermedio y al final del lote para los ensayos de control.

Envasar el producto zarandeado y pasado por la parrilla magnética, en bolsas de 25 kilos, de polietileno de 6 mils (milésimas de pulgada) de espesor y exteriormente en una bolsa de papel multipliego.

Etapa de controles .-

Procedimiento

Calcio y Magnesio

Disolver 20 g de sal en 200 mL de agua destilada y agregar 1 mL de HCl al 10 %, 5 mL de solución buffer de cloruro de amonio. Utilizar como indicador de dos a tres cojines de ManVer II. Titular con solución de EDTA 0,01 N, hasta obtener un color azul puro. La muestra cumple con la especificación USP XXII si se gastan menos de 5 mL de solución de EDTA 0,01 N.

$$\text{Cálculos} \quad \text{Ca} + \text{Mg} = \frac{5 \text{ mL} \times 0,01 \times 0,020 \times 10^6}{20 \text{ g}} = 50 \text{ ppm de Ca+Mg}$$

Sulfato .-

Pesar 1 g de sal y echarlo en un tubo Nessler perfectamente limpio. Agregar 30 mL de agua destilada y agitar hasta disolver la sal.

Echar 0,15 mL de solución estándar HACH de ácido sulfúrico 0,02 N a otro tubo Nessler y diluirlo con 30 mL de agua destilada, enjuagando bien las paredes del tubo al agregar el agua.

A cada uno de los tubos adicionar :

1 mL de ácido clorhídrico diluido al 10 %

3 mL de solución de cloruro de bario (12g de BaCl₂ / 100 mL de H₂O)

Completar a 50 mL añadiendo agua destilada hasta la marca que tienen los tubos de Nessler. Agitar con vagueta de vidrio para homogenizar y luego dejar reposar exactamente 10 minutos, para determinar el contenido de sulfato mediante la prueba de turbidez. Este método de determinación se denomina nefelometría.

Si la muestra es menos turbia que el estándar, la sal es aceptable. Para apreciar mejor la turbidez, colocar un plástico negro bajo los tubos y mirar ambos desde arriba, en una zona no techada para observar la fluorescencia que induce la luz natural, la que intensifica la turbidez.

Alcalinidad .-

El análisis de alcalinidad, expresado en partes por millón de Na_2CO_3 , es el mismo que se aplica como análisis de control en la elaboración de la sal purificada para margarinas y la metodología del análisis está descrita en la página 37 .

Humedad .-

Secar durante 30 minutos un matraz Erlenmeyer de 125 mL a 105°C , enfriar hasta que el matraz esté tibio al tacto, y tararlo. Pesar en él, aproximadamente 2 g de sal y secar en la estufa a 105°C durante dos horas. Dejar enfriar hasta que el matraz este tibio y pesar. No debe perder más de 0,5 % del peso inicial.

Arsénico .-

Este análisis se realiza en INASSA según la norma USP XXII, método I, página 1521. El límite es 3 ppm.

Bario .-

Disolver 4,0 g de sal en 20 mL. de agua destilada y dividir la solución en dos porciones colocándolas en tubos de ensayo grandes. A una se le agregan 2

mL. de ácido sulfúrico 2 N. Y a la otra 2 mL. de agua destilada. Ambas porciones deben estar igualmente transparentes después de dos horas de reposo.

Yoduro o Bromuro .-

Pesar 2,0 g de sal en un matraz Erlenmeyer de 125 mL y digerir la sal con 25 mL de alcohol etílico puro, calentando muy lentamente, sin exceder la temperatura de ebullición del alcohol, durante media hora, con agitación, permitiéndose la disolución de la sal sin que se derrame el alcohol. Dejar enfriar durante dos horas y media más, tapando la boca del matraz con una luna de reloj o un pedacito de plástico para que no se evapore el alcohol. Filtrar. Evaporar el líquido filtrado a sequedad en un matraz erlenmeyer de 125 mL , disolver el residuo en 5 mL de agua, agregar 1 mL de cloroformo y agregar cuidadosamente, gota a gota y con agitación constante, 5 gotas de agua de cloro diluida (1 a 3). El cloroformo no debe adquirir color violeta, amarillo ni anaranjado, cuyos colores son característicos de la presencia de yodo, cloro o bromo. Para comprobar que se procedió bien, agregar 1 gota de solución de yoduro de potasio: el cloroformo debe adquirir un color violeta.

Hierro .-

Pesar 5,0 g de sal, colocar en un tubo de Nessler, añadir 35 mL de agua destilada y 2 mL de ácido clorhídrico al 36 %. En otro tubo de Nessler colocar 2,5 mL de solución estandarizada de hierro (4 microgramos de Fe.) , diluir con 35 mL de agua destilada, agregar 2 mL de ácido clorhídrico y mezclar. Agregar a cada uno de los tubos 50 mg de cristales de persulfato

de amonio (peroxodisulfato de amonio) y 3 mL de solución de tiocianato de amonio TS y mezclar. El color de la muestra no debe ser más oscuro que el del estándar.

Ferrocianuro de Sodio

Disolver 25 g de sal en 80 mL de agua en una fiola de 100 mL . Agregar 2 mL de sulfato ferroso TS y 1 mL de ácido sulfúrico 2 N. Diluir a 100 mL y mezclar. Transferir a un tubo de Nessler llenándolo hasta su marca de 50 mL . Como solución patrón, colocar 80 mL de agua destilada en una fiola de 100 mL, añadir 2 mL de sulfato ferroso TS y 1 mL de ácido sulfúrico 2 N, diluir con agua destilada a 100 mL mezclar y transferir 50 mL a un tubo de Nessler. El color de la muestra no debe ser mas azul que el de la solución patrón, lo que indica ausencia de ferrocianuro de sodio. Como control adicional, agregar una gota de solución de ferrocianuro de potasio al tubo de la muestra para observar el color azul que desarrolla la presencia del anión ferrocianuro.

Metales Pesados

Este análisis se realiza en INASSA, según el metodo I de la norma USP XXII, p 1524. El límite es 5 ppm.

Valoración .-

- Pesar 250 mg de sal en un matraz Erlenmeyer de 500 mL.
- Agregar 140 mL de agua destilada, 1 mL de solución de diclorofluoresceína TS y mezclar.
- Titular con solución volumétrica de nitrato de plata 0,1 N hasta que el

cloruro de plata floccule y la mezcla tome un color rosado pálido. Cada mL de nitrato de plata 0,1 N equivale a 5,844 mg de cloruro de sodio. Para obtener 99 – 101 % de pureza de Cloruro de Sodio en base seca, se requerirá de un consumo de AgNO_3 , entre 42,35 mL y 43,20 mL.

Solución volumétrica de nitrato de plata 0,1 N

Disolver cerca de 17,5 g de nitrato de plata grado analítico en 1 000 mL de agua destilada y estandarizar la solución de la manera siguiente:

Transferir aproximadamente 100 miligramos de cloruro de sodio analítico pesado con toda exactitud, previamente secado a 110°C durante dos horas, a un vaso de precipitados de 150 mL, disolver en 5 mL de agua y agregar 5 mL de ácido acético, 50 mL de metanol, y tres gotas de solución de eosina – Y TS. Agitar preferentemente con un agitador magnético y titular con la solución de nitrato de plata. Calcular la normalidad resultante.

Nota : La experiencia de Química del Pacífico indica que la solución de nitrato de plata debe prepararse semanalmente y debe mantenerse fuera del alcance de la luz en un frasco ámbar y preferiblemente pintado encima para evitar la penetración de la luz.

El cloruro de sodio así obtenido es apto para uso farmacéutico oral. Ideal como componente de las Sales de Rehidratación Oral, que consisten en diversos electrolitos que se reponen al organismo ante una fuerte deshidratación.

Sin embargo ante la exigencia de los laboratorios farmacéuticos para demostrarles que el producto también es apto para uso inyectable, y así sustituir la importación del mismo, se comenzó a hacer una evaluación posterior, inicialmente en los mismos laboratorios farmacéuticos que

adquirían el producto, y luego en INASSA. Se trata de la prueba para determinar la presencia de Pirógenos, que hasta hace algunos años consistía en inyectar a conejos una solución de cloruro de sodio, y observar si ocurría un incremento en su temperatura corporal.

En efecto, los pirógenos son microorganismos que producen una sensible elevación de temperatura cuando están presentes en las formulaciones que son inyectadas al organismo por la vía intravenosa. Actualmente existe en el mercado un Kit para análisis de sustancias pirogénicas, denominado el test LAL (Limulus ameocyte Lyzate) ^(5.8), aprobado por la Food and Drug Administration de los Estados Unidos de Norteamérica, como sustituto de la prueba con conejos.

Instrucciones para el ensayo del LAL para pirogenos .-

Preparación del material.

Precalentar un baño maría sin agitador de manera que esté en equilibrio a 37 ± 1 ° C , antes de empezar el ensayo.

Preparar todo el material de trabajo para que esté libre de pirógenos. Esto se logra calentándolo a 180 ° C por tres horas o a 250 ° C por media hora. Para temperaturas intermedias se puede calcular el tiempo mediante la fórmula :

$$3 \times (180 / t)^{5,4545} = \text{tiempo de calentamiento}$$

en la que “ t “ es la temperatura de la estufa u horno de aire caliente, entre 180 y 250 ° C. Por ejemplo, para $t = 218$ ° C, el tiempo de calentamiento debe ser de una hora.

Para cada lote de sal USP que se prepare hay que tomar una muestra al principio, otra a la mitad y otra al final del lote y hacer la determinación de pirógenos por duplicado. Esto requiere del siguiente material que debe ser despirogenizado

- 1 espátula de metal, sin mango de madera ni plástico
- 8 fiolas de 100 mL con tapas de vidrio
- 9 pipetas de 0,2 mL (o de 1 mL con graduaciones de 0,1 mL)
- 1 pipeta volumétrica de 50 mL

El material que va en la estufa puede envolverse en papel limpio, nuevo o preferentemente en platina de aluminio con la precaución de que el material de vidrio debe tocar la superficie interior del rollo y no la exterior.

Procedimiento.

Marcar las fiolas P1, P2, M1, M2, F1, F2, AD y AC.

Pesar exactamente 0,9 g de sal directamente en las fiolas (dos por cada una de las tres muestras P, M, F).

Agregar agua destilada estéril LUSA desde un frasco recién comprado y abierto tomando la precaución al romper el sello metálico y sacar el tapón del frasco, de no tocar con los dedos los labios interiores del mismo, para evitar que le entren pirógenos. Aspirar el agua con la pipeta volumétrica, la que debe estar provista de un filtro (tapón) de algodón estéril en su extremo superior para evitar que entre saliva o se condense el aliento en su interior. Enrasar a 100 mL , tapar y agitar diez veces invirtiendo las fiolas que contienen sal para dar una solución de cloruro de sodio al 0,9 % . Llenar una fiola (AD) con agua destilada estéril y la otra (AC) con agua de caño.

Marcar los tubos P1, P2, M1, M2, F1, F2, AD y AC para identificar los duplicados de las muestras P, M, F, el control negativo (agua destilada estéril) y el agua de caño (que contiene pirógenos). Golpear suavemente con el dedo el tapón de los tubos **Pyrotell** , de 0,25 EU / mL (azules) para que caiga al fondo todo el polvo adherido al tapón y abrirlos uno por uno, descartando el tapón y sin tocar los bordes de los tubos con los dedos. Agregar 0,2 mL del contenido de cada una de las seis fiolas conteniendo salmuera, agua destilada y agua del caño, respectivamente. Proceder de igual modo con un control positivo (Pyrotell rojo) al que se le agregan 0,2 mL de agua destilada estéril.

A medida que se agreguen los líquidos, colocar los tubos en la gradilla y una vez completada la operación, agitar el contenido de los tubitos para uniformar la solución. Una vez terminada la operación de mezclado colocar todos los tubos Pyrotell, lo más verticales posible en la gradilla y colocar ésta dentro del baño maría teniendo cuidado de que el nivel de agua no sobrepase una pulgada desde el fondo de los tubos para evitar que ellos floten.

Resultados

Al cabo de 60 ± 2 minutos, sin sacar la gradilla del baño maría, tomar los tubitos uno por uno e invertirlos 180 grados con un movimiento uniforme sobre un plato o vaso para recoger los líquidos. Si el contenido se vierte como un líquido más o menos espeso, no hay presencia de pirógenos. Si el contenido se queda pegado en el fondo del tubito como un coágulo gelatinoso firme, hay pirógenos en una concentración igual o mayor que la indicada en los tubitos Pyrotell, es decir 0,25 EU / mL. En ausencia de pirógenos sólo formarán un gel tanto el control positivo (tubo rojo), como el control con agua de caño, aunque el gel formado en este caso sea más

débil, pero suficientemente firme como para quedarse pegado en el fondo del tubo.

En la tabla 2.4 se muestran los valores típicos y especificaciones técnicas del cloruro de sodio USP XXII. ^(5.9)

Tabla 2.4 Valores típicos y especificación técnica del cloruro de sodio USP XXII

	VALORES TÍPICOS QUÍMICA ITD	NORMA USP XXII
Humedad	0,10 – 0,39 %	máximo 0,5 %
Pureza (NaCl, base seca)	99,57 – 100,17 %	mínimo 99 % máximo 101 %
Alcalinidad (como Na ₂ CO ₃)	2 – 11 ppm	máximo 66 ppm.
Sulfato (como Na ₂ SO ₄)	menos de 100 ppm	máximo 213 ppm
Fierro	menos de 2 ppm	máximo 2 ppm
Cobre, Plomo y otros Metales pesados	menos de 5 ppm	máximo 5 ppm
Arsénico	menos de 3 ppm	máximo 3 ppm
Calcio más Magnesio	14 – 17 ppm	máximo 50 ppm
Bario	ausente	excenta
Yoduro o Bromuro	ausente	excenta
Ferrocianuro de Sodio	ausente	excenta

Adicionalmente, las altas temperaturas predominantes en el proceso de fabricación de este producto, garantizan que éste resulte libre de sustancias pirogénicas, lo que se ha comprobado mediante el ensayo de endotoxinas de la USP XXI en conejos y con el test LAL, recientemente descrito.

En consecuencia, el cloruro de sodio ITD, calidad farmacéutica puede usarse en las aplicaciones para las que se requiere cloruro de sodio que cumpla las especificaciones de la USP XXII y que sea libre de sustancias pirogénicas.

2.6.- Alternativas de solución, análisis técnico-económico y selección de los más convenientes :

La purificación de cloruro de sodio se puede hacer con un simple lavado de los cristales, cuando las impurezas están simplemente adheridas al cristal, con lo cual no son necesarias la disolución, evaporación y recristalización donde se utiliza energía calórica, etapas del proceso que elevan notablemente el costo de producción. Por el contrario, si el cristal de cloruro de sodio se ha formado con yeso en su interior, por más que éste sea lavado, no se le va a purificar hasta los niveles exigidos por el mercado para el cual se destina el producto. Es por ello que se hace necesario romper la estructura cristalina mediante la disolución, formándose una salmuera saturada que se purifica mediante los métodos descritos, y luego se cristaliza por evaporación.

Para poder seleccionar entre la alternativa de “ lavado sin evaporación “ y el proceso completo anteriormente descrito, se toma una muestra representativa de la sal industrial y luego se le hace unas pruebas de lavado secuenciales determinándose después de cada lavado la cantidad de impurezas de calcio y magnesio, existentes en los cristales.

2.6.1 Proceso alternativo de lavado de sal procedente de la Salina de Letirá, ubicada al sudoeste de Piura.

Proceso :

A) Molienda y clasificación.

- B) Lavado con salmuera purificada acidificada (4,5 mL de HCl al 30 % por cada litro de salmuera) .
- C) Lavado con B) más carbonato de sodio (3,0 g de Na_2CO_3 por litro de salmuera) .
- D) Si el contenido de calcio sigue siendo alto, lavar con HCl 0,1 N
- E) Lavado con B) más soda cáustica líquida al 50 % en peso (4,0 mL de NaOH por litro de salmuera) .
- F) Centrifugado y secado.

Las distintas etapas de este proceso de lavado se pueden apreciar en el diagrama de flujo de la figura 2.6.

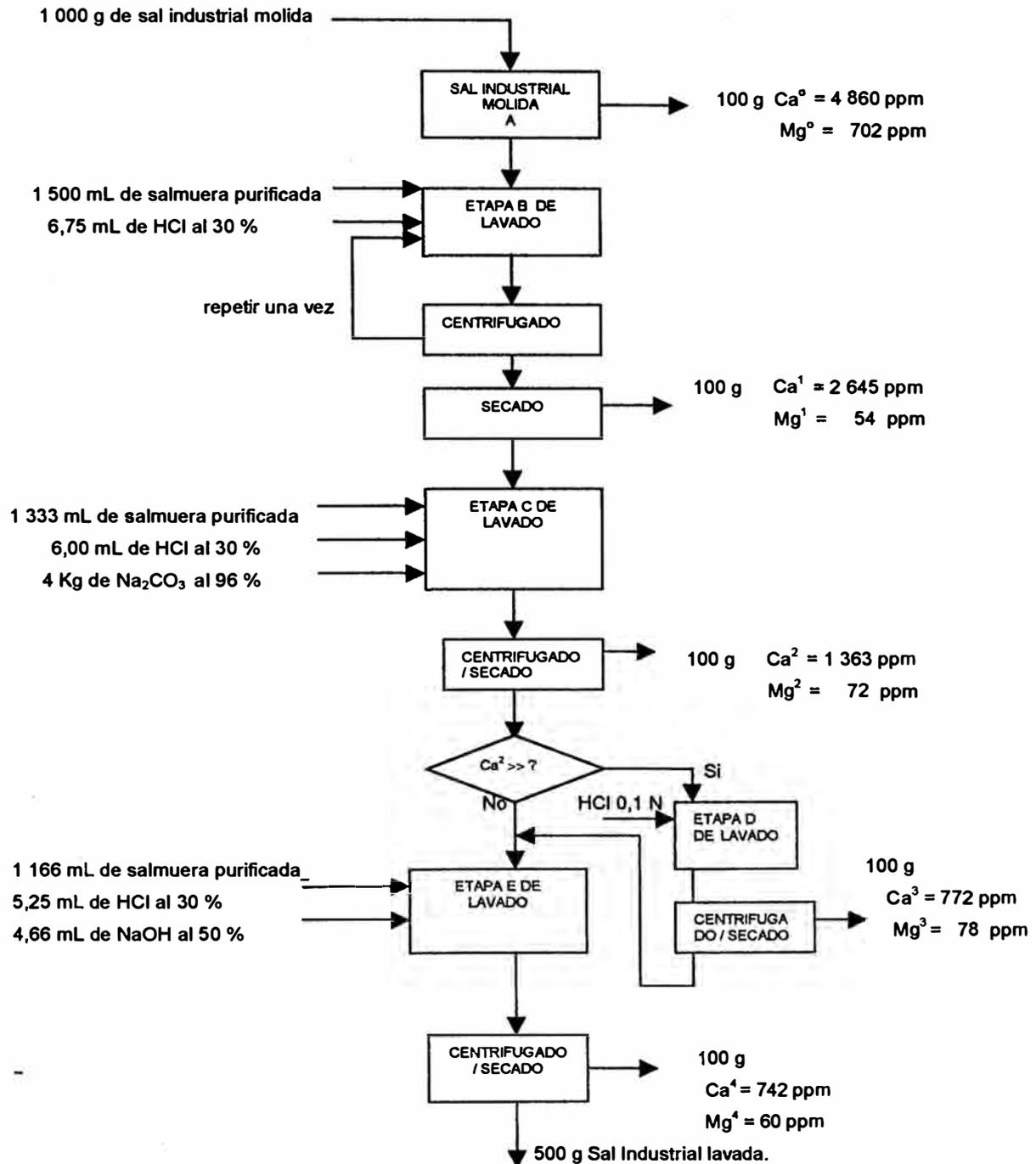
Cálculo de dosificación de Carbonato de sodio.

Estadísticamente se usa 5 Kg de carbonato de sodio por cada tanque a tratar con un volumen de 1 784 litros : $5\,000\text{ g} / 1\,784\text{ L} = 2,8\text{ g/L}$, considerando un exceso del 10 % , la dosificación de Na_2CO_3 será de 3,0 g / L .

Cálculo de dosificación de Soda Cáustica líquida al 50 %

Estadísticamente se usa 5,19 L de soda cáustica por cada tanque a tratar con un volumen de 1 784 litros : $5\,190\text{ mL} / 1\,784\text{ L} = 2,91\text{ mL/L}$, considerando un exceso del 35 % , la dosificación de NaOH al 50 % en peso, será de 4,0 mL / L .

FIGURA 2.6. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE LAVADO DE LA SAL INDUSTRIAL DE LA SALINA DE LETIRA, PIURA.



Análisis del contenido de calcio y magnesio iniciales en la sal industrial antes del tratamiento de lavado.-

Se pesa 100 g de sal molida y se disuelve en 300 mL de agua destilada. Luego se afora en una fiola hasta 500 mL. Se toma una alícuota de 1 mL.

Consumos de EDTA 0,01 N $V_{Ca} = 4,85$ mL ; $V_{Mg} = 1,17$ mL

$Ca^{\circ} = 4,85 \times 0,2004 \times 500 = 485,97$ mg de calcio en la fiola

$$\frac{485,97 \text{ mg Ca} \times 10^6}{100\,000 \text{ mg NaCl}} = 4\,860 \text{ ppm de calcio}$$

$Mg^{\circ} = 1,17 \times 0,1200 \times 500 = 70,2$ mg de magnesio en la fiola

$$\frac{70,2 \text{ mg Mg} \times 10^6}{100\,000 \text{ mg NaCl}} = 702 \text{ ppm de magnesio}$$

En cuanto al proceso de lavado, en cada una de las etapas señaladas se debe tener en cuenta lo siguiente :

- A) Se debe moler la sal para que exista mayor área expuesta y el lavado tenga una mayor eficiencia.
- B) La salmuera purificada en la que se debe disolver la sal molida, es la que se obtiene en el proceso de elaboración de sal para margarinas, antes de la evaporación, luego se neutraliza con 4,5 mL de HCl por cada litro de salmuera.

Se mezcla en proporción 2 : 1 (2 partes de salmuera para 1 parte de sal molida). Para 500 g de sal molida se usó 833 mL de salmuera.

Se lava con agitación intermitente durante dos horas. Luego se centrifuga en una bolsa de lona. Posteriormente se remoja nuevamente en salmuera purificada y neutralizada y se repiten las dos últimas operaciones.

Todo el producto lavado se centrifuga y seca y se pesan 100 g secos para preparar la solución con agua destilada en la fiola de 500 mL, de allí se determinan los valores de calcio y magnesio después del lavado, Ca^1 y Mg^1 . $V_{\text{Ca}^1} = 2,64 \text{ mL}$ y $V_{\text{Mg}^1} = 0,09 \text{ mL}$.

- C) La sal seca obtenida en B) se lava con la salmuera reactiva especificada y se procede igual que en B), obteniéndose el producto lavado C). El cual se centrifuga y seca íntegramente y se separan 100 g para el respectivo análisis, obteniéndose Ca^2 y Mg^2 .
- D) La sal seca obtenida en C) se lava con una solución de ácido clorhídrico 0,1 N, y se procede igual que en B), obteniéndose el producto lavado D). El cual se centrifuga y seca íntegramente y se separan 100 g para el respectivo análisis, obteniéndose Ca^3 y Mg^3 .
- E) Finalmente, la sal seca obtenida en D) se lava con la salmuera reactiva especificada y se procede igual que en B), obteniéndose el producto lavado, el cual se centrifuga, se seca y se separan los 100 g para el análisis correspondiente, y así obtenemos Ca^4 y Mg^4 .

Los resultados obtenidos han sido tabulados en la tabla 2.5, para poder apreciarlos mejor.

Tabla 2.5 Resultados de lavados de Sal de Letirá- Piura.

ETAPA	Ca^0	4 860 ppm	Mg^0	702 ppm
B	Ca^1	2 645 ppm	Mg^1	54 ppm
C	Ca^2	1 363 ppm	Mg^2	72 ppm
D	Ca^3	772 ppm	Mg^3	78 ppm
E	Ca^4	742 ppm	Mg^4	60 ppm

Observamos que los niveles de calcio y magnesio que todavía están presentes en la sal lavada son altos para las exigencias de las normas BS-998 :1969 y USP XXII. En consecuencia, la alternativa de " sólo lavado ", no es suficiente y se hace evidentemente necesaria la disolución, precipitación

de impurezas y evaporación de la salmuera purificada. Este ensayo que se ha realizado demuestra que cuando el cristal de sal se forma con yeso en su interior, la única forma de purificarlo es rompiendo su estructura disolviéndolo en agua.

En el caso se logre bajar el contenido de calcio y magnesio a menos de 100 ppm respectivamente, tendríamos una alternativa a bajo costo para ofrecer al mercado, siempre y cuando el contenido de hierro y sulfatos sea aceptado.

2.6.2 Análisis técnico –económico del proceso para el caso de la sal purificada para fabricación de margarinas y bocaditos.

Equipos y accesorios requeridos

Dos cilindros lixiviadores con sus respectivos accesorios.

Dos bombas hidrostal de 1 HP y 3 000 rpm.

Un tanque cuadrado de fierro revestido con brea por dentro, de 3 metros cúbicos.

Cuatro tanques cilíndricos verticales, hechos con fierro de ¼ de pulgada, con diámetro de 1,20 m , y capacidad de 1 784 L cada uno.

Dos bombas con accesorios de acero inoxidable calidad AISI 304 y retenes para manejar salmuera alcalina.

Dos cristalizadores evaporadores cilíndricos, de acero inoxidable calidad AISI-316-L de 1/8 de pulgada de espesor, de 3 metros de largo y 0,96 metros de diámetro exterior. Cada evaporador está encima de un horno con tres hornillas para quemar retazos de madera, y lleva un ventilador para suministrar aire al horno. Los motores son, para el ventilador 2,4 HP y 1 720 rpm, para el cristalizador 5 HP y 1 200 rpm.

Dos cilindros receptores de pulpa, de acero inoxidable calidad AISI-316-L de 0,60 metros de diámetro y 0,60 m de altura.

Un tanque cuadrado de acero inoxidable de 1,5 m de lado y 1 m de alto, apoyado en un caballete de madera. Su finalidad es almacenar la pulpa mientras se enfría y mantenerla con su agua madre para que sea más dócil a la centrifugación.

Una centrífuga de canasta, con capacidad para 45 kilos de pulpa. Cilindro exterior e interior de acero inoxidable, con un eje vertical de acero bonificado al cromo-níquel, AISI 4337 de 45 mm de diámetro y 62 cm de largo fijado a un cono de fundición, para que el centro de gravedad de la carga sea más bajo, permitiendo así absorber más fácilmente el desequilibrio ocasionado por el producto a procesar. El motor es de 4 HP y 1 710 rpm.

Una paila de acero inoxidable calidad AISI-304, de 0,80 m de diámetro y 0,30 m de pared utilizada en el secado de la sal centrifugada., utilizando como combustible, madera.

Unas seis o siete bandejas de acero inoxidable de 1/20 de pulgada, de 0,30 m de ancho, 0,60 m de largo y 60 mm de altura., con capacidad para recibir 30 kilos de sal seca a 180 – 200 ° C, y permitir su enfriamiento antes de ser clasificada en la zaranda.

Una zaranda vibratoria con un eje excéntrico, que al girar a altas revoluciones produce la vibración deseada. Una pequeña tolva la alimenta y luego clasifica la sal con una malla 30. Lo que queda retenido en la malla constituye el rechazo y lo que la cruza, es el producto requerido.

Una parrilla magnética de doble hilera de 8 ½ " de ancho por 6 " de largo, que contiene imanes de tierras raras en forma cilíndrica, capaces de capturar partículas de fierro, antes del envasado del producto.

Un sistema de llenado de bolsas de 25 kilos que consiste en una balanza, un embudo de acero inoxidable y un caballete de madera que sostiene la bolsa.

Estado de Costos.-

La inversión inicial de puesta en marcha de la planta con los equipos esenciales fue de US \$ 18,000 en el año 1983. Hay que tener en cuenta que los evaporadores-cristalizadores se deben renovar cada cinco años, por las condiciones rigurosas de operación y su continuo desgaste. Las piezas que se reemplazan son básicamente las planchas de acero inoxidable calidad AISI-316-L, en forma parcial o total, lo cual no es una inversión muy fuerte.

El estado de costos está compuesto por los siguientes items

Producción del mes : 45 200 kilos de sal para margarinas (Marzo-1990)

Días Trabajados : 25

Nº de Trabajadores : 16

Materia Prima		US \$
Sal Industrial	81, 440 T.M. x US \$ 14,89	1 212,64
Implementos auxiliares de Producción		
Carbonato de sodio Indus.	428 kilos x US \$ 0,437	187,04
Soda Cáustica Líquida	423 kilos x US \$ 0,512	216,58
Acido clorhídrico al 30 %	41 kilos x US \$ 0,075	3,08
Suministros diversos :		
Leña para hornos	184,101 T.M. x US \$ 13,91	2 560,84
Servicios :		
Energía eléctrica	1 833 Kw-hr x US \$ 0,04745	86,98
Agua	269 m ³ x US \$ 0,2085	56,09

Envases y embalajes :

Bolsas de polietileno de 6 mils de espesor

18 " x 27,5 " por 25 kilos x US \$ 0,13462 x unidad : 1 839 247,57

Sueldos y Jornales :

Sueldos (6 empleados y un gerente administ.) 1 864,55

Jornales (15 obreros y un jefe de planta) 1 860,31

Otros Gastos Indirectos 1 932,80**Gastos Financieros** 198,45**COSTO TOTAL DE FABRICACION** **US \$ 10 426,93**

Costo de producción de 1 T.M. de sal para margarinas US \$ 230,68

Venta de sal para margarinas en el mes : 12,325 T.M.

Valor de venta total en el mes US \$ 5 397,10

Precio de venta promedio por T.M. US \$ 437,90

Utilidad del mes : $12\,325 \times (437,90 - 230,68) =$ **US \$ 2 553,99****Existencias al final del mes** **US \$ 10 348,68**

Con este modelo de estructura de costos se han tabulado los resultados obtenidos para los años 1990, 1991 y 1992 , en los cuadros 2.7, 2.8 y 2.9 , respectivamente

2.6.3. Valores estadísticos de consumo de materias primas, implementos auxiliares de producción y suministros diversos.-

En la tabla 2.6 se señalan los valores por T.M. de producto terminado, de los ratios de consumo, promediados durante los años 1989 – 1993.

Tabla 2.6 Ratios de consumo por T.M. de sal purificada seca.

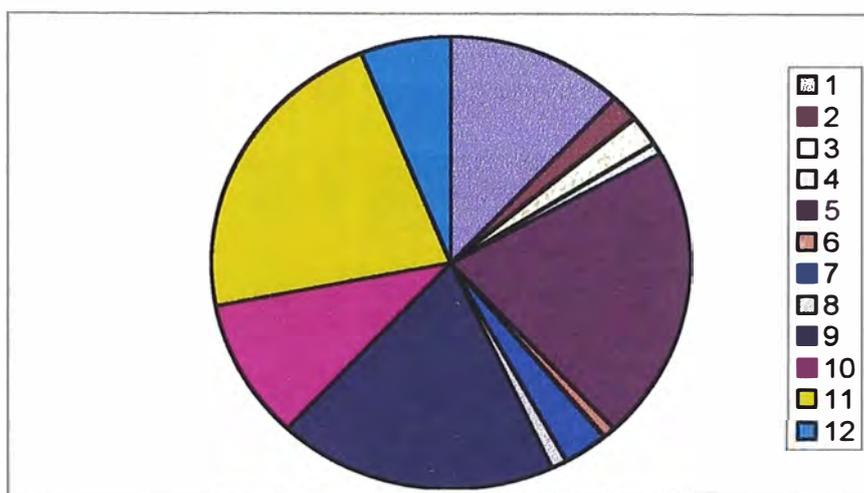
Producto consumido	Ratio, en Unidad / T.M. de sal purificada seca
Sal Industrial	2,08 T.M.
Carbonato de sodio al 97 %	21,8 Kg
Soda cáustica en solución al 49 %	13,0 Kg
Acido clorhídrico al 30 %	1,59 Kg
Leña, como combustible	4,32 T.M.
Energía eléctrica	56,98 Kw – hr
Agua Potable	3,63 m ³

2.6.4. Incidencia de los componentes del costo, en el costo total de producción de sal purificada.

Materias Primas	16 %
Envases y Embalajes	4 %
Mano de Obra	19 %
Suministros Diversos	23 %
Sueldos Administrativos	10 %
Gastos de Mantenimiento	22 %
<u>Cargas Financieras</u>	<u>6 %</u>
	100 %

En la figura 2.7, vemos una gráfica circular donde se aprecia la incidencia de los componentes del costo de producción de la sal purificada.

FIGURA 2.7 Incidencia de los componentes en el costo de producción



COMPONENTES DEL COSTO DE PRODUCCION

	Porcentaje
1 sal industrial	12
2 carbonato	2
3 soda caustica	2
4 bolsas polietileno (50 kg)	1
5 leña	21
6 electricidad	1
7 bolsas polietileno (25 kg)	3
8 agua	1
9 jornales	19
10 sueldos	10
11 compras varias	22
12 carga financiera	6
	100 %

CUADRO No. 2.7

COSTOS Y UTILIDAD EN EL PROCESO DE FABRICACION DE SAL PARA MARGARINAS
AÑO 1990
MONEDA : DÓLAR NORTEAMERICANO

MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL 1990
PRODUCCION (T.M.)	50,325	36,325	45,200	34,450	31,700	40,400	40,525	23,100	24,325	9,425	39,900	30,675	406,350
DIAS TRABAJADOS	27	25	25	25	28	26	25	21	19	11	26	21	279
# DE TRABAJADORES	16	16	16	12	14	15	16	16	13	8	13	13	14
Materia Prima													
Sal Industrial	1 883,81	1 753,03	1 212,64	1 109,24	938,04	1 171,11	993,57	969,85	1 315,61	691,43	2 801,44	2 122,68	16 962,45
Implementos Auxiliares													
Carbonato de sodio Indus.	453,22	344,27	187,04	248,87	292,63	260,78	258,18	245,13	199,15	107,78	378,82	255,19	3 229,06
Soda Cáustica Líquida	256,87	408,60	216,58	165,17	155,05	150,70	159,79	156,13	224,87	127,09	391,14	172,16	2 584,15
Acido Clorhídrico al 30 %	1,82	10,70	3,08	1,78	1,87	8,50	5,06	9,15	16,43	12,18	7,39	7,80	85,76
Suministros Diversos													
Leña para hornos	2 174,48	2 684,75	2 560,84	1 985,79	1 841,17	1 184,18	1 084,12	1 755,02	1 525,37	672,88	3 568,76	2 420,64	23 658,00
Servicios													
Energía Eléctrica	68,65	80,19	86,98	58,59	126,10	149,56	111,26	82,70	328,98	152,00	459,77	260,12	1 984,90
Agua	78,19	67,90	56,09	62,52	105,58	68,30	49,09	191,30	87,80	16,60	147,32	119,74	1 048,43
Envases y Embalajes													
Bolsas de polietileno 25 K	602,83	223,42	247,57	275,60	253,60	323,20	319,80	186,00	201,40	76,80	335,05	245,40	3 290,67
Sueldos y Jornales													
Sueldos	2 284	1 918,57	1 864,55	1 488,93	1 502,40	1 410,62	2 620,33	1 430,97	665,89	895,00	1 450,00	1 915,00	19 426,26
Jornales	2 837,42	2 652,91	1 860,31	1 727,17	1 470,43	1 524,81	2 243,58	1 499,30	1 257,2	1 197,41	2 169,67	3 112,85	23 553,06
Otros Gastos Indirectos	3 589,84	2 299,99	1 932,80	1 886,45	1 767,45	2 048,43	1 626,52	1 384,45	895,38	756,95	1 293,27	1 778,80	21 240,33
Gastos Financieros	814,92	315,41	198,45	317,34	764,72	327,54	192,42	75,00	112,78	58,65	160,51	82,46	3 220,20
COSTO DE FABRICACION	14 826,05	12 959,74	10 426,93	9 307,45	9 219,04	8 625,73	9 661,72	7 985,00	6 830,86	4 764,77	13 163,14	12 492,84	120 263,27
COSTO POR T.M.	294,61	356,77	230,68	270,17	290,82	213,51	238,41	345,67	280,82	505,55	329,90	407,26	295,96
VENTAS EN EL MES (T.M.)	49,975	36,350	12,325	25,325	38,975	60,850	30,750	23,125	6,200	44,450	36,825	32,400	397,550
INGRESO POR VENTAS	27 540,09	20 953,60	5 397,10	9 689,46	14 393,68	20 064,41	8 008,34	16 202,70	3 187,65	17 696,69	14 035,17	10 857,64	168 024,53
PRECIO DE VENTA PROM.	551,08	576,44	437,90	382,60	369,31	329,74	260,37	700,86	514,44	398,13	381,13	335,11	422,85
UTILIDAD DEL MES	12 817,15	7 984,94	2 553,92	2 847,34	3 058,91	7 072,44	675,12	8 209,06	1 446,59	-4 774,82	1 888,54	-2 337,73	41 439,38
EXISTENCIA FINAL	2 278,05	4 774,75	10 348,68	13 157,47	10 896,03	3 837,13	5 023,13	8.751,68	11 875,48	6 027,95	6 580,76	5 233,86	5 233,86

CUADRO No. 2.8

**COSTOS Y UTILIDAD EN EL PROCESO DE FABRICACION DE SAL PARA MARGARINAS
AÑO 1991**

MONEDA : DÓLAR NORTEAMERICANO

MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL 1991
PROD. SAL MARGARINA.(T.M.)	43,400	42,800	27,275	42,075	41,475	21,450	4,900	14,400	26,575	17,675	21,975	5,300	309,300
PROD. SAL USP (T.M.)	1,100	0,325	0,500	1,000	3,025	3,025	2,800	0,550	1,700	2,775	1,125	1,575	19,500
DIAS TRABAJADOS	25	26	25	27	29	21	17	20	24	26	25	24	289
# DE TRABAJADORES	14	15	13	14	14	12	5	5	9	5	5	5	10
Materia Prima													
Sal Industrial	3 922,20	3 112,34	2 242,60	2 903,48	2 250,96	1 316,65	628,68	983,28	2 754,16	1 578,57	1 591,84	403,15	23 687,89
Implementos Auxiliares													
Carbonato de sodio Indus.	387,54	407,00	243,03	539,17	566,68	348,00	149,45	216,31	360,46	322,58	370,39	79,80	3 988,61
Soda Cáustica Líquida	451,48	539,34	479,79	577,65	504,68	250,01	116,23	114,95	235,16	174,48	154,50	58,00	3 658,27
Acido Clorhídrico al 30 %	6,50	14,14	7,43	9,99	5,95	7,04	5,39	11,61	8,28	13,40	12,49	2,87	105,09
Suministros Diversos													
Lefa para hornos	5 736,44	5 751,43	3 608,34	4 306,18	3 987,45	2 899,15	1 134,00	972,70	2 885,06	2 195,18	1 905,77	572,00	35 933,70
Servicios													
Energía Eléctrica	471,05	277,86	338,71	225,35	227,32	175,34	238,69	343,81	407,98	332,81	305,49	321,07	3 665,48
Agua	126,12	172,89	105,09	111,90	98,21	106,36	52,75	68,88	95,42	84,68	87,91	98,61	1 206,62
Envases y Embalajes													
Bolsas de polietileno 25 K	361,20	354,61	222,21	345,80	350,59	142,80	57,20	110,58	223,60	168,60	184,80	54,60	2 576,59
Sueldos y Jornales													
Sueldos	1 289	1 951,37	1 076,46	2 124,00	976,45	1 580,00	1 450,51	1 086,36	1 180,86	1 331,01	1 138,24	1 080,00	16 264,26
Jornales	3 011,24	3 263,64	2 898,16	2 811,45	2 402,81	1 836,06	1 426,9	1 454,56	2 304,22	1 162,26	939,58	1 103,21	24 614,09
Otros Gastos Indirectos	2 355,60	1 922,29	1 884,59	2 220,70	1 734,12	1 815,02	1 077,49	1 200,01	1 697,11	2 193,92	1 494,28	1 244,53	20 839,66
Gastos Financieros	245,85	338,96	180,50	275,25	102,39	95,33	90,25	27,54	36,14	41,67	38,83	30,02	1 500,73
COSTO DE FABRICACION	18 364,22	18 103,87	13 284,91	16 450,90	13 187,81	10 569,76	6 429,54	6 588,59	12 188,45	9 599,16	8 224,12	5 047,86	138 039,19
COSTO POR T.M.	412,68	419,80	478,30	381,91	296,36	431,86	835,01	440,71	431,07	469,40	358,02	734,23	419,82
VENTAS SAL MARGARINA (T.M.)	45,475	40,550	8,600	45,025	48,225	18,650	17,275	8,000	27,375	17,625	24,600	4,525	305,925
VENTAS SAL USP (T.M.)	1,025	0,600	0,525	1,550	2,900	3,050	1,000	0,000	5,000	2,600	0,500	1,000	19,750
INGRESO POR VENTAS	17 940,61	15 500,00	5 005,17	23 343,06	24 349,27	9 678,82	8 864,38	4 451,25	17 194,58	10 418,06	12 696,14	3 229,31	152 670,65
PRECIO DE VENTA PROM.	385,82	376,67	548,51	501,19	476,27	446,03	485,05	556,41	531,11	515,11	505,82	584,49	468,78
UTILIDAD DEL MES	-1 248,97	-1 774,77	640,64	5 555,48	9 198,11	307,49	-8 395,34	925,60	3 238,75	924,48	3 759,97	-827,31	14 304,10
EXISTENCIA FINAL	4 192,81	6 486,57	15 548,93	10 760,97	6 161,05	9 981,28	6 637,54	6 313,55	8 481,80	5 682,38	4 638,88	7 440,40	7 440,4

CUADRO No. 2.9

COSTOS Y UTILIDAD EN EL PROCESO DE FABRICACION DE SAL PARA MARGARINAS Y SAL USP
AÑO 1992 MONEDA : DÓLAR NORTEAMERICANO

MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL 1992
PROD. SAL MARGARINA.(T.M.)	0,000	16,125	6,600	4,800	13,400	4,050	0,225	0,000	0,000	0,000	7,525	10,775	63,500
PROD. SAL USP (T.M.)	5,025	1,050	3,250	2,600	0,975	6,100	6,300	0,000	0,000	0,000	2,500	2,625	30,425
DIAS TRABAJADOS	25	24	26	25	25	25	23	25	0	0	25	23	246
# DE TRABAJADORES	3	6	4	3	4	4	4	2	2	2	6	6	4
Materia Prima													
Sal Industrial	544,02	1 181,80	809,90	544,52	1 033,90	777,68	513,75	509,13	12,99	37,53	567,39	751,62	7 284,23
Implementos Auxiliares													
Carbonato de sodio Indus.	106,40	222,88	146,72	117,60	166,88	140,56	87,58	-	-	-	149,80	168,00	1 306,42
Soda Cáustica Líquida	58,67	122,59	88,39	41,57	76,60	67,50	128,04	-	-	-	96,90	142,80	841,06
Acido Clorhídrico al 30 %	14,90	1,73	9,31	7,26	6,74	11,04	7,68	-	-	-	8,83	6,80	74,29
Suministros Diversos													
Leña para hornos	526,53	1 040,42	634,53	442,15	695,32	579,90	388,67	-	-	-	854,01	928,41	6 089,94
Servicios													
Energía Eléctrica	321,07	326,15	326,19	180,12	171,60	181,42	230,11	221,26	244,14	-	97,58	167,22	2 466,86
Agua	324,49	269,47	247,40	191,75	153,41	117,48	112,00	118,22	80,85	41,30	56,06	167,91	1 880,34
Envases y Embalajes													
Bolsas de polietileno 25 K	42,20	97,45	46,52	30,72	63,58	44,68	28,71	-	-	-	36,70	46,49	437,03
Sueldos y Jornales													
Sueldos	1 000,00	1 000,00	1 000,00	1 000,00	1 000,00	1 000,00	2 000,00	1 000,00	1 000,00	1 000,00	1 000,00	2 000,00	14 000,00
Jornales	596,41	1 255,83	787,21	573,88	835,24	720,58	1 476,18	172,50	250,30	160,61	635,27	2 050,10	9 514,11
Otros Gastos Indirectos													
Gastos Financieros	35,97	74,27	32,00	22,79	22,50	31,81	25,45	22,00	20,00	21,50	18,46	21,50	348,25
COSTO DE FABRICACION	4 176,45	6 369,37	5 020,10	3 794,28	5 111,81	4 880,50	5 794,64	2 188,89	2 243,44	1 892,24	4 714,02	7 363,06	53 528,80
COSTO POR T.M.	831,13	370,85	509,65	512,74	355,60	480,84	888,07				470,23	549,48	4 968,60
VENTAS SAL MARGARINA (T.M.)	2,900	13,350	12,625	2,650	6,300	3,250	4,750	0,200	1,775	1,050	10,700	6,275	65,825
VENTAS SAL USP (T.M.)	4,800	2,000	2,500	0,000	2,000	5,000	0,500	1,025	1,000	1,500	6,000	5,000	31,325
INGRESO POR VENTAS	5 653,73	11 115,96	9 788,55	1 827,83	6 027,51	5 944,56	3 837,05	1 468,92	2 121,21	1 878,08	11 263,80	7 610,03	68 515,23
PRECIO DE VENTA PROM.	734,25	724,17	645,85	689,75	726,21	720,55	730,87	793,06	764,40	714,06	674,48	674,95	8 592,59
UTILIDAD DEL MES	-746,00	5 423,39	2 060,02	469,07	3 076,00	1 977,65	-825,30	-685,27	-290,67	127,79	3 411,02	1 414,62	15 412,31
EXISTENCIA FINAL	5 908,99	3 908,6	2 127,67	3 903,71	5 637,35	6 515,03	10 156,56	7 909,46	6 677,90	5 217,25	3 335,61	4 935,10	4 935,10

2.6.5. Alternativa económica para la fabricación de cloruro de sodio USPXXII .-

Las medidas de reducción de los aranceles de importación, permiten la importación de cloruro de sodio para uso farmacéutico, a precios más accesibles al mercado. Por otro lado, implican la reducción inmediata de los costos de fabricación del similar producto nacional, para poder competir con el precio del importado.

Es por ello que la empresa tomó las siguientes medidas en el año 1995 :

Reducir el número de trabajadores a cuatro, pagándoles a destajo.

Reducir el área que ocupa la planta de 480 m² a 100 m², efectuándose importantes cambios en el proceso.

Importar una sal grado alimenticia, sin yodo ni aditivos de ninguna clase, que nos permita su fácil conversión a sal farmacéutica, mediante un proceso de lavado de los cristales, prescindiéndose de los evaporadores y del consumo de leña.

Eliminar definitivamente el consumo de leña y retacería de madera como combustible en el secador. Se comenzó a utilizar gas propano, para lo cual se rediseñó el sistema de calentamiento de la plancha de acero inoxidable.

La empresa pidió cotizaciones y especificaciones técnicas, de cloruro de sodio grado alimenticio, a los Estados Unidos, Inglaterra y Alemania, y los resultados se resumen en el cuadro 2.10.

Tabla 2.10 Comparación de cotizaciones de sal importada de alta pureza para uso alimenticio.

Noviembre de 1994.		Precios en US \$ por T.M.		
Marca	Procedencia	US \$ F.O.B.	US \$ C.I.F.	US \$ en bodega
ICI	Inglaterra	131,00	248,00	344,20
HOECHST	Alemania	122,98	280,66	389,06
BAYER	Alemania	136,00	298,00	412,87
MORTON	EE.UU.	166,00	330,46	440,00

A pesar de ser la sal de Morton la más cara, es la que la empresa decidió importar debido a que las otras contenían aditivos anti-aglomerantes y concentraciones altas de hierro. La ICI, manifestó que les era imposible producir lotes sin aditivo porque existían medidas gubernamentales que lo prohibían.

La sal que finalmente se importó, fue la Morton Culinox 999, grado alimenticio, que es fabricada sin aditivos, y se adaptó perfectamente al proceso de producción de cloruro de sodio USP XXII.

Las características de la sal Morton Culinox se describen en la tabla 2.11.

Tabla 2.11 Especificaciones de la sal Morton Culinox 999.

	Análisis Típico	Rango
Cloruro de sodio (%)	99,97	99,95 – 99,99
Sulfato de sodio (%)	0,02	0,00 - 0,04
Carbonato de calcio (%)	0,00	0,00 - 0,03
Ca ²⁺ & Mg ²⁺ como Ca (ppm)	30	máximo 70
Humedad (%)	-	máximo 0,1
Insolubles en agua (ppm)	-	máximo 100
Cobre (ppm)	0,00	máximo 0,5
Hierro (ppm)	0,3	máximo 1,0
Metales pesados expresados como Plomo (ppm)	0,0	máximo 0,1
Ferrocianuro de Sodio	ausente	ausente

Proceso de conversión de la sal Morton en sal USP XXII.

Disolución de la sal industrial KD de Quimpac S.A, para fabricar una salmuera saturada.

Purificación de la salmuera con carbonato de sodio y soda cáustica, de acuerdo a los métodos descritos en el proceso de fabricación de sal para margarinas.

Sedimentación de las impurezas, y filtrado de la salmuera KD purificada.

Llenado de cilindros de plástico de 200 L, de la siguiente forma :

- a) 100 L de la salmuera purificada KD, acidificada con 0,350 L de HCl al 30 %.
- b) 7 bolsas de 36,3 Kg (80 lb).

Reposo durante 24 horas de los cilindros conteniendo la sal Morton . En esta etapa ocurre el lavado de los cristales de sal, bajando los valores de calcio, magnesio y sulfatos.

Centrifugado para eliminar los sulfatos , el calcio y el magnesio que se han removido de los cristales. Centrifugar hasta que deje de salir líquido por la tubería de descarga.

Secado a 200 ° C para garantizar una humedad inferior a 0,50 % y la eliminación de sustancias pirogénicas, para proceder a su envasado.

Enfriamiento hasta 60 ° C , paso por la parrilla magnética y envasado en bolsas para 25 kilos, de polietileno de 6 mils en el interior y papel multipliegos en el exterior.

De esta manera se obtiene el cloruro de sodio USP XXII, libre de pirógenos de una manera más sencilla y menos costosa.

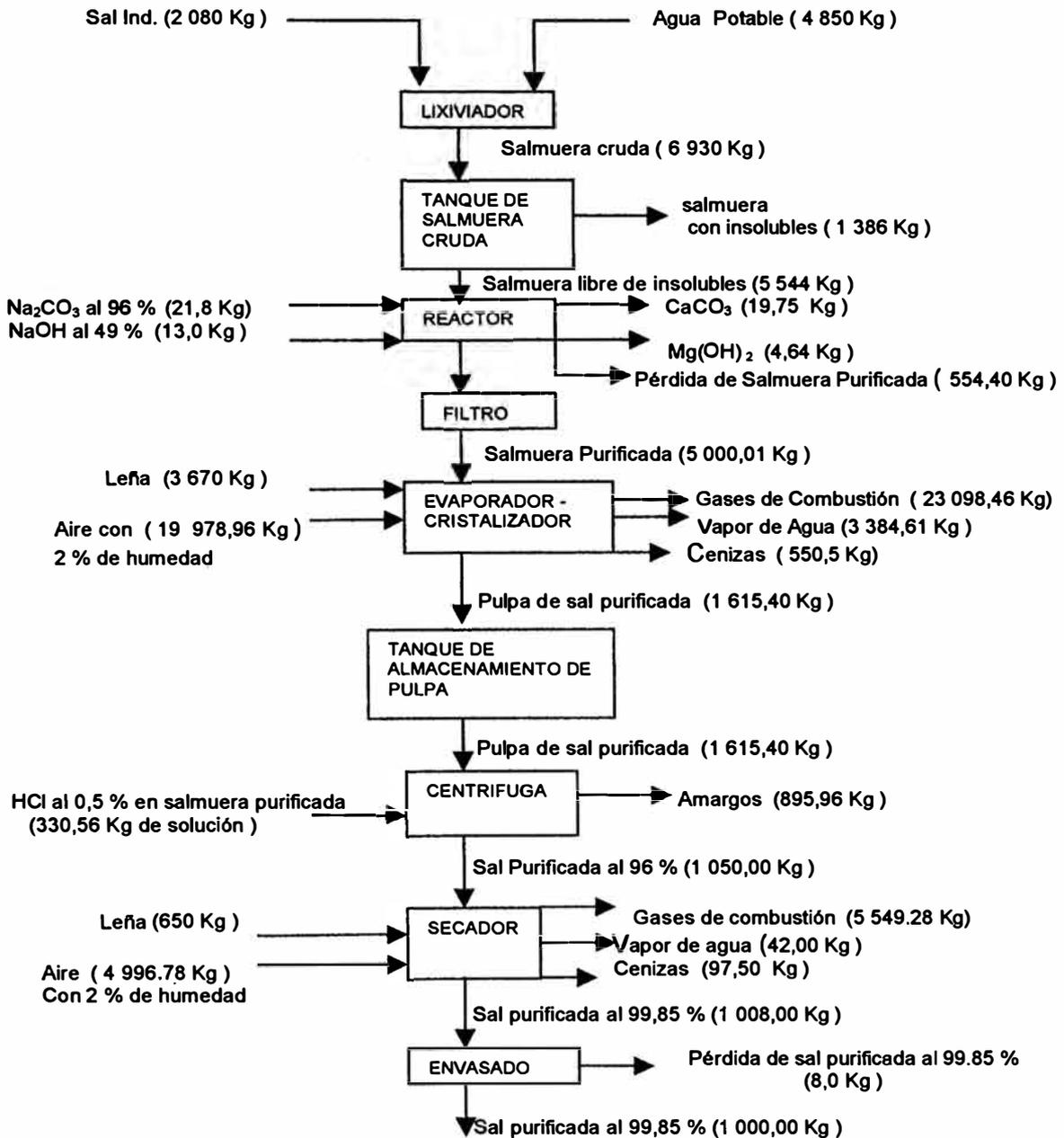
Se ha tomado dos meses del año 1995, ilustrados en la tabla 2.12 a modo de ejemplo para el cálculo de costos de producción con los cambios en el proceso recientemente descritos.

Tabla 2.12 Costo de producción de Cloruro de Sodio USP XXII en mayo y agosto de 1995.

	May-95		Ago-95	
	Unidades	US \$	Unidades	US \$
PRODUCCION (T.M.)	16,025		32,650	
VENTAS USP (T.M.)	16,508		19,720	
VENTAS SAL INDUS. (T.M.)	21,400		5,200	
VENTAS USP (US \$)		13 367,40		16 307,06
VENTAS TOTAL (US \$)		14 800,35		16 793,81
SAL MORTON CULINOX	16,346 T.M.	7 191,09	33,548 T.M.	14 758,69
SAL INDUSTRIAL TIPO KD	4,006 T.M.	287,92	8,163 T.M.	586,63
CARBONATO DE SODIO	3 Kg	1,31	17 Kg	7,43
SODA CAUSTICA	20 Kg	9,94	22 Kg	10,93
ACIDO CLORHIDRICO	19 Kg	3,78	2,25 Kg	3,18
BOLSAS DE POLETILENO	641 unid.	87,27	1371 unid.	186,67
BOLSAS DE PAPEL	641 unid.	477,78	622 unid.	463,62
GAS PROPANO	7,28 Kg	225,22	14,84 Kg	458,86
JORNALES		1 276,15		2 865,57
COSTO DIRECTO (US \$)		9 560,46		19 341,58
COSTO DIRECTO / T.M.		596,60		592,39
ELECTRICIDAD		104,68		150,80
AGUA		149,02		123,67
TELEFONO		53,67		52,95
ALQUILER		500,00		500,00
OTROS GASTOS		617,03		452,12
SUELDO EMPLEADOS		1 074,75		784,78
CARGAS FINANCIERAS		245,58		14,13
COSTO TOTAL (US \$)		12 305,19		21 420,03
COSTO TOTAL/T.M. (US\$)		767,87		656,05
PRECIO PROM. VENTAS		809,75		826,93
UTILIDAD DEL MES USP		691,33		3 369,76
UTILIDAD OTROS		378,09		160,78
UTILIDAD TOTAL DEL MES		1 069,42		3 530,54

FIGURA 2.8 BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE PURIFICACION DE CLORURO DE SODIO.

Base de cálculo : 1 000 Kg de sal purificada base seca .
Producidas en doce horas.



2.6.6 Balance de Materia en el proceso de purificación de la sal para margarinas.

Se desarrollarán los cálculos de balance de materia por cada etapa mostrada en la figura 2.8.

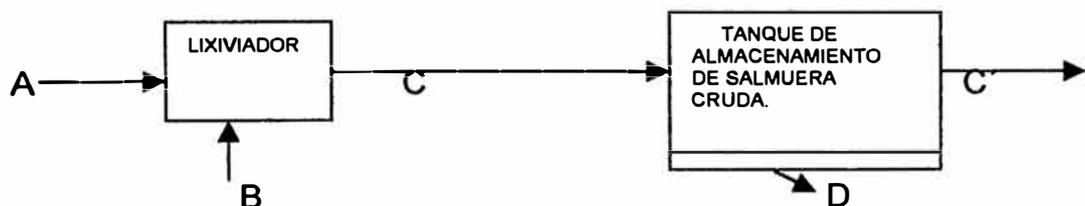
Se toma como base : 1 000 kilos de sal purificada seca.

Etapas 1. En el Lixiviador.

A : 2 080 kilos de sal industrial de pila tipo B, son alimentados a los lixivadores para obtener al final del proceso, 1 000 kilos de sal purificada seca.

B: 4 850 kilos de agua potable de la red son utilizados para conseguir una salmuera con 25,6 ° Bé.

C : 6 930 kilos de salmuera saturada que sale del lixivador e ingresa al tanque de almacenamiento de salmuera cruda.



En la tabla 2.13 se indican las composiciones de las corrientes A , B, C , y C' que intervienen en el balance de masa en la Etapa 1.

Tabla 2.13. Composiciones de las corrientes A, B, C y C' que intervienen en la Etapa 1.

Componente	A (Kg)	B (Kg)	C (Kg)	C' (Kg)
NaCl	2.036,32		2.036,32	1.629,06
H ₂ O	22,61	4.850,00	4.872,61	3.898,09
Ca	5,95		5,95	4,76
Mg	1,71		1,71	1,37
SO ₄	13,23		13,23	10,58
Fe	0,18		0,18	0,14
TOTAL	2.080,00	4.850,00	6.930,00	5.544,00

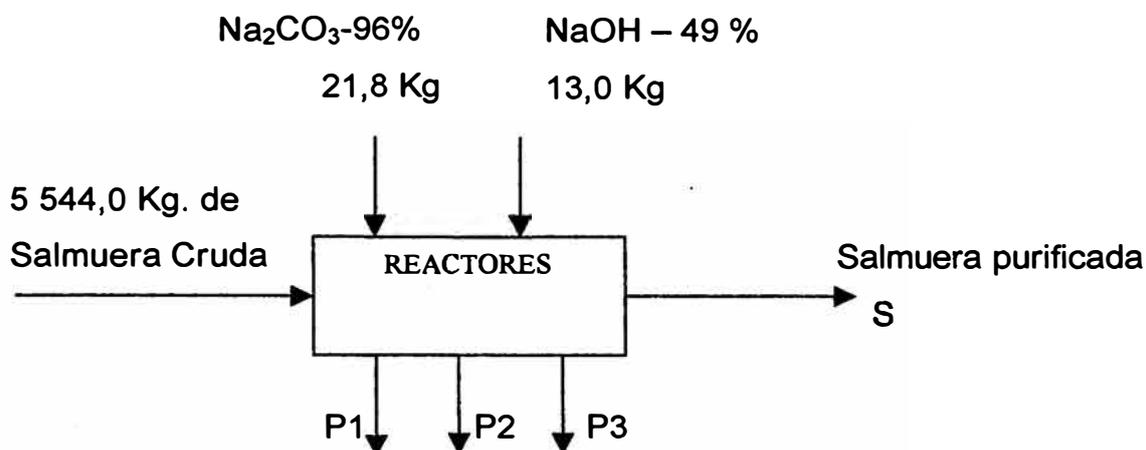
La corriente C es la salmuera cruda que ingresa al tanque de almacenamiento. En este lugar se retiene el 20 % de salmuera junto con los insolubles que se forman. $6930,00 \times 0,80 = 5\,544,0$ Kg ingresan a los reactores. Los componentes de la corriente C', que ingresa a los reactores disminuyen proporcionalmente en 20 %, para mantener sus porcentajes en peso constantes.

Tabla 2.14 Balance de materia en el lixiviador y tanque de salmuera cruda.

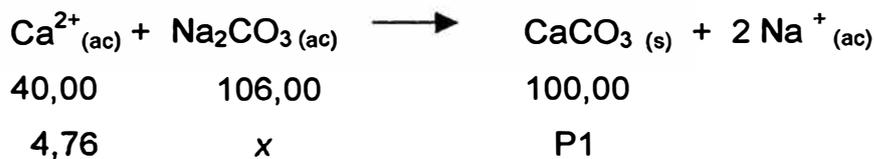
ETAPA 1, LIXIVIADOR		
Flujo Másico	Entrada	Salida
A (Kg)	2 080	
B (Kg)	4 850	
C (Kg)		6 930
Total	6 930	6 930

ETAPA 1A, TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE SALMUERA CRUDA		
Flujo Másico	Entrada	Salida
C (Kg)	6 930	
C' (Kg)		5 544
D (Kg)		1 386
Total	6 930	6 930

Etapa 2. En los reactores.



Cálculo de P1.



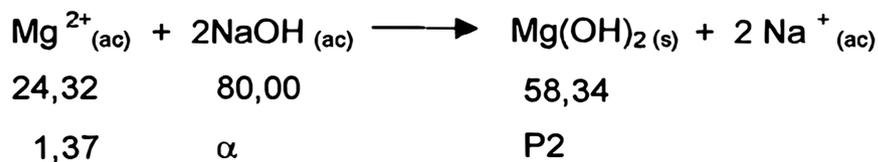
$x = 12,61 \text{ Kg de Na}_2\text{CO}_3 \text{ al } 100 \%$.

Sin embargo se dosifica el carbonato de sodio en exceso

$21,8 \times 0,96 = 20,93 \text{ Kg de Na}_2\text{CO}_3 \text{ al } 100 \%$

$P1 = 20,93 \times 100/106 = 19,75 \text{ Kg de CaCO}_3_{(s)}$

Cálculo de P2.



$\alpha = 4,51 \text{ Kg de NaOH al } 100 \%$

Se dosifica en exceso $13,0 \times 0,49 = 6,37 \text{ Kg de NaOH al } 100 \%$

$P2 = 6,37 \times 58,34/80,00 = 4,64 \text{ Kg de Mg(OH)}_2$.

Cálculo de P3

Considerando el diseño de los reactores, como se observa en la figura 2.4, de la página 26, existe una cantidad de salmuera purificada que se desecha junto con P1 y P2, por estar por debajo del niple de salida en cada reactor. Dicho valor se estima que es un 10 % de la salmuera que ingresa a los reactores, es decir : $P3 = 554,40 \text{ Kg}$.

Cálculo de S.

Salmuera Cruda + Alcalis adicionados = Salmuera Purificada + Desechos

$$5\,544,0 \text{ Kg} + (21,8 + 13,0) = S + (P1 + P2 + P3)$$

$$S = 5\,544 + (21,80 + 13,0) - (19,75 + 4,64 + 554,40)$$

$S = 5\,000,01 \text{ Kg}$ de salmuera purificada, con la siguiente composición :

NaCl : 1 467,34 Kg.

% NaCl = 29,35 %

H₂O : 3 523,15 Kg.

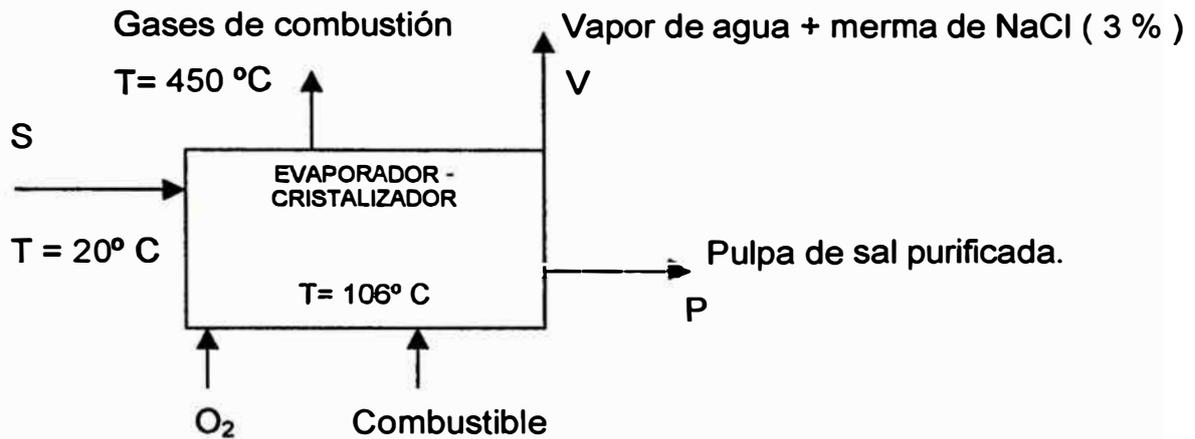
SO₄ : 9,52 Kg.

Total : 5 000,01 Kg.

Tabla 2.15 Balance de materia en la batería de reactores.

ETAPA 2, REACTOR		
Flujo Másico	Entrada	Salida
C' (Kg)	5 544,00	
Na ₂ CO ₃ (Kg)	21,80	
NaOH (Kg)	13,00	
P1 (Kg)		19.75
P2 (Kg)		4.64
P3 (Kg)		554,40
S (Kg)		5000,01
Total	5 578,80	5 578,80

Etapa 3. En el Evaporador-Cristalizador.



En la tabla 2.16 se indican las composiciones de las corrientes S, P y V que intervienen en el balance de masa en la Etapa 3.

Tabla 2.16. Composiciones de las corrientes S , P y V que intervienen en la Etapa 3.

Componentes (Kg)	Corriente S	Corriente P	Corriente V
NaCl en solución	1 467,34	356,98	43,71
NaCl sólido	-	1 066,65	-
Agua	3 523,15	182,54	3 340,61
Sulfatos	9,52	9,23	0,29
Total	5 000,01	1 615,40	3 384,61
% NaCl	29,35 %	66,03 %	-

Cálculos de la combustión de leña en el evaporador – cristalizador .

Los porcentajes en peso del promedio de las maderas utilizadas se tabulan en la tabla 2.17.

Tabla 2.17. Composición elemental de la leña de madera, en porcentaje en peso :

	% Base Húmeda	% Base Seca	Mol-Kg base seca
C	30,43 %	41,01 %	2,54
H ₂	3,76 %	5,07 %	1,88
O ₂	28,11 %	37,88 %	0,88
H ₂ O	25,80 %		
N ₂	0,80 %	1,08%	
Ceniza	11,10 %	14,96 %	

La leña es quemada con 35 % más de exceso de aire que el teóricamente requerido. El aire húmedo contiene 2 % de vapor de agua, está a 20 ° C y a la presión barométrica de 748 mm Hg. Las cenizas ascienden al 15 % del peso de la leña.

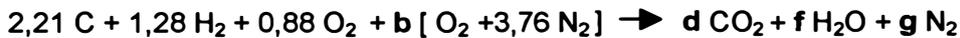
El 60 % del carbono quemado reacciona formando CO₂ y el 40 % reacciona formando CO.

Cálculos efectuados

Base de cálculo = 100 kilos de leña, base húmeda.

Carbono incombustible = 15 - 11,1 = 3,9 Kg.

Peso de C quemado por 100 Kg. de leña = 30,43 - 3,9 = 26,53 Kg.

Reacción de la Combustión, con aire estequiométrico

$$\text{Balance de C : } 2,21 = d$$

$$\text{Balance de H : } 3,76 = 2f \quad f = 1,88$$

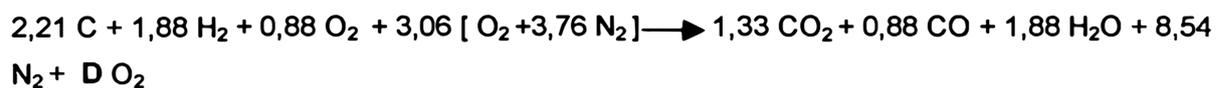
$$\text{Balance de N : } 3,76b = g \quad g = 8,54$$

$$\text{Balance de O : } 1,76 + 2b = 2d + 1,88 \quad b = 2,27$$

La reacción queda así :



La ecuación de combustión real con 135 % del aire teórico sería :



$$\text{Balance de O : } 1,76 + 6,12 = 2,66 + 0,88 + 1,88 + 2D$$

$$\text{Resolviendo : } D = 1,23$$

Relación Aire- Combustible utilizada.

$$(r_{a/c})_r = 3,06 \times (32 + 3,76 \times 28) / (2,21 \times 12 + 1,88 \times 2 + 0,88 \times 32)$$

$$(r_{a/c})_r = 7,19 \text{ Kg de aire / Kg de combustible en base seca.}$$

$$\begin{aligned} \text{Masa de aire requerido en el horno del evaporador} &= 7,19 \times (3\ 670 \times 0,742) \\ &= 19\ 579,38 \text{ Kg.} \end{aligned}$$

$$\text{Masa total de aire con 2 \% de humedad} = 19\ 978,96 \text{ Kg.}$$

$$\text{Volumen de aire (C.N.)} = 7,19 / 28,84 \times 22,4 = 5,58 \text{ m}^3 / \text{Kg. de combustible seco.}$$

Volumen de aire a $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $P = 748\text{ mm de Hg}$: **$6,08\text{ m}^3 / \text{Kg}$ de combustible seco.**

Con los coeficientes de los productos de la reacción, se obtiene la composición de los gases de combustión, teniendo en cuenta el N_2 y el H_2O , contenidos en la leña, que salen junto con dichos gases como se muestra en la tabla 2.18.

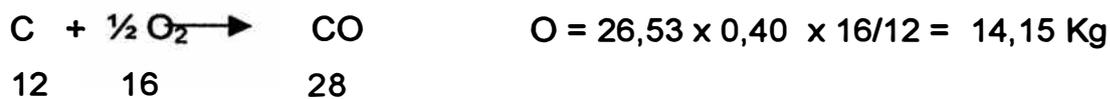
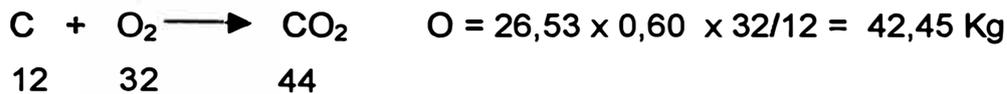
Tabla 2.18 . Composición de los Gases de Combustión por 100 kilos de leña quemada en el evaporador.

COMPONENTES	MOL- KG	VOLUMEN M^3 EN C.N.	% EN VOLUMEN	% EN PESO
CO_2	1,33	29,79	8,68	13,87
CO	0,88	19,71	5,74	5,84
H_2O	3,31	74,14	21,61	14,12
O_2	1,23	27,55	8,03	9,32
N_2	8,57	191,97	55,94	56,85
TOTAL	15,32	343,16	100,00	100,00

Por cada T.M. de sal purificada seca se consumen en promedio 3 670 kilos de leña en el evaporador. Si se queman 3 670 kilos de leña, se obtendrán $12\ 593,97\text{ m}^3$ de gases de combustión, a 760 mm de Hg y 273 K , con la composición descrita en la tabla 2.18.

Dicho volumen, corregido a las condiciones de presión y temperatura de trabajo, es decir 760 mm de Hg y $450\text{ }^{\circ}\text{C}$, corresponde a $33\ 341,86\text{ m}^3$.

Requerimiento teórico de oxígeno para 100 kg de combustible, de acuerdo al régimen de combustión en planta.



Oxígeno total requerido por 100 Kg de leña = 86,68 Kg
 Oxígeno presente en la composición de la leña, para 100 Kg = 28,11 Kg
 Oxígeno a ser suministrado por el aire = 58,57 Kg

Cálculo del aire requerido, método gravimétrico .

Composición del aire en porcentaje en peso :

$$\text{O}_2 = 23,3 \% ; \text{N}_2 = 76,7 \%$$

$$\text{Densidad del aire a } 20^\circ \text{C} = 1,29 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Peso del aire requerido} = 58,57 / 0,233 = 251,37 \text{ Kg}$$

$$\text{Aire teóricamente requerido} = 251,37 / 1,29 = 195 \text{ m}^3$$

Cálculo del aire requerido, método volumétrico

Asumiendo las condiciones de gases ideales :

$$1 \text{ mol-Kg de un gas ideal , a } T = 273 \text{ K, y } P = 760 \text{ mm Hg, ocupa } 22,4 \text{ m}^3$$

$$\text{O}_2 \text{ para el C (60 \%)} = 26,53 \times 0,60 \times 22,4/12 = 29,71 \text{ m}^3$$

$$\text{O}_2 \text{ para el C (40 \%)} = 26,53 \times 0,40 \times 22,4 \times 0,5 / 12 = 9,91 \text{ m}^3$$

$$\text{O}_2 \text{ para el H}_2 = 3,76 \times 22,4/4 = 21,06 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de oxígeno total requerido} = 60,68 \text{ m}^3$$

O_2 presente en 100 Kg de leña = $28,11/32 \times 22,4 = 19,68 \text{ m}^3$

O_2 suministrado por el aire = $70,58 - 19,68 = 41,00 \text{ m}^3$.

Aire teóricamente requerido = $41,00 / 0,21 = 195 \text{ m}^3$

Balance de materia en el horno del evaporador :

Combustible + Aire = Gases de Combustión + Cenizas

$3\,670 \text{ Kg} + 19\,978,96 \text{ Kg} = \text{Gases de Combustión} + (3\,670 \times 0,15) \text{ Kg}$

Gases de Combustión = $23\,098,46 \text{ Kg}$.

Estos gases de combustión contienen el vapor de agua formado por la combustión del hidrógeno, el obtenido de la humedad de la leña, y finalmente, el procedente de la humedad del aire suministrado al horno.

Balance de materia en el interior del cilindro del evaporador :

Características de la pulpa de sal purificada : La pulpa (P) tiene dos partes de fase sólida y una parte de fase en solución. En ambas fases existe cloruro de sodio. En consecuencia, la concentración de cloruro de sodio sólido en P es 66 % en peso. La humedad promedio existente en la pulpa (P) es 11,3 %.

Adicionalmente se estima que existe una merma por arrastre en el vapor eliminado, del orden del 1,3 % de cloruro de sodio.

Balance de masa en el evaporador. Ver diagrama en la página 74

salmuera purificada fría = pulpa de sal purificada + vapor de agua

Balance de masa total : $5\,000,01 = P + V$

Balance de masa de H_2O : $5\,000,01 \times 0,7046 = P \times 0,1130 + V \times 0,9870$

Resolviendo ambas ecuaciones : $P = 1\,615,40 \text{ Kg}$; $V = 3\,384,61 \text{ Kg}$

Tabla 2.19 Balance de materia en el evaporador-cristalizador.

ETAPA 3, EVAPORADOR		
Flujo Másico	Entrada	Salida
S (Kg)	5 000,01	
Aire (Kg)	19 978,96	
Leña (Kg)	3 670,00	
Pulpa de sal (Kg)		1 615,40
Gases Comb (Kg)		23 098,46
Vapor de Agua (Kg)		3 384,61
Cenizas (Kg)		550,50
Total	28 648,97	28 648,97

Etapas 4. En la Centrífuga.

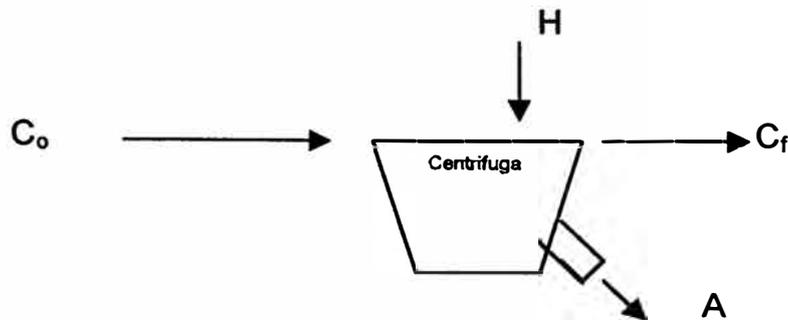
Intervienen en esta etapa

C_o : El material proveniente de la corriente C que sale del evaporador – cristalizador, es almacenado en un tanque de acero inoxidable, donde se enfría, para luego ser recogida con un elemento con agujeros que escurre una porción de la fase líquida que acompaña a la pulpa. La corriente C_o es la que ingresa a la centrífuga.

C_f : Se obtienen cristales de cloruro de sodio purificado con 4 % de humedad.

H Salmuera saturada, purificada, ligeramente acidificada con HCl, para eliminar el anión sulfato, durante la centrifugación.

A Amargos que contienen : la salmuera acidulada, agua y sulfatos.



$$C_o = 1\,615,40$$

$$H = 200 \text{ L de salmuera} \times 1,2 \text{ Kg / L} + 1 \text{ L de HCl (30 \%)} \times 1,16 \text{ Kg / L}$$

$$H = 241,16 \text{ Kg, para un consumo } 1,16 \text{ Kg de HCl}$$

$$H = 330,56 \text{ Kg, para el consumo de } 1,59 \text{ Kg de HCl / } 1\,000 \text{ Kg de sal seca.}$$

$$\text{Balance de masa total : } C_o + H = C_f + A$$

$$1\,615,40 + 330,56 = C_f + A$$

$$C_f + A = 1\,945,96 \quad (\alpha)$$

Balance de NaCl en solución :

$$356,98 + (330,56 - 1,59) = 0 + \text{NaCl}_{\text{sol}} (A)$$

$$\text{NaCl}_{\text{sol}} (A) = 685,95.$$

Balance de NaCl sólido :

$$1\,615,40 \times (0,6603) = C_f \times (0,9586) + \text{NaCl}_s (A)$$

Debido a roturas de malla en la centrifuga se obtiene un promedio de pérdida de 5,64 % del NaCl sólido presente en C_o , en los amargos A.

$$1\,066,65 = C_f \times (0,9586) + (0,0564 \times 1\,066,65)$$

$$1\,066,65 = 0,9586 \times C_f + 60,15 \quad (\beta)$$

$$\text{Resolviendo las ecuaciones } (\alpha) \text{ y } (\beta), \quad C_f = 1\,050,00 \text{ Kg}$$

$$A = 895,96 \text{ Kg}$$

Balance de H₂O : En C_o tenemos una humedad promedio de 11,30 %
 En C_f obtenemos un promedio de 4,14 % de humedad.

$$1\ 615,40 \times (0,1130) + 0 = 1\ 050,00 \times (0,0414) + H_2O_{(A)}$$

$$H_2O_{(A)} = 139,04 \text{ Kg}$$

La totalidad del HCl y del sulfato existentes respectivamente en las corrientes H y C_o, salen en los amargos A.

En la tabla 2.20 se tabulan las concentraciones de los componentes que intervienen en la etapa de centrifugado y en la tabla 2.21 mostramos el balance de materia de las corrientes de ésta etapa.

Tabla 2.20 Composiciones de las corrientes C_o, C_f, H y A, que intervienen en la Etapa 4.

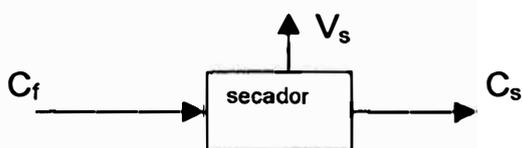
Componentes (Kg)	C _o	C _f	H	A
NaCl en solución	356,98	-	328,97	685,95
NaCl sólido	1 066,65	1 006,50	-	60,15
Agua	182,54	43,50	-	139,04
Acido Clorhídrico	-	-	1,59	1,59
Sulfatos	9,23		-	9,23
Total	1 615,40	1 050,00	330,56	895,96
% NaCl	66,03 %	95,86 %	-	-

Tabla 2.21. Balance de materia en la centrifuga.

ETAPA 4, CENTRIFUGA		
Flujo Másico	Entrada	Salida
C_o (Kg)	1 615,40	
H (Kg)	330,56	
C_r (Kg)		1 050,00
A (Kg)		895,96
Total	1 945,96	1 945,96

Etapas 5. En el Secador.

En esta etapa ingresa cloruro de sodio con 4 % de humedad (C_f) y sale con una humedad promedio de 0,15 % (C_s).



Balance de materia total :

$$C_f = C_s + V_s$$

$$C_s + V_s = 1 050,00 \quad (\gamma)$$

Balance de materia para el H_2O :

$$C_s \times 0,0015 + V_s = 1 050,00 \times 0,0414$$

$$C_s \times 0,0015 + V_s = 43,50 \quad (\delta)$$

Resolviendo las ecuaciones (γ) y (δ) : $C_s = 1 008,00$ Kg ; $V_s = 42,00$ Kg

En la tabla 2.22 se tabulan las concentraciones de los componentes que intervienen en la etapa de secado.

Tabla 2.22. Composiciones de las corrientes C_f , C_s y V_s , que intervienen en la Etapa de Secado.

Componentes (kg)	C_f	C_s	V_s
NaCl sólido	1 006,50	1 006,50	-
Agua	43,50	1,50	42,00
Total	1 050,00	1 008,00	42,00
% NaCl	95,820 %	99,85 %	

Tabla 2.23. Balance de materia en el secador.

ETAPA 5, SECADOR		
Flujo Másico	Entrada	Salida
C_f (Kg)	1 050,00	
Aire (Kg)	4 996,78	
Leña (Kg)	650,00	
C_s (Kg)		1 008,00
Gases Comb (Kg)		5 549,28
Vapor de Agua (Kg)		42,00
Cenizas (Kg)		97,50
Total	6 696,78	6 696,78

2.6.7. Balance de Energía en el evaporador-cristalizador . Proceso de purificación de la sal para margarinas.

2.6.7.1 Balance de Energía Térmica

Con los datos del cuadro 2.17, calculamos el **Poder Calorífico Neto**, del combustible utilizado, estimando suficiente la fórmula de Dulong, puesto que no se dispone de datos del poder calorífico vía análisis.

Fórmula de Dulong

Poder calorífico bajo (neto) = $8\ 100 \times C + 34\ 000 \times (H - O/8) + 2\ 200 \times S - 586 \times (9 \times H + W)$.

Donde : C , H, O, S, W (humedad), se expresan como fracción de 1 Kg de combustible y el resultado se obtiene en kilocalorías por kilogramo.

C = 0,2653 H = 0,0376 O = 0,2811

S = 0,0000 W = 0,2580

Poder calorífico neto = 1 883,17 Kilocaloría / Kg de Combustible

El total empleado de combustible en el proceso es de 4 320 Kg, en consecuencia, se dispone de 8135 294,4 Kilocalorías, para distribuir las entre la evaporación del agua y el secado de la sal de la siguiente manera :

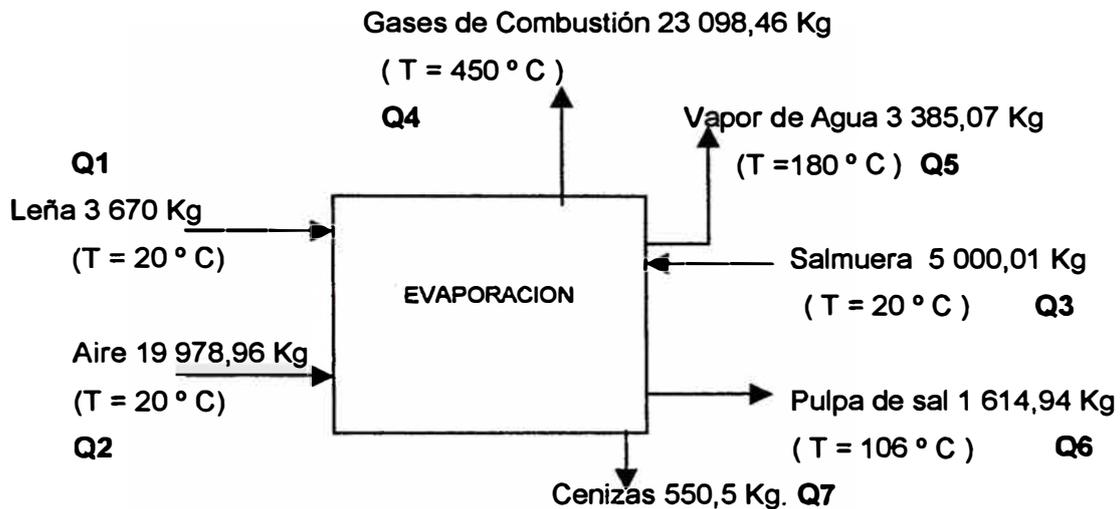
Evaporador : 3 670 Kilos de Combustible : 6 911 233,9 Kcal

Secador 650 Kilos de Combustible : 1 224 060,5 Kcal

Evaporación

Los parámetros de operación que se disponen se presentan en el esquema siguiente

Q1 = 6 911 233,9 Kilocalorías.



$$\mathbf{Q1 = Q2 + Q3 + Q4 + Q5 + Q6 + Q7}$$

Q2 = Calor que necesita el aire para calentarse desde 20 ° C hasta 450 ° C, la temperatura de salida de los gases de combustión.

$$q2 = 19\,579,38 \times 7,2087 / 28,84 \times (450 - 20) = 2\,104\,403,85 \text{ Kcal.}$$

$$q_{2\text{agua}} = 399,58 \times 0,45 \times (450 - 20) = 77\,318,73 \text{ Kcal}$$

$$\mathbf{Q2 = q2 + q_{2\text{agua}} = 2\,181\,722,58 \text{ Kcal}}$$

Se considera al agua contenida en el aire como gas.

Q3 = Calor sensible que necesita la salmuera purificada para elevar su temperatura desde 20 ° C hasta 106 ° C.

$$\mathbf{Q3 = 5\,000,01 \times 0,7677 \times (106 - 20) = 330\,111,66 \text{ Kcal.}}$$

Q4 = Calor que se necesita para elevar la temperatura de los gases de combustión hasta 450 ° C.

Nótese que el calor necesario para elevar la temperatura del nitrógeno y del exceso de oxígeno que salen con los gases de combustión , ya está comprendido en **Q2** .

En consecuencia faltaría calcular la entalpía del CO₂ , CO y H₂O, a la temperatura de 450 ° C y presión atmosférica.

Base : 100 Kg de combustible .

Tabla 2.24. Coeficientes para el cálculo del calor específico a presión constante : $C_p / R = A + BT + CT^2 + DT^2$

	A	B x 10 ³	C x 10 ⁶	D x 10 ⁻⁵
CO ₂ 1,33 Kmol	5,457	1,045	0	- 1,157
CO 0,88 Kmol	3,376	0,557	0	-0,031
H ₂ O 3,31 Kmol	3,470	1,450	0	0,121
Total Δi	21,71	6,68 x 10 ⁻³	0	-1,17 x 10 ⁵

$$\Delta H^{\circ}_T = \Delta H^{\circ}_{298,15} + \Delta C_{p_m} (T - 298,15)$$

$$\Delta H^{\circ}_{298,15} = 1,33 (-393 509) + 0,88 (-110 525) + 3,31 (-241 818)$$

$$\Delta H^{\circ}_{298,15} = - 1 421 046,55 \text{ J } \text{ ó } - 339,96 \text{ Kcal}$$

Datos obtenidos de tablas Smith-Van Ness, Ed. 1987, p.109,121.

$$\Delta C_{p_m} / R = \Delta A + \Delta B (T_m) + (\Delta C / 3) (4 T_m^2 - T_1 T_2) + \Delta D / T_1 T_2$$

$$\text{donde : } T_1 = 298,15 \text{ K}$$

$$\Delta A = 21,71$$

$$T_2 = 723,15 \text{ K}$$

$$\Delta B = 6,68 \times 10^{-3}$$

$$T_m = (T_1 + T_2) / 2$$

$$\Delta C = 0$$

$$\Delta D = -1,17 \times 10^5$$

$$\Delta C_{p_m} / R = 24,68$$

$$\Delta C_{p_m} = 34,68 \times 1,987 = 49,04 \text{ Kcal / K}$$

$$\Delta H^\circ_T = -339,96 \text{ Kcal} + 49,04 (723,15 - 298,15) \text{ Kcal}$$

$$\Delta H^\circ_T = 20\,502,04 \text{ Kcal, por cada 100 Kg de combustible.}$$

$$\Delta H^\circ_T = 20\,502,04 / 100 \times 3\,670 = 752\,424,87 \text{ Kilocalorías}$$

$$\mathbf{Q4 = 752\,424,76 \text{ Kilocalorías.}}$$

Q5 = Calor que se necesita para obtener vapor de agua sobrecalentado a 180 ° C, y 1 atm.

$$H_v (180^\circ \text{ C}) = 664,16 \text{ Kcal / Kg}$$

$$Q5 = 3\,384,61 \times 664,16 = \mathbf{2\,247\,922,58 \text{ Kcal.}}$$

$$\mathbf{Q5 = 2\,247\,922,58 \text{ Kcal}}$$

Q6 = Calor retirado del evaporador mediante la pulpa de sal purificada a 106 ° C.

$$Q6 = 1\,615,40 \times 0,4247 \times (106 - 20) = \mathbf{59\,001,19 \text{ Kcal.}}$$

Q7 = Calor ganado por las cenizas.

Temperatura final de las cenizas = 800 ° C.

Composición de las cenizas

Carbono incombustible 143,13 Kg

Oxidos metálicos inorgánicos 407,37 Kg

Peso total de cenizas 550,50 Kg por cada 3 670 Kg de leña utilizada.

Ce. (Ceniza) = 0,1887 Kcal / Kg - K , dato experimental usado en fundiciones.

Ce (Carbono incombustible) = 0,3408 Kcal / Kg - K

Q7 = 407,37 x 0,1887 x (1 073,15-293,15) +

143,13 x 0,3408 x (1 073,15-293,15) = 98 006,55 Kcal

Σ (Q2..Q7) = 5 669 189,32 Kcal

Calor absorbido por el cilindro del evaporador, por los ladrillos del horno, y disipado al ambiente

Q1 - Σ (Q2..Q7) = 1 242 044,58 Kilocalorías.

Q_A = Q ganado por la masa del evaporador de acero inoxidable

Datos :

Masa del cilindro más accesorios, ejes, pernos, rodajes : 505,0 Kg.

Cp del acero inoxidable = 0,12 Kcal / Kg - ° C

Temperatura estimada del cilindro del evaporador = 600 ° C.

Q_A = 505,0 x 0,12 x (600 – 20) = 35 148,0 K cal.

Q_L = Q ganado por la masa total de los ladrillos que conforman el horno.

Datos :

Numero de ladrillos = 200

Peso de cada ladrillo = 3 Kg.

Cp del ladrillo (de obra) = 0,2 Kcal / Kg - °C

Temperatura estimada de los ladrillos = 600 ° C.

Q_L = 3 x 200 x 0,20 x (600 – 20) = 69 600,0 K cal.

Q_F = Q ganado por el techo de fierro que cubre al evaporador y termina en una chimenea del mismo material .

Datos :

Peso de techo más chimenea = 240 Kg.

Cp del fierro = 0,14 Kcal / Kg - °C

Temperatura estimada = 600 ° C.

$$Q_F = 240 \times 0,14 \times (600 - 20) = 19\,488,0 \text{ Kcal.}$$

$$\text{Total de } Q_A + Q_L + Q_F = 124\,236,0 \text{ Kcal.}$$

La diferencia de 1 117 808,58 Kcal, se atribuye al calor absorbido por el cilindro evaporador, cuando transfiere el calor al ambiente, debido a las pérdidas por radiación.

2.6.7.2 Balance de energía Eléctrica.-

Los motores utilizados son

Un motor de 2,4 HP y 1 720 rpm

Un motor de 5 HP y 1 200 rpm.

Total Potencia = 7,4 HP , durante 12 Horas.

$$\text{Trabajo} = 7,4 \times 12 = 88,8 \text{ HP-Hr} = 238\,383\,600 \text{ J}$$

$Q = 0,24 \times W$, Q en calorías y W en Joules.

$$Q = 0,24 \times 238\,383\,600 = 57\,212\,064 \text{ cal}$$

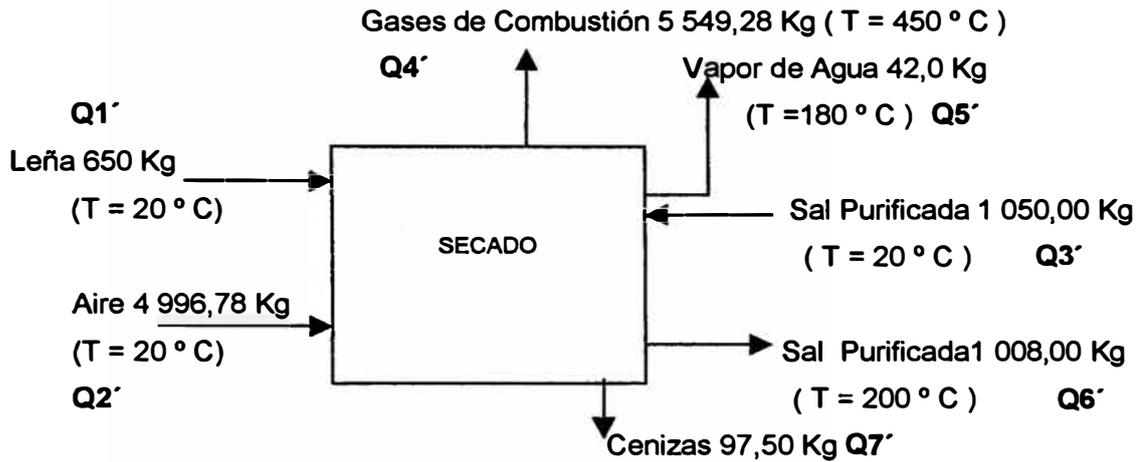
$$Q = 57\,212,06 \text{ Kcal}$$

Esta energía suministrada al sistema es consumida al rotar el evaporador y al soplar el aire al horno.

2.6.8 Balance de Energía en el proceso de secado.

2.6.8.1 Balance de Energía Térmica

$Q_1 = 1\,224\,060,50$ Kilocalorías.



$$Q_1' = Q_2' + Q_3' + Q_4' + Q_5' + Q_6' + Q_7'$$

Q_2' = Calor que necesita el aire para calentarse desde 20°C hasta 450°C , la temperatura de salida de los gases de combustión.

$$q_2' = 4\,896,84 \times 7,2087 / 28,84 \times (450 - 20) = 526\,315,86 \text{ Kcal.}$$

$$q_{2_{\text{agua}}}' = 99,94 \times 0,45 \times (450 - 20) = 19\,337,52 \text{ Kcal}$$

$$Q_2' = q_2' + q_{2_{\text{agua}}}' = 545\,653,38 \text{ Kcal}$$

Se considera al agua contenida en el aire como gas.

Q_3' = Calor sensible que necesita la sal purificada al 96 % para elevar su temperatura desde 20°C hasta 200°C

$$Q_3' = 1\,050,0 \times 0,240 \times (200 - 20) = 45\,360,0 \text{ Kcal.} \quad Q_4' =$$

Calor que se necesita para elevar la temperatura de los gases de combustión hasta 450°C .

$$Q4' = 20\,502,04 / 100 \times 650 = \mathbf{133\,263,26\ Kcal}$$

Q5' = Calor que se necesita para obtener vapor de agua sobrecalentado a 180 ° C, y 1 atm.

$$H_v (180\ ^\circ\text{C}) = 664,16\ \text{Kcal / Kg}$$

$$Q5' = 42,0 \times 664,16 = \mathbf{27\,894,72\ Kcal.}$$

Q6' = Calor retirado del secador mediante la sal purificada a 200 ° C.

$$Q6' = 1\,008,00 \times 0,208 \times (200 - 20) = \mathbf{37\,739,52\ Kcal.}$$

Q7' = Calor ganado por las cenizas.

Temperatura final de las cenizas = 800 ° C.

Composición de las cenizas

Carbono incombustible :25,35 Kg

Oxidos metálicos inorgánicos :72,15 Kg

Peso total de cenizas 97,50 Kg por cada

650 Kg de leña utilizada.

Ce. (Ceniza) = 0,1887 Kcal / Kg - K

Ce (Carbono incombustible) = 0,3408 Kcal / Kg - K

$$Q7' = 72,15 \times 0,1887 \times (1\,073,15 - 293,15) + \\ 25,35 \times 0,3408 \times (1\,073,15 - 293,15) = \mathbf{17\,358,11\ Kcal}$$

$$\Sigma (Q2'..Q7') = 807\,268,99 \text{ Kcal}$$

Calor absorbido por el secador y disipado al

$$\text{ambiente} = Q1' - \Sigma (Q2'..Q7') = 416\,791,51 \text{ Kilocalorías.}$$

De igual manera que en el evaporador, se calcula el calor disipado hacia los equipos de acero inoxidable, los ladrillos, y la diferencia es la pérdida por radiación.

Q_A' = Q ganado por la masa del secador de acero inoxidable :

Datos :

Masa del secador de acero inoxidable : 85,0 Kg.

Cp del acero inoxidable = 0,12 Kcal / Kg - ° C

Temperatura estimada del secador = 600 ° C.

$$Q_A' = 85,0 \times 0,12 \times (600 - 20) = 5\,916,0 \text{ Kcal.}$$

Q_L' = Q ganado por la masa total de los ladrillos que conforman el horno.

Datos :

Numero de ladrillos = 40

Peso de cada ladrillo = 3 Kg.

Cp del ladrillo (de obra) = 0,2 Kcal / Kg - °C

Temperatura estimada de los ladrillos = 600 ° C.

$$Q_L' = 3 \times 40 \times 0,20 \times (600 - 20) = 13\,920,0 \text{ Kcal.}$$

Q_F' = Q ganado por la chimenea de fierro

Datos :

Peso de techo más chimenea = 50 Kg.

Cp del fierro = 0,14 Kcal / Kg - °C

Temperatura estimada = 600 ° C.

$$Q_F' = 50 \times 0,14 \times (600 - 20) = 4\,060,0 \text{ Kcal.}$$

$$\text{Total de } Q_A' + Q_L' + Q_F' = 23\,896,0 \text{ Kcal.}$$

La diferencia de 392 895,51 Kcal, se atribuye al calor absorbido por el secador, cuando transfiere el calor al ambiente, debido a las pérdidas por radiación.

2.6.8.2 Balance de Energía Eléctrica en el secador.-

De igual modo se calcula la energía eléctrica suministrada.

$$\text{Motor de 2,4 HP : } Q = 18\,555,26 \text{ Kcal}$$

Utilizada para impulsar el aire hacia el horno del secador.

En los cuadros 2.25 y 2.26 se presentan los Balances de Energía en el evaporador y en el secador, en forma resumida.

Tabla 2.25 Balance de energía en el evaporador

EVAPORADOR		
BALANCE DE ENERGIA TERMICA	Kilocalorías	
	Entrada	Salida
Poder calorífico neto de la leña (3 760 Kg)	6 911 233,90	
Calor ganado por el aire (19 978,96 Kg)		2 181 722,58
Calor ganado por la salmuera (5 000,01 Kg)		330 111,66
Entalpía de Gases de Combustión (23 098,46 Kg)		752 424,76
Entalpía del vapor de agua (3 384,61 Kg)		2 247 922,58
Calor ganado por la pulpa de sal (1 615,40 Kg)		59 001,19
Calor absorbido por las cenizas (550,5 Kg)		98 006,55
Calor absorbido por el sistema		124 236,00
Pérdidas de calor por radiación hacia el ambiente		1 117 808,58
Total	6 911 233,90	6 911 233,90

EVAPORADOR		
BALANCE DE ENERGIA MECANICA	Kilocalorías	
	Entrada	Salida
Motor de 2,4 y 5,0 HPI, para operar el evaporador	57 212,06	
Rotación del evaporador é impulsión de aire.		57 212,06
Total	57 212,06	57 212,06

Tabla 2.26 Balance de energía en el secador

SECADOR		
BALANCE DE ENERGIA TERMICA	Kilocalorías	
	Entrada	Salida
Poder calorífico neto de la leña (650 Kg)	1 224 060,50	
Calor ganado por el aire (4 996,78 Kg)		545 653,38
Calor ganado por la sal pura al 96 % (1 050,0 Kg)		45 360,00
Entalpía de Gases de Combustión (5 549,28 Kg)		133 263,26
Entalpía del vapor de agua (42,0 Kg)		27 894,72
Calor ganado por la sal pura seca (1 008,0 Kg)		37 739,52
Calor absorbido por las cenizas (97,5 Kg)		17 506,71
Calor absorbido por el sistema		23 896,00
Pérdidas de calor por radiación hacia el ambiente		392 746,91
Total	1 224 060,50	1 224 060,50

SECADOR		
BALANCE DE ENERGIA MECANICA	Kilocalorías	
	Entrada	Salida
Motor de 2,4 HP, para el ventilador del secador	18 555,26	
Impulsión de aire del ventilador		18 555,26
Total	18 555,26	18 555,26

2.7 **Apreciación de riesgos ambientales.-** ⁽⁵⁾, ⁽¹⁰⁾

2.7.1 **Agentes ambientales**

Humedad. Casi despreciable en los ambientes de trabajo, que es generado por el empleo de agua en operaciones mecánicas.

Emanaciones de gases y vapores. El combustible utilizado para la evaporación de la salmuera y el secado de la sal (cloruro de sodio) es madera seca, que como producto de esta combustión produce gases calientes que son evacuados por medio de una chimenea de 15 m de altura sobre el nivel del piso; el medio ambiente donde se encuentran los evaporadores es abierto, pudiendose observar una dilución muy rápida de los vapores, en el aire. De ello, se deduce que la cantidad se emanaciones que son productos del proceso de purificación de cloruro de sodio, no son lesivos para la salud.

Calor radiante. Procedente del horno de combustión utilizado para calentar el evaporador, que no está totalmente aislado; pero cabe señalar que la carga del material combustible se hace esporádicamente.

Hidróxido de sodio. En solución al 49 – 50 %, que es agregada con una jarra tres veces al día, a los tanques de sedimentación, que se encuentran a temperatura ambiental

por lo cual, el único riesgo es el de quemadura con la solución.

2.7.2 Condiciones básicas de saneamiento y bienestar

Descripción del sistema de agua fría.- El sistema de agua potable consta de una acometida de la red pública que abastece y suministra directamente el agua a los diferentes servicios higiénicos.

La distribución se realiza por medio de tuberías de diámetro apropiado y de material de cloruro de polivinilo.

Descripción del sistema de desague .- El sistema de desague descarga las aguas negras de los servicios higiénicos hacia las diversas cajas de desague que están interconectadas por medio de tuberías para descargar el desague en dos frentes, hacia el colector público que existe en el Jr. Isabel La Católica, y el colector existente en el Jr. Lucanas. Las tuberías interiores son de cloruro de polivinilo y la red exterior de concreto simple Normalizado, las cajas de registro son de albañilería con tapa de concreto armado.

Facilidades .- Existe un comedor en el cual los trabajadores toman sus alimentos en forma rotativa, para no parar la producción.

La empresa cuenta con un baño para obreros y un baño para empleados, ambos con servicios higiénicos en buenas condiciones.

Servicio médico .- La empresa no cuenta con un servicio médico, sólo existe un tópic, que consta de un botiquín de primeros auxilios para heridos y/o lesiones contuso/traumáticas. El botiquín esta a cargo del personal de Gerencia. Los trabajadores tienen atención en el seguro social para afecciones de salud de cualquier tipo.

2.7.3 Conclusiones y recomendaciones sanitarias .-

De acuerdo a lo apreciado durante la visita de las autoridades representantes del Ministerio de Salud, no existen agentes ambientales que ameriten ser evaluados cuantitativamente, debido a la naturaleza de las operaciones industriales que se realizan en la planta, a la materia prima e insumos empleados, y a la rotación de actividades entre todos los obreros.

Cabe señalar que el producto SAL PURIFICADA, elaborado por la empresa tiene Autorización Sanitaria N° N-5930-86-CONAMAD, como se muestra en el documento inserto en el apéndice 5.10.

2.8 Relación de insumos químicos fiscalizados, por ser susceptibles de ser utilizados para la elaboración de drogas. Base Legal. Influencia en el proceso descrito.-

Base Legal :

Ley 25623 (El Peruano 22.07.92).

Decreto Supremo N° 008-93-ITINCI (El Peruano 04.06.93)

Decreto Supremo N° 018-93-ITINCI (El Peruano 04.09.93)

Resolución Directoral N° 136-93-MITINCI-DNI-DIQPF (El Peruano 04.09.93)

Circular N° 46/39/95-ADUANAS/INTA (El Peruano 19.11.95).

Decreto Supremo N° 007-97-ITINCI (El Peruano 23.4.97) .

Decreto Supremo N° 008-97-ITINCI (El Peruano 23.4.97) .

Resolución Ministerial N° 082-97-ITINCI/DM (El Peruano 27.4.97).

Requisitos .-

Las empresas que realicen actividades con los insumos químicos fiscalizados, deberán obtener una autorización emitida por la Oficina General de Insumos Químicos del Ministerio de Industria, Turismo, Integración y Negociaciones Comerciales Internacionales, que consiste en una boleta en donde se asigna a la empresa un Código de Identificación

Asimismo deberán obtener un documento denominado Acta de Verificación y/o Acta de Transporte otorgada por la DICIQ-DINANDRO-PNP.

Insumos controlados por la DINANDRO .-

Desde que se comenzaron a controlar ciertos insumos químicos, se han ido eliminando de la lista algunos, como es el caso de la soda cáustica y se han incluido otros como el amoniaco y el xilol. Los insumos controlados son en la actualidad diecinueve.

01 Acido sulfúrico	10 Metil etil cetona
02 Acetona	11 Permanganato de potasio
03 Acido clorhídrico	12 Sulfato de sodio
04 Benceno	13 Tolueno
05 Carbonato de sodio	14 Amoníaco
06 Carbonato de potasio	15 Anhidrido acético
07 Eter etílico / sulfúrico (dietílico)	16 Cloruro de amonio
08 Hipoclorito de sodio	17 Metil Isobutil cetona
09 Kerosene	18 Xileno
	19 Oxido de Calcio.

Obligaciones de las empresas.-

Las empresas están obligadas a llevar, según su clasificación de acuerdo al MITINCI, registros especiales de producción, ventas, descripción de uso, de transporte y de almacenaje, exclusivamente para los productos fiscalizados. Al cierre de cada mes se deberán confeccionar unos resúmenes a modo de declaración jurada, los cuales serán presentados dentro de los diez primeros días hábiles del mes siguiente. Los formatos de los resúmenes se ilustran en los cuadros 2.27, 2.28, 2.29, 2.30

Los productos fiscalizados que utiliza la empresa son

- Acido clorhídrico.
- Carbonato de sodio
- Acido sulfúrico

Los registros que la empresa está obligada a llevar en su condición de usuaria de productos químicos fiscalizados son :

- Registro de Descripción de Uso En el cual se consigna el movimiento diario del o los insumos controlados, indicando los ingresos, consumos y saldos de los mismos.

Al vencimiento del acta de verificación, cuya duración es por un año, hay que solicitar la renovación a la DINANDRO. En presencia de un fiscal, un oficial ó técnico de la DINANDRO, viene a las instalaciones de la empresa, verifica la existencia de los saldos a la fecha de los insumos químicos fiscalizados que la empresa declara y posteriormente revisa que en los informes mensuales reportados a la MITINCI, durante los doce meses de vigencia del acta de verificación, se haya declarado exactamente lo que figura en los registros especiales respectivos que la empresa está obligada a llevar. Luego de verificados los datos mencionados y los documentos que acrediten a la persona jurídica de la empresa, se hace un acta a manuscrito, indicando los saldos de insumos controlados y algunas observaciones si las hubiera, firmándola el oficial de DINANDRO, el fiscal, y el representante legal de la empresa. A los dos o tres días se recaba la nueva acta de verificación vigente para un año desde su fecha de emisión.

2.9. Estudio de mercado del cloruro de sodio con una pureza mínima del 99,5 %

El cloruro de sodio con un mínimo de 99,5 % de pureza corresponde a la partida arancelaria **25.01.00.12.00**. Esta partida estuvo con una tasa ad-valorem del 25 %, hasta el año 1990. Debido a las medidas de reducción de aranceles que dictó el gobierno en ese entonces, la tasa bajó hasta el 15 %. Actualmente la tasa que se aplica a todos los productos de importación, corresponde al 12 %.

Esta reducción de aranceles obligó a la empresa a dejar paulatinamente de producir la sal para margarinas e iniciar la elaboración de cloruro de sodio USP para uso farmacéutico, cuyo mayor valor agregado garantiza su venta en el mercado nacional, permitiendo a los laboratorios farmacéuticos reducir notablemente sus importaciones de este insumo.

En este capítulo se hará un estudio comparativo entre los datos de importaciones de los años 1992 - 1993, y los que corresponden a 1999 y el primer semestre del 2000, identificando además a las empresas de nuestro país que actualmente importan el insumo estudiado, sea para el rubro textil, alimenticio o farmacéutico.

En efecto, existe aún una gran demanda en los tres sectores mencionados, digna de ser evaluada, teniendo en cuenta los distintos países que ofrecen variados precios y calidades para el cloruro de sodio.

De igual forma es muy importante conocer el contenido de las impurezas que pudieran tener las diferentes sales importadas para determinar si son aptas para el uso que se les desea dar. Por ejemplo, una sal con yodo no puede ser utilizada en el sector farmacéutico para uso inyectable. De igual manera una

sal con alto fierro, no puede usarse en teñido de textiles, ni en elaboración de margarinas.

En la tabla 2.31 se aprecia los distintos precios que ofrecen los países exportadores de cloruro de sodio, durante 1992 y 1993.

Tabla 2.31 Valores FOB y CIF del cloruro de sodio con un mínimo de 99,5 % de pureza. Años 1992 y 1993

	1992	FOB	CIF	
		US \$ / T.M.	US \$ / T.M.	T.M.
Alemania	874,49		1 162,63	18,453
Inglaterra	113,20		257,16	194,600
E.E.U.U.	404,11		603,95	17,490
	1993			
Alemania	610,17		931,89	18,453
Inglaterra	89,21		238,19	351,215
E.E.U.U.	218,55		388,67	105,801

En el año 1999 el país ha importado 2 147,466 T.M. de cloruro de sodio, que han significado divisas por un valor CIF equivalente a US \$ 493 824,12. En el primer semestre del año 2000, se han importado 1 022,726 T.M., a un valor CIF de US \$ 248 081,66

En las tablas 2.32 y 2.33 se ha identificado a los principales importadores, indicando T.M., Valor FOB, Valor CIF y CIF / T.M. en 1999 y el primer semestre del 2000 respectivamente.

Tabla 2.32 Cuadro consolidado por importador de cloruro de sodio con un mínimo de 99,5 % de pureza. Año 1999 .

Período : Enero a Diciembre de 1999

Importador	Peso Neto (T.M.)	Valor FOB US \$	Valor CIF US \$	CIF / T.M. US \$
Textil San Cristobal	981,45	138 004	204 169	208,03
Chico S.R.L.	198,50	25 354	38 781	195,37
Alicorp S.A.	187,42	25 097	38 963	207,89
Industrias Pacocha	179,91	25 776	31 387	174,46
Cespedes Román R.	174,18	36 577	51 641	296,48
Perú Mar E.I.R.L.	100,00	7 350	8 510	85,10
Laborat. Trifarma	99,00	32 644	39 773	401,75
Agroindustria y Comercial. Guive	60,00	8 620	10 349	172,48
Frito Lay Perú	53,18	10 777	17 743	333,64
Braun Medical	37,70	10 009	14 118	374,48
Laborat. D.A. Carrión	29,05	13 114	15 019	517,01
Servicios Eupha	21,00	4 395	5 946	283,14
Aligen S.A.	10,00	4 234	4 900	490,00
Instit. Seroterápico	10,00	5 000	5 617	561,70
Productos Favel S.A.	3,09	508	1 945	629,45
K y L Imp Exp SRLtda.	1,02	563	662	649,02
Bristol Myers Squibb	0,90	864	957	1 063,33
Pepsico Inc Suc. Perú	0,53	412	684	1 290,57
Provoca S.A.	0,22	569	595	2 704,55
Merck Peruana S.A.	0,21	611	972	4 628,57
Otros	0,11	1 008	1 093	9 936,36
	2 147,47 T.M.	351 486	493 824	

Tabla 2.33 Cuadro consolidado por importador de cloruro de sodio con un mínimo de 99,5 % de pureza. Primer semestre año 2000.

Período : Enero a Junio de 2000

Importador	Peso Neto (T.M.)	Valor FOB US \$	Valor CIF US \$	CIF / T.M. US \$
Textil San Cristobal	460,00	60 606	89 616	194,82
Confecc. Textimax	120,00	13 853	21 749	181,24
Alicorp S.A.	104,12	17 379	23 094	221,80
Laborat. Trifarma	79,20	23 045	29 212	368,84
Aligen S.A.	72,50	29 955	34 423	474,80
Industrias Pacocha	64,45	9 595	11 805	183,17
Braun Medical	46,20	7 941	10 888	235,67
Cespedes Román R.	19,60	3 811	5 621	286,79
Negociar S.A.	19,60	4 005	5 840	297,96
Laborat. D.A. Carrión	18,30	7 384	8 844	483,28
Frito Lay Perú	17,78	2 847	5 127	288,36
Otros	0,98	1 554	1 863	1 901,02
	1 022,73 T.M.	181 975	248 082	

Se observan sectores de consumo bien marcados como son los siguientes :

Sector Textil	:	Textil San Cristobal Chico S.R.L. Confecciones Textimax
Sector Margarinas	:	Industrias Pacocha S.A. Alicorp S.A.
Sector Snacks y otros	:	Frito Lay Perú Peru Mar E.I.R.L. Comercial Guive Aligen S.A. Pepsico Inc. Provoca S.A.
Sector Farmacéutico	:	Laboratorios Trifarma Braun Medical Laborat. D.A. Carrión Cespedes Román Ricardo Servicios Eupha Instituto Seroterápico Cespedes Roman Ricardo Negociar S.A. (Estos dos últimos son distribuidores y abastecen a Laboratorios Unidos S.A. y Laboratorios Intravén)
Sector Cosméticos	:	Productos Favel S.A. K y L Imp Exp S R Ltda. Bristol Myers Squibb

Teniendo en cuenta esta segmentación del mercado por distintos usos del cloruro de sodio se tabula la participación de cada sector en la importación de este insumo durante 1999 y primer semestre del 2000, en la tabla 2.34

Cuadro 2.34 Participación de los sectores de consumo en la importación de cloruro de sodio con un mínimo de 99,5 % de pureza.

Sectores	Ene-Dic 1999 T.M.	%	Ene-Jun 2000 T.M.	%
Textil	1 179,95	54,95	580,00	56,71
Margarinas	367,33	17,11	168,57	16,48
Snacks y Otros	223,93	10,43	90,28	8,83
Farmacéutico	370,93	17,27	182,90	17,88
Cosméticos	5,01	0,23	0,00	0,00
Otros	0,33	0,01	0,98	0,10
Total	2 147,47	100,00	1 022,73	100,00

A mérito de examinar los precios del cloruro de sodio con más de 99,5 % de pureza en los distintos países que lo exportaron al Perú durante 1999 y el primer semestre del año 2000, se presentan las tablas 2.35 y 2.36

Tabla 2.35 Valores FOB y CIF del cloruro de sodio con un mínimo de 99,5 % de pureza. Años 1999 y Enero a Junio del 2000.

Período : Enero a Diciembre 1999

Pais de Origen	FOB US \$ / T.M.	CIF US \$ / T.M.	Peso Neto T.M.
Italia	138,44	205,73	1 179,90
Estados Unidos	214,03	316,06	231,76
Alemania	340,36	419,50	193,98
Reino Unido	133,90	207,88	187,43
Chile	122,81	147,82	339,92
España	425,74	493,03	10,00
República Checa	230,00	341,93	3,90
Uruguay	792,69	1 367,80	0,52
Holanda	261,2	4 157,80	0,05
Suiza	8 840,00	9 543,00	0,01
Total			2 147,47

Tabla 2.36 Valores FOB y CIF del cloruro de sodio con un mínimo de 99,5 % de pureza. Enero a Junio del 2000.

Período : Enero a Junio 2000

Pais de Origen	FOB US \$ / T.M.	CIF US \$ / T.M.	Peso Neto T.M.
Italia	128,54	192,18	580,02
Alemania	270,36	344,43	144,05
Reino Unido	169,74	225,95	106,58
España	412,56	474,80	72,85
Chile	148,88	183,17	62,00
Estados Unidos	199,00	304,81	57,23
Total			1022,73

2.10. Conclusiones y recomendaciones.-

2.10.1 Conclusiones .-

Es fundamental el conocimiento previo de la cantidad de calcio y magnesio existente en la sal industrial que se va a disolver para ser tratada física y químicamente, pues el excesivo consumo de reactivos en cada tanque de sedimentación, retarda enormemente el tiempo de reposo y en algunos casos no llega a ocurrir la separación de la fase acuosa transparente que se requiere antes de la evaporación.

La incidencia de la etapa de evaporación de la salmuera purificada, en el costo total de producción es de 21 %. El consumo de leña es de 4 a 5 T.M. por cada T.M. de sal purificada seca. El proceso de obtención de cloruro de sodio USP XXII, será económicamente viable, en la medida que se consiga una materia prima que no requiera la disolución y posterior evaporación del agua.

El costo de la Sal Industrial de Pila tipo B, era bajo en relación a los otros tipos de sal industrial (US \$ 15 a US \$ 20 por T.M. frente a los US \$ 30 a US \$ 40 por T.M. de las otras sales industriales), por tratarse de una sal recuperada del piso de las pilas de sal. Su contenido de impurezas era fácilmente permisible en el proceso.

El factor de mayor peso en la estructura del precio de la sal industrial es el flete de la misma, desde la salina de donde fue

extraída hasta el lugar de su consumo. En una salina que produce de 50 000 a 100 000 T.M. por año de sal industrial, los costos de extracción por T.M. son menores a US \$ 5,00. Sin embargo el flete de traslado al punto de venta asciende a US \$ 10,00 ó US \$ 15,00 por cada T.M.

Para las evaluaciones económicas y los cuadros de costos históricos expuestos en el presente informe técnico, se ha tomado como moneda el dólar norteamericano, pues la inflación galopante que se vivió durante los años 1985 a 1990, sumados a los cambios de moneda de sol de oro a inti, luego a millones de inti ó nuevo sol, no permitieron expresar cifras en moneda nacional, en forma comparativa.

En el estudio de mercado del cloruro de sodio presentado en el informe, resalta la notable baja de los precios actuales en el mercado internacional, originada por la globalización y el constante objetivo de alcanzar la calidad total en la industria, lo cual por cierto, representa un constante reto para nuestra industria nacional, tan deprimida en estos tiempos.

2.10.2 Recomendaciones .-

Para mantener el normal funcionamiento de la planta y la calidad del producto, se recomienda tomar en cuenta lo siguiente :

Inspección diaria

- Verificar el stock de sal industrial, manteniendo un stock mínimo de 15 días.
- Medir la densidad de la salmuera antes de su ingreso a los evaporadores, mantenerla en 25 ° Bé.
- Analizar la salmuera y verificar la concentración de la soda cáustica en solución y del carbonato de sodio que se va a agregar, de acuerdo a los calculos obtenidos.
- Verificar la correcta adición del carbonato de sodio y de la soda cáustica. Carbonato de sodio disuelto y soda con agitación.
- Comprobar la ausencia de calcio en la salmuera que ingresa a los evaporadores.
- Comprobar el estado del filtro micrónico, observando la limpidez de la salmuera. Mantener en stock dos filtros como mínimo.
- Medir el pH de la salmuera purificada con varillas Alkalit, Merck
- Verificar la limpieza de los ductos de vapor para evitar el retorno de hollín a los evaporadores. Revisar las paredes y el techo del recinto de recolección de los cristales de sal en el evaporador.
- Comprobar que todos los baldes de recepción y transporte de los cristales de sal estén tapados todo el tiempo, para evitar la contaminación.
- Comprobar el aspecto de la salmuera en el tanque de recepción de pulpa de cloruro de sodio que sale de los evaporadores. Si está turbia, es probable que esté

contaminada con calcio. En este caso, separar las bolsas del lote afectado y destinarlas a fabricantes de bocaditos, y corregir la causa (salmuera mal preparada o filtro roto).

- Examinar la pulpa en el tanque receptor, eliminando las partículas extrañas continuamente.
- Controlar la existencia y el estado de la pantalla protectora colocada sobre el tanque receptor de pulpa de cloruro de sodio, para evitar que caigan partículas contaminantes del techo.
- Examinar el techo de calamina y sellar cualquier apertura para impedir que caigan partículas extrañas que puedan ensuciar la sal (cenizas, restos de madera mal quemados).
- Controlar la existencia y el estado de la pantalla protectora colocada sobre el secador de cloruro de sodio, para evitar que caigan partículas contaminantes del techo, sobre la sal.
- Revisar que la base del secador esté bien sellada para evitar la entrada del hollín a la sal seca.
- Verificar que el sistema de doble puerta con que cuenta el área techada de la planta, se use correctamente, evitándose que ambas puertas se encuentren abiertas simultáneamente.
- Exigir el uso de gorros a los operarios para evitar toda posibilidad de contaminación del cloruro de sodio, con cabellos o transpiración.
- Comprobar que la parrilla magnética, se limpie cada dos bolsas más o menos según sea la acumulación de partículas de fierro en las barras.

- Analizar una muestra diaria al azar para verificar contenidos de calcio, magnesio, sulfato, fierro, alcalinidad, pH y turbidez.
- Mantener en stocks de reserva lo siguiente
 - Carbonato de sodio, 600 kilos.
 - Soda cáustica , 320 kilos de solución.
 - Acido clorhídrico 30 kilos.
 - Bolsas, dos meses de reserva y contarla cada 15 días.
 - Ejes para la centrífuga, mantener dos en reserva.
 - Motores, uno para la centrífuga, de 3 kilowatts y otro de 4 kilowatts para los evaporadores.

3. RESUMEN

En el presente informe técnico se ha descrito minuciosamente, los procesos de purificación de cloruro de sodio para uso alimenticio y para uso farmacéutico. Se han detallado los equipos utilizados en cada etapa, cuya distribución se muestra en la Figura 2.9. Se han descrito los análisis realizados en la rutina diaria y los análisis de control de lotes fabricados, que cumplen con las siguientes normas :

Grado Alimenticio : B.S. 998-1969 (Norma Inglesa).

Grado Farmacéutico : USP XXII (Norma Norteamericana).

La capacidad instalada de la planta es de 50 T.M. de cloruro de sodio purificado para uso alimenticio. O bien 25 T.M. de cloruro de sodio para uso farmacéutico.

El mercado nacional durante los años 1989 a 1995, era de 40 T.M. mensuales de cloruro de sodio para margarinas y bocaditos, y de 16 a 20 T.M. mes de cloruro de sodio farmacéutico. En este último caso, cabe resaltar que los Laboratorios Farmacéuticos usualmente importaban cloruro de sodio grado inyectable el cual lo iban utilizando conjuntamente con el cloruro de sodio USP XXII de Química ITD, reforzándose en forma progresiva la confianza en el producto nacional.

Se han contemplado alternativas de producción diferentes orientadas a disminuir los costos de fabricación, y se han tabulado los resultados obtenidos en las pruebas realizadas.

Aplicando los conocimientos de ingeniería se ha determinado el balance de materia en toda la planta y el balance de energía en las etapas que se requiere.

Adicionalmente, se han mostrado los costos comparativos del cloruro de sodio purificado para margarinas, así como del cloruro de sodio USP XXII.

Se ha incluido también un estudio de apreciación de riesgos ambientales evaluado por el Ministerio de Salud, así como un estudio breve de las leyes que fiscalizan el uso de ciertos productos controlados por la policía nacional, y la implicancia de dichas leyes en la empresa .

Asimismo, se incluye un estudio de mercado del cloruro de sodio, durante los años 1999 y 2000 señalando los diferentes rubros que consumen dicho producto.

Finalmente se han dado una serie de recomendaciones para garantizar el óptimo funcionamiento de la planta.

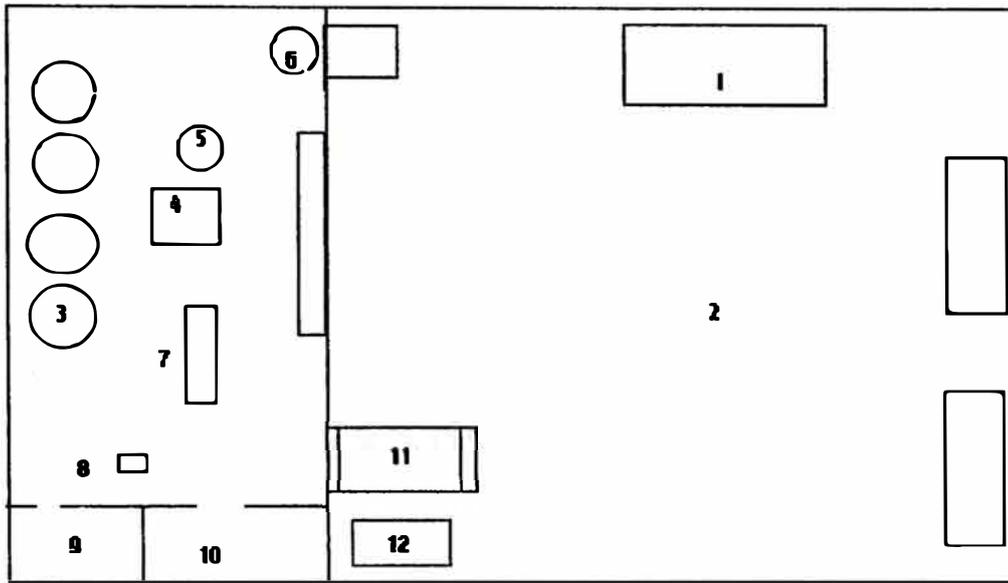


FIGURA 2.9 DISTRIBUCION DE PLANTA

- 1.- Evaporadores
- 2.- Almacén de leña
- 3.- Tanques de sedimentación
- 4.- Tanques de almacenamiento de pulpa de cloruro de sodio
- 5.- Centrífuga tipo canasta
- 6.- Secador de acero inoxidable
- 7.- Zaranda vibratoria con separador magnético
- 8.- Balanza
- 9.- Laboratorio de control de calidad
- 10.- Almacén
- 11.- Sistema de pasadizo con doble puerta
- 12.- Lixiviadores y zona de almacenamiento de sal industrial y de salmuera cruda

4.- BIBLIOGRAFIA

- 1.- Banco de Información Industrial y Tecnológica (INTIB), ONUDI. Estudio sobre la industria de sal solar a nivel mundial. 1985.
- 2.- Chemical Marketing Report – Perú . Revista Estudio de Importaciones . Números Enero a Diciembre de 1999 y Enero a Junio de 2000.
- 3.- Hougen O.A., Watson K.M., Ragatz R.A.; Principios de los Procesos Químicos, Parte I. Balances de materia y energía. Editorial REVERTE S.A. Barcelona. Impreso en 1974.
- 4.- Limulus Amebocyte Lysate . Pirotell. Folleto de Associates of Cape Cod, Inc. Revisión de 1990. Impreso en Massachusetts, U.S.A.
- 5.- Morales Quillama , Vilma Ing^o ; Oficio 0582-OGAT-OSA-UPMA-DI.SUR.S.V. LC-93, emitido por el Instituto Nacional de Salud Ocupacional del Ministerio de Salud
“ Informe de la Visita de Reconocimiento a la compañía Química ITD S.C.R. Ltda. “, efectuada en noviembre de 1993.

- 6.- Norma British Standard Institution. Edición 1969 y su revisión de 1971.
- 7.- Norma Técnica Peruana, ITINTEC. Sal; Sal para consumo humano directo; Sal para uso en la industria alimenticia.
- 8.- Norma United States Pharmacopeia. Revisión XXII, vigente desde Enero 1° de 1990.
- 9.- Perry, John H. ; Manual del Ingeniero Químico, Tomo I. Editorial McGraw-Hill Book Company, Inc, U.S.A. Impreso en Méjico en 1982.
- 10.- Segovia Chavez, Luis Felipe, Ing^o ; Memoria descriptiva de Instalaciones Sanitarias, y evaluación de las emanaciones de gases de combustión y vapores, efectuada en setiembre de 1986.
- 11.- Smith, J.M. ; Van Ness, H.C. Introducción a la Termodinámica para Ingeniería Química. Editorial Mc Graw – Hill. Impreso en los Estados Unidos en 1987.

5. APENDICE

- 5.1. Documentos probatorios de la relación Laboral con Química ITD s.c.r.ltda.
- 5.2. Documentos probatorios de la relación Laboral con Ind. y Comercial Química Andina S.A.
- 5.3. Documentos probatorios de la relación Laboral con. Sociedad Minera Dogaresa S.A.
- 5.4. Documentos probatorios de la relación Laboral con Yeso La Limeña S.A.
- 5.5. Reporte de INFOCORP, indicando la participación del autor como representante legal en las empresas mencionadas .
- 5.6. Normas ITINTEC 209.014 ; 209.015 y 209.016
- 5.7. Norma Británica BS-998 : 69.
- 5.8. Método LAL para determinación de pirógenos.
- 5.9. Norma USP XXII, para cloruro de sodio.
- 5.10. Autorización Sanitaria del producto SAL PURIFICADA, expedida por el CONAMAD.

- 5.11. Diversos análisis de los Laboratorios Farmacéuticos aprobando el cloruro de sodio USP XXII .**

- 5.12. Cálculo de calores específicos necesarios para los balances de energía de las secciones 2.6.7 y 2.6.8**

5.12. Cálculo de calores específicos necesarios para los balances de energía de las secciones 2.6.7 y 2.6.8

Cálculo de Calores específicos.-

En el evaporador

Cálculo de calores específicos necesarios para calcular Q2.

Ce del aire exento de humedad, para el cálculo de Q2

Su capacidad calorífica molar se calcula con la siguiente fórmula

$$C_{pm} = \frac{\int (a + bT + cT^2) dT}{(T_2 - T_1)} \quad \text{integrando el numerador entre los límites } T_1 \text{ y } T_2 \text{ (K)}$$

Fuente : O.A. Hougen , K.M. Watson

Principios de los Procesos Químicos, Tomo I, p. 269

De esta manera calculamos el calor específico molar promedio entre las temperaturas T_1 y T_2 , sustituyendo $T_1 = 293,15 \text{ K}$ y $T_2 = 723,15 \text{ K}$

Las constantes empíricas para el aire son :

$$a = 6,386 \qquad b = 1,762 \times 10^{-3} \qquad c = -0,2656 \times 10^{-6}$$

$$C_{pm} = 7,2087 \text{ Kcal / mol-Kg -K} \quad \text{Peso molecular del aire} = 28,84$$

$$C_e \text{ (aire seco)} = 7,2087 / 28,84 = 0,25 \text{ Kcal / Kg-K}$$

El Ce del agua en forma de vapor contenida en el aire, se ha considerado igual a $0,45 \text{ Kcal / Kg -K}$, según la fuente antes mencionada, en su p. 297.

Para el cálculo de Q3, se requiere el Ce de la salmuera purificada , calculado en forma ponderada con las fracciones en peso de NaCl y de H₂O obtenidos del cuadro 2.16 del presente informe técnico.

$$C_{pm}(\text{NaCl}) = 10,79 + 0,00420 T \quad (T \text{ en K}), \quad C_{pm} \text{ en Kcal / mol Kg - K}$$

$$\text{Peso molecular (NaCl) } = 58.5$$

Integramos esta relación empírica entre los límites $T_1 = 293,15 \text{ K}$ y $T_2 = 379,15 \text{ K}$, y lo dividimos entre el denominador $(T_2 - T_1)$.

Fuente : Perry, John H. Manual del Ingeniero Químico , Tomo I p. 324

$$C_e(\text{ NaCl}) = 0,2086 \text{ Kcal / Kg-K}$$

$$C_e(\text{ H}_2\text{O}) = 1,0000 \text{ Kcal / Kg-K} \quad \text{Dato utilizado generalmente.}$$

$$C_e(\text{ salmuera purificada}) = 0,2086 \times 0,2935 + 1,000 \times 0,7065$$

$$C_e(\text{ salmuera purificada}) = 0,7677 \text{ Kcal / Kg-K}$$

Nótese que se ha despreciado el sulfato contenido en la salmuera, por ser su fracción en peso 0,0019, bastante pequeña e irrelevante para el propósito del cálculo del calor específico.

Se ha considerado conveniente incluir el desarrollo del cálculo del Ce de la mezcla de gases de combustión, necesario para determinar Q4, en las páginas 86 y 87 del presente informe técnico, a fin de detallar los cálculos y las consideraciones planteadas en la manera oportuna.

Para evaluar Q6, se calcula el Ce ponderado por la fracción en peso de cada componente, de acuerdo al Cuadro 2.16.

$$C_e(\text{ pulpa }) = 0,1130 \times C_e(\text{ H}_2\text{O}) + 0,6603 \times C_e(\text{NaCl}) + 0,2267 \times C_e(\text{ Salmuera Purificada}).$$

$$C_e (\text{ pulpa }) = 0,1130 \times 1,0000 + 0,6603 \times 0,2086 + 0,2267 \times 0,7677$$

$$C_e (\text{ pulpa }) = 0,4247 \text{ Kcal / Kg - K}$$

De igual modo, el cálculo de Q7 requiere del conocimiento de C_e de las cenizas y del Carbono incombustible.

C_e (Cenizas) = 0,1887 Kcal / Kg – K, dato experimental usado en fundiciones.

$$C_e (\text{ Carbono incombustible }) = 2,673 + 0,002617 T - 116\,900 / T^2$$

Integramos esta relación empírica entre los límites $T_1 = 293,15 \text{ K}$ y $T_2 = 1\,073,15 \text{ K}$, y lo dividimos entre el denominador $(T_2 - T_1)$.

Fuente : Perry, John H. Manual del Ingeniero Químico , Tomo I p. 319

$$C_e (\text{ Carbono incombustible }) = 4,0892 \text{ Kcal / mol-Kg-K}$$

$$= 0,3408 \text{ Kcal / Kg-K}$$

Para el cálculo del calor ganado por el evaporador y accesorios, se han tomado los siguientes datos de C_e de la siguiente fuente :

Perry, John H. Manual del Ingeniero Químico , Tomo I p. 339

$$C_e (\text{ acero }) = 0,12 \text{ Kcal / Kg } ^\circ\text{C}$$

$$C_e (\text{ ladrillo de obra }) = 0,20 \text{ Kcal / Kg } ^\circ\text{C}$$

$$C_e (\text{ hierro }) = 4,13 + 0,00638 T, \text{ Tomo I p. 321}$$

Integramos esta relación empírica entre los límites $T_1 = 293,15 \text{ K}$ y $T_2 = 873,15 \text{ K}$, y lo dividimos entre el denominador $(T_2 - T_1)$.

$$C_e (\text{ hierro }) = 7,8505 \text{ Kcal / mol-Kg-K.}$$

Peso atómico del hierro = 55,85

$$C_e (\text{ hierro }) = 0,14 \text{ Kcal / Kg-K.}$$

En el secador

Los C_e usados para determinar Q_2' , Q_4' , Q_6' , Q_7' y el calor cedido al secador y accesorios de acero inoxidable, fierro y ladrillo, son los mismos que los calculados para el evaporador.

Para el cálculo de Q_3' , se requiere el C_e del NaCl con 96 % de pureza y 4 % de humedad.

$$C_e (\text{NaCl-96 \%}) = 0,96 \times 0,2086 + 0,04 \times 1,0000$$

$$C_e (\text{NaCl-96 \%}) = 0,24 \text{ Kcal / Kg} - \text{K}$$