



UCASAL

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SALTA

PROYECTO FINAL DE GRADO

*Producción de Carbonato de Sodio
para la Industria del Litio en la
provincia de Salta*

*Fabroni, Maximiliano Ezequiel
Zingone, José Tomás*

2023

Tabla de Contenido

Resumen	8
Resumen ejecutivo	8
Abstract	9
Capítulo I - Introducción	10
1.1 Reseña Histórica	10
1.2 Panorama Mundial	10
1.3 Panorama Latinoamericano y nacional	12
1.4 Ceniza de Soda. Características	12
1.4.1 Propiedades Físicas	12
1.4.2 Propiedades Químicas:	13
1.5 Usos:	13
1.5.1 Fabricación de Vidrio	14
1.5.2 Detergentes y Jabones	14
1.5.3 Productos Químicos	14
1.5.4 Relación con la industria del Litio	15
1.6 Método de Obtención.....	16
1.6.1 Método Solvay	17
1.6.2 Método Hou.....	17
1.6.3 Proceso Natural a partir de la trona.....	17
1.7 Comparación entre los métodos de obtención	18
1.8 Conclusión	20
Capítulo 2 - Estudio de Mercado	21
2.1 Introducción	21
2.2 Modelo de Negocio.....	22
2.3 Misión, visión y valores.....	22
2.4 Análisis FODA	24
2.5 Método de estimación de la demanda.....	24
2.6 Importaciones de carbonato de sodio para la industria del Litio	25
2.7 Relación entre la producción de carbonato de sodio (CS) y carbonato de litio (LC)	28
2.7.1 Cálculo de Demanda actual.....	28
2.7.2 Método de obtención por adsorción química:	28
2.7.3 Método de obtención por evaporación:	28
2.7.4 Proyección de la demanda.....	29

2.7.5 Demanda potencial	30
2.8 Precio	31
2.9 Mercado Objetivo	33
2.10 Conclusiones	34
Capítulo 3: Estudio Técnico	35
3.1 Introducción	35
3.2 Diagrama de bloques	36
3.3 Balance de masa.....	37
3.4 Descripción detallada del proceso: equipos principales	39
3.4.1 Etapa 1 - Purificación de la salmuera.....	39
3.4.2 Etapa 2 - Quemado de la piedra caliza y apagado de cal:	41
3.4.3 Etapa 3 - Absorción del amoniaco	48
3.4.4 Etapa 4 - Precipitación del bicarbonato en torre Solvay (fabricación)	53
3.4.5 Etapa 5 - Filtración del Bicarbonato	55
3.4.6 Etapa 6 - Calcinación del bicarbonato:	60
3.4.7 Etapa 7 - Densificación del carbonato de sodio.	63
3.4.8 Etapa 8 - Recuperación del Amoníaco.....	64
3.5 Diagrama de proceso	67
3.6 Almacenamiento y empaquetado.....	68
3.6.1 Características principales a tener en cuenta:.....	68
3.6.2 Empaquetado.....	68
3.7 Estudio de localización.....	69
3.8 Micro localización.....	73
3.9 Análisis de proveedores de materias primas	74
3.9.1 Piedra Caliza.....	74
3.9.2 Sal.....	75
3.9.3 Transporte.....	75
3.10 Layout.....	78
3.10.1 Unidad de quemado.....	78
3.10.2 Unidad de apagado de cal.....	78
3.10.3 Unidad de elaboración, almacenamiento y purificación de la salmuera.....	78
3.10.4 Unidad de producción	78
3.10.5 Unidad de calcinación.	79
3.10.6 Sala de máquinas y sala de compresores.....	79
3.10.7 Laboratorio	79

3.10.8 Unidades auxiliares	82
3.11 Conclusiones	82
Capítulo 4: Estudio Ambiental	83
4.1 Introducción	83
4.2 Aspectos Ambientales Directos	84
4.3 Aspectos Ambientales Indirectos.....	86
4.4 Sistema de Gestión Ambiental.....	87
4.5 Conclusión	88
Capítulo 5: Estudio Legal y Organizacional	89
5.1 Introducción.....	89
5.2 Análisis Legal.....	90
5.2.1 Permisos	92
5.3 Estudio Organizacional.....	93
5.3.1 Introducción:	93
5.3.2 Niveles de responsabilidades y jerarquía	93
5.3.3 Funciones	93
5.3.4 Organigrama.....	95
5.4 Conclusión.	96
Capítulo 6: Estudio Económico Financiero.....	97
6.1 Introducción	97
6.2 Ingresos	98
6.3 Inversiones previas a la puesta en marcha	98
6.3.1 Activos fijos o tangibles.....	98
6.3.2 Activos intangibles	102
6.3.3 Inversión fija total	102
6.3.4 Capital de trabajo	103
6.4 Flujo de fondos	111
6.5 Estudio de Viabilidad.....	113
6.5.1 Valor Actual Neto	113
6.5.2 TIR	113
6.6 Análisis de Sensibilidad.....	114
6.6.1 Precio.....	114
6.6.2 TIR	115
6.7 Punto de equilibrio.....	115
6.8 Conclusión	117

Conclusión final.....	118
Referencias bibliográficas.....	119
ANEXOS.....	120
A1 Costos adicionales.....	120
A1.1 Amortizaciones.....	120
A1.2 Gastos de administración	120
A2 Hoja de seguridad del producto	121

Índice de ilustraciones

<i>Ilustración 1. Demanda vs capacidad de carbonato de sodio en el mundo y flujo de mercado</i>	11
<i>Ilustración 2. Proceso de fabricación del vidrio, utilizando Na₂CO₃. Obtenida de Proceso de obtención del vidrio.</i>	14
<i>Ilustración 3. Productos derivados del carbonato de sodio. Detergentes y jabones. Obtenida de depositotelas.com</i>	14
<i>Ilustración 4. Producción local e importaciones de carbonato de sodio [t]</i>	16
<i>Ilustración 5. Porcentaje de utilización de los métodos actuales de producción de carbonato de sodio. (Elaboración propia)</i>	16
<i>Ilustración 6. Diagrama de proceso a partir de Trona. Extraído de [1]</i>	18
<i>Ilustración 7. Costos de estructura del proceso de obtención del carbonato de sodio [USD/MT].</i>	19
<i>Ilustración 8. Consumos de energía y emisiones de CO₂</i>	19
<i>Ilustración 9. Análisis Canvas - Elaboración propia</i>	22
<i>Ilustración 10. Logo y packaging del proyecto.</i>	23
<i>Ilustración 11. Proyección de importaciones de soda ash [Miles de Tn]</i>	29
<i>Ilustración 12. Proyección de importaciones de soda ash [Millones de USD]</i>	30
<i>Ilustración 13. Evolución del precio del carbonato de sodio por tonelada expresado en Yuanes. Extraído de TradingEconomics.com</i>	32
<i>Ilustración 14. Comparativa de precios. Valores expresados en USD</i>	32
<i>Ilustración 15. Diagrama de bloques del proceso Solvay. Elaboración propia.</i>	36
<i>Ilustración 16. Método Solvay, Diagrama de flujo - Etapa 1. Elaboración propia</i>	39
<i>Ilustración 17. Método Solvay, Diagrama de flujo - Etapa 2. Elaboración propia</i>	42
<i>Ilustración 18. Horno PFR para cal de alta reactividad. Extraído de maerz.com (fabricante)</i>	45
<i>Ilustración 19. Distintos modelos de unidades de hidratación. Ilustración tomada de Cimprogetti e la hidratación de la cal el 10/10/2022</i>	46
<i>Ilustración 20. Unidad de hidratación. Imagen extraída y adaptada de Máquinas para apagar cal del especialista Gebr. Pfeiffer (gebr-pfeiffer.com) 10/10/22</i>	47
<i>Ilustración 21. Método Solvay, Diagrama de flujo - Etapa 3. Elaboración propia</i>	48
<i>Ilustración 22. Columna de platos con secciones de rectificación y agotamiento. Extraída de [8]</i>	49
<i>Ilustración 23. Torre empacada o columna de relleno. Ilustración extraída de [8]</i>	50

<i>Ilustración 24. Tipos de empaques. Imagen extraída de [8]</i>	50
<i>Ilustración 25. Plato de campana. Imagen extraída de corporacionlinca.com</i>	52
<i>Ilustración 26. Plato perforado. Imagen extraída de corporacionlinca.com</i>	52
<i>Ilustración 27. Sección esquemática de una columna de platos perforados. Extraída y traducida de [10]</i>	53
<i>Ilustración 28. Método Solvay, Diagrama de flujo - Etapa 4. Elaboración propia</i>	53
<i>Ilustración 29. Método Solvay, Diagrama de flujo - Etapa 5. Elaboración propia</i>	55
<i>Ilustración 30. Filtro de banda de vacío. Imagen extraída de Gruptefsa</i>	56
<i>Ilustración 31. Filtro rotativo de vacío. Imagen extraída de [9]</i>	57
<i>Ilustración 32. Despiece del filtro rotativo de vacío. Imagen extraída de [8].</i>	58
<i>Ilustración 33. Ejemplo de sistema de descarga de torta de un filtro rotativo de vacío. Imagen extraída de [8].</i>	58
<i>Ilustración 34. Esquema de la instalación del filtro. Imagen extraída de [8].</i>	59
<i>Ilustración 35. Características técnicas de los distintos modelos de filtro rotativo de vacío. Imagen extraída de [8].</i>	60
<i>Ilustración 36. Método Solvay, Diagrama de flujo - Etapa 6. Elaboración propia</i>	60
<i>Ilustración 37. Calcinador rotativo. Imagen extraída de tianlienergy.com</i>	62
<i>Ilustración 38. Diagrama del funcionamiento de un calcinador rotativo. Imagen extraída de tianlienergy.com</i>	62
<i>Ilustración 39. Modelo de calcinador rotativo escogido en base a las necesidades del proyecto. Imagen extraída del catálogo del fabricante.</i>	63
<i>Ilustración 40. Método Solvay, Diagrama de flujo - Etapa 7. Elaboración propia</i>	63
<i>Ilustración 41. Método Solvay, Diagrama de flujo - Etapa 7. Elaboración propia</i>	64
<i>Ilustración 42. Flow Sheet Proceso Solvay. Elaboración propia.</i>	67
<i>Ilustración 43. Tipos y modelos de Big Bag. Imagen extraída de Agromarc.com.ar</i>	68
<i>Ilustración 44. Empaque para el producto final. Elaboración propia.</i>	69
<i>Ilustración 45. Micro localización en Parque Industrial General Güemes</i>	73
<i>Ilustración 46. Configuraciones autorizadas para el transporte automotor de cargas. Extraído de https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/nuevas_configuraciones.pdf</i>	76
<i>Ilustración 47. Layout planta. Elaboración propia</i>	78
<i>Ilustración 48. Espectrofotómetro UV-visible UV-1280 Shimadzu. https://store.jenck.com/shop/product/207-20800-58-espectrofotometro-uv-visible-uv-1280-1566</i>	80
<i>Ilustración 49. Analysette 28 ImageSizer. https://www.manufactura-latam.com/es/informacion-comercial/analisis-rapido-de-la-forma-y-el-tamano-de-las-particulas-de-suspensiones-y</i>	81
<i>Ilustración 50. Potenciómetro/Phmetro Digital de Mesa. https://www.baltalab.com/potenciometrophmetro-digital-de-mesa/</i>	81
<i>Ilustración 51. Horno de secado 20L con 450W de potencia</i>	81
<i>Ilustración 52. Estructura del sistema de gestión ambiental. Elaboración propia</i>	87
<i>Ilustración 53. Nivel jerárquico del proyecto</i>	93
<i>Ilustración 54. Organigrama del proyecto. Elaboración propia.</i>	95
<i>Ilustración 55. Gráfico del punto de equilibrio. Elaboración propia – valores expresados en USD</i>	116

Índice de tablas

Tabla 1. Método de obtención por países.	11
Tabla 2. Principales empresas productoras de carbonato de sodio en el mundo. (Elaboración propia)	11
Tabla 3. Propiedades Físicas. Extraída de [1]	13
Tabla 4. Comparación de métodos de obtención. Elaboración propia	20
Tabla 5. Cartera de proyectos de extracción de carbonato de litio en el NOA según su método de extracción (2022). Elaboración propia en base a [4]	26
Tabla 6. Proyectos en etapa de evaluación económica preliminar y exploración avanzada (2022). Elaboración propia en base a [4]	27
Tabla 7. Estimación de la demanda actual (2022) de carbonato de sodio en el NOA.	29
Tabla 8. Estimación de la demanda actual (2022) de carbonato de sodio en el NOA considerando proyectos en etapa de factibilidad y prefactibilidad	31
Tabla 9. Estimación de la demanda actual (2022) de carbonato de sodio en el NOA considerando todos los proyectos registrados en el año.	31
Tabla 10. Proyección de mercado objetivo	33
Tabla 11. Listado de equipos	36
Tabla 12. Necesidad de materia prima por Tn de CS. Elaboración propia	38
Tabla 13. Necesidad anual de materia prima en base a la demanda a cubrir. Elaboración propia	39
Tabla 14. Variación de la solubilidad de la cal con respecto a la temperatura. Extraída de [6].	46
Tabla 15. Composición de lodos residuales. Extraída de [10]	65
Tabla 16. Características del Empaque	69
Tabla 17. Costo total anual [Millones de USD]	70
Tabla 18. Cálculo de los factores objetivos	70
Tabla 19. Cálculo de índice Wj	71
Tabla 20. Factor subjetivo clima	71
Tabla 21. Factor subjetivo social	71
Tabla 22. Factor subjetivo logística	71
Tabla 23. Resumen de los resultados subjetivos	72
Tabla 24. Medida del valor subjetivo para cada localización	72
Tabla 25. Cálculo de medida preferencial de localización	73
Tabla 26. Características de proveedores de piedra Caliza. Elaboración Propia.	74
Tabla 27. Matriz de evaluación para proveedores de Piedra Caliza. Elaboración propia	75
Tabla 28. Características de proveedores de Sal. Elaboración propia.	75
Tabla 29. Matriz de evaluación de proveedores de Sal. Elaboración propia.	75
Tabla 30. Costo del kilómetro por proveedor	76
Tabla 31. Costo de transporte - valores expresados en USD	77
Tabla 32. Especificaciones de calidad. Elaboración propia	80
Tabla 33. Matriz ambiental. Elaboración propia.	84
Tabla 34. Impacto Ambiental. Elaboración propia.	85
Tabla 35. Aspectos ambientales indirectos. Elaboración propia.	86
Tabla 36. Criterios de evaluación para aspectos ambientales indirectos. Elaboración propia.	87

<i>Tabla 37. Detalle del personal con Categoría A. Elaboración propia.</i>	95
<i>Tabla 38. Detalle del personal con categoría B. Elaboración propia</i>	96
<i>Tabla 39. Detalle del personal fuera de convenio y resumen. Elaboración propia</i>	96
<i>Tabla 40. Proyección de ingresos – valores expresados en USD</i>	98
<i>Tabla 41. Obras – valores expresados en USD</i>	98
<i>Tabla 42. Listado de maquinaria necesaria para el proyecto – valores expresados en USD</i>	99
<i>Tabla 43. Consumos y potencias de los equipos</i>	100
<i>Tabla 44. Mobiliaria y equipamiento</i>	101
<i>Tabla 45. Elementos de seguridad</i>	101
<i>Tabla 46. Resumen activos tangibles – valores expresados en USD</i>	102
<i>Tabla 47. Resumen activos intangibles – valores expresados en USD</i>	102
<i>Tabla 48. Inversión fija total – valores expresados en USD</i>	102
<i>Tabla 49. Proyección de necesidades de materia prima.</i>	103
<i>Tabla 50. Costos totales anuales en materia prima – valores expresados en USD</i>	104
<i>Tabla 51. Costo de los insumos – valores expresados en USD</i>	104
<i>Tabla 52. Consumo eléctrico del sector productivo</i>	105
<i>Tabla 53. Consumo eléctrico sector administrativo</i>	105
<i>Tabla 54. Resumen consumo eléctrico de la planta</i>	106
<i>Tabla 55. Monetización del consumo eléctrico de la planta</i>	106
<i>Tabla 56. Consumo de agua sector productivo</i>	106
<i>Tabla 57. Consumo de agua del sector administrativo</i>	107
<i>Tabla 58. Consumo de agua sector productivo</i>	107
<i>Tabla 59. Resumen consumo de agua de la planta</i>	107
<i>Tabla 60. Monetización del consumo de agua de la planta – valores expresados en USD</i>	107
<i>Tabla 61. Consumo de gas del sector productivo</i>	108
<i>Tabla 62. Consumo de gas del sector administrativo</i>	108
<i>Tabla 63. Resumen consumo de gas de la planta</i>	108
<i>Tabla 64. Monetización del consumo de gas en la planta – valores expresados en USD</i>	108
<i>Tabla 65. Resumen costos de servicios – valores expresados en USD</i>	108
<i>Tabla 66. Básicos para el personal operario a partir de marzo de 2023 – valores expresados en USD</i>	109
<i>Tabla 67. Básicos para el personal administrativo a partir de marzo de 2023 – valores expresados en USD</i>	109
<i>Tabla 68. Sueldos anuales del personal categoría A – valores expresados en USD</i>	109
<i>Tabla 69. Sueldos anuales del personal categoría B – valores expresados en USD</i>	110
<i>Tabla 70. Sueldos anuales del personal fuera de convenio – valores expresados en USD</i>	110
<i>Tabla 71. Sueldos anuales totales – valores expresados en USD</i>	110
<i>Tabla 72. Capital de trabajo – valores expresados en USD</i>	111
<i>Tabla 73. Cálculo de la tasa de descuento del proyecto</i>	112
<i>Tabla 74 Flujo de caja del inversionista. – valores expresados en USD</i>	112
<i>Tabla 75. Periodo de recupero del capital invertido</i>	113
<i>Tabla 76. VAN del Proyecto en USD</i>	113
<i>Tabla 77. Análisis de sensibilidad - Variando Precio</i>	114
<i>Tabla 78. Análisis de Sensibilidad. Variando TIR – valores expresados en USD</i>	115
<i>Tabla 79. Punto de equilibrio. Elaboración propia – valores expresados en USD</i>	116

Resumen

Resumen ejecutivo

El presente trabajo de tesis aborda un problema fundamental en la industria minera de Argentina: la dependencia de las importaciones de carbonato de sodio, insumo clave para la producción de litio, un recurso vital para el desarrollo tecnológico a nivel global. El objetivo principal es analizar la viabilidad de la producción y comercialización local de carbonato de sodio en la provincia de Salta, Argentina, con el fin de abastecer a la industria minera del norte del país y reducir la dependencia de mercados externos. Para lograr este objetivo, se realiza un análisis exhaustivo de los diferentes aspectos relacionados con la producción y comercialización de este insumo clave para el país.

En primer lugar, luego de describir el contexto actual y las características principales del producto, se analiza la demanda actual y proyectada de carbonato de sodio en el mercado nacional e internacional, con el fin de determinar el potencial de la producción local. A continuación, se evalúa los diferentes métodos de producción, teniendo en cuenta las realidades de nuestro país y provincia.

Luego, se describe detalladamente el proceso de producción y comercialización de carbonato de sodio en la provincia de Salta, incluyendo su ubicación, método de elaboración, capacidad de producción, precios y proyecciones financieras. También se analiza el impacto ambiental del proyecto, identificando las posibles problemáticas y proponiendo medidas de control, mitigación, erradicación o eliminación en cada una de las etapas del proceso productivo. Además, se describe el marco normativo y las políticas a nivel nacional que fomentan la participación de proveedores locales en proyectos de inversión, incluyendo la industria minera, haciendo énfasis en la importancia de este aspecto para el desarrollo sostenible de la región y la creación de empleo local. Por último, se incluye la estructura organizacional necesaria para el funcionamiento eficiente del proyecto, teniendo en cuenta la cantidad de personal y sus funciones principales, como así también un estudio financiero detallado con la finalidad de evaluar la viabilidad económica del proyecto.

En conclusión, el presente trabajo demuestra la viabilidad de la producción y comercialización local de carbonato de sodio en la provincia de Salta, Argentina, como una alternativa rentable y sostenible para abastecer a la industria minera del norte del país y reducir la dependencia de mercados externos, proponiendo una marca, un modelo organizacional como así también el método de producción más eficiente posible.

Abstract

This thesis work addresses a fundamental problem in the mining industry in Argentina: the dependence on imports of sodium carbonate, a key input for the production of lithium, a vital resource for global technological development. The main objective is to analyze the feasibility of local production and commercialization of sodium carbonate in the province of Salta, Argentina, in order to supply the mining industry in the north of the country and reduce dependence on foreign markets. To achieve this objective, an exhaustive analysis of the different aspects related to the production and commercialization of this key input for the country is carried out.

First, after describing the current context and the main characteristics of the product, the current and projected demand for sodium carbonate in the domestic and international markets is analyzed in order to determine the potential of local production. Next, the different production methods are evaluated, taking into account the realities of our country and province.

Then, the production and commercialization process of sodium carbonate in the province of Salta is described in detail, including its location, production method, production capacity, prices and financial projections. The environmental impact of the project is also analyzed, identifying possible problems and proposing control, mitigation, eradication or elimination measures at each stage of the production process. In addition, the regulatory framework and policies at the national level that encourage the participation of local suppliers in investment projects, including the mining industry, are described, emphasizing the importance of this aspect for the sustainable development of the region and the creation of local employment. Finally, the organizational structure necessary for the efficient operation of the project is included, taking into account the number of personnel and their main functions, as well as a detailed financial study in order to evaluate the economic viability of the project.

In conclusion, this paper demonstrates the feasibility of local production and marketing of sodium carbonate in the province of Salta, Argentina, as a profitable and sustainable alternative to supply the mining industry in the north of the country and reduce dependence on foreign markets, proposing a brand, an organizational model as well as the most efficient production method possible.

Capítulo I - Introducción

1.1 Reseña Histórica

Históricamente, el carbonato de sodio procede de los yacimientos de Wadi Natrun (Egipto) donde se comercializaba para su uso en la industria química, más específicamente en la limpieza y fabricación de vidrio para los que hoy en día sigue siendo una materia prima indispensable. La producción de este material se llevó a cabo desde la antigüedad hasta el siglo XIX mediante la combustión de la vegetación marina, seguida de la calcinación al rojo vivo y lixiviación de la ceniza, de ahí que también es llamado como **ceniza de soda (soda ash)**, este era un material de baja pureza (contenían como máximo un 30% de Na_2CO_3). Además, producirlo a partir de plantas era muy costoso, al margen de que los procesos utilizados eran primitivos, consumiendo gran parte de la vegetación; por lo tanto, no se producía en grandes masas.

La producción a gran escala sólo fue posible tras el desarrollo de un nuevo proceso, que lleva el nombre de su inventor Leblanc (1742 - 1806) y en 1790 se construyó en Saint-Denis, Francia la primera planta de producción en masa de soda ash. En los años siguientes, la industria de la soda se desarrolló rápidamente en Inglaterra, debido a la demanda creciente para la limpieza del algodón tras las colonias; es así que las industrias pasaron de fabricar 300 kg/día a tener, en 1878, una producción de 8 Tn/semana en Inglaterra y 4 tn/semana en el resto del mundo. Sin embargo, en la segunda mitad del siglo XIX, el proceso de Leblanc experimentó una seria competencia: el proceso Solvay. En esta época se investigaba el uso industrial de la reacción del NaCl y el NH_4HCO_3 (bicarbonato de amonio) pero nadie lograba tener éxito, hasta que el belga Ernest Solvay (1838-1932) llevó el desarrollo del proceso de manera exitosa durante 1861-1865. Es así, finalmente, que la primera planta que se puso en marcha en 1865 (en Couillet, Bélgica) tenía una producción inicial de 1,5 tn/día.

El proceso Solvay (llamado así por su creador) fue tan económicamente superior que desplazó al método Leblanc hasta el punto de que, a principios del siglo XX, muy pocas fábricas utilizaban este segundo método, la última de ella dejó de funcionar en 1923. Desde entonces el proceso Solvay ha seguido siendo predominante y su producto resultante cada vez toma más importancia en los mercados mundiales, siendo hoy en día uno de los principales insumos para la producción de carbonato de litio.[1]

1.2 Panorama Mundial

En la actualidad existen solo ocho países que producen al menos un millón de toneladas al año de carbonato de sodio, entre ellos: China, EEUU, Rusia, Alemania, India, Turquía y Polonia. Este grupo de países representó el 93% de la producción mundial en el año 2017. Por otro lado, Rumania y Ucrania se encuentran dentro del selecto grupo que cuentan con plantas capaces de producir un millón de toneladas al año, aunque por cuestiones económicas adversas están produciendo por debajo de su capacidad; sobre todo Ucrania que actualmente se encuentra en conflicto bélico con el país ruso. Considerando que el carbonato de sodio se puede obtener de manera natural y/o sintética, en la siguiente tabla se muestra como lo obtienen algunos países del mundo. [2]

Tabla 1. Método de obtención por países.

Obtención	País
Natural	Botsuana - Estados Unidos - Etiopía - Kenia
Sintético	Alemania - India - Polonia - Rusia
Ambos	China - Turquía

A pesar de que China continúa siendo el principal país productor de carbonato de sodio, Turquía sigue incrementando su capacidad de producción gracias a la inauguración, en el año 2017, de una planta con una capacidad instalada de 2,5 millones de toneladas por año. Según estimaciones de *Gujarat Heavy Chemicals Ltd (GHCL)* (2018), el mercado global de Carbonato de sodio está creciendo a un promedio de 2,5% al año, este crecimiento requiere un aumento en la oferta de 1,5 millones de toneladas anuales.

Tabla 2. Principales empresas productoras de carbonato de sodio en el mundo. (Elaboración propia)

Empresa	País
<i>Bashkir Soda Company</i>	Rusia
<i>Ciech</i>	Polonia
<i>Ciner-Eti-Soda</i>	Turquía
<i>GHCL Limited</i>	EE.UU.
<i>Nirma</i>	India
<i>Novacarb</i>	Francia
<i>OCI Wyoming LLX</i>	EE.UU.
<i>Saries Valley Minerals</i>	EE.UU.

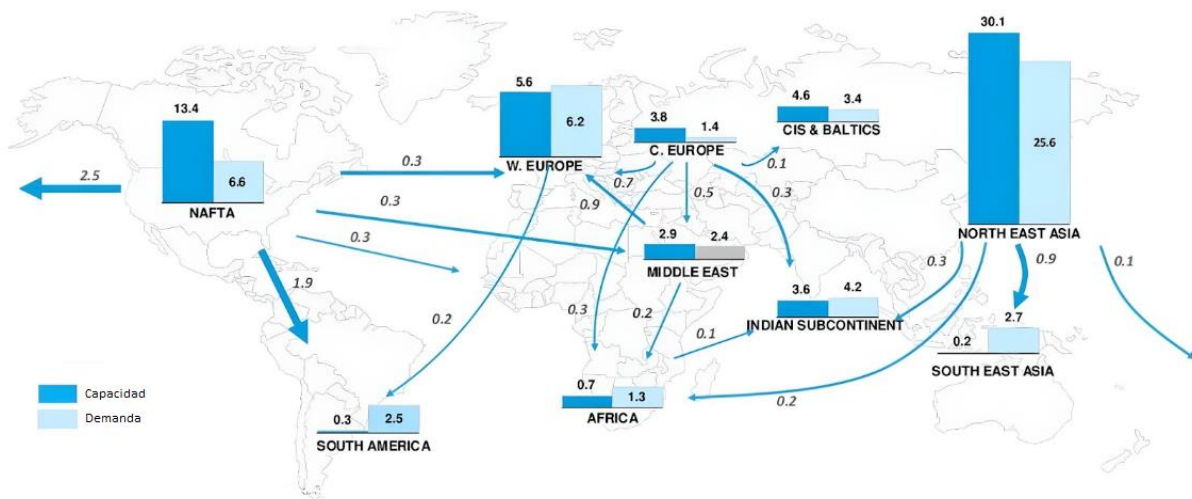


Ilustración 1. Demanda vs capacidad de carbonato de sodio en el mundo y flujo de mercado

La demanda mundial de carbonato de sodio, sin incluir a China, creció a una tasa anual promedio de 1,3% en los últimos 7 años, mientras que en los últimos 3 años la misma aumentó a un 2% y una de las empresas más grandes del mundo, Solvay (Bélgica), estimo acertadamente que para el año 2022 la demanda mundial por el carbonato de sodio alcance los 63 millones de toneladas.

1.3 Panorama Latinoamericano y nacional

Actualmente en Argentina existe un único productor de Carbonato de sodio, llamado Álcalis de la Patagonia SAIC (ALPAT), ubicado en San Antonio Oeste, Provincia de Río Negro. Además, no solamente es la única empresa en nuestro país que se dedique a la producción de Carbonato de sodio, sino que es, oficialmente, el único productor en Sudamérica. La compañía posee una planta con capacidad instalada de 250 mil toneladas/año. Con casi 400 empleados; ALPAT provee carbonato de sodio a la gran mayoría de las empresas consumidoras localizadas en el país, y exporta a Brasil, Chile, Uruguay y Paraguay. Esta planta fue diseñada con base al proceso amoniaco-soda, con la asistencia de Krebs Paris, firma que en los últimos años ha instalado plantas similares en Turquía, Egipto, Bulgaria y Polonia. [2]

Argentina posee gran potencial de insumos para la producción de carbonato de sodio con el método Solvay, gracias a la disponibilidad de recursos dentro del territorio nacional, tales como: gas, piedra caliza y cloruro de sodio.

1.4 Ceniza de Soda. Características

El carbonato de sodio se fabrica en tres grados principales:

1. Carbonato de sodio ligero.
2. Carbonato de sodio intermedio.
3. Carbonato de sodio denso.

Estos tienen las mismas propiedades químicas y solo difieren en sus características físicas como la densidad, el tamaño y la forma de sus partículas.

1.4.1 Propiedades Físicas

Las propiedades físicas de los distintos hidratos de carbonato de sodio se indican en la tabla 1. El carbonato de sodio es fácilmente soluble en agua (véase tabla 2 y figura 1) y las soluciones son alcalinas, como se puede esperar de una sal formada por una base fuerte y un ácido débil.

Tabla 3. Propiedades Físicas. Extraída de [1]

Propiedad	Na ₂ CO ₃	Na ₂ CO ₃ · H ₂ O	Na ₂ CO ₃ · 7H ₂ O	Na ₂ CO ₃ · 10H ₂ O
punto de fusión [°C]	825			
densidad aparente, [g/ml]	0.59-1.04			
densidad específica, [g/ml]	2.533			
calor de formación ΔH _f , [kJ/mol] a 0°C	-1331	-1459	-3201	-4082
temperatura, [°C]	>109	35.4-109.0	32.0-35.4	0-32.0
fase solida estable				

1.4.2 Propiedades Químicas:

Comportamiento Térmico: La descomposición térmica del carbonato de sodio a óxido de sodio y dióxido de carbono en el vacío en ausencia de sustancias químicamente activas, como el vapor de agua, comienza a unos 1000°C. La presión de disociación es de aproximadamente 200 Pa y aumenta de 10,3 kPa a 1450 °C.

Reacción con el agua y dióxido de carbono: El carbonato de sodio es higroscópico, por lo que si se almacena en condiciones de humedad su alcalinidad disminuye debido a la absorción de humedad y dióxido de carbono de la atmósfera. El vapor de agua reacciona con el carbonato de sodio por encima de los 400 °C para formar hidróxido de sodio y dióxido de carbono.

Reacción con elementos: El carbonato de sodio reacciona exotérmicamente con el cloro por encima de 150 °C para formar, NaCl, CO₂, O₂, y NaClO₄. Los elementos platino, oro, vanadio, titanio, aluminio, molibdeno, tungsteno y hierro (1200 °C) son atacados por el carbonato de sodio, con liberación de CO₂ y formación de compuestos complejos de óxido metálico y óxido de sodio.

El carbonato de sodio reacciona muy lentamente con el cobre y el níquel a altas temperaturas (>1500 °C).

1.5 Usos:

El carbonato de sodio es utilizado principalmente en la industria del vidrio y en la fabricación de detergentes, ya que asegura el correcto funcionamiento del resto de las sustancias que lo componen. También es fundamental en procesos donde se necesita regular el pH de diferentes soluciones como en procesos de flotación y tratamiento de agua, además tiene aplicaciones importantes en las siguientes industrias; cerámicas, textil, jabones, limpiadores, ablandadores de aguas duras, refinación de petróleo, producción de aluminio y recientemente ha tomado un papel fundamental para la obtención de carbonato de litio. [2]

1.5.1 Fabricación de Vidrio

El carbonato de sodio es el producto ideal para la fabricación del vidrio, ya que evita la segregación y solidificación de los componentes que ingresan al horno, obteniendo una mejor fundición y un producto de alta calidad. Esto también es posible debido a que el carbonato de sodio presenta partículas de tamaño similar a la arena, permitiendo una buena mezcla. A nivel global, más del 50% de la producción mundial de carbonato de sodio está destinada a la producción del vidrio, más precisamente vidrio de sílice y cal, generalmente utilizado en el vidrio plano (automotriz y construcción) y envases de vidrio (alimentos y bebidas). [2]



Ilustración 2. Proceso de fabricación del vidrio, utilizando Na_2CO_3 . Obtenida de Proceso de obtención del vidrio.

1.5.2 Detergentes y Jabones

El carbonato de sodio evita que el agua dura se adhiera al detergente, permitiendo una distribución homogénea del agente de limpieza durante el ciclo de lavado, también mejora la eliminación de manchas y de alcohol y grasa de la ropa. Es por esto que se utiliza en la producción de jabones, detergentes y otros compuestos de limpieza como adyuvantes para lograr el nivel óptimo de eliminación de suciedad, además es una fuente alcalina que sirve para el ajuste del PH.



Ilustración 3. Productos derivados del carbonato de sodio. Detergentes y jabones. Obtenida de depositodetelas.com

1.5.3 Productos Químicos

Las características del carbonato de sodio mejoran la solubilidad y reactividad de muchos compuestos orgánicos en el agua. Se utiliza como un importante insumo para la producción de fosfatos de sodio, silicatos de sodio, químicos de cromo y químicos fotográficos. también en la producción de bicarbonato de sodio: esencial en los mercados de bebidas, alimentos, diálisis y cuidado personal. Para muchas de las aplicaciones, el carbonato de sodio es sustituto de la soda cáustica, debido a una ventaja de costo. Por otro lado, se puede usar el carbonato de sodio como sustituto funcional de la soda cáustica en muchas aplicaciones, como:

- Regulador de pH / neutralizador de ácidos.
- Fabricación de productos químicos de sodio (fosfatos, sulfatos, sulfitos, acetatos, nitrito y citratos de sodio)-

- Pulpa kraft.
- Desulfuración de gases de combustión.

También se utiliza como materia prima en:

- Fertilizantes químicos, como nitratos de sodio sintéticos y fosfatos fragmentados.
- Producción de bentonitas de sodio artificiales o bentonitas activadas.
- Fabricación de detergentes sintéticos.
- Colorantes orgánicos e inorgánicos.
- Industria del esmalte.
- Industria petrolera.
- Industria de grasas, pegamentos y gelatinas.

1.5.4 Relación con la industria del Litio

Durante la fase operativa de obtención de carbonato de litio se demandan productos y reactivos para la remoción de sales que son utilizados en las distintas etapas del proceso productivo, uno de los más importantes es el carbonato de sodio. Por lo tanto, la radicación de productores de este compuesto resulta de gran importancia ya que la compra de estos insumos explica aproximadamente un 45-70% de los gastos operativos o de explotación (OPEX) de las plantas de obtención del carbonato de litio. [2]

Para entender un poco mejor el uso del carbonato de sodio en esta industria, debemos entender que, dentro del proceso convencional de obtención del carbonato de litio, el carbonato de sodio cumple un rol fundamental, dado a que el mismo es uno de los reactivos principales, reaccionando con la salmuera para formar “Carbonato de litio”, que es el producto que se exporta para la posterior fabricación de baterías. [3]

Según cálculos realizados por la Secretaría de Minería de la Nación Argentina, el promedio de toneladas consumidas de carbonato de sodio por tonelada de carbonato de litio entre los años 2017 y 2018 fue de 3,5 toneladas de carbonato de sodio por tonelada de carbonato de litio, relación que explica los grandes volúmenes manejados de este producto por parte de la industria del litio. Actualmente y como se explicó con anterioridad, este insumo es importado en su mayoría, o traído de otras provincias, por lo tanto, las perspectivas a futuro de una mayor cantidad de salares en explotación en la región de la Puna, representa una gran oportunidad para favorecer la localización de empresas dedicadas a este producto en las cercanías.

Según estimaciones realizadas por la Secretaría de Minería de la Nación, el consumo de carbonato de sodio pasaría de 404 mil toneladas en 2019 a 822 mil toneladas en 2025, incrementando en un 104%. Para abastecer la demanda se necesitaría importar alrededor de 620 toneladas (aproximadamente 500 de ellas para la industria del litio), por lo que el 77% del consumo interno sería importado. Es importante destacar que, como se muestra en la ilustración 4, la producción de soda ash se mantuvo constante a lo largo de los años, pero fue disminuyendo su cuota de mercado. Dicho escenario se mantendría siempre y cuando no aparezcan nuevos actores en el mercado argentino en lo que respecta a la soda ash o que haya un aumento considerable de la producción de los pocos fabricantes actuales de dicho producto.

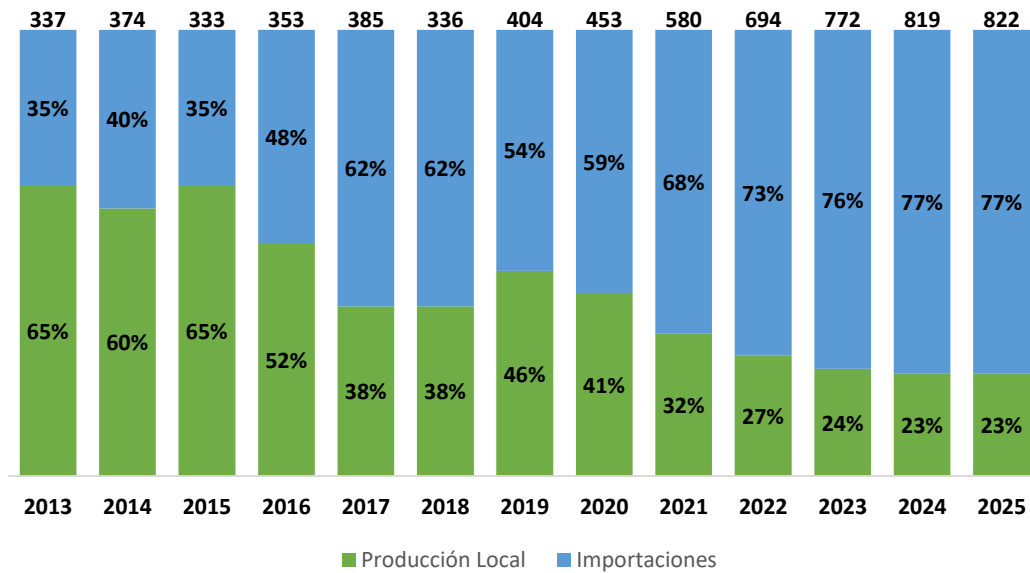


Ilustración 4. Producción local e importaciones de carbonato de sodio [t]

1.6 Método de Obtención

La producción del carbonato de sodio se realiza por dos métodos:

1. Proceso Sintético
2. Proceso Natural con Trona¹

En el proceso sintético existen dos modalidades: Proceso Solvay y Proceso de Hou (también conocido como proceso Solvay modificado), en el cual ambos producen a través de reacciones químicas. El proceso Solvay utiliza cloruro de sodio (sal), amoníaco y piedra caliza, mientras que el proceso Hou utiliza dióxido de carbono en lugar de caliza. Ambos requieren de materias primas relativamente baratas y accesibles. Es por esto que, actualmente el 74% mundial se fabrica de forma sintética y el resto de manera natural, como podemos observar en la figura 4.

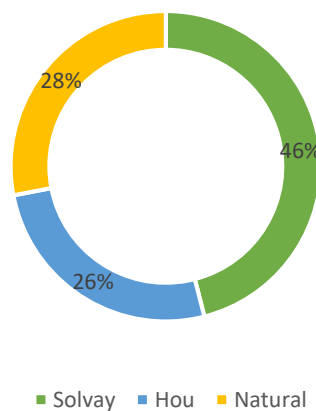


Ilustración 5. Porcentaje de utilización de los métodos actuales de producción de carbonato de sodio. (Elaboración propia)

¹ Trona: término geológico para el carbonato de sodio cristalizado que suele hallarse formando incrustaciones en las orillas de los lagos y grandes ríos.

1.6.1 Método Solvay

Es el método de producción más utilizado a nivel mundial (representa el 46% de la capacidad de producción). No utiliza la trona como insumo, sino que utiliza salmuera de bajo costo (disponible en fuentes terrestres como marinas) y piedra caliza. Este proceso químico recicla el amoníaco, y sólo tiene cloruro de calcio como producto de desecho importante. El proceso Solvay es utilizado en grandes plantas con capacidad de producción típica de 600.000 toneladas anuales en UE y China. Sus principales impactos en el cambio climático resultan de la quema de carbón o gas, necesarios para la generación de calor, más precisamente, se requieren entre 8.9 y 12.35 giga julios (GJ) de energía por tonelada de carbonato de sodio.

Este proceso se describirá a detalle en los próximos capítulos.

1.6.2 Método Hou

El método Hou es muy similar al proceso de Solvay, en este método, se comienza produciendo amoníaco a partir de nitrógeno e hidrógeno mediante el proceso de Haber-Bosch. Luego, el amoníaco se hace reaccionar con cloruro de sodio (sal) para formar bicarbonato de sodio y cloruro de amonio. La solución resultante se enfría para precipitar el bicarbonato de sodio, que se recupera en forma de sólidos. A continuación, el cloruro de amonio se descompone térmicamente para liberar amoníaco y dióxido de carbono. El bicarbonato de sodio, obtenido anteriormente, se calienta a altas temperaturas para producir carbonato de sodio (soda ash), liberando agua y dióxido de carbono. Finalmente, el carbonato de sodio resultante se recoge, purifica y se dispone para su uso en diversas aplicaciones industriales.

Este proceso es utilizado en pequeñas plantas de carbón en China, cuyas capacidades de producción anual son de 210 mil toneladas. Representa el 23% de la capacidad de producción global. El proceso Hou no produce cloruro de calcio como subproducto, sino cloruro de amonio que se puede utilizar como fertilizante (IHS, 2015). El proceso Hou es más intensivo en energía que el proceso de Solvay y utiliza aproximadamente 14.25 GJ de energía por tonelada de carbonato de sodio.[1], [2]

1.6.3 Proceso Natural a partir de la trona

El proceso natural de obtención de carbonato de sodio a partir de la trona implica la explotación y purificación de este mineral, que es una fuente natural de carbonato de sodio. La trona es un mineral formado por carbonato de sodio, bicarbonato de sodio y otros minerales como carbonato de calcio. El mismo involucra los siguientes pasos:

1. Explotación: Se realiza la extracción minera de la trona mediante métodos de minería a cielo abierto o subterránea, dependiendo de la ubicación y el tamaño del yacimiento.
2. Trituración y molienda: El mineral de trona se tritura y muele en partículas más pequeñas para facilitar el posterior procesamiento.
3. Lixiviación: Las partículas de trona se someten a un proceso de lixiviación con agua, que permite disolver el carbonato de sodio presente en el mineral.
4. Filtración y purificación: La solución resultante se filtra para eliminar los sólidos no disueltos y se purifica para separar el carbonato de sodio del bicarbonato de sodio y otros minerales.
5. Precipitación: Se lleva a cabo una precipitación química para obtener cristales de carbonato de sodio sólido a partir de la solución purificada.

6. Secado: Los cristales de carbonato de sodio se secan para obtener el producto final en forma de polvo o gránulos.

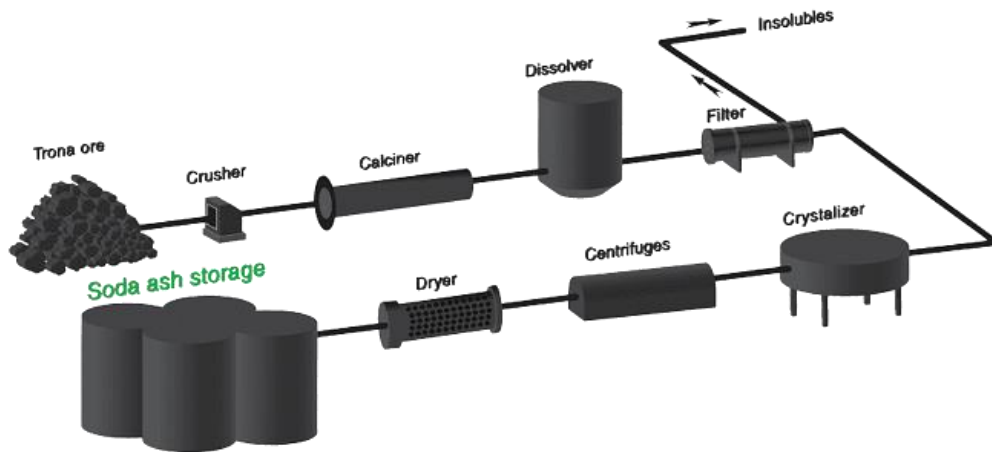


Ilustración 6. Diagrama de proceso a partir de Trona. Extraído de [1]

El proceso con trona consume mucha menos energía (aproximadamente 5.6 a 7 GJ por tonelada de carbonato de sodio) y emite menos gases de efecto invernadero. En los Estados Unidos, casi toda la soda Ash es producida a partir de la trona.[2]

1.7 Comparación entre los métodos de obtención

El costo de producción del proceso natural tiene una ventaja significativa con respecto a los métodos sintéticos, debido a que no se necesita la compra de insumos como ser piedra caliza o amoníaco, por esto es el método más utilizado por aquellos países que disponen de este producto de manera natural. Sin embargo, en el caso de Argentina, no se cuenta con reservas naturales para la extracción con Trona, esto hace que en el producto se tenga que obtener de manera sintética. Sabiendo esto, procederemos a comparar cuál de los dos métodos aplicables al país es el más conveniente.

El proceso Hou cuenta con la ventaja de que se puede revender el subproducto (cloruro de amonio) y de esta forma disminuir el costo de producción, pero tiene una gran desventaja respecto al método Solvay: el amoníaco no es recirculante, por lo tanto, los costos en este apartado no favorecen al método desarrollado por el químico chino Hou Debang. Otro aspecto importante a tener en cuenta es la necesidad de energía: el proceso Hou es más intensivo energéticamente que el proceso de Solvay y utiliza aproximadamente 14.25 GJ (3,95 megavatio-hora) de energía por tonelada de carbonato de sodio, contra 8.9 - 12.35 GJ (2,47 - 3,43 megavatio-hora) de energía por tonelada de carbonato de sodio que consume el proceso Solvay.

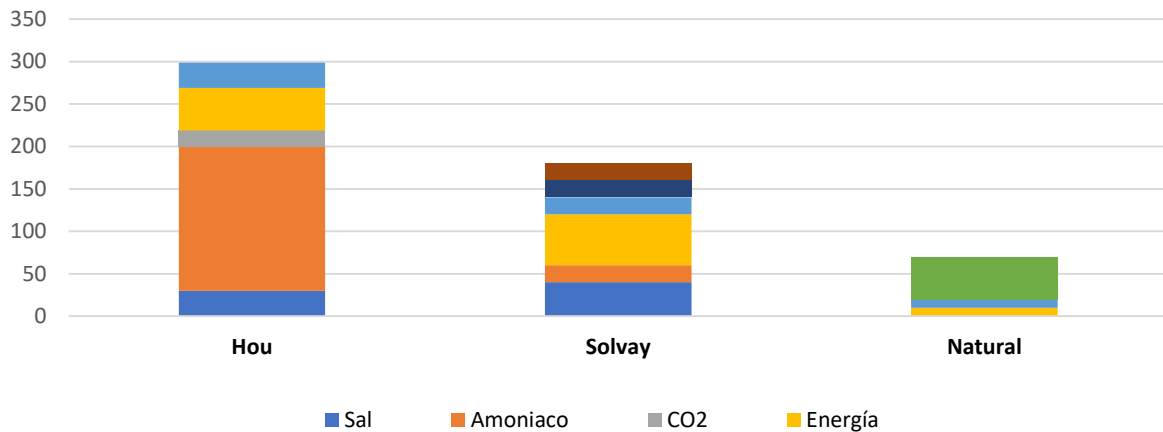


Ilustración 7. Costos de estructura del proceso de obtención del carbonato de sodio [USD/MT].

Un último aspecto, pero no por eso menos importante, es el impacto ambiental producido. Por esto, considerando las emisiones de CO₂, el método Solvay corre con desventaja y además de liberar CO₂ a la atmósfera tiene desechos líquidos procedentes de la fase de destilación. La evacuación de estos líquidos constituye un problema ecológico si no se gestiona correctamente ya que contiene componentes contaminantes como: cloruros inorgánicos, carbonato, sulfatos, álcalis, amoníaco; incluidos metales pesados derivados de las materias primas. Actualmente muchos de los desechos de destilación se vierten directamente en el medio ambiente acuático, lo que causa una gran contaminación ambiental. Claro está que otro aspecto importante en cuanto a emisiones de CO₂, es la elección del combustible para la calcinación de piedra caliza, siendo la obtención con coque la que más emisiones genera.

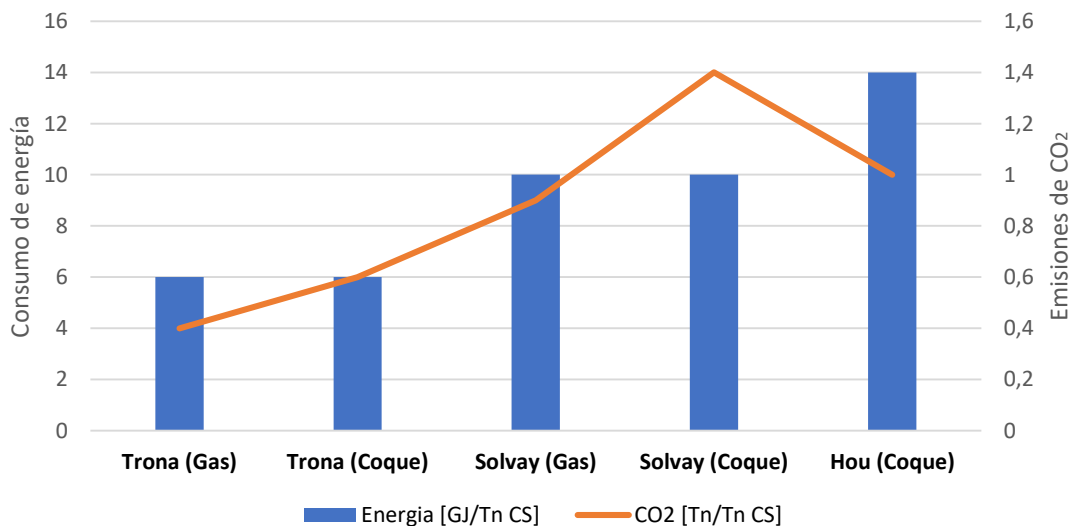


Ilustración 8. Consumos de energía y emisiones de CO₂

Dado estos datos, concluimos que el método de obtención sintético más económico en términos de producción, más conveniente energéticamente y con un impacto ambiental que puede ser tratado mediante la captación de CO₂ y el correcto tratamiento de residuos, es el método Solvay. A modo de resumen, a continuación, se presenta una tabla comparativa de los diferentes métodos.

Tabla 4. Comparación de métodos de obtención. Elaboración propia

Método	Método Solvay	Método Hou	Método de Trona
Productos	Carbonato de sodio y cloruro de calcio.	Carbonato de sodio y carbonato de calcio.	Carbonato de sodio y otros minerales presentes en la trona.
Eficiencia	Alta eficiencia en la conversión de materia prima a producto.	Moderada eficiencia en la conversión de materia prima a producto.	Menor eficiencia debido a la presencia de otros minerales en la trona que deben separarse.
Costo	Costo moderado debido a la disponibilidad de materias primas y la eficiencia del proceso.	Costo moderado debido a la necesidad de reactivos adicionales.	Costo variable según la disponibilidad y ubicación de los depósitos de trona.
Escalabilidad	Altamente escalable y adecuado para la producción a gran escala.	Menos escalable que el Método Solvay debido a la complejidad de los reactivos y la producción de subproductos.	Escalabilidad limitada por la cantidad y calidad de los depósitos de trona.
Pureza	Alta pureza del carbonato de sodio producido.	Alta pureza del carbonato de sodio producido.	Puede tener menor pureza debido a la presencia de otros minerales en la trona.
Versatilidad	Más versátil en términos de aplicaciones industriales y químicas.	Menos versátil en comparación con el Método Solvay.	Menos versátil en comparación con el Método Solvay.
Razones de conveniencia	Alta eficiencia y rendimiento en la producción de carbonato de sodio.	Requiere menos pasos en el proceso de obtención.	Depende de la disponibilidad y calidad de los depósitos de trona.

1.8 Conclusión

En resumen, la producción local de carbonato de sodio es clave para el desarrollo de la industria del litio en Argentina, ya que representa una reducción significativa en los costos de producción de esta industria. Además, se espera que la demanda de carbonato de sodio aumente en un 104% hasta el año 2025, lo que significa una gran oportunidad para la localización de empresas productoras en las cercanías de los salares en explotación en la región de la Puna y el norte argentino. En este sentido, se ha analizado que el método de producción más conveniente para el país es el Solvay, debido a su menor costo de producción y mejor eficiencia energética, además de la imposibilidad de realizar un proceso de extracción natural a partir de la trona. A lo largo de los siguientes capítulos, se profundizará sobre el gran potencial que tiene la producción de carbonato de sodio en el país y se describirán las características y particularidades del método Solvay, proceso elegido para el desarrollo de este trabajo, así como también se evaluarán las perspectivas económicas, legales, ambientales y técnicas. Teniendo como objetivo principal evaluar la viabilidad de establecer una planta de producción de carbonato de sodio en la provincia de Salta.

Capítulo 2 - Estudio de Mercado

2.1 Introducción

Como ya hemos visto, la producción de carbonato de sodio en el país es un tema de gran relevancia para la industria minera. En este sentido, en el marco de un proyecto enfocado en el análisis de la viabilidad de la producción de carbonato de sodio en la región, se ha propuesto el nombre de la empresa "Nitrium", que tiene su origen en la traducción del término "Sodio" del latín al español. Este estudio de mercado ha permitirá realizar una estimación de la demanda del producto por parte de las empresas mineras ubicadas en el país, además de establecer un precio competitivo para el mercado objetivo al que la empresa va a abastecer.

En este sentido, se ha llevado a cabo un análisis exhaustivo de los factores que influyen en la demanda del carbonato de sodio en la región. El objetivo final es determinar la capacidad productiva de la empresa y el modelo de negocio más adecuado para penetrar en el mercado objetivo. El presente capítulo se centrará en la empresa Nitrium, incluyendo la definición de su modelo de negocio, misión, visión y valores, análisis FODA, método de estimación de la demanda, importaciones de carbonato de sodio para la industria del litio, relación entre la producción de carbonato de sodio y carbonato de litio, cálculo de la demanda actual, proyección de la demanda, demanda potencial, precio y mercado objetivo.

Con este análisis de mercado se pretende evaluar la viabilidad de la producción de carbonato de sodio en la provincia de Salta, identificado las oportunidades y desafíos que presenta la industria en la región.

2.2 Modelo de Negocio.

Para establecer nuestro modelo de negocio decidimos realizar un análisis Canvas, también conocido como "lienzo de modelo de negocio" o "Business Model Canvas", es una herramienta visual que se utiliza para describir, analizar y diseñar modelos de negocio. El análisis Canvas es una plantilla en forma de lienzo dividido en bloques que representan los elementos clave de un modelo de negocio.



Ilustración 9. Análisis Canvas - Elaboración propia

2.3 Misión, visión y valores.

- Misión:** Somos una empresa dedicada a la venta de carbonato de sodio, ubicada en Salta, Argentina, que tiene como objetivo suministrar a las empresas mineras presentes en el triángulo del litio un producto de alta calidad y confiabilidad que les permita optimizar sus procesos de producción.
- Visión:** Ser una empresa líder y referente en el mercado nacional e internacional, que se distinga por la excelencia en la calidad del producto y en el servicio al cliente, y por su compromiso con el desarrollo sostenible y la innovación, generando valor para nuestros clientes, colaboradores y la sociedad en general. Asimismo, queremos ser una empresa que contribuya al desarrollo económico, social y ambiental de la región y del país en general.
- Valores:** Los valores de la empresa Nitrium son los siguientes:

Calidad: Nos comprometemos a ofrecer productos y servicios de alta calidad que cumplan con las necesidades y expectativas de nuestros clientes.

Innovación: Nos esforzamos por mantenernos a la vanguardia en cuanto a innovación y tecnología para ofrecer soluciones personalizadas a nuestros clientes.

Sostenibilidad: Nos comprometemos a ser una empresa responsable y comprometida con el cuidado del medio ambiente y el desarrollo sostenible.

Integridad: Nos regimos por altos estándares éticos y profesionales en todas nuestras operaciones y relaciones comerciales.

Colaboración: Fomentamos la colaboración y el trabajo en equipo para lograr objetivos comunes y construir relaciones a largo plazo basadas en la confianza y el respeto mutuo.

Excelencia: Buscamos la excelencia en todo lo que hacemos, desde la calidad de nuestros productos hasta el servicio que ofrecemos a nuestros clientes.

Responsabilidad social: Contribuimos al desarrollo económico, social y ambiental de nuestra región y del país en general, siendo un agente de cambio positivo en nuestra sociedad.

- **Marca:** Nitrium es una marca comprometida con el desarrollo sostenible y la innovación, dedicada a la producción y comercialización de carbonato de sodio de alta calidad para el sector minero. Inspirados en nuestra misión de suministrar productos de alta calidad y confiabilidad que permitan optimizar los procesos de producción de nuestros clientes, y en nuestra visión de ser una empresa líder y referente en el mercado nacional e internacional. En Nitrium trabajamos arduamente para ofrecer soluciones personalizadas a nuestros clientes y construir relaciones a largo plazo basadas en la confianza y el respeto mutuo. Nos esforzamos por estar a la vanguardia en cuanto a innovación y tecnología, y en ser un agente de cambio positivo en nuestra sociedad, contribuyendo al desarrollo económico, social y ambiental de nuestra región y del país en general.
- **Logo:**



Ilustración 10. Logo y packaging del proyecto.

2.4 Análisis FODA

F	FORTALEZAS
	<ul style="list-style-type: none">• Precio• Ubicación y disponibilidad• Legislación (Ley 24.196 y Ley 25.827)• Tecnología (equipos y maquinaria de origen nacional)• Sistema de gestión ambiental• Inexistencia de producto sustituto
O	OPORTUNIDADES
	<ul style="list-style-type: none">• Crecimiento del mercado• Alianzas estratégicas (mineras productoras de carbonato de litio)• Propuesta de valor y mejora de eficiencia (tratado de lodos)
D	DEBILIDADES
	<ul style="list-style-type: none">• Inversión inicial elevada (15.000.000 U\$D aprox)• Dependencia del mercado local• Aprovisionamiento de materia prima (escasa oferta de piedra caliza)
A	AMENAZAS
	<ul style="list-style-type: none">• Competencia• Inestabilidad económica• Cambios en la regulación

2.5 Método de estimación de la demanda

La demanda de nuestro producto depende principalmente de su precio y calidad, ya que es imprescindible para la producción de carbonato de litio. Por lo tanto, en lugar de estimar la demanda mediante encuestas, podemos entender la misma a través de las necesidades de las empresas mineras en nuestro país. Cada empresa tiene diferentes necesidades basadas en su producción estimada y método de obtención, por ello es importante conocer los siguientes datos:

- Importaciones de carbonato de sodio para la industria del litio.
- Producción estimada y método de obtención de los proyectos mineros.
- Relación entre carbonato de sodio y carbonato de litio.

Con esta información, podemos estimar la cantidad de demanda que tendremos y decidir cuál será nuestra cuota de mercado inicial.

2.6 Importaciones de carbonato de sodio para la industria del Litio

Como ya se nombró anteriormente, ALPAT es el único productor de carbonato de sodio en Latinoamérica, su planta posee una capacidad instalada de 250 mil toneladas/año. Sin embargo, esta producción no se destina a satisfacer las necesidades nacionales de la industria del litio, sino, que ya se encuentra saturada por otros mercados, como ser el de la producción del vidrio y la elaboración de detergentes. Además, en el caso de cambiar de mercado, la capacidad de la planta no bastaría para satisfacer la demanda completa de la industria del litio, es por esto que las empresas mineras se ven actualmente obligadas a buscar proveedores de este producto en el exterior, como ser, Turquía, Australia, China y EEUU.

Para poder calcular cual es el monto de estas importaciones, primero debemos saber cuáles son los clientes que están necesitando este producto, eso quiere decir, cuáles son los proyectos actuales de producción de carbonato de litio, como así también cual es la capacidad de extracción de cada uno de ellos. Esto determinará la necesidad de carbonato de sodio, por lo tanto, a continuación, se muestran los proyectos ubicados en el NOA de la República Argentina.

Es importante notar que en la tabla anterior no se incluyen aquellos proyectos que se encuentran en estado de exploración avanzada ni aquellos que se encuentran en estado de evaluación económica preliminar debido a que aún no hay la suficiente seguridad de que esos proyectos realmente se lleven a cabo o no. Sin embargo, para mostrar la potencial demanda que tendría el carbonato de sodio en el caso que efectivamente se realicen, los mismos se detallan a continuación.

Tabla 5. Cartera de proyectos de extracción de carbonato de litio en el NOA según su método de extracción (2022). Elaboración propia en base a [4]

Método de Extracción	Proyecto	Propietario	Ubicación	Provincia	Estado del proyecto	Vida útil estimada [años]	Producción anual promedio [Tn LC/año]
Bombeo - Adsorción Química	Centenario Ratones	ERAMET	Los Andes	Salta	Construcción	40	24.000
	Salar del Rincón	Rincón LTD	Los Andes	Salta	Factibilidad - Reingeniería	25	25.000
						Total	49.000
Bombeo - Evaporación	Sal de Vida	Galaxy Resources LTD	Antofagasta	Catamarca	Factibilidad	40	25.000
	Pastos Grandes	Millennial Lithium Corporation	Los Andes	Salta	Factibilidad	25	25.000
	Tres Quebradas	Neo Lithium Ltd	Tinogasta	Catamarca	Prefactibilidad	35	20.000
	Cauchari	Orocobre Limited Pty	Susques	Jujuy	Prefactibilidad	30	25.000
	Kachi	Lake Resources	Antofagasta	Catamarca	Prefactibilidad	25	25.500
	Fénix	Livent Corp	Antofagasta	Catamarca	Operación	40	28.500
	Olaroz	Orocobre + Toyota + JEMSE Lithium	Susques	Jujuy	Operación	40	42.500
	Cauchari Olaroz	Americas + Ganfeng + JEMSE	Susques	Jujuy	Construcción	35	40.000
						Total	231.500

Tabla 6. Proyectos en etapa de evaluación económica preliminar y exploración avanzada (2022). Elaboración propia en base a [4]

Método de Extracción	Proyecto	Propietario	Ubicación	Provincia	Estado del proyecto	Vida útil estimada [años]	Producción anual promedio [Tn LC/año]	
Bombeo - Evaporación	Mariana	Ganfeng Lithium Co.	Los Andes	Salta	Evaluación Económica Preliminar	25	10.000	
	PPG	LSC Lithium Corp.	Los Andes	Salta	Evaluación Económica Preliminar	20	25.000	
	Sal de los Angeles	Nextview Energy Lion Kong	New Hong Kong	Antofagasta de la Sierra	Salta	Evaluación Económica Preliminar	20	25.000
	Salar del Rincón Argosy	Puna Mining S.A.	Los Andes	Salta	Evaluación Económica Preliminar	17	10.000	
	Hombre Muerto Norte	NRG Metals Inc	Los Andes	Salta	Evaluación Económica Preliminar	30	5.000	
	Sal de Oro	POSCO	Los Andes	Salta	Exploración Avanzada	30	30.000	
Total							105.000	

2.7 Relación entre la producción de carbonato de sodio (CS) y carbonato de litio (LC)

2.7.1 Cálculo de Demanda actual

Antes del cálculo de la demanda es necesario diferenciar entre dos métodos de bombeo en la producción del carbonato de litio, de los cuales depende la cantidad de carbonato de sodio necesario:

- 1- Bombeo por adsorción química
- 2- Bombeo por evaporación

2.7.2 Método de obtención por adsorción química:

- **Proceso de adsorción:** En este método, se utiliza un proceso de adsorción selectiva en resinas intercambiadoras de iones para obtener el carbonato de litio. Las salmueras con alto contenido de sales de litio se hacen pasar a través de resinas específicas que tienen una afinidad química por el litio. La resina adsorbe selectivamente el litio, separándolo de otras impurezas y elementos presentes en la salmuera.
- **Rapidez y eficiencia:** La adsorción química tiende a ser un proceso más rápido y eficiente en términos de tiempo y consumo de energía. La resina tiene una alta capacidad de adsorción y puede capturar el litio de manera efectiva, lo que resulta en una obtención relativamente rápida y con un alto grado de pureza.
- **Menos contaminantes:** Debido a la selectividad de la resina, la obtención de carbonato de litio mediante adsorción química suele generar menos impurezas y contaminantes en comparación con otros métodos, es por esto que hace menos uso del carbonato de sodio, lo que contribuye a una mayor pureza del producto final.

2.7.3 Método de obtención por evaporación:

- **Proceso de evaporación y cristalización:** En este método, se concentran las salmueras de litio mediante la evaporación del agua, ya sea de forma natural (exposición al sol) o mediante el uso de evaporadores. Con la concentración de las sales de litio, el carbonato de litio cristaliza y se recolecta.
- **Menor grado de pureza inicial:** La salmuera de litio extraída no tiene un alto contenido de carbonato de litio, lo que significa que el producto inicial obtenido mediante evaporación puede tener un grado de pureza menor en comparación con el obtenido por adsorción química, es por esta razón que se necesita mayor proporción de carbonato de sodio en este método.

- **Menor eficiencia energética:** La evaporación puede ser un proceso más lento y menos eficiente en términos de consumo de energía en comparación con la adsorción química. La necesidad de evaporar grandes volúmenes de agua para concentrar las sales de litio puede requerir más recursos.

La relación entre LC y CS muestra que por tonelada de LC producido son necesarias 4 toneladas de CS si el proceso implica método de concentración de salmueras por evaporación y 2 toneladas de CS si el proceso implica utilización de nuevas tecnologías, como ser la absorción química. [3]

Por lo tanto, con estos datos, podemos calcular la cantidad demandada de carbonato de sodio para la industria del litio en el NOA en el año 2022 de la siguiente manera. Considerando solamente aquellos proyectos que se encuentran ya funcionando y en construcción, la demanda actual de carbonato de sodio, medida en miles de toneladas es la siguiente.

Tabla 7. Estimación de la demanda actual (2022) de carbonato de sodio en el NOA.

Método de Minado	Producción Anual Promedio [Tn LC/año]	Relación CS/LC	Demanda de carbonato de sodio
Bombeo - Adsorción Química	24.000	2	48.000
Bombeo - Evaporación	111.000	4	444.000
Total			492.000

Como ya se explicó anteriormente todo este producto, fundamental para la producción del LC, actualmente es importado.

2.7.4 Proyección de la demanda

Basados en datos oficiales del ministerio de minería de la nación, se procede a la proyección de importaciones de carbonato de sodio en el país, con datos a partir del año 2013 hasta el año 2019.

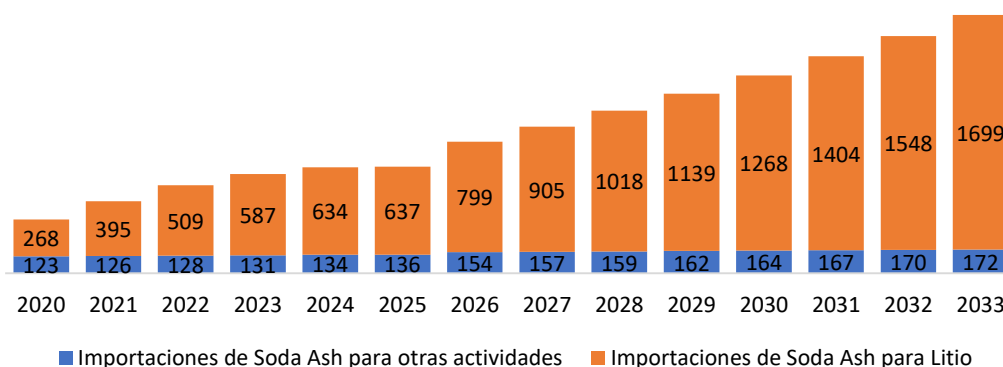


Ilustración 11. Proyección de importaciones de soda ash [Miles de Tn]

Puede observarse que la proyección marca para el año 2022 una cifra de 509.000 tn de CS, dedicadas a la industria del litio, cantidad que difiere solo en un 3% al monto calculado anteriormente utilizando la relación entre CS y LC basándose en las empresas que actualmente se encuentran en explotación y construcción. Además, la proyección muestra un crecimiento de un 189% en 10 años, lo cual es altamente prometedor.

Si realizamos la proyección en valores monetarios, considerando un precio de 242 USD, valor oficial de la tonelada de carbonato de sodio en Julio 2022 y sin tener en cuenta el costo por flete obtenemos lo siguiente:

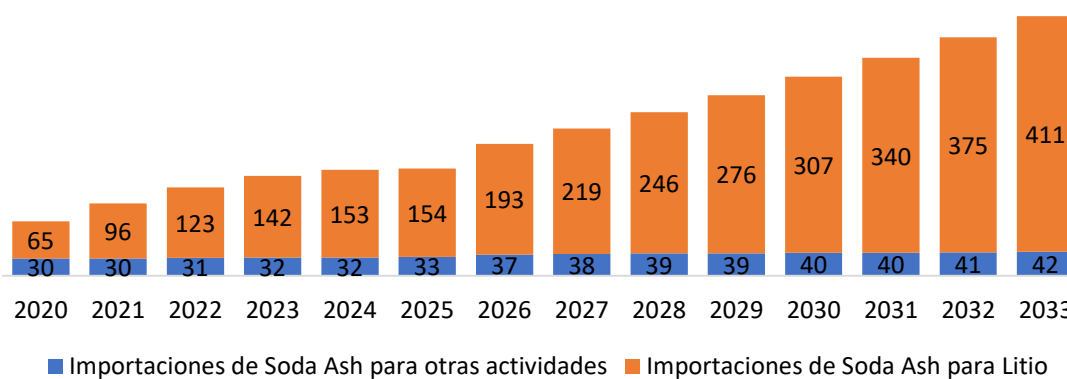


Ilustración 12. Proyección de importaciones de soda ash [Millones de USD]

Se puede ver que actualmente (año 2023) hay 142 millones de USD que el país destina a importar CS de diferentes lugares del mundo destinado a la industria del LC, por lo que hay una gran oportunidad para la industria nacional de buscar reemplazar estas importaciones.

2.7.5 Demanda potencial

Es importante aclarar que las demandas proyectadas y calculadas anteriormente se realizaron teniendo en cuenta proyectos que se encuentran actualmente en explotación o en construcción, sin embargo, hay muchos más proyectos en la zona del NOA que se encuentran en estudio de factibilidad, prefactibilidad y evaluación económica. Por lo tanto, a continuación, se muestra, a modo informativo, el cálculo de la demanda potencial teniendo en cuenta todos los proyectos del norte argentino.

- **Primer estimado:** si al cálculo anterior de la tabla 7 le incluimos los proyectos que se encuentran explotando LC y aquellos que se encuentran en la etapa de factibilidad y prefactibilidad, la demanda potencial del carbonato de sodio, se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 8. Estimación de la demanda actual (2022) de carbonato de sodio en el NOA considerando proyectos en etapa de factibilidad y prefactibilidad

Método de Minado	Producción Anual Promedio [Tn LC/año]	Relación CS/LC	Demanda de carbonato de sodio
Bombeo - Adsorción Química	49.000	2	98.000
Bombeo - Evaporación	231.500	4	926.000
Total			1.024.000

De manera breve, explicaremos la diferencia entre los métodos de Bombeo:

- **Segundo estimado:** teniendo en cuenta todos los proyectos registrados de manera oficial y publicados por el ministerio de minería del país, la demanda potencial del carbonato de sodio se podría calcular de la siguiente manera.

Tabla 9. Estimación de la demanda actual (2022) de carbonato de sodio en el NOA considerando todos los proyectos registrados en el año.

Método de Minado	Producción Anual Promedio [Tn LC/año]	Relación CS/LC	Demanda de carbonato de sodio
Bombeo - Adsorción Química	49.000	2	98.000
Bombeo - Evaporación	336.500	4	1.346.000
Total			1.444.000

Una vez más podemos ver un alto crecimiento de este mercado ya que en el caso de que todos los proyectos logren establecerse, en menos de 10 años la demanda crecerá casi en un 200%.

2.8 Precio

El precio del carbonato de sodio se rige por la bolsa mercantil de Chicago, también conocida como bolsa de valores de Chicago o CME por sus siglas en inglés. En esta se negocian los contratos del futuro de activos de alimentación, pero también financieros, de energía o de productos químicos, entre otros. A continuación, se presenta una evolución desde enero de 2022 a enero de 2023.



Ilustración 13. Evolución del precio del carbonato de sodio por tonelada expresado en Yuanes. Extraído de TradingEconomics.com

Extrayendo del gráfico el valor al cual cerró la tonelada de carbonato de sodio a fines de enero del 2023 tenemos un valor de 2750¥ lo que equivale a 398 U\$D (FOB). Sin embargo, las principales mineras ubicadas en el norte del país adquieren la tonelada de este producto a 650 U\$D (CPT) dado los altos costos de importación que posee el país. Esta diferencia de precios deja en evidencia el gran esfuerzo monetario que deben realizar las empresas para poder adquirir y traer a nuestro país esta materia prima, dichos costos podrían reducirse y hasta eliminarse en el caso de que el carbonato de sodio sea un producto de la industria nacional.

Entendiendo estas dificultades, proponemos un precio de 350 U\$D por tonelada (sin flete) para poder penetrar en el mercado, teniendo como principal ventaja competitiva dicho precio.

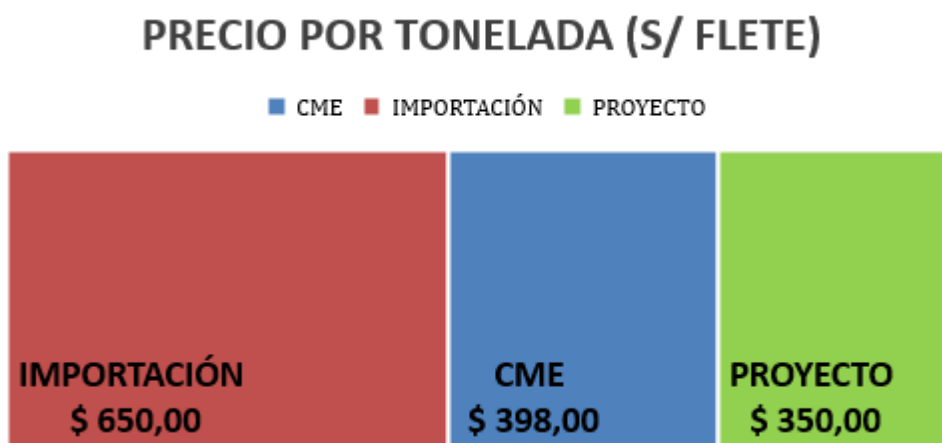


Ilustración 14. Comparativa de precios. Valores expresados en USD

2.9 Mercado Objetivo

Este proyecto tiene como objetivo sustituir el 5% de las importaciones actuales de CS utilizadas en la producción de LC, lo que representa 25,5 miles de toneladas y un valor de 10,2 millones de USD en el año 2023 (sin incluir el flete). Además, el proyecto planea aumentar la oferta del producto al mismo ritmo que la tasa de crecimiento del mercado de carbonato de sodio, es decir, al crecimiento anual proyectado de la demanda. En resumen, el objetivo del proyecto es crecer en línea con el mercado de manera anual.

Por lo tanto, a continuación, se plantea la proyección de oferta anual hasta el año 2033.

Tabla 10. Proyección de mercado objetivo

Año	Importaciones de CS [MTn]	Crecimiento anual	Producción CS [MTn/año]	Ingresos [USD/año]	Producción [Tn/Hs]
2023	587	5%	29,4	\$ 10.272.500	5,0
2024	634	10%	32,3	\$ 11.299.750	5,5
2025	637	10%	35,5	\$ 12.429.725	6,1
2026	799	7%	38,0	\$ 13.299.806	6,5
2027	905	7%	40,7	\$ 14.230.792	7,0
2028	1018	7%	43,5	\$ 15.226.948	7,4
2029	1139	5%	45,7	\$ 15.988.295	7,8
2030	1268	5%	48,0	\$ 16.787.710	8,2
2031	1404	5%	50,4	\$ 17.627.095	8,6
2032	1548	5%	52,9	\$ 18.508.450	9,1
2033	1699	5%	55,5	\$ 19.433.872	9,5

Esta tabla es fundamental ya que en el estudio técnico se dimensionarán y seleccionarán los equipos que se ajusten a la producción estimada para el último año del estudio, lo cual equivale a 9,5 Tn/Hr.

Por lo tanto, podemos justificar la elección de nuestro mercado objetivo con los siguientes motivos:

- A pesar de la gran cantidad de proyectos que se encuentran en estado de factibilidad, actualmente solo hay dos proyectos operativos.
- El 5% calculado basta para satisfacer la demanda de la única empresa que empezará a producir de manera masiva en el año 2024.

2.10 Conclusiones

Luego del estudio realizado podemos observar la potencialidad que tiene instalar un proyecto dedicado a la producción de carbonato de sodio para abastecer a la industria minera del norte del país, la cual debido a la inexistencia de oferta local se ve obligada a importar este producto que es indispensable en su proceso productivo. Las proyecciones realizadas a 10 años dejan en evidencia el gran crecimiento de la necesidad de nuestro producto sin contar aquellos proyectos que se encuentran en etapa de viabilidad y exploración, dejando en claro el gran nicho existente en el mercado.

Por lo tanto, el proyecto busca sustituir un 5% de la demanda de CS, para ello comenzaremos con una producción anual de 29,4 mil toneladas por año teniendo una tasa de crecimiento anual equivalente a la del mercado de nuestro producto. Para lograr penetrar en el mercado, el precio de lanzamiento será de USD 350 por tonelada, lo que significa un 46% menos costoso que el precio de importación teniendo como principales fortalezas, además del precio, la ubicación y la disponibilidad de un producto de alta calidad cuyo proceso se detallará en el capítulo siguiente.

Capítulo 3: Estudio Técnico

3.1 Introducción

Comprender el proceso productivo es fundamental para la correcta producción del carbonato de sodio, ya que en el mismo se analizan los aspectos de ingeniería necesarios para lograr un producto de alta calidad.

En este capítulo, se llevará a cabo un balance de masa que permitirá determinar las cantidades necesarias de los insumos y productos para el proceso Solvay, elegido como el proceso más conveniente en el capítulo uno. Asimismo, se realizará una descripción detallada del proceso, explicando cada una de las etapas y equipos principales que se utilizan en la producción del carbonato de sodio. El proceso productivo elegido es complejo, y aquí se prestará especial atención a las etapas más importantes del mismo, como la purificación de la salmuera, el quemado de la piedra caliza y apagado de cal, la absorción del amoníaco, la precipitación del bicarbonato en torre Solvay, la filtración del bicarbonato, la calcinación del bicarbonato, la densificación del carbonato de sodio y la recuperación del amoníaco.

Además, se incluirá un diagrama de flujo que permitirá visualizar de manera clara y comprender las distintas etapas y sus interacciones. También se analizarán las características principales que deben tenerse en cuenta para el almacenamiento y empaquetado del producto, así como las posibles localizaciones para la planta de producción y una distribución estimada de la misma.

En definitiva, el correcto desarrollo de este capítulo es crucial para asegurar una producción eficiente y de calidad del carbonato de sodio, y su contenido es esencial para comprender los aspectos técnicos y de ingeniería necesarios para llevar a cabo este proceso.

3.2 Diagrama de bloques

Para comenzar, presentaremos en la ilustración siguiente un diagrama de bloques para que el mismo sea sencillo de comprender, teniendo en cuenta que las etapas que se desarrollaran por completo a lo largo de este estudio.

PROCESO SOLVAY – DIAGRAMA DE BLOQUES

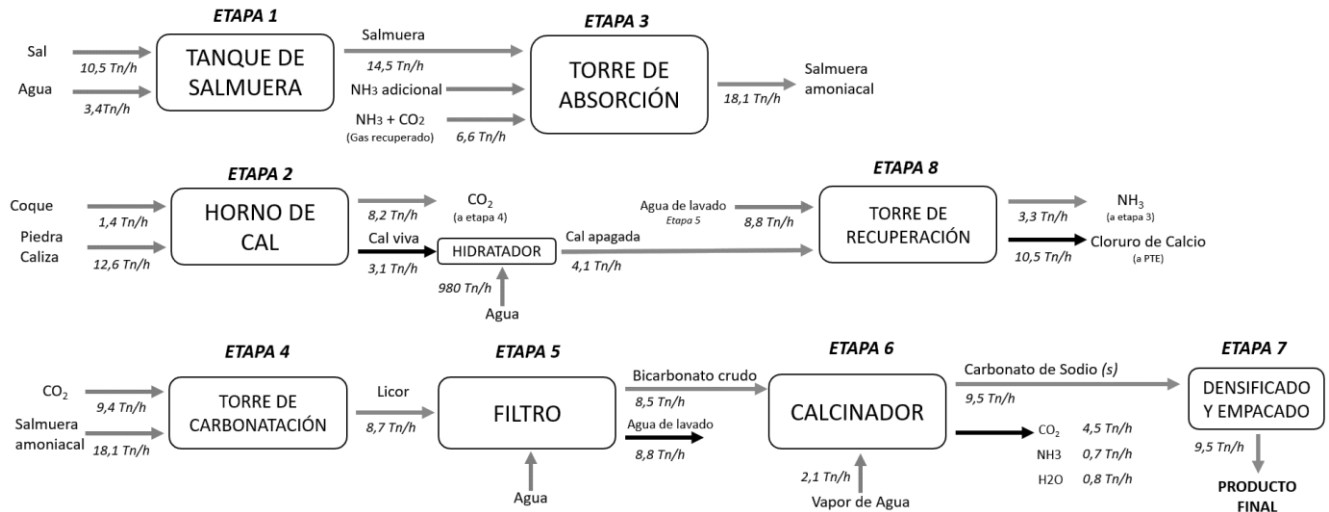


Ilustración 15. Diagrama de bloques del proceso Solvay. Elaboración propia.

Cabe mencionar que el balance de materia que se muestra en la ilustración anterior corresponde a la producción del último año de este proyecto y a partir de la cual se dimensionarán los equipos necesarios para llevar a cabo el proceso productivo, cuya lista se presenta a continuación.

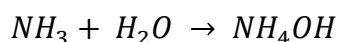
Tabla 11. Listado de equipos

EQUIPOS		
Tanque salmuera	Bomba tanque salmuera	Bomba salida hidratador
Tanque lechada de cal	Bomba tanque lechada	Compresor 1
Tanque/silo agregado Na ₂ CO ₃	Bomba tanque mezcla	Compresor 2
Tanque de mezcla	Bomba tanque floculación	Caldera humo tubular
Tanque de floculación	Bomba torre Solvay	Secador etapa 6
Transporte tornillo	Bomba entrada filtro	Secador etapa 8
Alto horno	Torre Solvay	Cristalizador
Columna absorción	Columna destilación	Hidratador

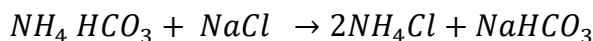
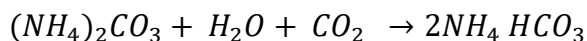
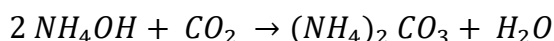
3.3 Balance de masa

Como ya se especificó en el capítulo 1, el método de producción que se estudia en el proyecto será el método Solvay, teniendo en cuenta esto, las reacciones producidas a lo largo del ciclo productivo son las siguientes.

En primer lugar, la salmuera de cloruro sódico debe ser purificada para evitar incrustaciones en los equipos de procesos posteriores y para prevenir la contaminación del producto final. Aquí los iones de magnesio y calcio precipitan. Tras esta purificación, la salmuera se pone en contacto con amoníaco gaseoso:

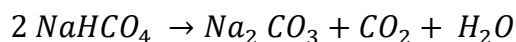


La mayor parte del amoníaco se recicla a partir de las etapas posteriores, sin embargo, se requiere algo de reposición. Luego de esto la salmuera amoniacal se envía a las columnas de carbonatación, donde se precipita el bicarbonato de sodio mediante el contacto de la salmuera con dióxido de carbono.



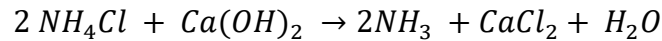
El bicarbonato de sodio es menos soluble y se precipita en el interior de la columna de carbonatación. Al final del ciclo de fabricación, se drena la lechada y se filtra el bicarbonato de sodio, sin embargo, tras el vaciado de los lodos, quedan cantidades considerables de bicarbonato en la columna, para esto es necesario limpiarlas haciendo pasar líquido fresco de alimentación a través de la misma con solo una cantidad limitada de CO₂ para mantener el efluente por debajo del límite de saturación del bicarbonato de sodio. El líquido de limpieza de esta columna luego se utiliza como alimentación de otras columnas en el ciclo de fabricación, por lo que se utilizará una serie de cinco columnas paralelas con conexiones de tuberías para el funcionamiento continuo.

Luego, el filtrado de bicarbonato de sodio debe ser calcinado, para producir carbonato de sodio, dióxido de carbono y vapor de agua

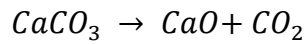


El dióxido de carbono se recupera, se comprime y se recicla de nuevo en las columnas de carbonatación según sea necesario. El carbonato de sodio producido sale a altas temperaturas por lo que debe ser enfriado, tamizado y por último envasado en bolsas big bags. Si bien hasta este punto ya se logra observar las reacciones principales de nuestro proceso, vale la pena

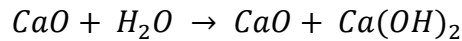
resaltar los ciclos de recuperación, ya que en nuestro proceso el amoniaco se recupera haciendo reaccionar el cloruro de amonio del licor filtrado con leche de cal.



Aquí es donde se obtiene una solución de cloruro de calcio como subproducto. Por otro lado, la lechada de cal y gran parte del dióxido de carbono necesario en el proceso Solvay se producen a partir de piedra caliza, dentro de un horno a 950-1100°C.



En nuestro caso el coque se mezcla con piedra caliza como combustible y el dióxido de carbono se recupera de los gases de escape mediante filtración para eliminar el polvo arrastrado, se comprime y luego se envía a las columnas de carbonatación, mientras que la cal se enfría y apaga con agua.



Se utilizará un exceso de agua para producir una suspensión espesa llamada leche de cal. Utilizando los valores moleculares de las fórmulas, tomando como base las cantidades para producir teóricamente 1 tonelada de carbonato de sodio Na_2CO_3 , las necesidades de materia prima son las siguientes:

Tabla 12. Necesidad de materia prima por Tn de CS. Elaboración propia

Materia prima	Fórmula	Cantidad (Kg)
Cloruro de Sodio	NaCl	1.104
Amoniaco	NH ₃	321
Dióxido de Carbono	CO ₂	830
Agua	H ₂ O	340
Piedra Caliza	CaCO ₃	1.100
Coque		142

Teniendo en cuenta estas cantidades, a continuación, se calculan las necesidades de materia prima a procesar por año del proyecto:

Tabla 13. Necesidad anual de materia prima en base a la demanda a cubrir. Elaboración propia

Año	Na ₂ CO ₃ [MTn]	NaCl [MTn]	Piedra Caliza [MTn]	Coque [Tn]
2023	29,4	32,4	32,3	4,2
2024	32,3	35,6	35,5	4,6
2025	35,5	39,2	39,1	5,1
2026	38,0	42,0	41,8	5,4
2027	40,7	44,9	44,7	5,8
2028	43,5	48,0	47,9	6,2
2029	45,7	50,4	50,2	6,5
2030	48,0	53,0	52,8	6,8
2031	50,4	55,6	55,4	7,2
2032	52,9	58,4	58,2	7,5
2033	55,5	61,3	61,1	7,9

Como ya mencionamos anteriormente, los equipos posteriormente dimensionados estarán sujetos a satisfacer la producción proyectada para el año 2033, para que así, año a año la planta tenga capacidad para aumentar la elaboración del producto y satisfacer a los clientes.

3.4 Descripción detallada del proceso: equipos principales

3.4.1 Etapa 1 - Purificación de la salmuera

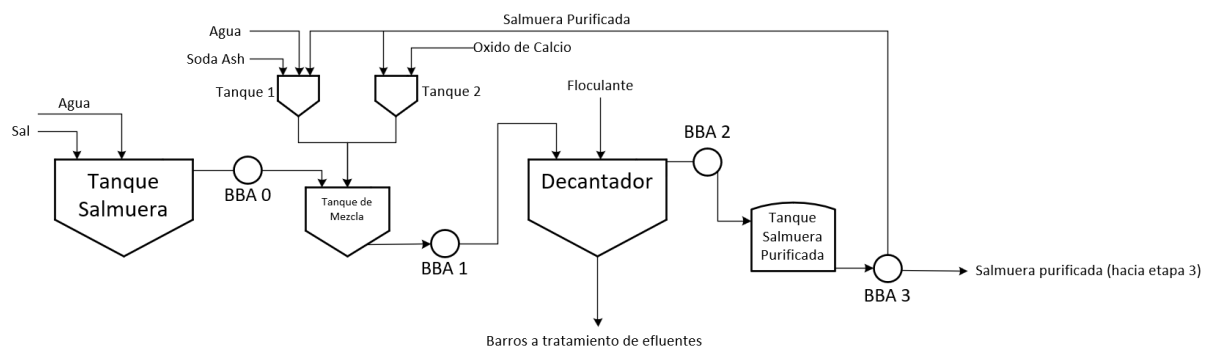
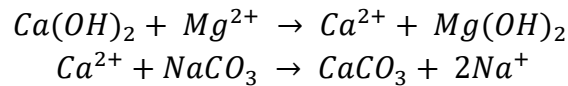


Ilustración 16. Método Solvay, Diagrama de flujo - Etapa 1. Elaboración propia

El cloruro de sodio que se utiliza como materia prima en el proceso Solvay puede obtenerse por extracción convencional o por solución, en ambos casos la salmuera siempre contiene impurezas orgánicas que provocan problemas de producción y perjudican la calidad del producto. Algunas de estas pueden ser los iones de calcio y magnesio, los cuales causan incrustaciones en los equipos y tuberías debido a la formación de carbonatos básicos durante la absorción de amoníaco, lo que puede interferir seriamente con el proceso Solvay.

Entonces, por lo expuesto anteriormente, debemos implementar un proceso que nos permita eliminar dichas impurezas. A partir de la bibliografía utilizada y basándonos también en los tratamientos utilizados en plantas similares, llegamos a la conclusión que el proceso más apto es aquel realizado con óxido de calcio y carbonato de sodio. Estos materiales son producidos en nuestra planta, uno como subproducto en exceso y el otro como producto final, respectivamente. Por lo tanto, mediante la adición a la salmuera de dichos productos, se producirá la precipitación como se muestra a continuación:



Es importante aclarar que dicho tratamiento debe realizarse a temperatura ambiente o un poco menor, ya que la salmuera es utilizada posteriormente en lavadores como agente absorbente. Para realizar este proceso es necesario el equipo que se detalla a continuación.

3.4.1.1 Diseño del Clarificador

En este equipo se producirá la sedimentación², que constará de dos operaciones: concentración y clarificación. En la primera, se busca agrupar los sólidos en suspensión presentes en un fluido, mientras que en la segunda el objetivo es remover pequeñas cantidades de sólidos en suspensión remanentes de la primera operación.

3.4.1.2 Componentes y accesorios de los clarificadores

Como se explicó anteriormente, en el clarificador se lleva a cabo la separación de los sólidos en suspensión dentro del líquido. Estos sólidos se forman gracias a la adición de ciertos compuestos que reaccionan con la salmuera. Por lo tanto, vamos a necesitar un medio donde estos compuestos y la salmuera entren en contacto.

Tanque de mezcla

En este tanque, la salmuera entra en contacto con el hidróxido de calcio y con el carbonato de sodio, en él, un agitador mecánico remueve la solución para generar una mezcla adecuada de los componentes. El tiempo de mezcla necesario para una correcta formación posterior de los sólidos es de 15 minutos. Por lo tanto, el tiempo de residencia de nuestra mezcla en dicho tanque debe ser como mínimo igual a estos 15 minutos. Es importante mencionar la necesidad de una agitación vigorosa de la mezcla, por lo tanto, el agitador a emplear juega un papel fundamental en esta parte del proceso.

² Separación parcial o concentración de sólidos en suspensión mediante la acción de la fuerza de gravedad

Tanque de floculación

Este recipiente es contiguo al tanque de mezcla y tiene como objetivo brindar el medio necesario para la formación de los flóculos. El tiempo de residencia necesario coincide con el tanque anterior, por lo tanto, las características geométricas como constructivas son similares. Este tanque también dispone de un sistema de agitación, pero a diferencia del tanque de mezcla, dicha agitación debe favorecer la formación del flóculo; esto nos lleva entonces a emplear un agitador de bajas revoluciones cuya hélice no dañe los flóculos generados en este recipiente.

Tanques dosificadores

En nuestro sistema tenemos dos tanques dosificadores, uno correspondiente a la dosificación de CS y otro a la de hidróxido de calcio. En el primero se carga el CS (sólido) de manera manual mediante sacos producidos en la planta a través de una tolva de carga, mientras que en el segundo tanque se acumula la lechada de cal, proveniente de la unidad de hidratación.

Por otro lado, creemos conveniente, debido a la buena relación entre resistencia y peso, que el material constructivo óptimo para estos tanques es de plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV), ya que además de sus altas propiedades mecánicas y su escaso peso, ofrecen otras ventajas tales como: mayor flexibilidad, fácil ensamblaje e instalación, gran aislamiento eléctrico y térmico, resistencia a la corrosión, escaso mantenimiento, si lo hubiera, y unos bajos costos generales a lo largo de su vida útil.

3.4.2 Etapa 2 - Quemado de la piedra caliza y apagado de cal:

Para la obtención de dióxido de carbono, usado posteriormente para la etapa de carbonatación, y del óxido de calcio, usado para la recuperación por destilación del amoníaco, se quema piedra caliza en hornos de cubas. Para obtener el mejor rendimiento en esta etapa es necesario utilizar piedra caliza de muy alta pureza (95%) y el consumo de esta varía entre unos 1100 y 1200 kg/tn de CS.

En el siguiente diagrama de bloques, puede identificarse las entradas y salidas de esta etapa del proceso:

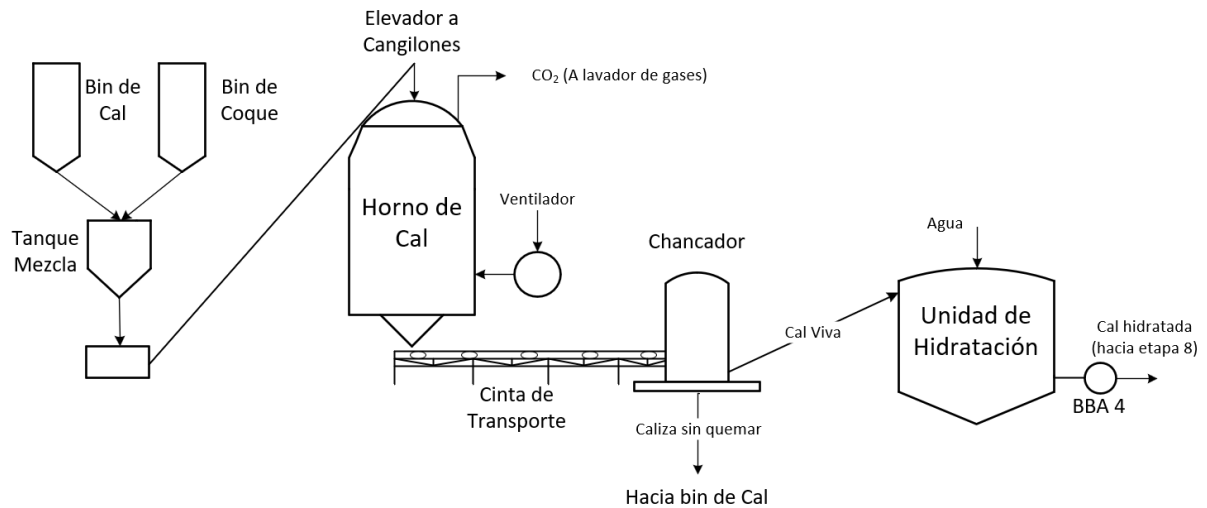


Ilustración 17. Método Solvay, Diagrama de flujo - Etapa 2. Elaboración propia

Entradas:

- **Combustibles:** en las plantas de CS se utilizan hornos de cuba bien aislados y calentados con coque y se pueden obtener contenidos de CO₂ en el gas del horno entre 40 y 42 % vol. Si se utilizan combustibles líquidos o gaseosos, el contenido de CO₂ del gas será menor, justificando así la elección del coque como material combustible para este proyecto.

Salidas:

- **Dióxido de Carbono:** El CO₂ cargado de polvo se enfría y lava por contacto directo con el agua, luego pasa a los compresores de CO₂, desde donde se entrega el gas a presión a la etapa de carbonatación.
- **Cal viva:** la cal viva se hace reaccionar con el agua de refrigeración utilizada para enfriar el CO₂ (50-60° C) en tambores rotativos (Preliimer) para la producir la suspensión de lechada de cal en agua lo más concentrada posible, esta se utilizará posteriormente para la recuperación del amoniaco. En circunstancias favorables, el contenido de CaO de la lechada de cal puede alcanzar los 5,5 mol/L.
- **Material residual:** antes de utilizar la lechada de cal en la recuperación del amoniaco, la arena gruesa y la piedra caliza que no fue quemada se eliminan mediante unos tamices, se mezclan con piedra caliza nueva y se reciclan en el horno de cuba.[1]

Teóricamente, una temperatura de 847,89 °C es suficiente para descomponer el CaCO₃ [5] con una presión de vapor del CO₂ de 1 atm, pero la constante de disociación³ es muy lenta, por esto en la práctica la temperatura del horno está por encima de los 900°C. La temperatura de calcinación es llevada a cabo aproximadamente a unos 940°C, mientras que la temperatura

³ La Constante de disociación o Kd es definida en termodinámica química como la relación matemática que se establece a partir de las concentraciones de los compuestos químicos que se forman en una reacción de disociación al alcanzar su punto de equilibrio. Adoptado de [Constante de disociación \(quimica.es\)](http://Constante.de.disociación(quimica.es))

en la zona de descomposición ronda los 1050°C. Ahora bien, si la temperatura de esta zona aumenta a más de 1200°C durante unas horas la piedra se convierte en una masa densa, la cual presenta una superficie de contacto menor y por lo tanto se requiere de un mayor tiempo para su descomposición; y la cal viva resultante es menos reactiva (proceso conocido comúnmente como “matar la cal”) complicando las etapas siguientes del proceso.

En la práctica el tiempo requerido para la descomposición de la piedra caliza es proporcional al diámetro de piedra utilizado. Para esta industria, tanto la cal como el CO₂ son muy necesarios y es por ello que el horno tiene un papel fundamental en la eficiencia del proceso. Los hornos utilizados en plantas similares son del tipo vertical, con un diámetro interno de 5 metros y una altura de 36 metros, contando con una capacidad de 550 tn/día aproximadamente. El grosor que tiene la pared aislante tiene una medida de 1,2 metros considerando que entre el material aislante y el acero de la parte exterior se deja una cámara de aire o espacio entre ambos materiales.

Accesorios del horno

El horno de calcinación de piedra caliza se instala en conjunto a cintas transportadoras inclinadas o un elevador de cangilones como en nuestro caso, cuya finalidad es realizar la carga de la piedra proveniente de la cantera. En la parte superior, el horno cuenta con conos para distribuir tanto la piedra caliza como el coque en su interior. Por otro lado, la cal es retirada por el fondo del horno a través de un mecanismo automático de descarga, el cual normalmente está constituido por una cinta transportadora o un tornillo sin fin. A su vez, el aire es introducido en el centro mediante 4 u 8 toberas, con sus respectivas válvulas reguladoras, situadas de manera equidistante en el fondo del horno.

Parámetros importantes

Bajo un funcionamiento normal la temperatura de los gases en la parte superior puede mantenerse entre 40 a 80°C al igual que la cal situada en el fondo del horno, dependiendo de la temperatura ambiente. Es importante que la piedra caliza que se introduce en el horno mantenga, en lo posible, un diámetro uniforme. Los diámetros empleados, según datos de procesos similares, rondan los 5 cm de media, aceptando como máximo un diámetro de 15 cm; es por ello que se propone realizar una operación de molienda y zarandeo estricta para poder garantizar dicha medida.

Para una buena producción de CO₂ es necesario un exceso de combustible, mientras que la disolución del mismo, presente a la salida del horno se debe en gran parte al nitrógeno introducido junto con el oxígeno (aire) para la combustión. Por lo tanto, es fundamental no sobrepasar el porcentaje óptimo de aire en exceso que se puede calcular estequiométricamente.

Elección del Horno

Considerando nuestros requerimientos y el marco teórico descrito anteriormente hemos optado por un horno tipo vertical, de flujo paralelo regenerativo (PFR) para cal de alta reactividad, el cual consiste en dos cubas verticales interconectadas por medio de un canal de conexión. Ambas cubas interactúan entre ellas, es decir, mientras que una se encuentra en calcinación, la otra se encuentra precalentando la piedra. La piedra fluye en paralelo al flujo de los gases calientes cuando una de las cubas se encuentra encendida. Estos gases son expulsados a través del canal transversal hacia la cuba que está apagada, permitiendo entonces precalentar la piedra en contraflujo en esta cuba. Por otro lado, el flujo de los gases calientes se invierte en intervalos regulares de una cuba a otra para conseguir así el flujo regenerativo de la piedra (la piedra localizada en la zona de precalentamiento del horno trabaja como intercambiador de calor) y aprovechar al máximo el contenido de calor de los gases de escape.

Estos hornos pueden calcinar hasta 800 tn/día utilizando combustibles gaseosos, líquidos o sólidos; así como sus diferentes combinaciones. Como podemos notar, el desarrollo tecnológico que posee este horno es muy grande y por lo tanto sus costos son acordes a dicho desarrollo, aunque siempre este se puede adaptar a los requerimientos y presupuestos del cliente.

Especificaciones técnicas

Capacidad [Tn/día]	200 - 400
Tamaño de piedra [mm]	15 - 40
Consumo de calor [Kcal/kg]	790 - 850
Producto final	Cal viva de alta reactividad

La granulometría de la piedra normalmente calcinada en hornos convencionales tiene un tamaño superior a los 40 mm. Tamaños inferiores, de 6 a 50 mm, son normalmente calcinados en hornos rotatorios, los cuales desafortunadamente son de muy alto consumo energético. El principio PFR, es decir, la calcinación de cal en una cuba y el precalentamiento de la piedra con los gases calientes en la otra cuba, se mantiene en este tipo de horno, consiguiendo así la eficiencia térmica deseada, muy inferior a la conseguida con hornos del tipo rotatorio.

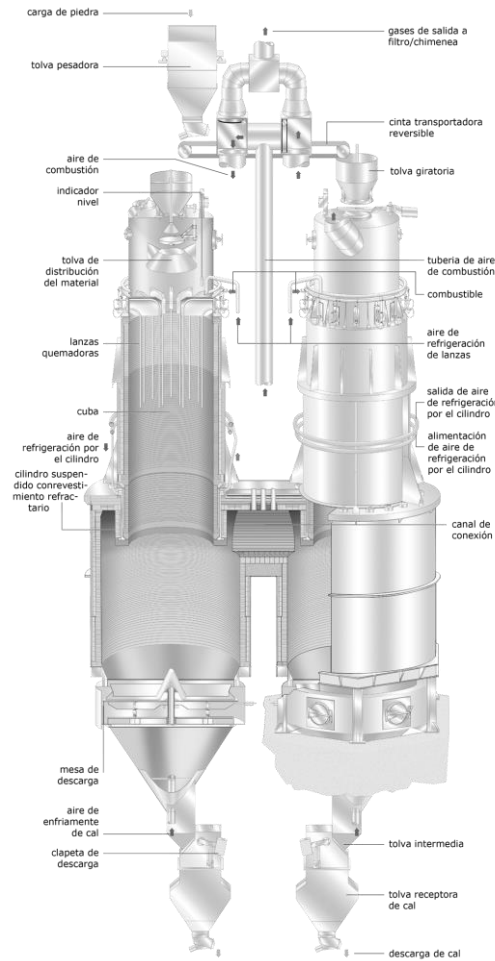


Ilustración 18. Horno PFR para cal de alta reactividad. Extraído de maerz.com (fabricante)

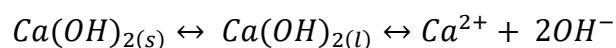
Hidratación del Óxido de Calcio

El óxido de calcio generado a partir de la calcinación de la piedra caliza es utilizado en dos etapas del proceso, una parte de este se necesita para la recuperación del amoníaco y otra parte, aunque en menor cantidad, en la purificación de la salmuera como se explicó anteriormente. Dado que en el horno de calcinación se prioriza la obtención de CO₂ la calidad del CaO se ve afectada, por lo que el sólido obtenido contiene restos de piedra no calcinada, trazas de carbón no oxidado y cenizas. En condiciones favorables y dependiendo de la tecnología del horno la pureza del óxido de calcio puede alcanzar el 80%, pero dicho valor fluctúa constantemente. Por esto, la utilización en su forma sólida no es común, dada la dificultad de contar con un óxido de pureza constante y es por ello que el CaO es hidratado.

Es importante saber que la cal es muy poco soluble en agua, en gramos por litro, la solubilidad a diferentes temperaturas se puede ver reflejada en la siguiente tabla.

Temperatura [°C]	Solubilidad [gr/l]
5	1,35
10	1,342
15	1,32
20	1,293
30	1,219
40	1,119
50	0,981
60	0,879
70	0,781
80	0,741
90	0,699
100	0,597

Analizando los valores de la tabla anterior, podemos notar que la solubilidad del óxido de calcio decrece a medida que la temperatura aumenta y es por ello que su solución será muy diluida para cualquier finalidad, por lo tanto, es que industrialmente se utiliza una suspensión llamada comúnmente lechada de cal. En esta lechada hay un equilibrio entre la cal sólida y la pequeña cantidad de cal que se ha diluido. Químicamente podemos resumir este fenómeno a partir de la siguiente ecuación:



La hidratación de la cal viva se lleva a cabo en unidades o equipos de hidratación. En ellos la cal y el agua entran en contacto de manera controlada para producir lo que conocemos como lechada. Esta unidad de hidratación (ilustración x) posee pares de palas que agitan energícamente la cal en presencia de agua, generando una reacción exotérmica que alcanza los 100°C.

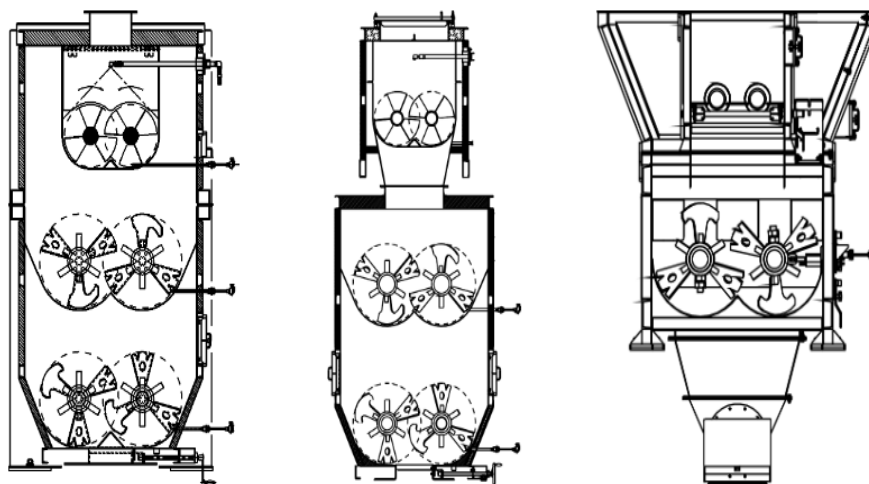


Ilustración 19. Distintos modelos de unidades de hidratación. Ilustración tomada de Cimprogetti e la hidratación de la cal el 10/10/2022

Elección de la unidad de hidratación

La ilustración 16 muestra el diseño de un equipo real el cual se adapta a las necesidades de nuestro proceso, el cual funciona como se detalla a continuación: primeramente, la cal y el agua ingresan al pre mezclador de doble eje para proporcionar una agitación intensiva a la mezcla garantizando la disolución de los grumos y/o piedras de mayor tamaño que puedan llegar a ingresar, consiguiendo así un área de contacto mayor. Luego el fluido pasa a la cámara principal de hidratación en donde el CaO se disuelve, para luego alcanzar la cámara de maduración, en donde mediante una agitación moderada la lechada se estabiliza y los sólidos no disueltos son separados y retirados de la misma. Cabe destacar que el filtro para el despolvoreo de los vapores es opcional según lo indicado por el fabricante pero que se recomienda su uso para poder cumplir con las especificaciones medioambientales exigidas en la mayoría de los países.

Especificaciones técnicas

Caudal [Tn/hs]	hasta 60
Tamaño de piedra [mm]	hasta 20
Humedad del producto terminado	bajo 1%
Producto final	Cal Viva (CaO)

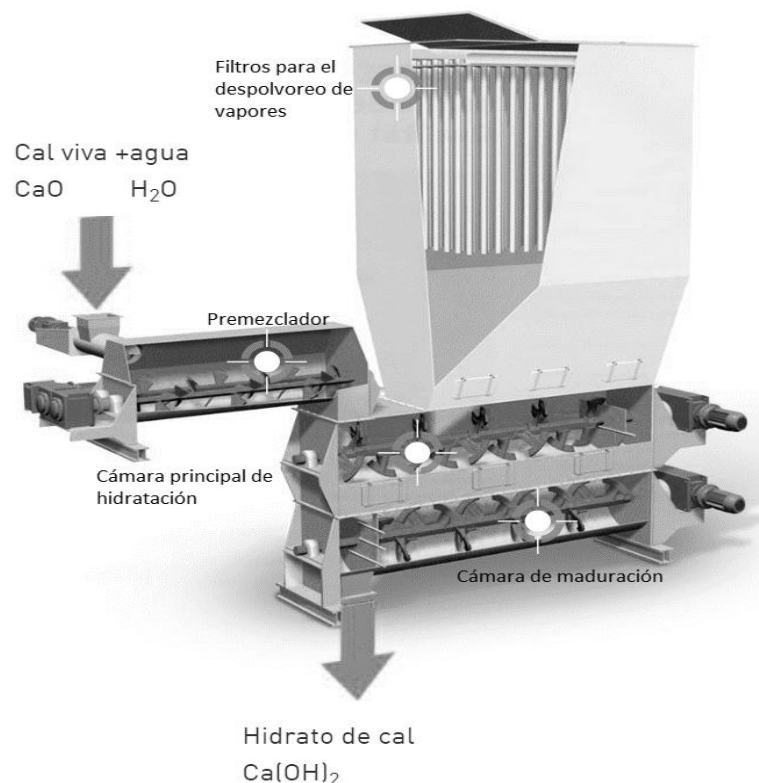


Ilustración 20. Unidad de hidratación. Imagen extraída y adaptada de Máquinas para apagar cal del especialista | Gebr. Pfeiffer (gebr-pfeiffer.com) 10/10/22

3.4.3 Etapa 3 - Absorción del amoníaco

El gas procedente de la etapa de calcinación (etapa 6) contiene NH_3 y CO_2 , y está saturado de vapor de agua, en la etapa de absorción, este gas es absorbido por la salmuera. En este caso se añade la cantidad total de amoníaco necesaria en el proceso y aproximadamente un 20% del CO_2 necesario.

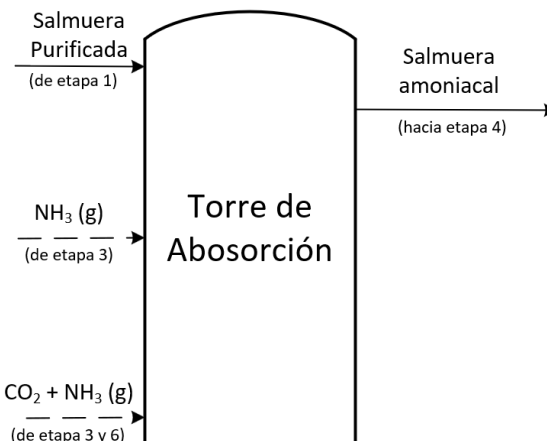


Ilustración 21. Método Solvay, Diagrama de flujo - Etapa 3. Elaboración propia

Como resultado se obtiene una salmuera amoniacal, la cual contiene unos $85\text{-}90 \text{ kg/m}^3$ de NH_3 y $40\text{-}50 \text{ kg/m}^3$ de CO_2 . El contenido de NaCl se reduce unos $300\text{-}260 \text{ g/L}$ debido al aumento del volumen específico causado por la adición de amoníaco y por la dilución con agua. Las reacciones producidas en este punto son fuertemente exotérmicas, por lo que se hacen en equipos especiales denominados torres de absorción. Estas torres están equipadas con refrigeradores internos o externos eficaces para eliminar el calor de la reacción y el calor sensible del gas de destilación (total: aproximadamente $1,84 \text{ GJ/tn}$ de carbonato de sodio).[1]

3.4.3.1 Columnas de Absorción

Es importante mencionar que existen varios tipos de columnas de absorción entre las cuales podemos nombrar a las columnas de platos y de relleno, aunque la absorción pueda tener lugar en otros equipos como torres de spray, de rocío, absorbedores de película, tanques agitadores, etc. pero dada las particularidades de nuestro proceso debemos decantarnos por alguna de las dos primeras opciones, es decir, debemos elegir entre una columna de platos o una columna de relleno. Para ello vamos a introducir brevemente el funcionamiento de cada una.

Columna de platos

Las columnas de platos, también conocidas como torres de bandeja son cilindros verticales en los cuales el líquido y el gas establecen contacto en un arreglo por etapas sobre bandejas o platos. El líquido entra por el tope y fluye hacia abajo por gravedad. En su camino, el líquido fluye a través de la bandeja y es dirigido hacia la bandeja inferior por medio del tubo de bajada (downcomer). El gas, por su parte, transita hacia arriba por el interior de aberturas colocadas en la bandeja, burbujeando a través del líquido para formar una espuma y luego separarse de esta, para luego transitar hacia la siguiente bandeja, ubicada encima. Se obtiene

como efecto global un contacto múltiple a contracorriente entre el gas y el líquido que se caracteriza por el flujo cruzado de ambos fluidos. Cada bandeja de la torre es considerada como una etapa debido a que los fluidos son puestos en contacto íntimo entre sí, ocurriendo difusión interfacial entre ellos, para luego ser separados. El número de etapas de equilibrio (bandejas teóricas) de una torre depende solamente de la dificultad del proceso de separación y se determina directamente a partir de los balances de masa y consideraciones de equilibrio líquido-vapor. [6]

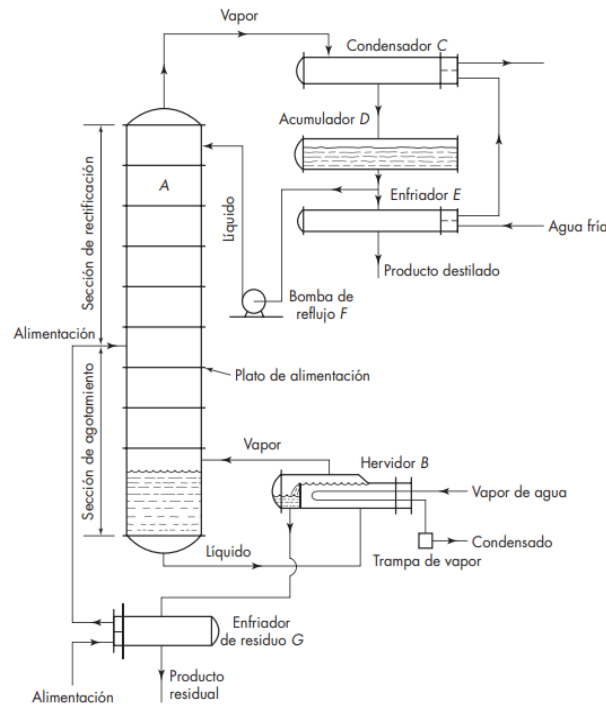


Ilustración 22. Columna de platos con secciones de rectificación y agotamiento. Extraída de [8]

Columnas de relleno

Las columnas de relleno, también conocidas como torres empacadas, son empleadas para establecer contacto continuo entre un gas y un líquido fundamentalmente bajo flujo a contracorriente, son columnas verticales que han sido llenadas con empaques o dispositivos de una elevada área superficial. En estos equipos el líquido es distribuido por encima de la torre y se escurre a través del lecho empacado, exponiendo una elevada área superficial durante su contacto con el gas [6]. El empaque de la torre (o relleno) debe suministrar una elevada superficie interfacial entre el líquido y el gas por unidad de volumen de espacio empacado, además de poseer características de flujo deseadas. El empaque a emplear deberá ser químicamente inerte con respecto a los fluidos manejados y poseer una determinada fortaleza estructural que permita su fácil manejo e instalación. [7]

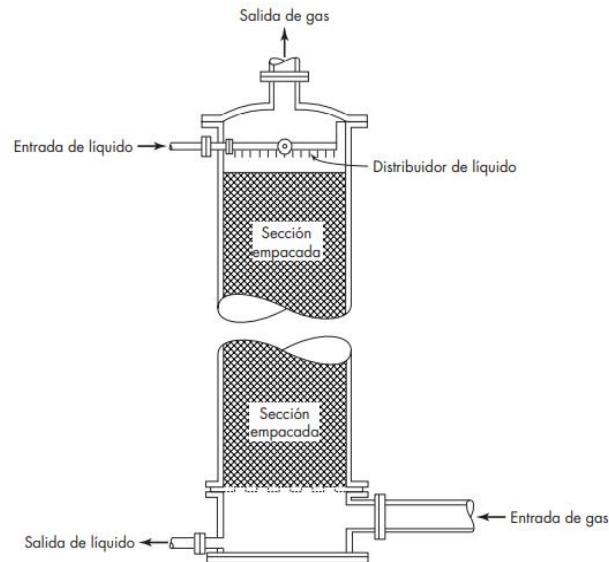


Ilustración 23. Torre empacada o columna de relleno. Ilustración extraída de [8]

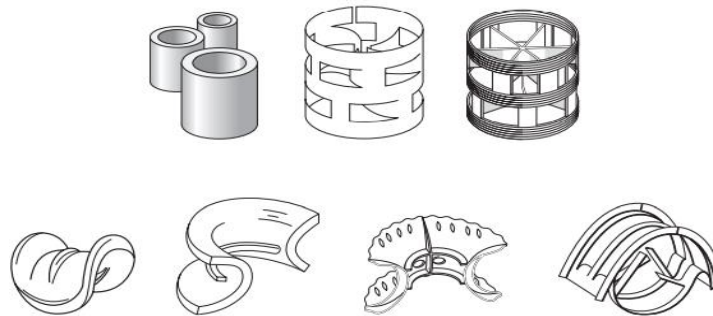


Ilustración 24. Tipos de empaques. Imagen extraída de [8]

Columna de platos vs columna empacada

El libro *Mass-transfer Operations* de Robert E. Treybal nos brinda una serie de criterios que consideramos útiles para elegir entre los dos tipos principales de torres mencionadas anteriormente.

1. **Caída de presión del gas:** generalmente, las torres empacadas requerirán de una menor caída de presión. Esto es especialmente importante para la destilación al vacío.
2. **Retención del líquido:** Las torres empacadas proporcionarán una retención del líquido sustancialmente menor. Esto es importante cuando el líquido se deteriora a altas temperaturas; los tiempos cortos de retención son esenciales. También es importante para obtener buenas separaciones en la destilación por lotes.
3. **Relación líquido-gas:** En las torres de platos se trabaja con valores muy bajos respecto de esta relación, mientras que en las torres empacadas se trabaja preferentemente con valores altos.
4. **Enfriamiento del líquido:** Las espirales de enfriamiento se construyen más fácilmente en las torres de platos. En este tipo de torres, el líquido puede eliminarse más

- rápidamente de los platos, para pasarlos a través de enfriadores y regresarlo, a diferencia de las torres empacadas.
5. Corrientes laterales: Característica particular que favorece a las torres de platos.
 6. Sistemas espumantes: En este apartado las torres empacadas tienen una ventaja respecto de las otras debido a que estas operan con menor burbujeo del gas a través del líquido y son las más adecuadas.
 7. Corrosión: Cuando se tienen problemas complicados con la corrosión, las torres empacadas son menos costosas y generan menos inconvenientes.
 8. Limpieza: La limpieza frecuente es más fácil de ejecutar en las torres de platos. Se pueden instalar puertas de hombre en los platos para facilitar este proceso. En cambio, en el caso de las torres empacadas para realizar la limpieza directamente se cambia el relleno.
 9. Fluctuaciones grandes de temperatura: Los empaques frágiles (cerámica, grafito) tienden a romperse a diferencia de los platos metálicos que son mucho más resistentes y duraderos.
 10. Carga sobre su base: Las torres con empaque de plástico son menos pesadas que las torres de platos por razones obvias. En cualquier caso, la base de ambas torres debe diseñarse para soportar la carga ejercida por este si se encuentra llena de líquido.

Ahora bien, considerando nuestro proceso, la absorción tiene lugar con una reacción química fuertemente exotérmica y por lo tanto se necesita un sistema de enfriamiento en la columna. Es por ello, que solo podemos considerar e inclinarnos por elegir una columna de platos para llevar a cabo la absorción del amoníaco. Además, puede ocurrir que en la torre de absorción haya precipitación de algunas sales de calcio y magnesio, las cuales se depositarían en los platos y gracias al tipo de columna o torre elegida se podría acceder a la limpieza y mantenimiento de una manera más sencilla y menos costosa que lo que supondría el cambio de relleno.

Elección del tipo de columna

Por lo antes expuesto, queda claro que necesitaremos una columna de platos. Ahora debemos elegir el tipo de plato a utilizar, por ello se definen de manera breve los principales tipos de platos utilizados en la actualidad

- **Platos de campanas de burbujeo o platos de capucha**: en estas bandejas, chimeneas o elevadores conducen el gas a través de la bandeja y por debajo de los tapones que coronan los elevadores. En el borde o faldón de cada tapa se cortan una serie de ranuras por las que pasa el gas para entrar en contacto con el líquido que pasa por las tapas. La profundidad del líquido es tal que los tapones están cubiertos o semicubiertos. Los tapones de burbuja se utilizan desde hace más de 150 años, y durante los años 1920-1950 prácticamente todas las nuevas torres de bandejas los utilizaban. Ofrecen la clara ventaja de poder manejar satisfactoriamente una amplia gama de caudales de líquidos y gases. En la actualidad se han abandonado en las nuevas instalaciones debido a su costo,

que es aproximadamente el doble que el de los platos perforados, de contraflujo y de válvulas. [8]

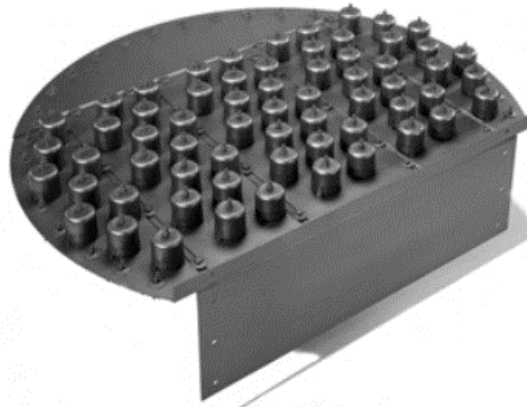


Ilustración 25. Plato de campana. Imagen extraída de corporacionlinca.com

- **Platos perforados:** de una construcción sencilla, como su nombre lo indica presenta una serie de pequeñas perforaciones en su bandeja. Estos se han conocido casi desde la misma época que los platos de capucha y aunque no fueron aceptados, gracias a su bajo costo se convirtieron en la opción más viable y utilizada. La parte principal del plato es una hoja horizontal de metal perforado, transversal al flujo del líquido; por otro lado, el gas pasa de manera ascendente a través de dichas perforaciones. Este gas, dispersado por las perforaciones, expande el líquido en una espuma turbulenta, que se caracteriza por tener una superficie interfacial muy grande con respecto a la transferencia de masa.

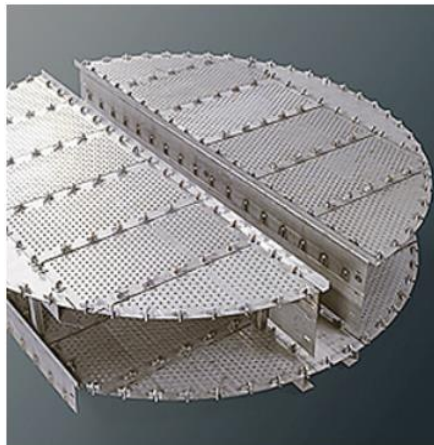


Ilustración 26. Plato perforado. Imagen extraída de corporacionlinca.com

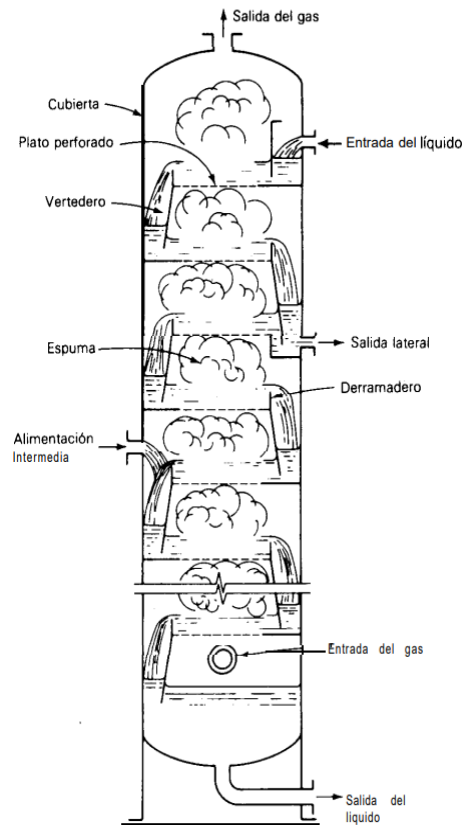


Ilustración 27. Sección esquemática de una columna de platos perforados. Extraída y traducida de [10]

Por lo tanto, por lo antes expuesto, para el proceso de destilación del amoníaco se ha elegido una columna de absorción de platos perforados, debido a que sus costos no son elevados en comparación con los otros tipos de platos y además ofrecen ventajas respecto a la caída de presión.

3.4.4 Etapa 4 - Precipitación del bicarbonato en torre Solvay (fabricación)

La precipitación del bicarbonato de sodio es un proceso exotérmico en el que la salmuera amoniacal de la etapa de absorción (Etapa 3) reacciona con el dióxido de carbono del horno de cal (Etapa 2) o de la etapa de calcinación (Etapa 6). El resultado obtenido (bicarbonato precipitado) se denomina licor.

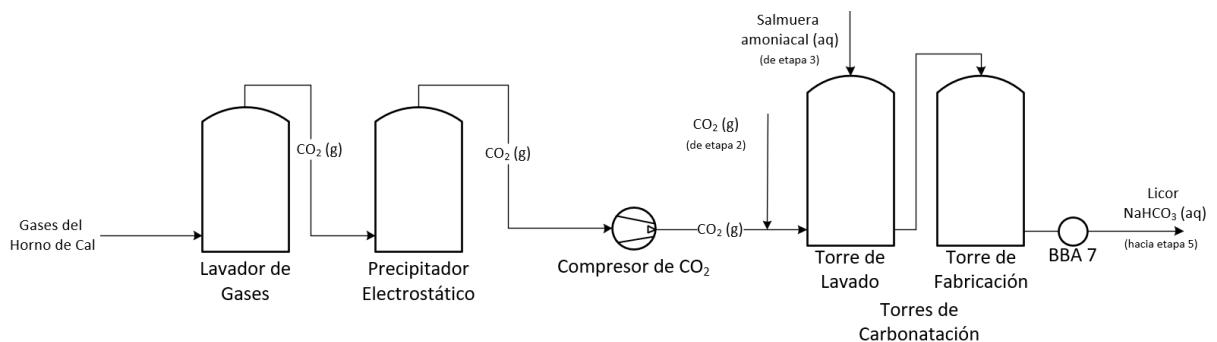


Ilustración 28. Método Solvay, Diagrama de flujo - Etapa 4. Elaboración propia

Esta etapa se realiza en columnas de hierro fundido, con doble bandeja, equipada con refrigeradores tubulares en la parte inferior; aquí la salmuera de amoníaco se carboniza en contracorriente y el agua de refrigeración debe eliminar aproximadamente 1,42 GJ/tn de carbonato de sodio. Normalmente las columnas de fabricación se recubren con el bicarbonato de sodio precipitado, que cubre las partes internas, incluidos los tubos de refrigeración y por lo tanto deben limpiarse después de 3 a 4 días de funcionamiento. Para esta limpieza se lava con salmuera amoniacal fresca mientras se burbujea una corriente de gas de CO₂. A continuación, el líquido de lavado se alimenta en paralelo a las restantes columnas, donde se carboniza en dos etapas.

- Primera etapa: en la parte superior de la columna, se utiliza el llamado gas débil (gas del horno de cal) para la carbonatación.
- Segunda etapa: en la parte inferior se utiliza un gas fuerte, más concentrado, el cual es el resultado de la mezcla del gas de horno y el gas de la calcinación.

El perfil de temperatura de este proceso presenta un máximo de 50-60 ° C y el licor (resultado del proceso) sale de la etapa de carbonatación a 30 ° C. Como no es un ciclo continuo, en general, una de cada 4 columnas es la de limpieza y las otras de fabricación.[1]

Descripción del sistema

En la torre Solvay se produce la absorción de CO₂ (proceso de carbonatación) y posteriormente la cristalización del bicarbonato de sodio formado. Estos fenómenos se producen en dos partes de la columna, por un lado, en la parte superior sucede la mayor parte de la absorción de CO₂, aumentando la concentración de bicarbonato a medida que desciende el líquido de proceso por la columna. En la parte baja de la columna, la absorción es menor, a la vez que se empieza a formar unos pequeños núcleos de bicarbonato sódico. Por lo tanto, la torre Solvay está compuesta por dos equipos principales:

- 1- Torre de absorción
- 2- Cristalizadores

Torre de absorción:

Siguiendo el razonamiento realizado en el apartado anterior, el equipo más indicado para este proceso es una torre de absorción de platos.

Cristalización:

En cada torre Solvay, la cristalización se lleva a cabo en un cristalizador que funciona por enfriamiento. El objetivo es realizar un enfriamiento progresivo y por lo tanto una cristalización más lenta, lo cual genera un tamaño de partícula mayor, esto favorece los procesos que continúan. Desde un punto de vista energético, en el cristalizador suceden dos fenómenos:

1. Cristalización del bicarbonato de sodio
2. Enfriamiento de la mezcla junto con el sólido formado

Ambos fenómenos necesitan de un intercambiador de calor ya que la solución sale de la torre de absorción aproximadamente a 50°C y es necesario reducirla a 20°C. Es fundamental enfriar lo máximo posible, ya que la temperatura en la última etapa está directamente relacionada con la eficacia conseguida en la columna y además de ello va a depender la granulometría del producto final, es más, el producto que no se cristaliza en esta etapa ya no se puede recuperar, solamente es rescatable el amoníaco, el cual no interesa desde el punto de vista productivo. En nuestro caso el enfriamiento será realizado a través de un intercambiador de calor con amoníaco recuperado de la etapa de recuperación, el cual enfriando agua permitirá reducir la temperatura del bicarbonato de sodio a través de un serpentín colocado tanto en la parte baja de la torre de enfriamiento como así también en el cristalizador.

3.4.5 Etapa 5 - Filtración del Bicarbonato

Antes de calcinar el bicarbonato para la producción de carbonato de sodio, el mismo debe ser filtrado, por lo que generalmente se separa el licor en filtros rotativos continuos de vacío o en filtros de banda, y a veces en centrifugadores. El licor adherido a los cristales de bicarbonato se lava con el condensado producido durante el proceso de producción o con agua ablandada. La cantidad de agua de lavado necesaria depende del tamaño de las partículas del producto precipitado y varía entre 0,3 y 1 m³/tn de bicarbonato y la misma se utiliza posteriormente para la recuperación del amoníaco.

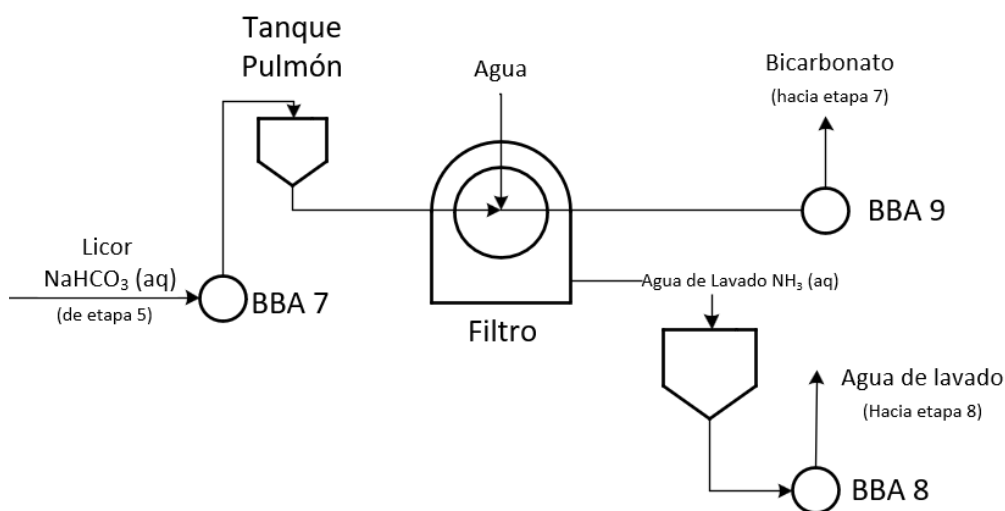


Ilustración 29. Método Solvay, Diagrama de flujo - Etapa 5. Elaboración propia

El bicarbonato crudo tiene la siguiente composición aproximada:

- 75,6% de NaHCO_3
- 6,9 % Na_2CO_3
- 3,4% NaCl + NH_4Cl 0,4%
- 13,7% H_2O

Las salidas de las cámaras del cristizador de la torre Solvay está compuesta por una mezcla de sólidos que deben separarse, principalmente por bicarbonato de sodio cristalizado, para esto es necesaria la utilización de un filtro. A partir del mismo saldrán dos corrientes que tendrán un tratado diferente:

1. Sólidos (bicarbonato de sodio): se llevará a un horno de descomposición térmica donde los cristales serán convertidos en carbonato de sodio.
2. Líquido: será conducido hacia una serie de torres de destilación donde se intentará recuperar la máxima cantidad de amoníaco posible para ser introducido nuevamente en el proceso.

Para dicha filtración en la industria se pueden utilizar dos tipos de filtros:

1. Filtro rotativo continuo al vacío
2. Filtro de banda de vacío

Filtro de banda de vacío:

La filtración tiene lugar sobre una tela horizontal soportada sobre una banda que actúa de soporte. La ejecución de este tipo de filtro puede presentar dos variantes principales:

1. De bandejas
2. De bandas de goma

Principales características:

- Filtro totalmente continuo con la ausencia de tiempos muertos en su operación
- Velocidad de movimiento de la banda ajustable según las necesidades
- Deposición uniforme del producto sobre la superficie plana
- Funcionamiento mecánico simple y seguro, evitando averías y permitiendo un fácil mantenimiento y limpieza correspondiente.

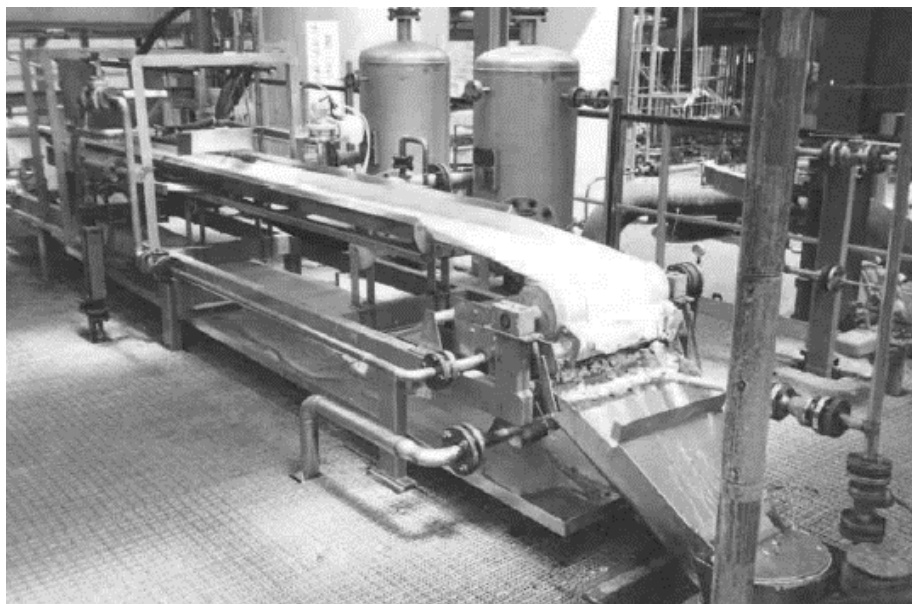


Ilustración 30. Filtro de banda de vacío. Imagen extraída de Gruptejsa

Centrándonos en los filtros de banda de vacío de goma, que son los utilizados por algunas industrias químicas, la filtración tiene lugar sobre una banda de goma horizontal que actúa de soporte para la tela filtrante. Esta banda está ranurada en toda su superficie para permitir la circulación del filtrado hacia el canal de drenaje central. La caja de vacío ubicada bajo la banda recibe el líquido filtrado para enviarlo hacia un depósito separador, dicha caja de vacío lleva las protecciones necesarias para evitar daños causados por la fricción de la banda y está diseñada para atender fácilmente los trabajos de revisión y mantenimiento. Claro está que el conjunto del filtro se completa con la alimentación, cajas distribuidoras de producto y aguas de lavado, una rasqueta de descarga y los sistemas de agua de limpieza.

Filtro rotativo de vacío

En el filtro de tambor o rotativo a vacío el producto a filtrar llega de forma continua a la cuba del filtro. Un agitador se encuentra en la misma cuba, el cual impide la sedimentación de los cristales a separar, el elemento filtrante en este caso es el mismo tambor, su superficie exterior está dividida en celdas recubiertas de tela filtrante. De esta superficie, una tercera parte está sumergida en la solución a filtrar, adaptando su velocidad de rotación a las características de la filtración y el producto.

Principales características:

- Filtro totalmente continuo con la ausencia de tiempos muertos en su operación
- Velocidad de giro del tambor ajustable
- Múltiples posibilidades de descarga de torta
- Posibilidad de realizar un lavado continuo de la tela filtrante
- Poco espacio requerido
- Funcionamiento mecánico simple y seguro

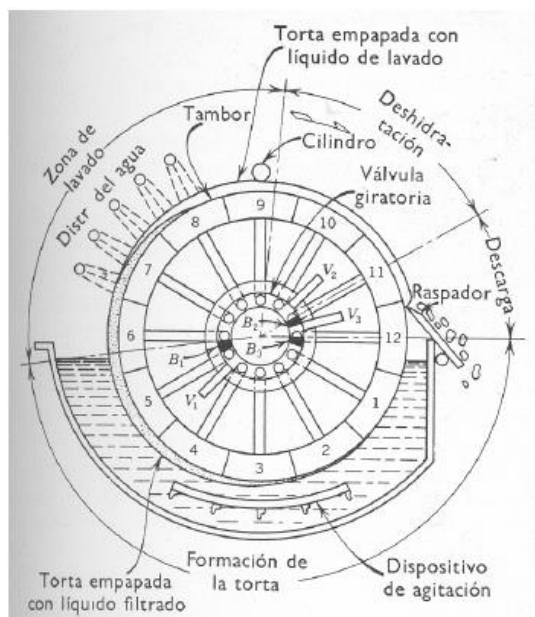


Ilustración 31. Filtro rotativo de vacío. Imagen extraída de [9]

Como puede verse el tambor está dividido en sectores, cada uno de los cuales comunica, por aberturas del muñón giratorio, con el conducto de salida. Conforme gira el tambor, las superficies exteriores de los sectores van pasando sucesivamente por la suspensión, el vacío creado en los sectores obliga a pasar al líquido filtrado a través del medio de filtración, depositando sobre el tambor al sólido suspendido para formar la torta.

Cuando por el giro del tambor, la torta sale de la suspensión, se halla completamente empapada de líquido y sufre una deshidratación (escurrido) con ayuda del vacío, entonces la torta puede rociarse con agua de lavado (proveniente del intercambiador de calor que suministra agua fría a los cristalizadores), después de lo cual sufre una nueva deshidratación por aspiración de la bomba.[9]

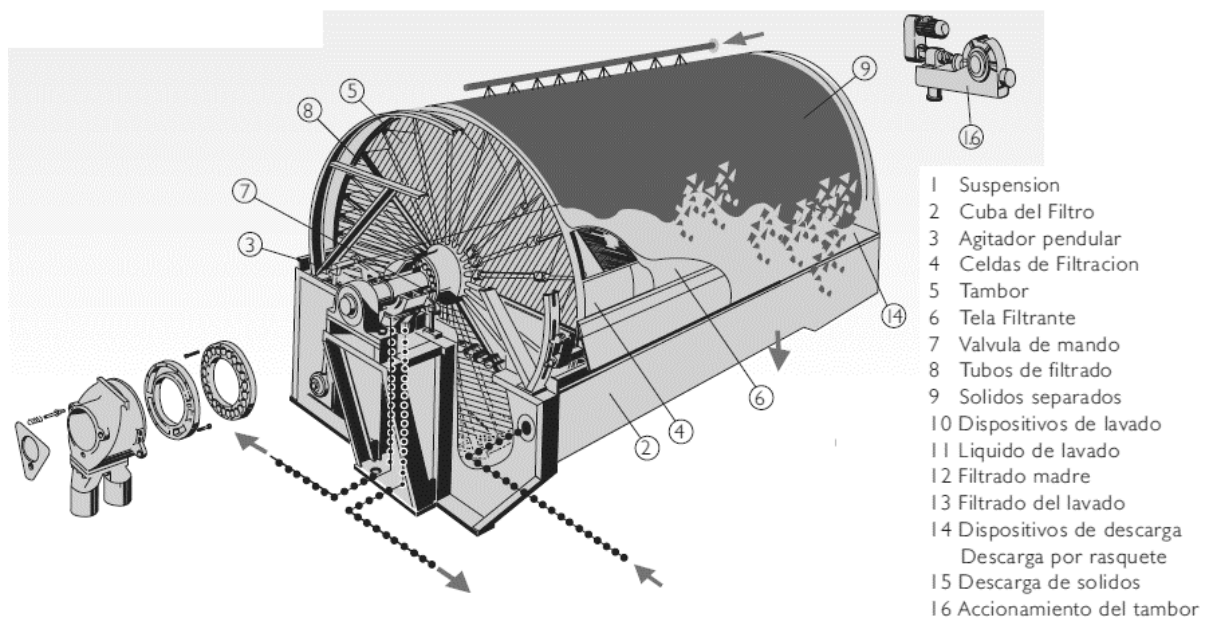


Ilustración 32. Despiece del filtro rotativo de vacío. Imagen extraída de [8].

Existen varios sistemas de descarga de la torta en base al espesor, consistencia y estructura de las mismas, dejando la tela filtrante en condiciones de dar el mejor rendimiento. En nuestro caso, debido a su descarga suave que impide destruir los cristales, el sistema de descarga más adecuado es el de tela saliente, donde la tela filtrante se separa del tambor portando la torta, dando la posibilidad al lavado por ambos lados de la tela.



Ilustración 33. Ejemplo de sistema de descarga de torta de un filtro rotativo de vacío. Imagen extraída de [8].

Elección del filtro

En nuestro caso se utilizará un filtro rotatorio continuo al vacío con un sistema de descarga de tela saliente. Las dos razones principales por la cual es más conveniente son las siguientes:

1. Requiere un menor espacio
2. Menor complejidad mecánica y costo de adquisición como así también de mantenimiento.

En la siguiente ilustración se puede observar de manera esquematizada como sería la instalación del mismo:

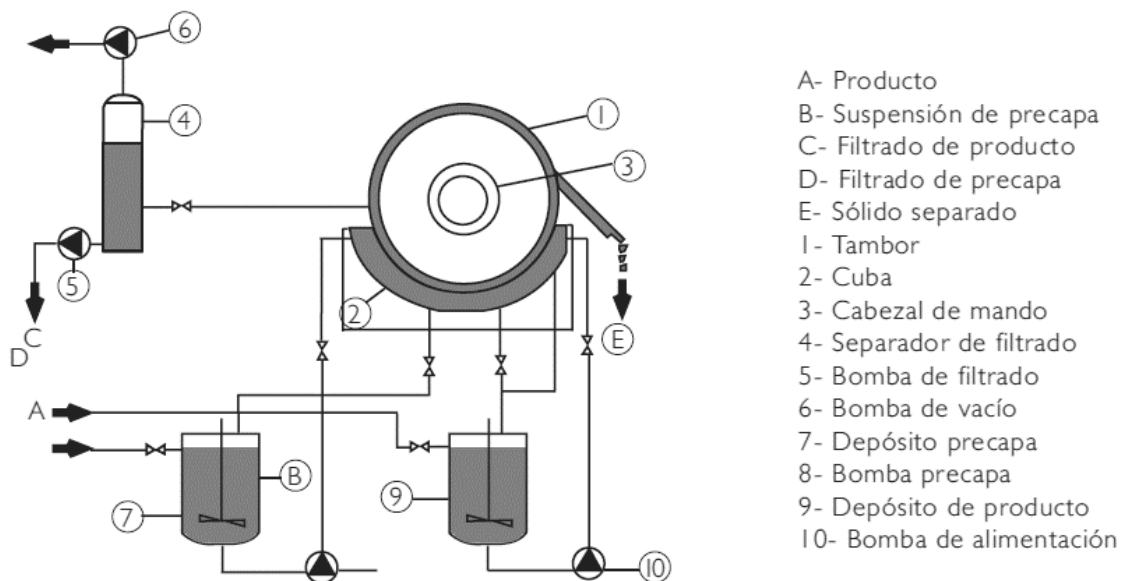


Ilustración 34. Esquema de la instalación del filtro. Imagen extraída de [8].

- Alta superficie de filtración (hasta 80m²)

Con respecto a la temperatura de operación, a la salida de los cristalizadores la mezcla (bicarbonato de sodio y líquido) posee una temperatura de 20°C, la cual no supone ningún inconveniente para el correcto funcionamiento del equipo.

Tipo de filtro	Area filtrante	Diámetro del tambor	Anchura del tambor	Número de celdas	Longitud A	Anchura B	Altura C	Peso en servicio	Consumo energético
TSF	m ²	mm	mm		mm	mm	mm	Tm	Kw
5/1,55 5,2/1,55	0,25	520	155	16	1900	850	1000	0,5	0,5
9,2/2,5 9,2/5,0 9,2/7,5 9,2/10 9,2/15 9,2/20	0,72 1,45 2,15 2,90 4,3 5,8	920	250 500 750 1000 1500 2000	14	2050 2300 2550 2800 3300 3800	2050	1700	2,0 2,3 2,6 2,9 3,5 4,1	1,5
13,1/10 13,1/15 13,1/20 13,1/25 13,1/30	4 6 8 10 12	1310	1000 1500 2000 2500 3000	14	2900 3400 3900 4300 4700	2300	2000	3,5 4,5 5,5 6,5 7,5	3,0
20,9/15 20,9/20 20,9/25 20,9/30	10 13 16 19	2090	1500 2000 2500 3000	16	3500 4000 4500 5000	3700	2800	9,5 10,5 12,5 13,5	4,4
26,2/25 20,9/30 26,2/35 26,2/40	20 25 29 33	2620	2500 3000 3500 4000	20	4900 5400 5900 6400	4100	3500	17 19 21 23	6,0
31,4/30 31,4/35 31,4/40 31,4/45 31,4/50 31,4/55 31,4/60	30 35 40 45 50 55 60	3140	3000 3500 4000 4500 5000 5500 6000	24	5400 5900 6400 6900 7400 7900 8400	4700	4000	24 27 30 33 36 39 42	8,0
36,6/60 36,6/65	69 75	3660	6000 6500	28	8250 9250	5700	4200	56 59	8,0
41,8/75	100	4180	7500	32	9850	6000	5300	68	11,0

Ilustración 35. Características técnicas de los distintos modelos de filtro rotativo de vacío. Imagen extraída de [8].

3.4.6 Etapa 6 - Calcinación del bicarbonato:

La descomposición térmica del bicarbonato crudo en carbonato, libera dióxido de carbono, amoníaco y vapor de agua, como resultado el producto es de grado técnico carbonato de sodio, que contiene cloruro de sodio. Para calcinar el bicarbonato crudo, es necesario 0,92 GJ/tn de carbonato de sodio, sin incluir el necesario para el secado del producto húmedo y filtrado, por lo que la necesidad total de calor, incluyendo estos procesos es de 3,7 GJ/tn de carbonato de sodio. La calcinación de 1 tn de bicarbonato crudo produce entre 520 y 560 kg de ceniza de soda o soda ash.

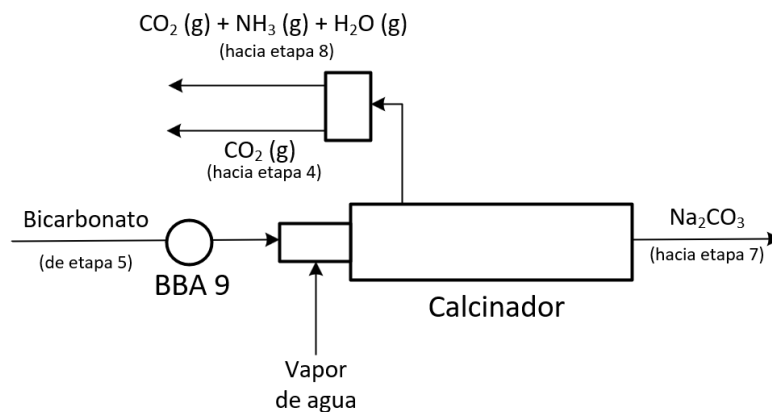


Ilustración 36. Método Solvay, Diagrama de flujo - Etapa 6. Elaboración propia

Los gases extraídos de los calcinadores contienen CO_2 , NH_3 , H_2O y algo de aire de fuga, como así también grandes cantidades de polvo, el cual se elimina mediante ciclones. Antes de que este gas se utilice en la etapa de carbonatación, se enfría y se lava con salmuera y agua,

hasta que queda libre de amoniaco. El condensado producido en este punto se introduce en la etapa de recuperación del amoniaco. Este proceso es uno de los más complejos del ciclo productivo, algunas de las razones se mencionan a continuación:

- El bicarbonato de sodio tiene una tendencia a formar grumos o bolas y estos encierran en su interior bicarbonato sin descomponer.
- El bicarbonato mojado forma a gran escala incrustaciones en el acero de la carcasa, por lo que se dificulta la transferencia de calor y el proceso pierde eficiencia.
- La soda ash seca tiene gran afinidad por el condensado de vapor, por lo tanto, el vapor debe ser conducido de manera rápida fuera del interior del horno.

Una de las soluciones que ha encontrado la industria para este inconveniente es recircular parte del producto (carbonato de sodio) en el secador rotativo, esto provocaría una absorción de la humedad del producto de entrada, para así evitar las excesivas incrustaciones y formaciones de grumos. Sin embargo, la cantidad de producto que es necesario recircular depende exclusivamente de la calidad del bicarbonato de sodio producido en cada uno de los ciclos, por lo tanto, es una variable que se modifica constantemente durante el funcionamiento de la planta.

Equipo:

La calcinación se realiza generalmente en calcinadores rotatorios. Estos se calientan externamente con aceite, gas o carbón, o internamente con vapor. El vapor de condensación proporciona una transferencia de calor mucho mejor que el gas de combustión, por lo que el rendimiento de los calcinadores rotatorios calentados por vapor es considerablemente mayor que el de los calcinadores calentados por procesos de combustión, en resumen, algunas de las ventajas de usar vapor de condensación son:

1. Ausencia de daños térmicos en el calentador
2. Menor necesidad de espacio
3. Menor coste de los equipos
4. Menor consumo de combustible, aproximadamente en un 15%.

Debido a estas ventajas el equipo seleccionado para esta etapa será un secador rotativo continuo tipo indirecto con tubos de vapor, estos últimos son colocados en el exterior de la carcasa y acompañan longitudinalmente todo el recorrido del producto.

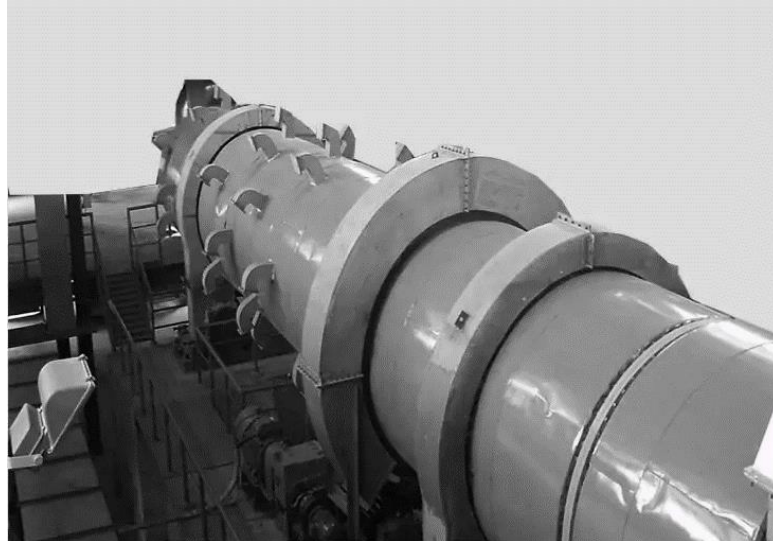


Ilustración 37. Calcinador rotativo. Imagen extraída de tianlienergy.com

A continuación, puede verse un diagrama donde se ve el funcionamiento del secador rotativo:

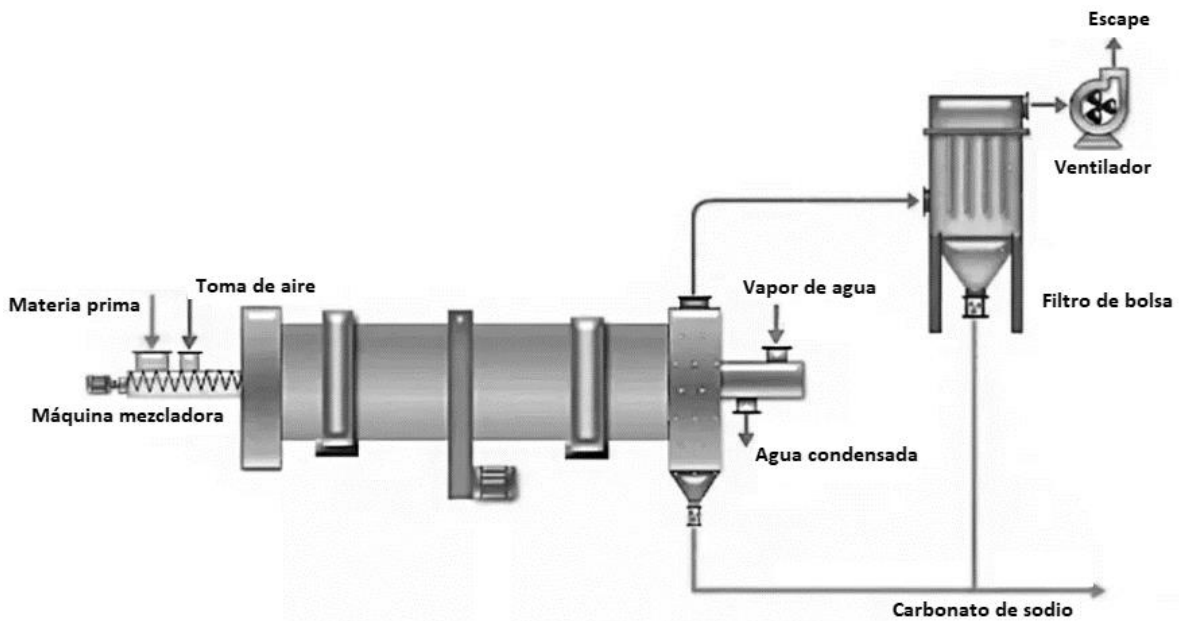


Ilustración 38. Diagrama del funcionamiento de un calcinador rotativo. Imagen extraída de tianlienergy.com

Algunas de las características provistas por el fabricante son las siguientes:

- Gran área de transferencia de calor, alta eficiencia térmica.
- La capacidad de procesamiento es grande, una sola máquina puede alcanzar 200t/h.
- El equipo tiene un buen rendimiento de sellado, adecuado para la recuperación de disolventes orgánicos.
- La estructura es simple, fácil de operar, de bajo costo de mantenimiento.
- Buen sellado, sin fugas de polvo, menos contaminación ambiental.

Además, entre sus usos se destaca que es apto para la producción del carbonato de sodio. El modelo elegido es el GZQ1800, de 20 m de longitud, con el cual podremos procesar hasta 30 tn/hs de bicarbonato de sodio (5 tn/hs más de las necesarias para la producción proyectada a 2033).

Especificación	Longitud (m)	Superficie de Transferencia de calor (m ²)	Velocidad (r / min)	Pendiente (%)
GZQ1200	9~14	90~140	0.5~5	1.5~3.5
GZQ1600	12~18	200~330		
GZQ1800	14~20	250~480		
GZQ2200	16~24	530~800		
GZQ2600	18~28	840~1300		
GZQ3000	24~30	1450~1800		
GZQ3600	30~40	2000~2600		
GZQ4000	35~45	2700~3000		
GZQ4200	40~50	3200~3500		

Ilustración 39. Modelo de calcinador rotativo escogido en base a las necesidades del proyecto. Imagen extraída del catálogo del fabricante.

3.4.7 Etapa 7 - Densificación del carbonato de sodio.

Los cristales de carbonato de sodio que se obtienen luego de la etapa 6 forman lo que comúnmente se denomina en el mercado Carbonato de sodio ligero (soda ash ligera), cuya principal característica es su baja densidad (aproximadamente 600 - 700 kg/m³). Sin embargo, muchas de las industrias mineras solicitan el material más concentrado, por un ahorro logístico y de almacenamiento, por lo tanto, para aumentar la concentración del producto es necesario densificar y lograr la obtención de carbonato de sodio denso, cuya densidad final es aproximadamente 1100 kg/m³.

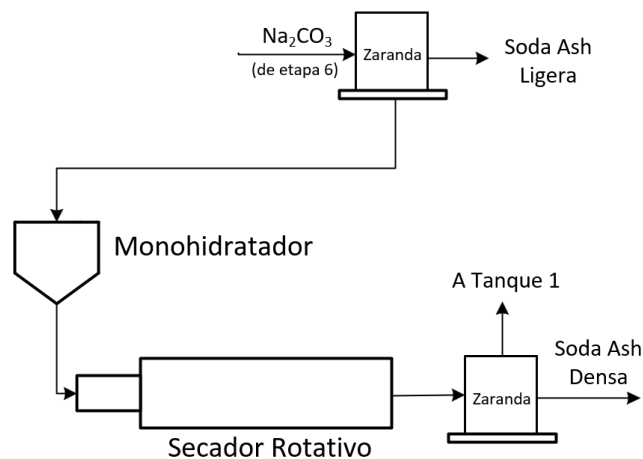


Ilustración 40. Método Solvay, Diagrama de flujo - Etapa 7. Elaboración propia

Método de densificación:

El método utilizado para este proceso será el Solvay, el mismo consiste en disolver los cristales de baja densidad a la salida del secador en un tanque con agua, el cual está provisto de un agitador. La cantidad de agua añadida para la disolución es variable y se verá afectada por la temperatura que alcance la solución. Según la gráfica de la solubilidad del carbonato de sodio frente a la temperatura (capítulo 1), el mismo debe encontrarse en un rango de temperatura comprendido entre los 35-90°C. Luego de esto, la solución debe ingresar a un cristizador, en donde (a bajas temperaturas) se volverán a formar cristales de carbonato de sodio, es decir, en resumen, se cristaliza el producto. Por último, al igual que en la etapa 6, la mezcla sólido-líquido debe secarse en un secador rotativo, preferentemente alimentado con vapor de agua debido a las ventajas mencionadas en etapas anteriores.

3.4.8 Etapa 8 - Recuperación del Amoníaco.

El amoníaco, presente en el filtrado como carbonato de amonio y bicarbonato de amonio, se recupera por destilación seguida de absorción. Tanto el carbonato de amonio ((NH₄)₂-CO₃), como el bicarbonato de amonio (NH₄-HCO₃) se descomponen completamente a 85-90 °C, liberando todo el dióxido de carbono y una pequeña parte del amoníaco de la solución. La liberación del amoníaco requiere reacción con leche de cal, esta reacción debe ir precedida de la descomposición térmica de (NH₄)₂ CO₃ y NH₄ HCO₃ para evitar la precipitación de carbonato de calcio y el consiguiente consumo de leche de cal adicional. El amoníaco libre se desplaza de la solución con vapor a baja presión, además se obtiene como resultado cloruro de calcio disuelto.[1]

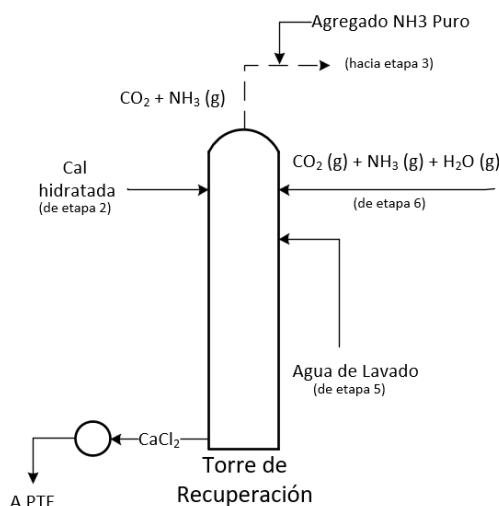


Ilustración 41. Método Solvay, Diagrama de flujo - Etapa 7. Elaboración propia

Como ya vimos, en la producción del CS se utilizan como materias primas: la salmuera, la piedra caliza y el coque y como principal insumo el amoníaco. La economía del proceso Solvay se fundamenta en la recuperación del amoníaco, a través de la operación unitaria de destilación. La corriente del proceso o licor madre a destilar, tiene como componentes

principales: cloruro de calcio, bicarbonato de amonio, cloro de amonio, hidróxido de amonio, cloruro de sodio, bicarbonato de sodio y agua.

De los compuestos que contienen amoníaco, solo el cloruro de amonio no es fácilmente destilable por su alto punto de ebullición. El resto se descompone rápidamente con temperaturas del orden de 68°C; es por eso que el cloruro de amonio tiene que ser reaccionado con cal apagada (hidróxido de calcio) en forma de una lechada de cal, generando como producto de la reacción hidróxido de amonio el cual se destila fácilmente por temperatura. De esta forma, la sección de destilación hace económicamente rentable la fabricación de carbonato de sodio. Para asegurar que la reacción se lleve a cabo al 100 por ciento de eficiencia es necesario añadir un exceso de cal que asegure la reacción en su totalidad. Este exceso en forma sólida que queda como remanente en el efluente del destilador, es separado físicamente en una Planta Separadora de sólidos, generándose de esta manera el lodo Solvay.

3.5 Oportunidades de Mejora

Lodos residuales

La planta separadora de sólidos consta de las operaciones unitarias de filtración, procedimiento que se hace al vacío, para lograr una mejor eficiencia de separación. La caracterización CRETIB del lodo del proceso Solvay dio como resultado que se trata de un residuo no peligroso; la composición del mismo se presenta en la tabla siguiente:

Tabla 15. Composición de lodos residuales. Extraída de [10]

Composición	%
CaCO ₃	43,63%
NaCl ₂	25,65%
Ca(OH) ₂	11,09%
CaCl ₂	9,38%
Mg(OH) ₂	7,82%
CaSO ₄	2,64%
Total	100%

Estos lodos normalmente se almacenan en piletas industriales o se envían a otras plantas para su tratamiento, como será el caso de la nuestra. Sin embargo, a continuación, se propone un método para obtener valor del mismo.

Propuesta para tratamiento de lodos

Como parte del proyecto de investigación sobre el aprovechamiento del lodo Solvay, se propone la alternativa de la utilización del mismo para la producción de MgO grado caustico y

grado refractario, debido a que, en el proceso común de fabricación, las materias primas requeridas son la piedra caliza y cloruro de sodio.

La piedra caliza aporta el calcio en forma de carbonato, mientras que el agua dura contribuye con sales solubles de cloruros y sulfato de magnesio. Los procesos involucrados en la obtención de MgO son las siguientes:

1. Calcinación de piedra caliza
2. Apagado de la cal
3. Reacción y sedimentación de MgO
4. Sistema de lavado y filtración
5. Calcinación de MgO
6. Paletizado
7. Calcinación a muerte de MgO.

Incluso la piedra caliza puede ser sustituida por el lodo Solvay, ya que presenta un contenido elevado de carbonato de calcio, y de esta manera industrializar dicho residuo al máximo posible. Si bien en este trabajo no incluye la planta de tratamiento de lodos, resulta interesante saber el potencial del tratamiento del mismo en cuanto a generación de valor y ahorro en costos de materia prima.

3.5 Diagrama de proceso

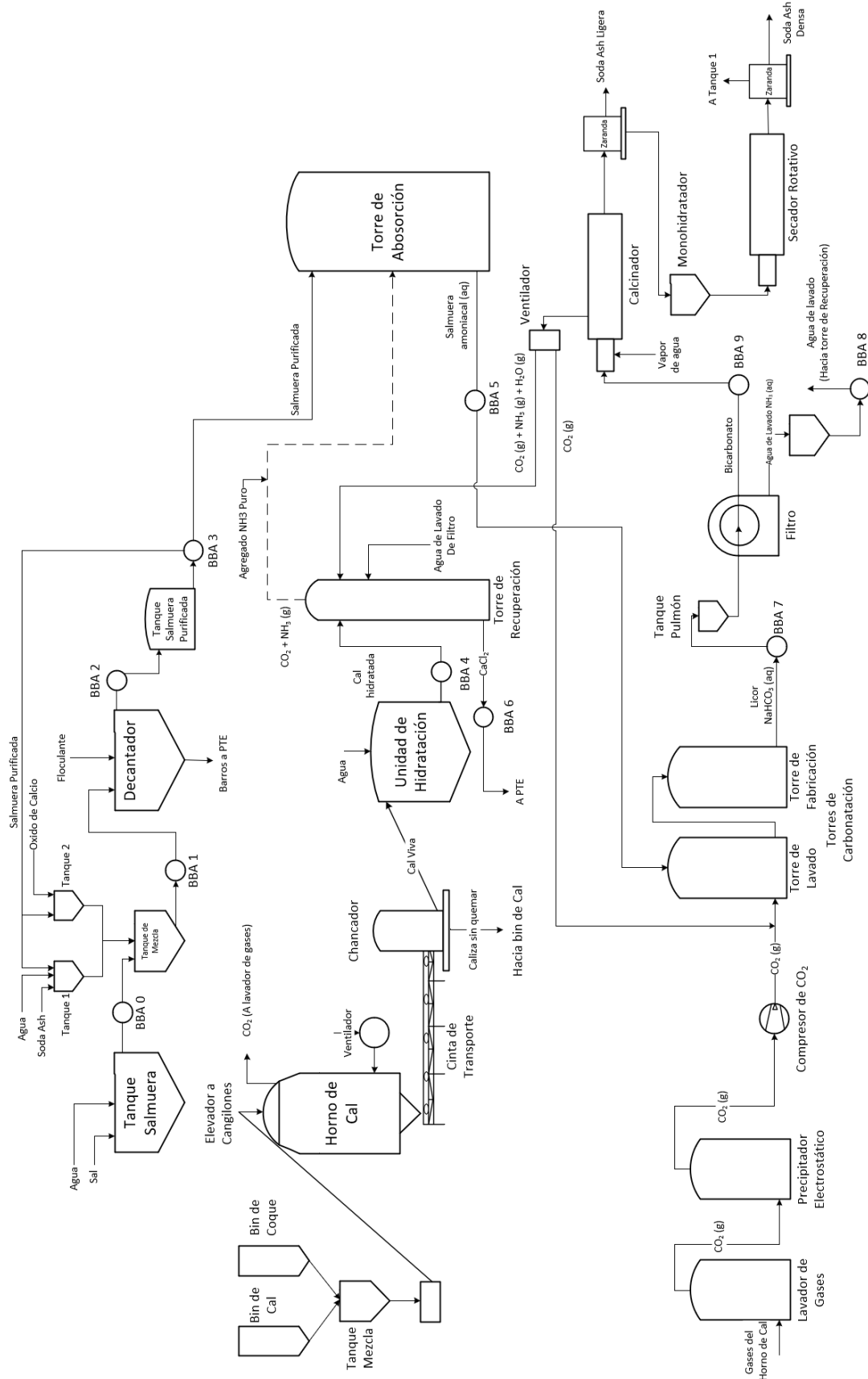


Ilustración 42. Flow Sheet Proceso Solvay. Elaboración propia.

3.6 Almacenamiento y empaquetado

3.6.1 Características principales a tener en cuenta:

Como ya sabemos, el carbonato de sodio es un compuesto en forma cristalina de color blanco, que no desprende gases y es un producto higroscópico por lo que tiene tendencia a absorber humedad de la atmosfera, como así también tiende a la absorción de CO₂ atmosférico. Si esto sucede, se forma una especie de pasta donde el carbonato adquiere un aspecto grumoso. Es por esto que se debe tener precaución en el almacenamiento del producto, ya que, dependiendo de las condiciones ambientales, si no se lo tiene en un lugar fresco y seco, empezará a absorber agua y CO₂, perdiendo sus propiedades. Por estas razones, normalmente el producto se almacena en tanques metálicos de gran capacidad (silos) que deben estar equipados con sistemas para la eliminación del polvo, para así, mantener el producto seco y aislado.

3.6.2 Empaquetado

El empaque a utilizar será en forma de big bag de 1000kg de capacidad, estos bolsones están hechos de tela de rafia recubiertos con polipropileno, lo que los hace impermeables. Dependiendo de las necesidades, estos empaques se fabrican de diferentes tipos como los que se muestran a continuación:

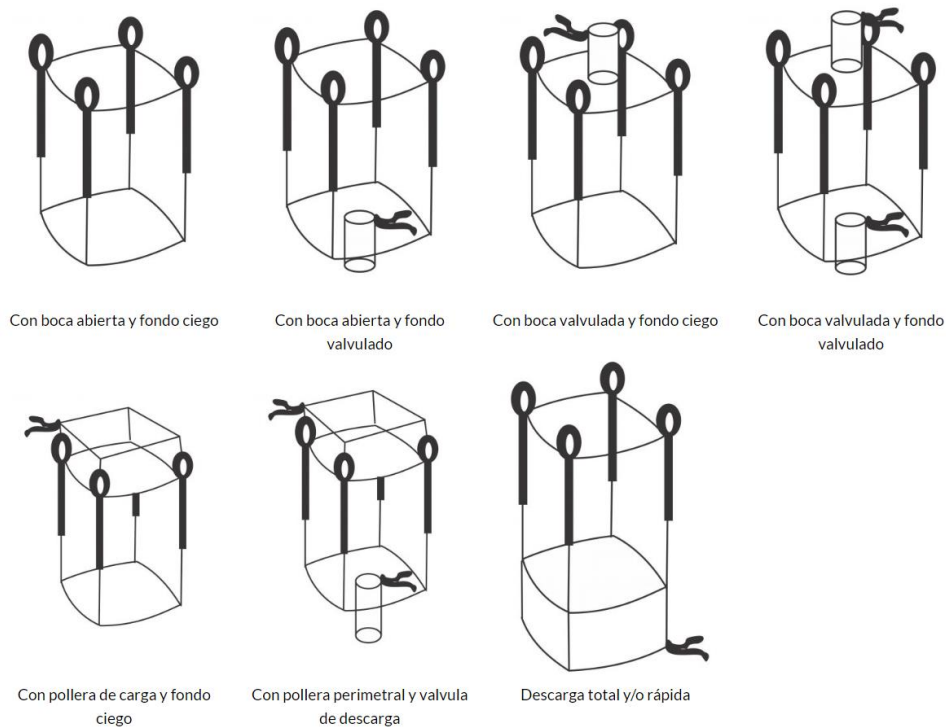


Ilustración 43. Tipos y modelos de Big Bag. Imagen extraída de Agromarc.com.ar

A continuación, se muestran el detalle del empaque elegido:

Tabla 16. Características del Empaque

Características del empaque	
Material	Tela de rafia de polipropileno 220/232 g/m ²
Medidas	950 x 950 x 1200 mm
Asas	4 de 250 mm de ojo libre en polipropileno reforzado (carga de rotura 5000 kg)
Capacidad de Carga	1000 kg
Coefficiente de seguridad	5:01
Costuras	Hilo multifilamento de polipropileno 2500 Deniers.



Ilustración 44. Empaque para el producto final. Elaboración propia.

3.7 Estudio de localización

Para poder determinar la localización adecuada del emplazamiento productivo, se consideran diferentes alternativas y se tienen en cuenta varios factores a evaluar para respaldar nuestra elección. Debido a esto se utilizará el método “Brown y Gibson” el mismo consta de 4 etapas que se detallaran a continuación.

- Asignar un valor relativo a cada factor objetivo FO_i para cada localización optativa viable.
- Estimar un valor relativo de cada factor subjetivo FS_i para cada localización optativa viable.
- Combinar los factores objetivos y subjetivos, asignándoles una ponderación relativa para obtener una medida de preferencia de localización MPL.

- d. Seleccionar la ubicación que tenga la máxima medida de preferencia de localización.[11]

Las localizaciones que consideraremos para el estudio son las siguientes:

1. Parque industrial Salta (PS).
2. Campo Quijano (CQ).
3. Parque industrial General Güemes (PGG).

A. Factores Objetivos (FO)

Normalmente los factores objetivos son posibles de cuantificar en términos de costo, lo que permite calcular el costo total anual de cada localización C_i . Luego, el FO_i se determina multiplicando C_i por la suma de los recíprocos de los costos de cada lugar ($1/C_i$) y tomando el recíproco de su resultado. Vale decir:

$$FO_i = \frac{\frac{1}{C_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}}$$

Para nuestro proyecto tomaremos los siguientes factores objetivos:

- Materia Prima.
- Fletes.
- Energía.
- Mano de Obra.

Tabla 17. Costo total anual [Millones de USD]

Localización	Materia Prima	Distribución	Energía	Mano de Obra	Total (C_i)	Reciproco ($1/C_i$)
PS	2,2	0,66	0,92	0,6	4,38	0,2283105
CQ	2,3	0,69	1	0,6	4,59	0,21786492
PGG	2,1	0,63	0,83	0,6	4,16	0,24038462
					Total =	0,68656004

Tabla 18. Cálculo de los factores objetivos

Localizaciones	FOi
PS	0,3325
CQ	0,3173
PGG	0,3501
SFO _i	1,0000

B. Factores Subjetivos (FS)

El carácter subjetivo de los factores de orden cualitativo hace necesario asignar una medida de comparación que valore los distintos factores en orden relativo, mediante tres subetapas:

1. Determinar una calificación W_j para cada factor subjetivo ($j = 1, 2, \dots, n$) mediante comparación pareada de dos factores. Según esto, se escoge un factor sobre otro, o bien, ambos reciben igual calificación.

Tabla 19. Cálculo de índice W_j

Factor (j)	Comparaciones pareadas			Suma de preferencias	Índice W_j
	Clima	Social	Logística		
Clima	-	1	0	1	0,250
Social	1	-	0	1	0,250
Logística	1	1	-	2	0,500
			S	4	

2. Dar a cada localización una ordenación jerárquica en función de cada factor subjetivo R_{ij} .

Tabla 20. Factor subjetivo clima

Factor Localización	Comparaciones pareadas			Suma de preferencias	Índice R_{i1}
	PS	CQ	PGG		
PS	-	1	0	1	0,50
CQ	0	-	0	0	0,00
PGG	0	1	-	1	0,50
			Total	2	

Tabla 21. Factor subjetivo social

Factor Localización	Comparaciones pareadas			Suma de preferencias	Índice R_{i2}
	PS	CQ	PGG		
PS	-	1	0	1	0,5
CQ	0	-	0	0	0
PGG	0	1	-	1	0,5
			Total	2	

Tabla 22. Factor subjetivo logística

Factor Localización	Comparaciones pareadas			Suma de preferencias	Índice R_{i3}
	PS	CQ	PGG		
PS	-	0	0	0	0,00
CQ	1	-	0	1	0,33
PGG	1	1	-	2	0,67
			Total	3	

Tabla 23. Resumen de los resultados subjetivos

Factor (j)	Puntaje Relativo R_{ij}			Indice W_j
	A	B	C	
Clima	0,50	0,00	0,50	0,25
Social	0,50	0,00	0,50	0,25
Logística	0,00	0,33	0,67	0,50

3. Para cada localización, combinar la calificación del factor W_j con su ordenación jerárquica R_{ij} , para determinar el factor subjetivo FS_i de la siguiente forma:

$$FS_i = \sum_{j=1}^n R_{ij}W_j$$

Tabla 24. Medida del valor subjetivo para cada localización

FS	Valor
FS_{PS}	0,25
FS_{CQ}	0,17
FS_{PGG}	0,58
SFS_i	1,00

C. Medida de preferencia de localización (MPL)

Una vez valorados en términos relativos los factores objetivos y subjetivos de localización, se procede a calcular la medida de preferencia de localización mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$MPL_i = K (FO_i) + (1 - K)FS_i$$

La importancia relativa diferente que existe, a su vez, entre los factores objetivos y subjetivos de localización hace necesario asignarle una ponderación K a uno de los factores y $1-K$ al otro, de manera tal que se exprese también entre ellos la importancia relativa. En nuestro caso ponderaremos los factores objetivos por sobre los subjetivos, por lo tanto, K tendrá un valor de 0,75.

Tabla 25. Cálculo de medida preferencial de localización

MPL	Valor
PS	0,31
CQ	0,28
PGG	0,41
SMPL _i	1

Como podemos observar en la tabla 14 la localización que obtuvo un mayor MPL luego de realizar el estudio es, el parque industrial General Güemes.

D. Selección de localización

Teniendo en cuenta los valores obtenidos en el estudio, concluimos que la mejor localización para el proyecto es en el parque industrial General Güemes (PGG). Esta localización otorga, por sobre las otras alternativas consideradas, ventajas logísticas y disponibilidad en servicios auxiliares como electricidad, gas y agua.

3.8 Micro localización

Como resultado del estudio de localización, la nave industrial se encontrará en el Parque Industrial General Güemes, situada a 53,1 km de la ciudad de Salta. Las dimensiones del terreno serán de 30.000 m². Al ser un parque industrial, la zona cuenta con los servicios necesarios para el correcto funcionamiento de la planta.



Ilustración 45. Micro localización en Parque Industrial General Güemes

3.9 Análisis de proveedores de materias primas

En el marco de la operación de una planta de carbonato de sodio, resulta de vital importancia llevar a cabo un análisis de proveedores de las materias primas principales que conforman el proceso de producción: piedra caliza y sal, que juegan un papel fundamental en la calidad y eficiencia del producto final, así como también son las materias primas que más influyen en el costo de nuestro producto.

El siguiente desarrollo tiene como objetivo analizar la cadena de suministro de estas materias primas, evaluando su disponibilidad, costos (incluyendo transporte) y capacidad de abastecimiento. La correcta selección de proveedores confiables y estratégicos permitirá a la planta mantener una producción consistente y de alta calidad, asegurando al mismo tiempo la optimización de recursos y la minimización de impactos ambientales. Para realizar esta selección se hará uso de una matriz de evaluación de proveedores, considerando tres características que son fundamentales para una correcta elección:

- 1- Precio (USD/tonelada): Muestra el costo por tonelada de producto que cada proveedor ofrece. El precio es un factor esencial en la toma de decisiones, ya que afecta directamente los costos de producción del carbonato de sodio, un precio competitivo mejora la rentabilidad de la planta y su competitividad en el mercado.
- 2- Distancia (km): La distancia en kilómetros entre cada proveedor y la planta es un aspecto crucial a considerar en términos de logística y transporte. Proveedores que se encuentren más cerca de la planta pueden garantizar entregas más rápidas y eficientes, reduciendo así posibles retrasos en el abastecimiento.
- 3- Disponibilidad (miles de Tn): La disponibilidad de suministro por parte de cada proveedor es fundamental para asegurar la continuidad operativa de la planta. Proveedores con alta disponibilidad pueden ofrecer una provisión constante de la materia prima, evitando interrupciones en la producción.

3.9.1 Piedra Caliza

En la tabla 25 se encuentran los datos necesarios para la elaboración de la matriz de evaluación de proveedores de piedra caliza en nuestro país.

Tabla 26. Características de proveedores de piedra Caliza. Elaboración Propia.

Proveedor	Precio (USD/Tn)	Ubicación	Distancia (Km)	Producción Anual (MTn)
CAL ALBORS	\$ 56,00	San Juan	1.105	144
CALERA SAN JUAN	\$ 50,00	San Juan	1.086	300.000
CALERA SANTA ELENA	\$ 65,60	La Meched - Salta	73	30
CALERA CEFAS	\$ 58,40	San Juan	1.078	170

Teniendo en cuenta la información presentada anteriormente, a continuación, se presenta la matriz de evaluación de proveedores, la cual nos permitirá elegir el proveedor más

adecuado en base a las características elegidas.

Tabla 27. Matriz de evaluación para proveedores de Piedra Caliza. Elaboración propia

Criterio	Ponderación	CAL ALBORS		CALERA SAN JUAN		CALERA SANTA ELENA		CALERA CEFAS	
		Calificación	Puntaje	Calificación	Puntaje	Calificación	Puntaje	Calificación	Puntaje
Precio	50	7	3,5	8	4	5	2,5	6	3
Distancia	20	5	1	5	1	9	1,8	5	1
Disponibilidad	30	5	1,5	10	3	2	0,6	6	1,8
TOTAL		17	6	23	8	16	4,9	17	5,8

Analizando los resultados anteriores, elegimos como proveedor de piedra caliza a Calera San Juan, ubicado en la provincia de San Juan.

3.9.2 Sal

Se realizará el mismo análisis anterior para proveedores de sal en nuestro país.

Tabla 28. Características de proveedores de Sal. Elaboración propia.

Criterio	Precio (USD/Tn)	Ubicación	Distancia (Km)	Producción Anual (MTn)
Transporte El Gringo S.R.L	\$ 50,75	Salta Capital	47	80
Recasal	\$ 46,80	Buenos Aires	1.700	600
Lisal	\$ 41,30	Córdoba	775	1.500

Tabla 29. Matriz de evaluación de proveedores de Sal. Elaboración propia.

Criterio	Ponderación	Transporte El Gringo		Recasal		Lisal	
		Calificación	Puntaje	Calificación	Puntaje	Calificación	Puntaje
Precio	50	4	2	7	3,5	9	4,5
Distancia	20	10	2	3	0,6	5	1
Disponibilidad	30	1	0,3	4	1,2	10	3
TOTAL		15	4,3	14	5,3	24	8,5

Considerando los valores arrojados por el análisis anterior, elegimos como proveedor de sal a Lisal, ubicado en la provincia de Córdoba.

3.9.3 Transporte

En esta sección, centraremos nuestra atención en el análisis del transporte de las materias primas previamente evaluadas. Dicha evaluación se lleva a cabo debido a que los proveedores se encuentran a una distancia considerable de nuestra planta productora.

Primeramente, introduciremos el costo por kilómetro que tiene cada proveedor:

Tabla 30. Costo del kilómetro por proveedor

Transportista	Precio (USD/km)
ALE	\$ 1,17
CAMINO REAL	\$ 1,21
BIGOTÍN	\$ 1,19
ROYAL LOGISTIC	\$ 1,26

Considerando lo que dicta la legislación argentina, en el artículo 25 del decreto N°32/18, como podemos ver en la siguiente ilustración, podremos transportar hasta 45tn por viaje en un camión semirremolque *sider* (con capacidad para 60 pallets):

**VEHÍCULOS DE TRANSPORTE DE CARGAS
 QUE SON DE LIBRE CIRCULACIÓN EN RUTAS NACIONALES -**
 ART. N° 27 - APARTADO 2.3.1.










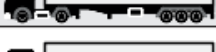

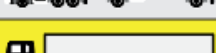
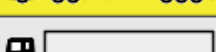

N°	TIPO DE VEHÍCULO	CONFIGURACIÓN N° DE EJES				PESO MÁXIMO (t)	Relación POT/PESO (CV/t) mín.
			LARGO (m)	ANCHO (m)	ALTO (m)		
1		S1 - D1	13,20	2,60	4,30	16,50	4,25
2		S1 - D2	13,20	2,60	4,30	24,00	4,25
3		S1 - D3	13,20	2,60	4,30	31,50	4,25
4		S2 - D2	13,20	2,60	4,30	28,00	4,25
5		S2 - D3	13,20	2,60	4,30	35,50	4,25
6		S1 - S1 - D2	13,20	2,60	4,30	30,00	4,25
7		S1 - S1 - D3	13,20	2,60	4,30	37,50	4,25
8		S1 - D1 - D1	18,60	2,60	4,30	27,00	4,25
9		S1 - D1 - D2	18,60	2,60	4,30	34,50	4,25
10		S1 - D1 - D3	18,60	2,60	4,30	42,00	4,25
11		S1 - D2 - D2	18,60	2,60	4,30	42,00	4,25
12		S1 - D2 - D1 - D1	18,60	2,60	4,30	45,00	4,25
13		S1 - D2 - D3	18,60	2,60	4,30	49,50	6,00
14		S1 - D1 - D1 - D2	18,60	2,60	4,30	45,00	4,25

Ilustración 46. Configuraciones autorizadas para el transporte automotor de cargas. Extraído de https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/nuevas_configuraciones.pdf

Teniendo en cuenta las necesidades de materia prima presentadas en la tabla 12, calcularemos la cantidad de viajes anuales y el costo asociado a cada uno de ellos, a la empresa ALE como transportista:

Tabla 31. Costo de transporte - valores expresados en USD

Año	Costo anual caliza	Costo anual sal	Costo anual total
2022	\$ 788.024,16	\$ 564.401,03	\$ 1.352.425,19
2023	\$ 908.782,28	\$ 650.890,77	\$ 1.559.673,05
2024	\$ 999.660,51	\$ 715.979,85	\$ 1.715.640,36
2025	\$ 1.099.626,56	\$ 787.577,84	\$ 1.887.204,40
2026	\$ 1.176.600,42	\$ 842.708,29	\$ 2.019.308,70
2027	\$ 1.258.962,45	\$ 901.697,87	\$ 2.160.660,31
2028	\$ 1.347.089,82	\$ 964.816,72	\$ 2.311.906,53
2029	\$ 1.414.444,31	\$ 1.013.057,55	\$ 2.427.501,86
2030	\$ 1.485.166,52	\$ 1.063.710,43	\$ 2.548.876,95
2031	\$ 1.559.424,85	\$ 1.116.895,95	\$ 2.676.320,80
2032	\$ 1.637.396,09	\$ 1.172.740,75	\$ 2.810.136,84
2033	\$ 1.719.265,90	\$ 1.231.377,79	\$ 2.950.643,68

Para profundizar mas en el análisis, compararemos los costos anteriores con la posibilidad de incorporar una flota propia de camiones:

Año	Cantidad de camiones	Precio [USD/Camión]	Nafta [USD]	Sueldo Chofer [USD]	Total
2022	8	\$ 30.000	\$ 12.000	\$ 80.000	\$ 976.000
2023	8	\$ 30.000	\$ 12.000	\$ 80.000	\$ 976.000
2024	8	\$ 30.000	\$ 12.000	\$ 80.000	\$ 976.000
2025	8	\$ 30.000	\$ 12.000	\$ 80.000	\$ 976.000
2026	8	\$ 30.000	\$ 12.000	\$ 80.000	\$ 976.000
2027	8	\$ 30.000	\$ 12.000	\$ 80.000	\$ 976.000
2028	8	\$ 30.000	\$ 12.000	\$ 80.000	\$ 976.000
2029	8	\$ 30.000	\$ 12.000	\$ 80.000	\$ 976.000
2030	8	\$ 30.000	\$ 12.000	\$ 80.000	\$ 976.000
2031	8	\$ 30.000	\$ 12.000	\$ 80.000	\$ 976.000
2032	8	\$ 30.000	\$ 12.000	\$ 80.000	\$ 976.000
2033	8	\$ 30.000	\$ 12.000	\$ 80.000	\$ 976.000

Comparando resultados, queda claro que es más económico y conveniente adquirir una flota de camiones propios y no contratar dicho servicio. Dicha inversión se tendrá en cuenta en el estudio financiero.

3.10 Layout

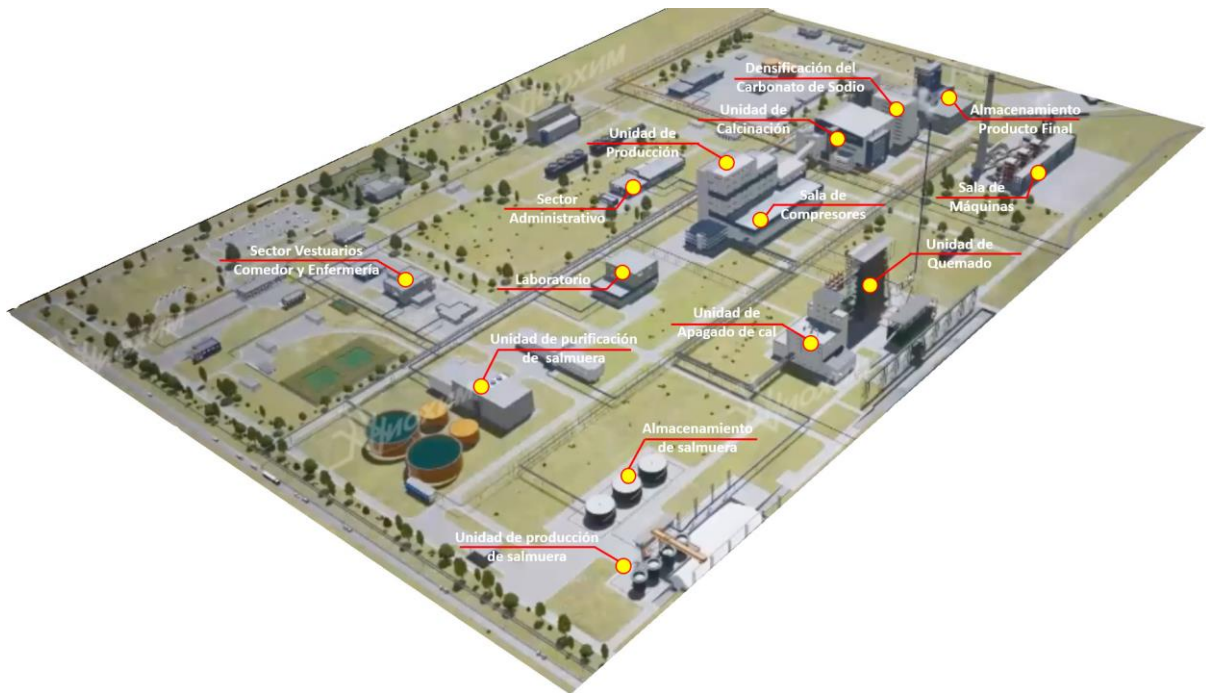


Ilustración 47. Layout planta. Elaboración propia

En la imagen anterior se muestra el Layout de nuestra planta, teniendo en cuenta que hemos tomado como referencia el diseño de la planta Niochim ubicada en Kharkiv, Ucrania. En dicha imagen se destacan los departamentos o unidades principales de la planta que, a continuación, se explicarán de manera breve.

3.10.1 Unidad de quemado

En esta unidad se almacena y se quema la cal en los hornos de cubas junto con el coque produciendo el CO_2 necesario para el proceso y cal viva que será apagada posteriormente en las unidades correspondientes.

3.10.2 Unidad de apagado de cal

Dicha unidad recibe la cal viva y se apaga mediante los hidratadores obteniendo óxido de calcio el cual, como ya se explicó en este capítulo puede ser usado para la etapa de recuperación del amoníaco o para la purificación de la salmuera.

3.10.3 Unidad de elaboración, almacenamiento y purificación de la salmuera

En esta parte de la planta se prepara la salmuera, diluyendo cloruro de sodio en agua para posteriormente ser purificado mediante procesos de clarificación y floculación.

3.10.4 Unidad de producción

Allí se realizan los procesos de absorción, destilación, carbonatación y filtración. En dicha unidad encontraremos las torres o columnas de absorción, cuya función es producir la

salmuera amoniacal, las torres de destilación del amoníaco para la recuperación del mismo, la torre de carbonatación Solvay donde se produce el licor o bicarbonato precipitado y por último los filtros de rotativo de vacío para obtener el bicarbonato crudo que pasará a la etapa de calcinación.

3.10.5 Unidad de calcinación.

En esta parte de la planta se encuentra el calcinador rotatorio que es alimentado con el bicarbonato crudo y gracias al calor del vapor de agua produce carbonato de sodio en estado sólido y gases que serán recuperados en gran medida e introducidos nuevamente al proceso.

3.10.6 Sala de máquinas y sala de compresores

En sala de máquinas se encuentran las calderas encargadas de la producción de vapor necesario para el proceso, y la estación reductora de gas natural. Por otro lado, en la sala de compresores, como su nombre lo indica, están los equipos asignados a la compresión del CO₂.

3.10.7 Laboratorio

En el laboratorio se realizarán las pruebas de calidad tanto de materia prima como de producto en proceso y finalizado, así como también todos los análisis correspondientes al tratamiento de aguas, gases y demás.

Antes de que el carbonato de sodio sea lanzado a la venta, se somete a varias pruebas de calidad para asegurar que cumple con los estándares establecidos y que es seguro para su uso. Entre las pruebas fundamentales que se realizan se encuentran:

- **Análisis de pureza:** Esta prueba evalúa la pureza del carbonato de sodio, es decir, la cantidad de Na₂CO₃ en relación con otras impurezas. Un alto grado de pureza es esencial para garantizar que el producto sea adecuado para su uso.
- **Granulometría:** La granulometría es una prueba que evalúa el tamaño de las partículas presentes en el carbonato de sodio. Esta prueba asegura que el producto tenga una distribución de tamaño de partícula adecuada y consistente, lo que es importante para su desempeño en procesos de producción específicos.
- **Prueba de alcalinidad:** Dado que el carbonato de sodio es una sustancia alcalina, se realiza una prueba para determinar su nivel de alcalinidad. Esta prueba verifica que el contenido de sodio (Na⁺) y carbonato (CO₃)⁻² en el producto sea el adecuado y que no presente niveles inesperados de sustancias ácidas que puedan afectar su rendimiento o su seguridad en ciertas aplicaciones.
- **Contenido de humedad:** La cantidad de humedad presente en el carbonato de sodio puede afectar su estabilidad y manejo. Un estudio de contenido de humedad mide la cantidad de agua presente en el producto y es crucial para asegurar que el carbonato de sodio se encuentre en condiciones óptimas antes de su uso.

Además de estas pruebas fundamentales, también se pueden realizar otras pruebas adicionales, como la determinación de humedad, densidad aparente, contenido de insolubles y contenido de metales pesados, según las especificaciones y estándares requeridos por los clientes y las normativas regulatorias aplicables.

A continuación, se muestran las especificaciones de calidad y los equipos necesarios para nuestro producto:

Tabla 32. Especificaciones de calidad. Elaboración propia

Pureza	> 99,2 %
Granulometría	100 - 500 micrómetros
Contenido de Humedad	< 1%
Alcalinidad (pH)	10 +/- 1

Para realizar las pruebas de calidad mencionadas anteriormente en el carbonato de sodio, se requiere contar con equipos de laboratorio especializados que permitan llevar a cabo cada análisis de manera precisa y confiable. A continuación, se detallan los equipos necesarios para realizar las pruebas mencionadas:

- 1- Espectrofotómetro: El espectrofotómetro es un instrumento utilizado para medir la absorbancia o transmitancia de la luz a través de una muestra. En el análisis de pureza del carbonato de sodio, se puede utilizar para determinar la cantidad de Na_2CO_3 y otras impurezas presentes en la muestra mediante técnicas espectroscópicas, como la espectroscopía UV-Visible.



Ilustración 48. Espectrofotómetro UV-visible UV-1280 Shimadzu. <https://store.jenck.com/shop/product/207-20800-58-espectrofotometro-uv-visible-uv-1280-1566>

- 2- Analizador de partículas: Un analizador de partículas, también conocido como granulómetro, se utiliza para medir el tamaño de partícula de una muestra. Para la prueba de granulometría en el carbonato de sodio, este equipo permitiría determinar el rango de tamaños de partículas presentes y la distribución de tamaño, lo que es esencial para asegurar una calidad uniforme del producto.



Ilustración 49. Analysette 28 ImageSizer. <https://www.manufactura-latam.com/es/informacion-comercial/analisis-rapido-de-la-forma-y-el-tamano-de-las-particulas-de-suspensiones-y>

- 3- Potenciómetro: El potenciómetro es un instrumento que mide el potencial eléctrico de una solución, lo que permite determinar el nivel de alcalinidad en una muestra de carbonato de sodio. Con esta prueba, se puede confirmar la concentración de iones de hidróxido (OH⁻) y, por lo tanto, verificar el contenido de carbonato y sodio en la muestra.



Ilustración 50. Potenciómetro/Phmetro Digital de Mesa. <https://www.baltalab.com/potenciometrophmetro-digital-de-mesa/>

- 4- Horno de secado: Para determinar el contenido de humedad en el carbonato de sodio, se necesita un horno de secado. Este equipo permite eliminar la humedad presente en la muestra y calcular su porcentaje de manera precisa.



Ilustración 51. Horno de secado 20L con 450W de potencia

Otros equipos y materiales de laboratorio comunes, como pipetas, matraces, probetas y material de vidrio, también serán necesarios para llevar a cabo las pruebas mencionadas. Todos los costos asociados a estos equipos serán tenidos en cuenta en el análisis financiero.

3.10.8 Unidades auxiliares

Por último, cabe mencionar las unidades que no son indispensables para el proceso, pero si para el correcto funcionamiento de la planta como ser: vestuarios, comedor, enfermería y el sector administrativo.

3.11 Conclusiones

El proyecto se ubicará en el parque industrial General Güemes, utilizando el método Solvay y siendo comercializado en big bag de 1000kg. Los equipos e instalaciones fueron diseñadas en base a la producción que se estima alcanzar para el último año del proyecto, por lo tanto, en los primeros años el mismo contará con una cierta capacidad ociosa, sin embargo, considerando el constante aumento de la producción de carbonato de litio y por lo tanto de la demanda de nuestro producto, este sobredimensionamiento nos permitirá estar preparados ante un inminente crecimiento exponencial del mercado del litio en nuestro país.

Capítulo 4: Estudio Ambiental

4.1 Introducción

Una de las bases para establecer un buen Sistema de Gestión Ambiental es conocer la situación actual de la planta con respecto a los requisitos medioambientales, por ello, se realizará a lo largo de este capítulo una evaluación de diversos aspectos ambientales que tienen como consecuencia nuestro proceso productivo y pueden afectar negativamente al medio ambiente.

La identificación y valoración de los aspectos medioambientales permite prevenir, controlar, o corregir todos aquellos aspectos significativos que no permitan a la organización mejorar su comportamiento ambiental. Siguiendo los lineamientos de la Norma ISO 14001, analizaremos los aspectos medioambientales directos e indirectos para las siguientes condiciones de funcionamiento:

- Situación normal (operación regular de trabajo).
- Situación anormal (parada para revisión, o, por avería).
- Situación de emergencia (toda situación excepcional, no habitual, que puede darse tanto en condiciones de funcionamiento normal como anormal).

4.2 Aspectos Ambientales Directos

Los aspectos ambientales directos son aquellos que se generan como consecuencia de las actividades, productos y servicios que pueden interactuar con el medio ambiente y sobre los que se tiene el control en la gestión.

Los criterios utilizados para realizar esta evaluación, y su aplicación por tipo de aspecto ambiental directo, quedan reflejados a continuación:

- 1- Peligrosidad.
- 2- Naturaleza.
- 3- Magnitud.
- 4- Probabilidad.
- 5- Acción.

Una vez identificados, una evaluación de cada uno de ellos es realizada en base a la peligrosidad, naturaleza, magnitud, probabilidad y acción de los impactos asociados, obteniéndose así el nivel de significancia.

Se considerarán significativos, aquellos cuya suma de valores por cada criterio se encuentren dentro de las siguientes condiciones:

- Aspectos a los que se les aplican tres criterios: ≥ 5
- Aspectos a los que se les aplican dos criterios: ≥ 3 , exceptuando aquellos a los que se les aplique el criterio magnitud, en cuyo caso será ≥ 4 .

En la siguiente tabla, se muestran los aspectos medioambientales directos en el análisis

Tabla 33. Matriz ambiental. Elaboración propia.

Tipo de Aspecto MA	Aspecto ambiental	Situación	Peligrosidad	Naturaleza	Magnitud	Probabilidad	Suma
Emisiones	Emisiones de CO ₂	Normal	1	0	2	5	8
Vertidos	Caudal de Vertido	Normal	2	0	2	3	7
Residuos	Generación de residuos: Productos Químicos de laboratorio	Normal	1	1	1	1	4
Residuos	Restos de poda, césped de jardines y otros	Anormal	0	1	1	0	2
Consumo energía	Gas Natural	Normal	1	0	1	1	3
Consumo de agua	Consumo de agua de captación	Normal	2	0	2	1	5

Por lo tanto, podemos concluir, que los aspectos ambientales significativos son los siguiente:

- 1- Emisiones de CO₂

- 2- Caudal de vertido
- 3- Consumo de agua

Estos aspectos están ligados a diversos impactos ambientales, ver la siguiente tabla:

Tabla 34. Impacto Ambiental. Elaboración propia.

Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental
Emisiones	Calentamiento Global
Vertidos	Contaminación de litosfera y atmosfera
Residuos	Ocupación del terreno
Consumo de Gas	Agotamiento de recursos naturales
Consumo de agua	Agotamiento de recursos naturales

Acciones:

A continuación, se proponen, en el caso de ser necesarias, acciones para mitigar cada uno de los impactos ambientales directos mencionados anteriormente.

- **Emisiones de CO₂:**

Es importante destacar que, en nuestra empresa, el CO₂ no se libera a la atmósfera debido a que el gas producido durante la quema de piedra caliza se utiliza como materia prima. Sin embargo, no se trata de un problema menor, por lo que se deben aplicar los procedimientos de seguridad adecuados para mitigar cualquier eventual fuga de gas, ya que se conoce el peligro que puede representar el CO₂ en la industria. Es fundamental que la empresa adopte medidas preventivas para minimizar el riesgo de fuga y, en caso de que ocurra, actúe rápidamente para controlar la situación.

- **Vertidos:**

El vertido principal de nuestra empresa son los lodos o barros del decantador. Sin embargo, el estudio técnico ha establecido que el tratamiento de estos lodos será realizado por una empresa terciarizada. Por lo tanto, en este caso no es necesario tomar ninguna acción específica por parte de la empresa. Es importante asegurarse de que la empresa terciarizada que se encargará del tratamiento de los lodos cumpla con los estándares de calidad y seguridad requeridos para evitar cualquier impacto negativo en el medio ambiente.

- **Residuos peligrosos:**

Al igual que en el caso anterior, cualquier residuo peligroso generado por el laboratorio será tratado de acuerdo con las normas ambientales vigentes. Este tema se abordará con mayor detalle en el estudio legal correspondiente a este trabajo. Es esencial

que la empresa tome en cuenta las regulaciones ambientales aplicables y adopte medidas adecuadas para manejar de manera responsable los residuos peligrosos.

- **Consumo de Gas Natural:**

La empresa requiere de siete calderas para satisfacer la demanda y mantener un funcionamiento adecuado. Sin embargo, el uso de estas calderas implica un consumo significativo de Gas Natural. Por lo tanto, es fundamental considerar la posibilidad de utilizar una fuente de energía renovable, como el bio-combustible, en el futuro. De esta manera, se puede reducir la dependencia del Gas Natural y, al mismo tiempo, promover prácticas más sostenibles y responsables en la empresa. Es importante que la empresa evalúe cuidadosamente esta opción y adopte medidas para reducir su impacto ambiental en el futuro.

- **Consumo de Agua:**

En este caso, no se necesita tomar una acción inmediata, ya que el recurso en cuestión no tiene una alternativa viable de reemplazo. Sin embargo, es esencial que se convierta en un indicador fundamental para la organización y se monitoree constantemente. Esto se debe a que somos conscientes de la importancia crucial de consumir agua de forma responsable en todo el planeta. En consecuencia, la organización debe tomar medidas para reducir el consumo de agua, tales como corregir las fugas, reciclar y reutilizar el agua y educar a los empleados sobre la importancia de conservar este recurso vital.

4.3 Aspectos Ambientales Indirectos

Los aspectos ambientales indirectos son aquellos que se generan como consecuencia del desarrollo de las actividades productos y/o servicios que pueden generar impactos medioambientales y sobre los que la organización no tiene pleno control de su gestión.

La siguiente tabla agrupa estos aspectos.[10]

Tabla 35. Aspectos ambientales indirectos. Elaboración propia.

Tipos de Aspectos Ambientales Indirectos	
1	Residuos urbanos
2	Residuos peligrosos/no peligrosos
3	Vertidos
4	Emisiones atmosféricas de su proceso
5	Emisiones atmosféricas de vehículos o maquinaria
6	Ruidos
7	Contaminación por derrames accidentales
8	Consumos de agua
9	Consumo de energía
10	Consumo de combustibles

Propuestas para su control

Para la evaluación de los aspectos indirectos se recopilará la información necesaria de la situación medioambiental de proveedores y contratistas que deseen trabajar en la organización a través de un sistema de evaluación de proveedores. Esta información permitirá evaluar la gestión medioambiental general de estas empresas y, de forma individual, la gestión, el seguimiento y el control realizado por éstas sobre los aspectos medioambientales agrupados según la tabla anterior. [10]

Los criterios de evaluación se reflejan en las dos tablas siguientes

Tabla 36. Criterios de evaluación para aspectos ambientales indirectos. Elaboración propia.

Aspecto Ambiental	Control / Gestión realizada		
	Valor 0	Valor 1	Valor 2
Emisiones - Vertidos - Residuos - Consumos	Criterios operacionales más exigentes que requisitos legales	Existe legislación asociada y se controla su cumplimiento	No dispone de información de gestión

Claro está que las empresas que obtengan un mayor puntaje demuestran su falta de gestión ambiental y por lo tanto tendrán menos posibilidades de trabajar con la organización. Además, servirá de información de entrada para el establecimiento de riesgos y oportunidades relacionados con el sistema de gestión ambiental.

4.4 Sistema de Gestión Ambiental

A continuación, se propone el siguiente sistema de gestión Ambiental, estructurado como se muestra en la siguiente ilustración, enfocándonos en las mejoras medioambientales.

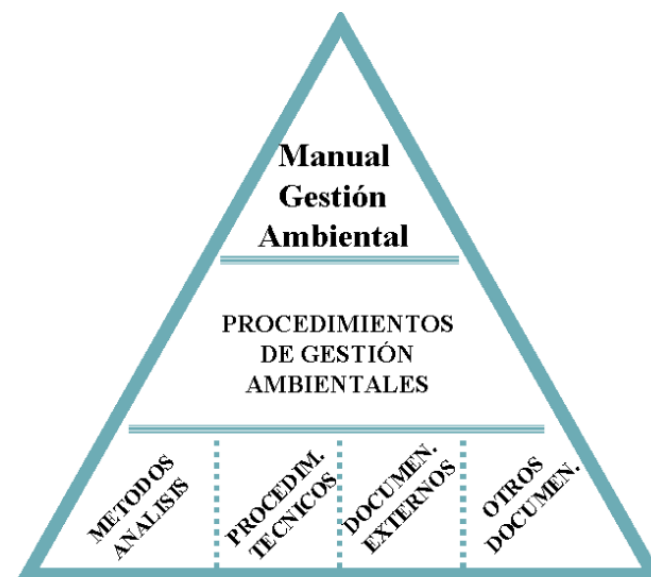


Ilustración 52. Estructura del sistema de gestión ambiental. Elaboración propia

El papel que desarrolla el departamento de Medio Ambiente es el de tener un seguimiento nacional y local de los siguientes puntos:

- Regulación y cumplimiento legal.
- Identificación y evaluación de riesgos y su control.
- Reducción de la Huella Medioambiental.

4.5 Conclusión

Desarrollado este capítulo queda claro la importancia que se le da en este proyecto al impacto ambiental, implementando una medida de control, mitigación, erradicación o eliminación a cada una de las etapas de nuestro proceso productivo con potencialidad de causar un impacto negativo en el medio ambiente, como así también cuidando de los recursos no renovables utilizados como materia prima. Por otro lado, también queda demostrado que nuestro sistema de gestión ambiental no solo abarca a la planta, sino a nuestro proceso de elección de proveedores, el cual va de la mano con el cuidado y la preservación ambiental.

Capítulo 5: Estudio Legal y Organizacional

5.1 Introducción

En este capítulo, se llevará a cabo un análisis legal y organizacional en relación con la producción de carbonato de sodio. En primer lugar, se analizarán los permisos necesarios para llevar a cabo la actividad de producción, teniendo en cuenta las regulaciones y leyes aplicables en la zona de operación.

Posteriormente, se abordará el estudio organizacional, el cual tiene como objetivo establecer la estructura organizativa más adecuada para la empresa. En este sentido, se identificarán los niveles de responsabilidad y jerarquía necesarios para el correcto funcionamiento de la organización. Asimismo, se definirán de manera general, las funciones y responsabilidades de cada uno de los miembros del equipo de trabajo.

Es importante destacar que este análisis legal y organizacional permitirá garantizar el cumplimiento de las normas y regulaciones en relación con la producción de carbonato de sodio, así como establecer una estructura organizativa eficiente y eficaz para la empresa. De esta forma, se podrá garantizar una producción de alta calidad, cumpliendo con las normativas exigidas y satisfaciendo las necesidades de los clientes.

5.2 Análisis Legal

En Argentina, la producción de carbonato de sodio está regulada por diversas normativas, entre las que se destacan las siguientes:

Ley Nacional de Residuos Peligrosos N° 24.051:

Esta ley establece las condiciones y requisitos para el manejo, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos peligrosos. Se aplica a cualquier empresa que genere residuos peligrosos en Argentina, incluyendo nuestra planta.

Para cumplir con la ley, se debe seguir los requisitos específicos establecidos en la legislación para la gestión de residuos peligrosos. Esto incluye la identificación de los residuos peligrosos generados en la planta, la separación y almacenamiento adecuado de los mismos, y la disposición final adecuada de los residuos. Además, la planta debe contar con un Plan de Gestión de Residuos Peligrosos que establezca las medidas preventivas y correctivas necesarias para minimizar la generación de residuos peligrosos y garantizar su correcta gestión. Este plan debe ser actualizado y revisado regularmente para asegurar que se adapta a las necesidades cambiantes de la empresa.

La Ley también establece la responsabilidad de los productores y generadores de residuos peligrosos para financiar la gestión y disposición final de los mismos, es por esto que la Nitrium como empresa debe garantizar que cuenta con los recursos financieros necesarios para cumplir con estos requisitos.

Ley Nacional de Medio Ambiente N° 25.675:

La Ley Nacional Argentina de Medio Ambiente N° 25.675 se aplica a todas las actividades que puedan tener un impacto significativo en el medio ambiente en Argentina, incluyendo una planta como la nuestra. La ley establece que es necesario tomar medidas para proteger el medio ambiente y prevenir la contaminación, a fin de asegurar un ambiente sano y equilibrado para las presentes y futuras generaciones.

Además, la Ley Nacional Argentina de Medio Ambiente establece la necesidad de contar con un sistema de gestión ambiental, **el cual se detalla en el capítulo de estudio Ambiental**. Este sistema debe ser diseñado para garantizar la protección del medio ambiente y la prevención de la contaminación, y debe ser implementado y mantenido por la planta de producción de carbonato de sodio.

Resolución N° 37/2010 del Ministerio de Industria:

La Resolución Argentina N° 37/2010 del Ministerio de Industria establece los requisitos para la certificación de productos y la evaluación de la conformidad en la Argentina. Esta resolución es aplicable a todos los productos que se comercializan en el país, incluyendo el nuestro.

Para cumplir con la resolución, la empresa debe someter sus productos a una evaluación de la conformidad antes de ser comercializados. Esto implica la realización de ensayos y pruebas en laboratorios acreditados para verificar que el producto cumple con las normas y

regulaciones aplicables, así como la implementación de un sistema de gestión de calidad para garantizar la consistencia y confiabilidad del producto.

La resolución también establece que los productos que cumplen con los requisitos de evaluación de la conformidad pueden ser certificados y etiquetados con una marca de conformidad. Esto puede ser importante para la comercialización del producto, ya que la marca de conformidad indica a los compradores que el producto cumple con las normas y regulaciones aplicables y que ha sido sometido a una evaluación rigurosa.

Ley de Fomento Minero (N° 24.196):

Esta ley establece el marco regulatorio para la exploración y explotación de recursos minerales en Argentina. La producción de carbonato de sodio se realiza a través del proceso Solvay, que utiliza sal y carbonato de calcio como insumos, los cuales son extraídos de yacimientos mineros. A continuación, se describen algunas de las posibles implicaciones de esta ley para nuestra planta:

- **Permisos y autorizaciones:** En el caso de la producción de carbonato de sodio, se requieran permisos y autorizaciones para la explotación de las materias primas necesarias, como la salmuera o la trona, así como para la construcción y operación de la planta.
- **Régimen de promoción minera:** La ley establece un régimen de promoción minera que contempla incentivos fiscales y financieros para las empresas que inviertan en proyectos mineros en Argentina. Estos incentivos podrían aplicar para una planta de producción de carbonato de sodio, siempre y cuando el proyecto cumpla con los requisitos establecidos en la ley.

Ley de Etiquetado de Sustancias Químicas (N° 26.743):

La Ley argentina de Etiquetado de Sustancias Químicas (N° 26.743) establece un marco legal para la identificación y comunicación de los riesgos asociados al uso de sustancias químicas, con el objetivo de proteger la salud humana y el medio ambiente. En el caso de la producción de carbonato de sodio, la ley aplica de las siguientes maneras:

- **Identificación de sustancias químicas:** La ley establece que toda sustancia química producida, importada o comercializada en Argentina debe ser identificada con su nombre, número CAS (Chemical Abstracts Service) y número UN (United Nations).
- **Comunicación de riesgos:** La ley establece que los fabricantes, importadores y distribuidores de sustancias químicas deben comunicar los riesgos asociados al uso de estas sustancias, mediante la emisión de una hoja de datos de seguridad (HDS) o SDS (Safety Data Sheet), la misma se encuentra en el **Anexo X**
- **Registro de sustancias químicas:** La ley establece que todas las sustancias químicas producidas, importadas o comercializadas en Argentina deben ser registradas en el Registro Nacional de Sustancias Químicas (Renaciq).

Proveedores de la Industria Minera:

En Argentina, existen diferentes normativas que buscan fomentar la participación de proveedores locales en las actividades mineras, especialmente en lo que respecta a la adquisición de bienes y servicios por parte de las empresas mineras. Algunas de estas normativas son las siguientes:

- **Ley Nacional N° 24.196 de Fomento Minero:**

Esta ley establece incentivos fiscales para el desarrollo de la minería, y dentro de sus disposiciones se establece que las empresas mineras deben dar preferencia a la contratación de bienes y servicios de proveedores nacionales

- **Ley Nacional N° 25.827 de Promoción de la Industria Nacional de Bienes y Servicios para la Minería:**

Esta ley establece medidas para fomentar la participación de proveedores locales en las actividades mineras, a través de la promoción de la investigación, el desarrollo y la innovación en el sector.

Además, la Secretaría de Minería de la Nación ha establecido un programa llamado "Minería y Desarrollo de Proveedores", resolución 96/2020, para promover la participación de proveedores locales en proyectos mineros.

5.2.1 Permisos

Para la producción de carbonato de sodio en Salta, Argentina, es probable que necesites obtener los siguientes permisos ambientales:

Declaración de Impacto Ambiental (DIA): Es el permiso ambiental básico que se requiere para iniciar cualquier proyecto que pueda generar impactos ambientales significativos. La DIA debe presentarse ante la autoridad ambiental provincial correspondiente (en el caso de Salta, la Secretaría de Ambiente de la Provincia de Salta) y debe incluir información detallada sobre el proyecto, sus impactos ambientales y las medidas de mitigación correspondientes.

Permiso de Emisiones Gaseosas: Permiso emitido por la autoridad ambiental provincial y establece los límites de emisión y los requisitos para monitorear y controlar las emisiones.

Permiso de Vertidos Líquidos: Permiso emitido por la autoridad ambiental provincial y establece los límites de vertido y los requisitos para monitorear y controlar los vertidos.

Es importante destacar que la obtención de permisos ambientales puede ser un proceso complejo y requiere la presentación de información detallada sobre el proyecto y sus impactos ambientales.

Además de los permisos ambientales que se mencionó anteriormente, se necesitan los siguientes:

- **Permiso de Uso de Suelo:** Permiso emitido por la autoridad municipal y establece los requisitos para el uso de terrenos en una determinada área.
- **Autorización Sanitaria:** Autorización emitida por el Ministerio de Salud y establece los requisitos sanitarios para la producción de productos químicos.
- **Permiso de Construcción:** Permiso es emitido por la autoridad municipal y establece los requisitos para la construcción y la seguridad de las instalaciones

5.3 Estudio Organizacional

5.3.1 Introducción:

A los fines de que el proyecto cumpla con las competencias administrativas y este a la altura de la capacidad operativa de la organización, para lograr un correcto desempeño y desarrollo de las actividades, se definió claramente los niveles de decisión y responsabilidades como así también las funciones específicas que deberán cumplir los miembros de la empresa.

5.3.2 Niveles de responsabilidades y jerarquía

Los niveles de responsabilidad y jerarquía se encuentran expresados en la siguiente ilustración.



Ilustración 53. Nivel jerárquico del proyecto

5.3.3 Funciones

Gerencia:

- Planeación de las actividades que se desarrollen dentro de la empresa.
- Organizar los recursos de la entidad.
- Definir a donde se va a dirigir la empresa en un corto, medio y largo plazo.
- Fijación de una serie de objetivos que marcan el rumbo y el trabajo de la organización.
- Crear una estructura organizacional en función de la competencia, del mercado, de los agentes externo para ser más competitivos y ganar más cuota de mercado.
- Estudiar los diferentes asuntos financieros, administrativos, de marketing, productivos, entre otros.

- Liderar y unificar los equipos de trabajo y contagiar responsabilidad y participación.
- Transmitir los valores de la empresa, visión, misión, y objetivos. Inculcar cultura organizacional.
- Coordinar y administrar los recursos de la organización.

Jefatura:

- Elaborar KPI's del área.
- Planificar y organizar el trabajo y los recursos de su área, establecer objetivos y plazos claros y asegurarse de que se cumplan.
- Administrar el presupuesto asignado a su área, controlando los costos y asegurando que se utilicen los recursos de manera efectiva.
- Comunicarse de manera clara y efectiva con los miembros de su equipo y otros departamentos para garantizar la cooperación y coordinación necesarias para el éxito del proyecto.
- Trabajar con su equipo para desarrollar habilidades y capacidades, identificar áreas de mejora y ofrecer oportunidades de formación y desarrollo.
- Tomar decisiones importantes para su área en colaboración con otros líderes de la organización, y garantizar que se implementen de manera efectiva.
- Ser capaz de identificar problemas y buscar soluciones creativas y efectivas para garantizar la eficiencia de su área.
- Evaluar regularmente el desempeño de su equipo, proporcionando retroalimentación constructiva y estableciendo objetivos claros para el desarrollo continuo del equipo.

Supervisión:

- Supervisar y dirigir al personal que trabaja en su área, asegurándose de que se cumplan las normas y políticas de la organización.
- Hacer un seguimiento de los indicadores clave de rendimiento de su área, para identificar oportunidades de mejora y tomar acciones correctivas si es necesario.
- Motivar y liderar a su equipo, fomentando un ambiente de trabajo positivo y productivo y estableciendo una cultura de alta calidad y excelencia.

5.3.4 Organigrama

El organigrama nos permite visualizar de mejor manera los niveles jerárquicos de la organización y la relación con los distintos departamentos y jefaturas. La función de recursos humanos será realizada por la gerencia genera

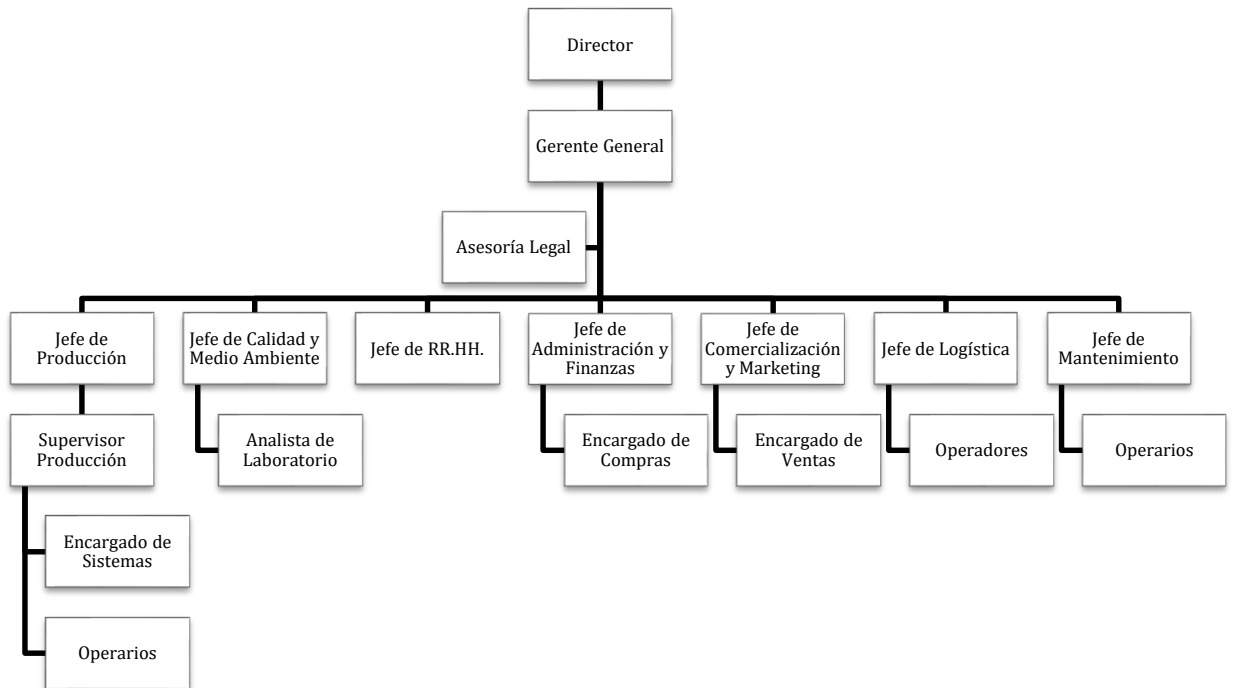


Ilustración 54. Organigrama del proyecto. Elaboración propia.

A continuación, se detalla la cantidad de personas involucradas en la organización, diferenciados por sector, área y categoría gremial.

Tabla 37. Detalle del personal con Categoría A. Elaboración propia.

CATEGORÍA A		
Equipo Sector		Cantidad
Torre Solvay		6
Columna Absorción		6
Alto Horno		3
Filtro		3
Secador		3
Hidratador		3
Sala de Maquinas		6
Destilador		3
Separador - Cristalizador		3
Empaquetado Denso		3
Operario Efluente		2
Analista de laboratorio		3
Empaquetado Ligero		3
Encargado de Ventas		2
Encargado de Compras		2
Total		51

Tabla 38. Detalle del personal con categoría B. Elaboración propia

CATEGORÍA B	
Equipo Sector	Cantidad
Guardia	3
Total	3

Tabla 39. Detalle del personal fuera de convenio y resumen. Elaboración propia

PERSONAL FUERA CONVENIO	
Equipo Sector	Cantidad
Supervisor Producción	3
Supervisor Mantenimiento	2
Jefe Marketing	1
Jefe Producción	1
Jefe RRHH	1
Jefe Mantenimiento	1
Jefe Calidad	1
Jefe HyS	1
Jefe Ventas	1
Gerente General	1
Total	13

Categoría	Cantidad
A	51
B	3
FUERA DE CONVENIO	13
Total	67

5.4 Conclusión.

El análisis de este capítulo nos deja en claro que el proyecto cuenta con un apoyo normativo en el sentido que la ley, en la resolución 96/2020, permite la identificación oportunidades de negocio para proveedores locales, el fomento de asociaciones entre proveedores y empresas mineras, mejorar la calidad de los productos y servicios de los proveedores locales, y fortalecer la cadena de valor local. En resumen, existen políticas a nivel nacional que buscan promover la participación de proveedores locales en proyectos de inversión, incluyendo la industria minera.

En cuanto al estudio organizacional queda definido, no solo la estructura que tendrá la misma sino también la cantidad de personal necesario, el convenio al que pertenecen y las funciones principales para un funcionamiento eficiente.

Capítulo 6: Estudio Económico Financiero

6.1 Introducción

El éxito de cualquier proyecto depende de muchos factores, pero uno de los más importantes es la planificación financiera. En este sentido, el estudio financiero es una herramienta vital para determinar la viabilidad de un proyecto y su capacidad para generar ganancias a largo plazo. Es por esto que este capítulo se enfoca en el análisis de los ingresos, las inversiones previas a la puesta en marcha, el flujo de fondos, la viabilidad y el análisis de sensibilidad. En primer lugar, se analizan los ingresos que se pueden generar a través de la venta del producto, y se comparan con los costos de producción y otros gastos para determinar la rentabilidad del proyecto. A continuación, se realiza un análisis del flujo de fondos, que muestra la entrada y salida de dinero a lo largo de 10 años, y se utilizará para determinar la capacidad de la empresa para pagar sus obligaciones financieras y para generar ganancias a largo plazo.

Para evaluar la viabilidad del proyecto, se recurrió a dos indicadores clave: el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), estos permiten medir la rentabilidad y la capacidad de generar ganancias del proyecto. Finalmente, se realiza un análisis de sensibilidad que permite evaluar cómo varía la rentabilidad del proyecto en función de cambios en los precios, costos y otros factores.

En resumen, el estudio financiero es esencial para determinar la viabilidad y rentabilidad de un proyecto de producción de carbonato de sodio, y proporciona información clave para la toma de decisiones financieras y empresariales.

6.2 Ingresos

Antes de comenzar con el análisis de los costos en los que el proyecto, nos parece apropiado para contextualizar los mismos tener un panorama de cuáles serán los ingresos que el proyecto prevé tener en base a la demanda y a su capacidad productiva. Respetando el precio y la demanda proyectada en el análisis de mercado, los ingresos de la planta a diez años serán:

Tabla 40. Proyección de ingresos – valores expresados en USD

CONCEPTO	PERIODOS				
	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Unidades Vendidas [Tn]	29.350	32.285	35.514	37.999	40.659
Precio de Venta [USD/BigBag]	\$ 350	\$ 350	\$ 350	\$ 350	\$ 350
TOTALES	\$ 10.272.500	\$ 11.299.750	\$ 12.429.725	\$ 13.299.806	\$ 14.230.792

CONCEPTO	PERIODOS				
	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Unidades Vendidas [Tn]	43.506	45.681	47.965	50.363	52.881
Precio de Venta [USD/BigBag]	\$ 350	\$ 350	\$ 350	\$ 350	\$ 350
TOTALES	\$ 15.226.948	\$ 15.988.295	\$ 16.787.710	\$ 17.627.095	\$ 18.508.450

6.3 Inversiones previas a la puesta en marcha

Para que el análisis económico financiero sea ordenado y entendible, decidimos desarrollar primeramente las inversiones efectuadas de manera previa a la puesta en marcha del proyecto, las cuales se agrupan en: activos fijos, activos intangibles y capital de trabajo.

6.3.1 Activos fijos o tangibles

Dentro de los activos fijos o tangibles vamos a discriminar los costos asociados a: inmuebles (terreno, oficinas, etc), maquinaria, muebles y herramientas y seguridad.

Inmuebles

Considerando la demanda a satisfacer, el tamaño de la maquinaria necesaria para el proceso productivo y la localización que tendrá nuestro proyecto, en la tabla 15 se puede observar la valorización del terreno y de las obras civiles que se realizarán para poner en marcha el proyecto. Es importante aclarar que nuestro proceso productivo se realiza al aire libre dada la naturaleza y las dimensiones de la maquinaria y de los equipos utilizados, por lo tanto, solo se consideran las oficinas del personal administrativo en lo que respecta a obras civiles.

Tabla 41. Obras – valores expresados en USD

Ítem	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Total	Vida Útil	Amortización Anual	Valor Residual 10 años
Terreno	m2	30000	\$ 125,00	\$ 3.750.000,00	-	-	-
Oficinas	m2	1500	\$ 742,96	\$ 1.114.435,72	50	\$ 22.288,71	\$ 891.548,58
Alambrado	metro lineal	10000	\$ 19,35	\$ 193.470,37	20	\$ 9.673,52	\$ 96.735,19
TOTAL				\$ 5.057.906,09	70	\$ 31.962,23	\$ 988.283,76

Los valores tomados para valorizar el terrero y las obras fueron extraídos de la página del Consejo Profesional de Agrimensores, Ingenieros y Profesiones Afines (COPAIPA) considerando el costo de la construcción por m² al mes de diciembre de 2022.

Maquinaria

En este apartado, se listarán las maquinas necesarias para el proyecto con su respectivo precio actualizados a diciembre de 2022 así como también sus consumos y potencias que nos servirán para poder estimar, más adelante, el consumo energético y de agua que tendrá nuestra planta.

Tabla 42. Listado de maquinaria necesaria para el proyecto – valores expresados en USD

Item	Cantidad	Costo Unitario	Flete + Impuestos	Total
Tanque salmuera	1	\$ 2.500,00	\$ 1.250,00	\$ 3.750,00
Tanque lechada de cal	1	\$ 1.000,00	\$ 500,00	\$ 1.500,00
Tanque agregado Na ₂ CO ₃	1	\$ 800,00	\$ 400,00	\$ 1.200,00
Tanque de mezcla	1	\$ 10.000,00	\$ 5.000,00	\$ 15.000,00
Tanque de floculación	1	\$ 3.000,00	\$ 1.500,00	\$ 4.500,00
Transporte tornillo	2	\$ 10.000,00	\$ 5.000,00	\$ 25.000,00
Bomba tanque salmuera	1	\$ 5.000,00	\$ 2.500,00	\$ 7.500,00
Bomba tanque lechada	1	\$ 5.000,00	\$ 2.500,00	\$ 7.500,00
Bomba tanque mezcla	1	\$ 5.000,00	\$ 2.500,00	\$ 7.500,00
Bomba tanque floculación	1	\$ 5.000,00	\$ 2.500,00	\$ 7.500,00
Bomba torre Solvay	1	\$ 5.000,00	\$ 2.500,00	\$ 7.500,00
Bomba entrada filtro	1	\$ 5.000,00	\$ 2.500,00	\$ 7.500,00
Bomba salida hidratador	1	\$ 5.000,00	\$ 2.500,00	\$ 7.500,00
Compresor 1	1	\$ 30.000,00	\$ 15.000,00	\$ 45.000,00
Compresor 2	1	\$ 30.000,00	\$ 15.000,00	\$ 45.000,00
Caldera humo tubular	4	\$ 30.000,00	\$ 15.000,00	\$ 135.000,00
Secador etapa 6	1	\$ 40.000,00	\$ 20.000,00	\$ 60.000,00
Secador etapa 8	1	\$ 20.000,00	\$ 10.000,00	\$ 30.000,00
Alto horno	1	\$ 1.000.000,00	\$ 500.000,00	\$ 1.500.000,00
Columna absorción	5	\$ 10.000,00	\$ 5.000,00	\$ 55.000,00
Torre Solvay	5	\$ 10.000,00	\$ 5.000,00	\$ 55.000,00
Columna destilación	1	\$ 30.000,00	\$ 15.000,00	\$ 45.000,00
Cristalizador	1	\$ 30.000,00	\$ 15.000,00	\$ 45.000,00
Hidratador	1	\$ 200.000,00	\$ 100.000,00	\$ 300.000,00
Equipos de laboratorio	1	\$ 10.000,00	\$ 5.000,00	\$ 15.000,00
Cañerías	-	\$ 746.150,00	-	\$ 746.150,00
TOTAL	37	\$ 2.248.450,00	\$ 751.150,00	3.179.600,00

Cabe destacar que los precios son tomados en base a lo cotizado por el mercado chino. A partir de entrevistas y reuniones con personal que actualmente trabaja en la industria del litio, nos recomendaron aumentar un 50% el costo de cada máquina para hacer frente al flete y a los impuestos y tener así una estructura de costos más acorde a la situación que se vive en el país. Por otro lado, consideramos la alternativa de adquirir estos productos de manera nacional y los valores de los mismos no difieren en gran cantidad con respecto a los valores que se manejan en este estudio, por lo tanto, decidimos utilizar los valores que se muestran en la tabla anterior para realizar nuestro estudio económico y financiero.

Tabla 43. Consumos y potencias de los equipos

Ítem	CONSUMOS POTENCIAS		
	EE [KW]	H2O [m3/h]	Gas [m3/h]
Tanque salmuera	-	29,00	-
Tanque lechada de cal	-	-	-
Tanque agregado Na ₂ CO ₃	-	-	-
Tanque de mezcla	25,00	-	-
Tanque de floculación	25,00	-	-
Transporte tornillo	6,00	-	-
Bomba tanque salmuera	10,00	-	-
Bomba tanque lechada	10,00	-	-
Bomba tanque mezcla	10,00	-	-
Bomba tanque floculación	10,00	-	-
Bomba torre Solvay	10,00	-	-
Bomba entrada filtro	10,00	-	-
Bomba salida hidratador	10,00	-	-
Compresor 1	114,00	-	-
Compresor 2	114,00	-	-
Caldera humo tubular	-	-	5810,00
Secador etapa 6	90,00	-	-
Secador etapa 8	45,00	-	-
Alto horno	-	-	-
Columna absorción	-	-	-
Torre Solvay	-	-	-
Columna destilación	-	-	-
Cristalizador	-	-	-
Hidratador	-	50	-
Cañerías	-	-	-
TOTAL	489,00	79,00	5.810,00

Esta tabla nos permitirá, más adelante, realizar el cálculo de los costos en servicios auxiliares.

Mobiliaria y equipamiento

A continuación, en la tabla 33, estimamos de manera general los costos asociados al amoblamiento y equipamiento del sector administrativo considerando la cantidad de empleados que trabajará en dicho sector y que se detallarán en los puntos posteriores de este capítulo.

MOBILIARIO Y EQUIPAMIENTO				
Ítem	Cantidad	Precio unitario (\$)		Precio total (USD)
Estanterías depósito	20	\$	12.000,00	\$ 1.160,82
Mesas comedor	10	\$	15.000,00	\$ 725,51
Escritorio + silla	25	\$	27.000,00	\$ 3.264,81
PC	30	\$	150.000,00	\$ 21.765,42
Aire acondicionado	6	\$	90.000,00	\$ 2.611,85
Heladera	2	\$	100.000,00	\$ 967,35
Microondas	4	\$	25.000,00	\$ 483,68
Impresora Multifunción	6	\$	60.000,00	\$ 1.741,23
TV 50"	2	\$	139.000,00	\$ 1.344,62
Monitores	30	\$	30.000,00	\$ 4.353,08
TOTAL	135	\$	648.000,00	\$ 38.418,38

Herramientas y elementos de seguridad

Por último, en la tabla 34 se calcula el costo de los EPP, herramientas y elementos de seguridad necesarios para los empleados de la planta y para el sector administrativo en general.

Tabla 45. Elementos de seguridad

ELEMENTOS DE SEGURIDAD						
Concepto	Cantidad	Precio Unitario (ARS)		Precio Unitario (USD)		Precio Total (USD)
Herramientas Taller	1	\$	27.767.972,25	\$	134.307,00	\$ 134.307,00
Repuestos	1	\$	55.535.944,50	\$	268.614,00	\$ 268.614,00
Matafuegos	10	\$	15.000,00	\$	72,55	\$ 725,51
Gabinete	10	\$	5.000,00	\$	24,18	\$ 241,84
Kit Cartelería Emergencia	100	\$	1.000,00	\$	4,84	\$ 483,68
Iluminación emergencia	150	\$	3.000,00	\$	14,51	\$ 2.176,54
Guantes	62	\$	500,00	\$	2,42	\$ 149,94
Botines	62	\$	13.000,00	\$	62,88	\$ 3.898,43
Protectores Auditivos	62	\$	200,00	\$	0,97	\$ 59,98
Cascos	62	\$	1.500,00	\$	7,26	\$ 449,82
Ropa de Trabajo Grafa	62	\$	20.000,00	\$	96,74	\$ 5.997,58
Chaleco Reflectivo	62	\$	600,00	\$	2,90	\$ 179,93
TOTAL	644	\$	83.363.716,75	\$	403.210,24	\$ 417.284,24

Para tener de manera organizada los valores anteriores, hemos resumido los costos relacionados a activos tangibles en la tabla que se presenta a continuación.

Tabla 46. Resumen activos tangibles – valores expresados en USD

ACTIVOS TANGIBLES		
Maquinaria	\$	3.179.600,00
Mobiliario	\$	38.418,38
Herramientas y Seguridad	\$	351.630,74
Rodados	\$	976.000,00
Terreno y Oficinas	\$	5.057.906,09
TOTAL	\$	9.603.555,21

6.3.2 Activos intangibles

En cuanto a los activos intangibles hemos considerado las capacitaciones, el capital necesario para la puesta en marcha (correspondientes a un 10% de los ingresos estimados para el primer año del proyecto) y otros gastos imprevistos que puedan llegar a presentarse.

Tabla 47. Resumen activos intangibles – valores expresados en USD

ACTIVOS INTANGIBLES		
Capitaciones	\$	14.510,28
Puesta en Marcha	\$	1.527.000,00
Otros	\$	7.255,14
TOTAL	\$	1.548.765,42

6.3.3 Inversión fija total

En la tabla siguiente podemos observar un resumen de los costos asociados a los activos tangibles e intangibles que desarrollamos en los puntos anteriores de este capítulo. Además, consideramos un monto adicional para gastos imprevistos de puesta en marcha que representan un 10% de la inversión fija.

Tabla 48. Inversión fija total – valores expresados en USD

INVERSION FIJA TOTAL		
Activos Tangibles	\$	9.603.555,21
Activos Intangibles	\$	1.548.765,42
SUBTOTAL	\$	11.152.320,63
Imprevistos (10%)	\$	1.115.232,06
TOTAL	\$	12.267.552,69

6.3.4 Capital de trabajo

La inversión en capital de trabajo constituye el conjunto de recursos necesarios, en la forma de activos corrientes, para la operación normal del proyecto durante un ciclo productivo⁴ para una capacidad y tamaño determinados [11]. Para el cálculo del capital de trabajo hemos considerado la materia prima, mano de obra directa, servicios (luz, agua, gas y wifi) y otros costos que se desarrollarán a continuación utilizando el método del período de desfase.

Costos directos de fabricación

Los costos directos están compuestos por los materiales directos y la mano de obra directa, que debe incluir las remuneraciones, la previsión social, las indemnizaciones, gratificaciones y otros desembolsos relacionados con un salario o sueldo [11].

Materia prima

Como hemos visto anteriormente en el estudio técnico contamos con tres materias primas esenciales: sal, coque y piedra caliza. En las tablas siguientes podremos ver la proyección de necesidades de materia prima para los años de desarrollo del proyecto, en donde se cuantifica el valor de cada una a lo largo del tiempo.

Tabla 49. Proyección de necesidades de materia prima.

Año	Na₂CO₃ [Tn]	NaCl [MTn]	Piedra Caliza [MTn]	Coque [Tn]
2022	25,5	28,1	28,0	3,6
2023	29,4	32,4	32,3	4,2
2024	32,3	35,6	35,5	4,6
2025	35,5	39,2	39,1	5,1
2026	38,0	42,0	41,8	5,4
2027	40,7	44,9	44,7	5,8
2028	43,5	48,0	47,9	6,2
2029	45,7	50,4	50,2	6,5
2030	48,0	53,0	52,8	6,8
2031	50,4	55,6	55,4	7,2
2032	52,9	58,4	58,2	7,5
2033	55,5	61,3	61,1	7,9
TOTALES	497	549	547	71

⁴ Se denomina ciclo productivo al proceso que se inicia con el primer desembolso para cancelar los insumos de la operación y termina cuando se venden los insumos, transformados en productos terminados, y se percibe el producto de la venta y queda disponible para cancelar nuevos insumos.

En la tabla anterior se pueden observar los aumentos en necesidad de materia prima a medida que transcurren los periodos del proyecto dado el crecimiento de la capacidad productiva que la empresa espera tener. A partir de estas cantidades podemos valorizar los costos asociados a materia prima que el proyecto va a tener que afrontar:

Tabla 50. Costos totales anuales en materia prima – valores expresados en USD

Año	Costo Total Anual Sal	Costo Total Anual Coque	Costo Total Anual Piedra Caliza
2022	\$ 1.573.420,80	\$ 524.973,86	\$ 1.399.750,00
2023	\$ 1.814.534,40	\$ 605.421,72	\$ 1.614.250,00
2024	\$ 1.995.987,84	\$ 665.963,90	\$ 1.775.675,00
2025	\$ 2.195.586,62	\$ 732.560,29	\$ 1.953.242,50
2026	\$ 2.349.277,69	\$ 783.839,51	\$ 2.089.969,48
2027	\$ 2.513.727,13	\$ 838.708,27	\$ 2.236.267,34
2028	\$ 2.689.688,02	\$ 897.417,85	\$ 2.392.806,05
2029	\$ 2.824.172,43	\$ 942.288,74	\$ 2.512.446,35
2030	\$ 2.965.381,05	\$ 989.403,18	\$ 2.638.068,67
2031	\$ 3.113.650,10	\$ 1.038.873,34	\$ 2.769.972,11
2032	\$ 3.269.332,60	\$ 1.090.817,01	\$ 2.908.470,71
2033	\$ 3.432.799,23	\$ 1.145.357,86	\$ 3.053.894,25
TOTALES	\$ 30.737.557,91	\$ 10.255.625,53	\$ 27.344.812,46

Insumos

El proceso productivo posee como principales insumos al empaque, realizado con bolsas “big bag” de 1000kg y al amoníaco, el cual se adquiere en tubos de 55kg y se inyectan al proceso. En la siguiente tabla podemos observar la valorización de los mismos.

Tabla 51. Costo de los insumos – valores expresados en USD

Item	Unidad	Costo unitario \$	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Amoniaco	Kg	\$ 1,00	\$ 74.722,21	\$ 3.736,11	\$ 3.736,11	\$ 3.736,11	\$ 3.736,11
Big Bag 1000 Kg	Un	\$ 3,50	\$ 102.725,00	\$ 110.950,00	\$ 111.475,00	\$ 139.891,01	\$ 158.382,88
TOTAL		\$ 4,50	\$ 177.447,21	\$ 114.686,11	\$ 115.211,11	\$ 143.627,12	\$ 162.118,99

Item	Unidad	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Amoniaco	Kg	\$ 3.736,11	\$ 3.736,11	\$ 3.736,11	\$ 3.736,11	\$ 3.736,11	\$ 3.736,11
Big Bag 1000 Kg	Un	\$ 158.382,88	\$ 178.210,06	\$ 199.372,57	\$ 221.870,39	\$ 245.703,54	\$ 270.872,00
TOTAL		\$ 162.118,99	\$ 181.946,17	\$ 203.108,68	\$ 225.606,50	\$ 249.439,65	\$ 274.608,11

Servicios

En este apartado analizaremos los consumos respecto a agua, luz y gas que posee la planta para poder así calcular los costos asociados a estos servicios. Para ello comenzaremos analizando el consumo de energía eléctrica del proyecto:

Electricidad

Tabla 52. Consumo eléctrico del sector productivo

CONSUMO ELECTRICO SECTOR PRODUCTIVO					
Equipo	Potencia [KW]	Funcionamiento [Hs/día]	Cantidad de Días	Consumo Mensual [KWh/mes]	Consumo Anual [KWh/año]
TANQUE DE MEZCLA	25	16	22	8800	105600
TANQUE DE FLOCULACION	25	16	22	8800	105600
TRANSP TORNILLO	6	16	22	2112	25344
BBA TK SALMUERA	10	16	22	3520	42240
BBA TK LECHADA	10	16	22	3520	42240
BBA TK MEZCLA	10	16	22	3520	42240
BBA TK FLOC	10	16	22	3520	42240
BBA COLUMN ABS - T. SOLVAY	10	16	22	3520	42240
BBA ENTRADA FILTRO	10	16	22	3520	42240
BBA SALIDA HIDRATADOR	10	16	22	3520	42240
COMPRESOR 1	114	16	22	40128	481536
COMPRESOR 2	114	16	22	40128	481536
SECADOR ETAPA 6	90	16	22	31680	380160
SECADOR ETAPA 8	45	16	22	15840	190080
TOTAL PRODUCCIÓN	489	224	308	172.128	2.065.536

Es importante mencionar que para que los cálculos sean ordenados y entendibles hemos dividido la planta en dos grandes sectores: sector productivo y sector administrativo. Entonces, considerando el consumo de cada equipo presentado en la tabla 41 y la cantidad de horas que se usará cada equipo en la tabla se ha calculado el consumo total anual que tendrá el sector productivo. A partir de ello, realizaremos el mismo procedimiento para obtener el consumo eléctrico del sector administrativo de la planta como se ve a continuación:

Tabla 53. Consumo eléctrico sector administrativo

CONSUMO ELECTRICO SECTOR ADMINISTRATIVO					
Equipo	Potencia [KW]	Funcionamiento [Hs/día]	Cantidad de Días	Consumo Mensual [KWh/mes]	Consumo Anual [KWh/año]
Pc escritorio	75	8	22	13200	158400
Aires acondicionados	10,92	4	22	960,96	11531,52
Heladeras	0,4	8	22	70,4	844,8
Microondas	3,2	2	22	140,8	1689,6
Impresoras	10	1	22	220	2640
Tv 50"	0,18	5	22	19,8	237,6
Monitores	0,66	8	22	116,16	1393,92
TOTAL ADMINISTRACIÓN	100	36	154	14.728	176.737

Teniendo los consumos de ambos sectores podemos calcular en la tabla siguiente cual será el consumo total estimado de la planta en el año para luego poder valorizar dicho consumo que se verá reflejado en la tabla 43 y 44.

Tabla 54. Resumen consumo eléctrico de la planta

CONSUMO ELECTRICO PLANTA	
SECTOR	CONSUMO ANUAL [KWh/Año]
PRODUCTIVO	2.065.536
ADMINISTRATIVO	176.737
CONSUMO ELECTRICO TOTAL	2.242.273

Tabla 55. Monetización del consumo eléctrico de la planta

COSTO ELÉCTRICO PLANTA EN GENERAL						
CONCEPTO	Costo Fijo [\$]	Potencia Utilizada [kW]	Costo Variable [\$/kWh]	Factor de simultaneidad	Costo Total anual [\$/año]	Costo Total anual [USD/año]
Energía Eléctrica	ZONA FRANCA	2.242.273,44	\$ 32,09	0,8	\$ 57.572.595	\$ 278.465

Estos costos fueron calculados en base al cuadro tarifario de EDESA para el año 2022, el cual se encuentra completo en el anexo. Es necesario recordar que la planta se encontrará emplazada en el parque industrial General Güemes el cual es una zona franca para la empresa proveedora de electricidad en la provincia, por lo tanto, con estos datos podemos calcular el costo asociado al consumo eléctrico en base a la fórmula que dicho cuadro tarifario ofrece.

De la misma manera que se ha calculado el costo eléctrico, se calculará el costo asociado al consumo de agua y de gas que tendrá la planta y que veremos a continuación:

Tabla 56. Consumo de agua sector productivo

CONSUMO AGUA SECTOR PRODUCTIVO					
Equipo	Consumo [m3/h]	Funcionamiento [Hs/día]	Cantidad de Días	Consumo Mensual [m3/mes]	Consumo Anual [m3/año]
TANQUE SALMUERA	30	8	22	5280	63360
HIDRATADOR	50	4	22	4400	52800
TOTAL PRODUCCIÓN	80	12	44	9.680	116.160

CONSUMO AGUA SECTOR ADMINISTRATIVO					
Equipo	Consumo [m3/h]	Funcionamiento [Hs/día]	Cantidad de Días	Consumo Mensual [m3/mes]	Consumo Anual [m3/año]
BAÑOS	1	8	22	176	2112
COCINA	2	8	22	352	4224
VESTUARIOS	1	8	22	176	2112
TOTAL ADMINISTRACION	4	24	66	704	8.448

Agua

Tabla 58. Consumo de agua sector productivo

CONSUMO AGUA SECTOR PRODUCTIVO					
Equipo	Consumo [m3/h]	Funcionamiento [Hs/día]	Cantidad de Días	Consumo Mensual [m3/mes]	Consumo Anual [m3/año]
TANQUE SALMUERA	30	8	22	5280	63360
HIDRATADOR	50	4	22	4400	52800
TOTAL PRODUCCIÓN	80	12	44	9.680	116.160

Tabla 59. Resumen consumo de agua de la planta

CONSUMO AGUA PLANTA	
SECTOR	CONSUMO ANUAL [m3/Año]
PRODUCTIVO	116.160
ADMINISTRATIVO	8.448
CONSUMO DE AGUA TOTAL	124.608

De la misma manera que se hizo con la electricidad, calculamos el servicio de agua en base al cuadro tarifario ofrecido por Aguas del Norte actualizado al mes de diciembre de 2022, el cual también se encuentra en el anexo correspondiente, tomando como referencia a la categoría F, un coeficiente de consumo de 2 y el cargo fijo establecido para este tipo de industria. A continuación, se ve reflejado el monto total anual que se pagará por este servicio.

Tabla 60. Monetización del consumo de agua de la planta – valores expresados en USD

COSTO AGUA PLANTA EN GENERAL						
CONCEPTO	Consumo [m3/mes]	Costo [\$/m3]	Coeficiente de consumo	Cargo Fijo [\$/mes]	Costo Total anual [\$/año]	Costo Total anual [USD/año]
Agua	10.384,00	\$ 51,13	2,00	\$ 51.103,23	\$ 13.355.653	\$ 64.598

Gas

Para finalizar en la tabla siguiente se estima el consumo de gas en base a los equipos que posee la planta para el sector productivo y para el sector administrativo en base

al cuadro tarifario proporcionado por Gasnor (adjunto en el anexo) actualizado a diciembre de 2022 tomando como referencia a la categoría P3.

Tabla 61. Consumo de gas del sector productivo

CONSUMO GAS SECTOR PRODUCTIVO					
Equipo	Consumo [m3/h]	Funcionamiento [Hs/día]	Cantidad de Días	Consumo Mensual [m3/mes]	Consumo Anual [m3/año]
CALDERA HUMOTUBULAR	3320	16	22	1168640	14023680
TOTAL PRODUCCIÓN	3.320	16	22	1.168.640	14.023.680

Tabla 62. Consumo de gas del sector administrativo

CONSUMO GAS SECTOR ADMINISTRATIVO					
Equipo	Consumo [m3/h]	Funcionamiento [Hs/día]	Cantidad de Días	Consumo Mensual [m3/mes]	Consumo Anual [m3/año]
COCINA	0,32	4	22	28,16	337,92
TERMOTANQUE 150L	1,72	3	22	113,52	1362,24
TOTAL ADMINISTRACION	2	7	44	142	1.700

Tabla 63. Resumen consumo de gas de la planta

CONSUMO GAS PLANTA	
SECTOR	CONSUMO ANUAL [m3/Año]
PRODUCTIVO	14.023.680
ADMINISTRATIVO	1.700
CONSUMO DE GAS TOTAL	14.025.380

Tabla 64. Monetización del consumo de gas en la planta – valores expresados en USD

COSTO GAS PLANTA EN GENERAL						
CONCEPTO	Costo Fijo [\$]	Cargo por m3 de Consumo [\$/m3]	Consumo planta [m3/mes]	Consumo planta [m3/año]	Costo Total anual [\$/año]	Costo Total anual [USD/año]
Gas	3.877,34	\$ 12,06	1.168.781,68	\$ 14.025.380,16	\$ 169.150.537	\$ 818.140

A modo de resumen, en la siguiente tabla se observan los costos asociados a los servicios de la planta:

Tabla 65. Resumen costos de servicios – valores expresados en USD

	S. PRODUCTIVO	S. ADMINISTRATIVO	TOTAL
ELECTRICIDAD	\$ 256.516	\$ 21.949	\$ 278.465
AGUA	\$ 57.454	\$ 7.145	\$ 64.598
GAS	\$ 817.816	\$ 324	\$ 818.140
TOTALES	\$ 1.131.786	\$ 29.417	\$ 1.161.203

6.2.3.1 Mano de obra

Los costos de mano de obra asociado a los salarios del personal se establecerán a partir de las categorías establecidas por el gremio, tal y como se detallan a continuación.

Tabla 66. Básicos para el personal operario a partir de marzo de 2023 – valores expresados en USD

B	A	A1	A2	A3
\$	\$	\$	\$	\$
504,39	546,40	591,93	641,25	694,66

Tabla 67. Básicos para el personal administrativo a partir de marzo de 2023 – valores expresados en USD

B	A	A1
\$	\$	\$
101.807,18	118.707,19	135.706,30

A partir de los básicos obtenidos del acuerdo salarial realizado el 2 de junio del año 2022 por la cámara de la industria química y petroquímica (FATIQYP), calculamos los sueldos anuales en base al sueldo básico establecido para marzo del año 2023. Para un mayor entendimiento hemos diferenciado al personal operario y administrativo según su categoría y área o equipo en el que desempeñen sus actividades.

Tabla 68. Sueldos anuales del personal categoría A – valores expresados en USD

CATEGORÍA A		
Equipo Sector	Cantidad	Sueldo Anual
Torre Solvay	6	\$ 49.473,32
Columna Absorción	6	\$ 49.473,32
Alto Horno	3	\$ 24.736,66
Filtro	3	\$ 24.736,66
Secador	3	\$ 24.736,66
Hidratador	3	\$ 24.736,66
Sala de Maquinas	6	\$ 49.473,32
Destilador	3	\$ 24.736,66
Separador - Cristalizador	3	\$ 24.736,66
Empaquetado Denso	3	\$ 24.736,66
Operario Efluente	2	\$ 16.491,11
Analista de laboratorio	3	\$ 24.736,66
Empaquetado Ligero	3	\$ 24.736,66
Encargado de Ventas	2	\$ 14.928,11
Encargado de Compras	2	\$ 14.928,11
Total	51	\$ 417.397,19

Tabla 69. Sueldos anuales del personal categoría B – valores expresados en USD

CATEGORÍA B			
Equipo Sector	Cantidad		Sueldo Anual
Guardia	3	\$	6.401,42
Total	3	\$	19.204,26

Tabla 70. Sueldos anuales del personal fuera de convenio – valores expresados en USD

PERSONAL FUERA CONVENIO			
Equipo Sector	Cantidad		Sueldo Anual
Supervisor Producción	3	\$	26.797,90
Supervisor Mantenimiento	2	\$	17.865,26
Jefe Marketing	1	\$	8.532,92
Jefe Producción	1	\$	36.400,00
Jefe RRHH	1	\$	36.400,00
Jefe Mantenimiento	1	\$	36.400,00
Jefe Calidad	1	\$	36.400,00
Jefe HyS	1	\$	36.400,00
Jefe Ventas	1	\$	36.400,00
Gerente General	1	\$	62.400,00
Total	13	\$	333.996,08

Tabla 71. Sueldos anuales totales – valores expresados en USD

Categoría	Sueldo Anual
A	\$ 417.397,19
B	\$ 19.204,26
FUERA DE CONVENIO	\$ 333.996,08
Total	\$ 770.597,53

Por lo tanto y para cerrar el apartado de costos de mano de obra, el personal dentro de convenio, correspondiente a la categoría A pertenece a la mano de obra directa, mientras que el resto del personal es considerado como mano de obra indirecta. De esta manera podemos calcular los costos directos e indirectos de fabricación (ver en anexo) para obtener así el costo de capital de trabajo.

Tabla 72. Capital de trabajo – valores expresados en USD

CAPITAL DEL TRABAJO		
Rubro		Periodo 1 Costo anual
Materia Prima	\$	3.209.301,45
Mano de Obra Directa	\$	417.397,19
Insumos	\$	177.447,21
Mantenimiento	\$	111.922,50
Energía Eléctrica	\$	278.464,79
Agua	\$	64.598,08
Gas	\$	818.140,44
Internet WI FI	\$	32,89
Combustible	\$	9.000,00
Artículos de limpieza	\$	5.000,00
Publicidad	\$	20.000,00
Materiales y útiles de oficina	\$	5.000,00
Seguros	\$	972,19
Capacitación	\$	100.000,00
Costo Total Anual	\$	5.217.776,74
		1° Etapa
Costo Total Anual	\$	5.217.776,74
Costo Diario	\$	14.419,59
Capital de Trabajo (2 meses, 60 días)	\$	857.716,72
CAPITAL DE TRABAJO	\$	857.716,72

Como habíamos comentado con anterioridad este capital de trabajo se calculó por el método del desfase, el cual consiste en determinar la cuantía de los costos de operación que debe financiarse desde el momento en que se efectúa el primer pago por la adquisición de la materia prima hasta el momento en que se recauda el ingreso por la venta de los productos, que se destinará a financiar el periodo de desfase siguiente [11].

6.4 Flujo de fondos

A través del desarrollo del flujo de caja estudiaremos el avance del proyecto durante su vida útil, en la cual se proyectan los ingresos por venta y los egresos por costos e inversiones, para medir la rentabilidad del proyecto con recursos propios.

La exigencia del rendimiento del proyecto se calculó en base a la siguiente ecuación:

$$Ke = Rf + \beta [E (Rm) - Rf] + \text{Riesgo país}$$

Donde:

- Ke: Costo del capital propio o tasa de descuento.
- Rf: Tasa libre de riesgo (utilizando como parámetro el rendimiento del bono del tesoro de EE. UU a 10 años)
- E(Rm): Rendimiento esperado del mercado (utilizando como parámetro al rendimiento anual promedio del Índice Accionario S&P 500 desde 1998 a 2022)

- β : Relación existente entre el riesgo del sector (sector minero) respecto al riesgo del mercado.
- Riesgo país: Argentino, promediando el índice MSCI desde 2004 a 2022.

Tabla 73. Cálculo de la tasa de descuento del proyecto

COMPONENTE	VALOR
TASA LIBRE DE RIESGO	4,13%
REND. PROM ANUAL MDO	6,75%
BETA	1,02
RIESGO PAÍS	22,63%
Ke	29,44%

Tabla 74 Flujo de caja del inversionista. – valores expresados en USD

CONCEPTO	0	1	2	3	4
INGRESOS		\$ 10.272.500,00	\$ 11.299.750,00	\$ 12.429.725,00	\$ 13.299.805,75
COSTOS DE FAB. DIRECTOS		-\$ 4.758.484,46	-\$ 5.234.332,90	-\$ 5.757.766,19	-\$ 6.217.045,17
COSTOS DE FAB. INDIRECTOS		-\$ 686.520,44	-\$ 714.230,48	-\$ 774.709,91	-\$ 869.075,81
GASTOS DE ADM. Y VENTAS		-\$ 125.972,19	-\$ 138.569,41	-\$ 152.426,35	-\$ 167.668,98
DEPRECIACION Y AMORTIZACION		-\$ 290.008,03	-\$ 290.008,03	-\$ 290.008,03	-\$ 290.008,03
UTILIDAD ANTES DEL IMPUESTO		\$ 4.411.514,89	\$ 4.922.609,18	\$ 5.454.814,51	\$ 5.756.007,76
IMPUESTO 35%		\$ 1.544.030,21	\$ 1.722.913,21	\$ 1.909.185,08	\$ 2.014.602,72
UTILIDAD NETA		\$ 2.867.484,68	\$ 3.199.695,97	\$ 3.545.629,43	\$ 3.741.405,04
DEPRECIACION Y AMORTIZACION		\$ 290.008,03	\$ 290.008,03	\$ 290.008,03	\$ 290.008,03
INVERSION INICIAL	-\$ 12.267.552,69				
CAPITAL DE TRABAJO	-\$ 857.716,72				
VALOR DE DESECHO					
FLUJO DE CAJA	-\$13.125.269	\$3.157.493	\$3.489.704	\$3.835.637	\$4.031.413
FLUJO ACUMULADO	-\$13.125.269	-\$9.967.777	-\$6.478.073	-\$2.642.435	\$1.388.978

CONCEPTO	5	6	7	8	9	10
INGRESOS	\$ 14.230.792,15	\$ 15.226.947,60	\$ 15.988.294,98	\$ 16.787.709,73	\$ 17.627.095,22	\$ 18.508.449,98
COSTOS DE FAB. DIRECTOS	-\$ 6.714.097,21	-\$ 7.252.128,78	-\$ 7.739.483,95	-\$ 8.263.681,76	-\$ 8.827.811,82	-\$ 9.435.242,98
COSTOS DE FAB. INDIRECTOS	-\$ 960.112,94	-\$ 1.059.738,72	-\$ 1.168.680,68	-\$ 1.287.736,10	-\$ 1.417.781,81	-\$ 1.559.784,59
GASTOS DE ADM. Y VENTAS	-\$ 184.435,88	-\$ 202.879,47	-\$ 223.167,42	-\$ 245.484,16	-\$ 270.032,57	-\$ 297.035,83
DEPRECIACION Y AMORTIZACION	-\$ 290.008,03	-\$ 290.008,03	-\$ 290.008,03	-\$ 290.008,03	-\$ 290.008,03	-\$ 290.008,03
UTILIDAD ANTES DEL IMPUESTO	\$ 6.082.138,09	\$ 6.422.192,60	\$ 6.566.954,90	\$ 6.700.799,68	\$ 6.821.460,98	\$ 6.926.378,55
IMPUESTO 35%	\$ 2.128.748,33	\$ 2.247.767,41	\$ 2.298.434,22	\$ 2.345.279,89	\$ 2.387.511,34	\$ 2.424.232,49
UTILIDAD NETA	\$ 3.953.389,76	\$ 4.174.425,19	\$ 4.268.520,69	\$ 4.355.519,79	\$ 4.433.949,64	\$ 4.502.146,06
DEPRECIACION Y AMORTIZACION	\$ 290.008,03	\$ 290.008,03	\$ 290.008,03	\$ 290.008,03	\$ 290.008,03	\$ 290.008,03
INVERSION INICIAL						
CAPITAL DE TRABAJO						
VALOR DE DESECHO						\$ 23.734.815,04
FLUJO DE CAJA	\$4.243.398	\$4.464.433	\$4.558.529	\$4.645.528	\$4.723.958	\$28.526.969
FLUJO ACUMULADO	\$5.632.376	\$10.096.809	\$14.655.338	\$19.300.865	\$24.024.823	\$52.551.792

Como se pudo observar en el flujo de fondos anterior, el capital invertido se recupera en el cuarto período de actividad dejando un valor de desecho al cabo de 10 años de 23.734.815,04 USD.

En la siguiente tabla podremos ver de una manera más exacta el período de recupero de la inversión inicial:

Tabla 75. Periodo de recupero del capital invertido

PERIODO DE RECUPERO		
3	8	191
Años	Meses	Días

6.5 Estudio de Viabilidad

Para el estudio de la viabilidad económica del proyecto se utilizaron dos indicadores principales:

- Valor Actual Neto (VAN)
- Tasa Interna de Retorno (TIR)

6.5.1 Valor Actual Neto

El valor actual neto (VAN) es un criterio de inversión que consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o inversión para conocer aproximadamente cuánto se va a ganar o perder en un periodo determinado [11]. Por otro lado, se exigirá al proyecto un retorno de inversión del 29,44%. Realizando los cálculos correspondientes, el VAN posee el siguiente valor:

Tabla 76. VAN del Proyecto en U\$D

Tasa de Descuento	VAN
29,44%	\$ 681.287,63

Entonces al ser positivo, indica que el proyecto o inversión es rentable y que generará flujos de efectivo positivos en el futuro.

6.5.2 TIR

La tasa interna de retorno (TIR) evalúa al proyecto en función de una única tasa de rendimiento por periodo, con la cual la totalidad de los beneficios actualizados son exactamente iguales a los desembolsos expresados en moneda actual. En otras palabras, la TIR representa la tasa de interés más alta que un inversionista podría pagar sin perder dinero, si todos los fondos para el financiamiento de la inversión se tomaran prestados y el préstamo se pagara con las entradas en efectivo de la inversión a medida que se fuesen produciendo [11].

En el caso de nuestro proyecto, la TIR calculada fue:

$$TIR = 30,86\%$$

Por lo tanto, al proyecto le podríamos exigir un retorno de inversión de hasta un 30,86% y no incurriríamos en pérdidas.

6.6 Análisis de Sensibilidad

Los análisis de sensibilidad realizados en el proyecto, se hicieron con el fin de ver cuán flexible es ante las desviaciones de lo pronosticado, para ello se tomó la decisión de sensibilizar dos variables:

1. Precio.
2. TIR.

6.6.1 Precio

Como ya se explicó, el precio de venta de nuestro producto se encuentra por debajo del precio cotizado por la bolsa, sin embargo, el mismo presenta grandes alteraciones ya que depende de las variaciones del mercado del litio. Por lo tanto, nos parece interesante averiguar el valor actual neto de nuestro proyecto a diferentes precios y encontrar así el monto mínimo al cual podríamos ofrecer nuestro producto.

Tabla 77. Análisis de sensibilidad - Variando Precio – Valores expresados en USD

Precio	VAN
\$ 200,00	-\$13.198.121,15
\$ 210,00	-\$12.272.827,23
\$ 220,00	-\$11.347.533,31
\$ 230,00	-\$10.422.239,39
\$ 240,00	-\$9.496.945,47
\$ 250,00	-\$8.571.651,55
\$ 260,00	-\$7.646.357,64
\$ 270,00	-\$6.721.063,72
\$ 280,00	-\$5.795.769,80
\$ 290,00	-\$4.870.475,88
\$ 300,00	-\$3.945.181,96
\$ 310,00	-\$3.019.888,04
\$ 320,00	-\$2.094.594,13
\$ 327,37	-\$1.169.300,21
\$ 330,00	-\$244.006,29
\$ 342,62	\$0,00
\$ 350,00	\$681.287,63
\$ 360,00	\$1.606.581,55
\$ 370,00	\$2.531.875,47
\$ 380,00	\$3.457.169,38
\$ 390,00	\$4.382.463,30
\$ 400,00	\$5.307.757,22

Como puede verse, el precio mínimo para que nuestro proyecto siga siendo rentable es de 342,62 U\$D.

6.6.2 TIR

Dado que Argentina es conocida por tener una economía altamente volátil, se tomó la decisión de llevar a cabo un análisis de sensibilidad del proyecto en cuestión variando la tasa interna de retorno, una medida financiera que representa el rendimiento esperado de un proyecto.

La realización de este análisis es crucial en un contexto económico inestable, ya que permite evaluar la capacidad del proyecto para responder a cambios en las condiciones del mercado. La información obtenida a partir de este análisis puede ser de gran ayuda para tomar decisiones informadas sobre el proyecto y reducir el riesgo de pérdidas financieras, los resultados de este análisis se presentan en la siguiente tabla, lo que permite visualizar de manera clara la TIR máxima para el proyecto.

Tabla 78. Análisis de Sensibilidad. Variando TIR – valores expresados en USD

Tasa de Descuento	VAN
5%	\$33.275.521,30
10%	\$20.927.604,06
15%	\$12.752.502,91
20%	\$7.169.097,55
25%	\$3.242.531,31
29,44%	\$681.287,63
30%	\$404.371,17
30,86%	\$0,00
35%	-\$1.700.203,89
40%	-\$3.298.213,45
45%	-\$4.538.332,36
50%	-\$5.520.096,85
55%	-\$6.311.549,92
60%	-\$6.960.133,74
65%	-\$7.499.551,18
70%	-\$7.954.171,98
75%	-\$8.341.914,20
80%	-\$8.676.161,46
85%	-\$8.967.059,78
90%	-\$9.222.408,70
95%	-\$9.448.282,75

6.7 Punto de equilibrio

El punto de equilibrio de producción es un concepto clave en la gestión de una planta, el mismo representa el nivel de producción en el que los ingresos generados por la venta del producto son iguales a los costos totales de producción. Es decir, a partir del punto de equilibrio, la empresa comienza a obtener ganancias.

Tabla 79. Punto de equilibrio. Elaboración propia – valores expresados en USD

PUNTO E INGRESOS DE EQUILIBRIO	
Punto de equilibrio (big bag x año)	3902,28
Ingresos de Equilibrio	\$ 1.365.797,39
Margen de seguridad	86,70%

El margen de seguridad es un concepto clave en la gestión financiera de cualquier empresa. Se refiere a la diferencia entre el nivel de ingresos proyectados y el punto de equilibrio de producción, es decir, la cantidad mínima de ingresos necesaria para cubrir los costos totales de producción. En este caso, un margen de seguridad del 86,70% indica que los ingresos proyectados son un 86,70% superiores al punto de equilibrio, lo que significa que la planta tiene un amplio margen para cubrir sus costos de producción incluso si hay una disminución en la demanda o un aumento en los costos de producción.

Este margen de seguridad es una gran ventaja para la planta ya que le brinda estabilidad financiera y la capacidad de resistir posibles contratiempos. Además, proporciona a los gerentes y propietarios de la planta la libertad de tomar decisiones estratégicas a largo plazo sin preocuparse por la rentabilidad inmediata. Es importante tener en cuenta que un margen de seguridad saludable no solo es beneficioso para la rentabilidad de la empresa, sino que también puede ser un indicador de la eficiencia de la operación y la calidad del producto. Si la planta está operando de manera efectiva y produciendo un producto de alta calidad, es más probable que tenga un margen de seguridad sólida.

PUNTO DE EQUILIBRIO - NITRIUM

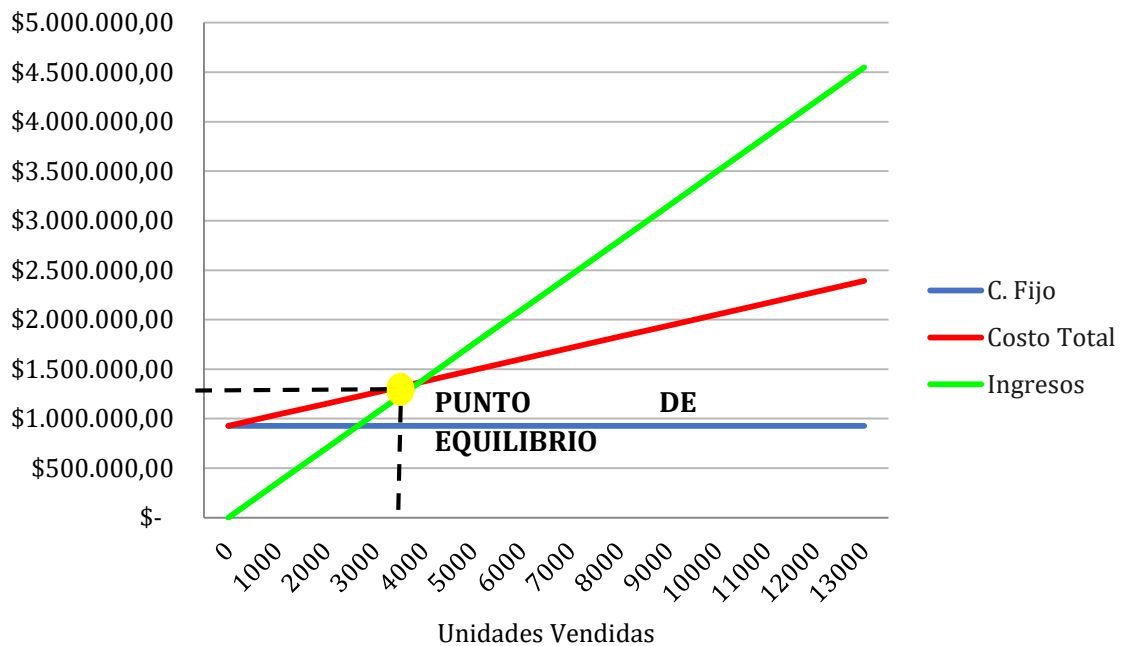


Ilustración 55. Gráfico del punto de equilibrio. Elaboración propia – valores expresados en USD

6.8 Conclusión

La producción y comercialización de carbonato de sodio en la provincia de Salta es viable, para ello se necesita una inversión de U\$D 12.267.552 con un período de recupero de 3 años y dos meses. Teniendo, un Valor Actual Neto de \$681.287,63 considerando una tasa de descuento del 29,44% y una tasa interna de retorno de un 31%. El proyecto cuenta además con un margen de seguridad de 86,70%, lo que nos permite cubrir los costos de producción incluso si hay una disminución en la demanda o un aumento en los mismos.

En cuanto al análisis de sensibilidad, podemos concluir que el precio de nuestro producto puede disminuir en 2,2% como máximo para no incurrir en pérdidas.

Conclusión final

En conclusión, el estudio realizado demuestra que la producción local de carbonato de sodio es crucial para el desarrollo de la industria del litio en Argentina. La demanda de carbonato de sodio se espera que aumente significativamente en los próximos años, lo que representa una gran oportunidad para las empresas productoras en la región de la Puna y el norte argentino. El proyecto presentado tiene como objetivo sustituir parte de la demanda de carbonato de sodio importado, comenzando con una producción anual de 29,4 mil toneladas por año, ubicándose en el parque industrial General Güemes, utilizando el método Solvay y siendo comercializado en big bag de 1000kg.

La inversión necesaria para el proyecto es de USD 11.175.802, con un período de recupero de 3 años y medio. El proyecto cuenta con un margen de seguridad de 80%, lo que nos permite cubrir los costos de producción incluso si hay una disminución en la demanda o un aumento en los mismos.

Por lo tanto, en función de los argumentos expuestos, consideramos que la producción y comercialización de carbonato de sodio en la provincia de Salta resulta viable y que representa una gran oportunidad para el desarrollo económico de la región y del país en su conjunto.

Referencias bibliográficas

- [1] M. Bohnet, Ed., *Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry*, 6th, completely rev. ed ed. Weinheim: Wiley-VCH, 2003.
- [2] «Carbonato de Sodio», Dirección Nacional de Infraestructura Minera, mar. 2019.
- [3] «Litio en Argentina», Ministerio de Educación, Cultura, Ciencia y Tecnología, Argentina, Litio en Argentina - Oportunidades y desafíos para el desarrollo de la cadena de valor, oct. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/bid-litio-final.pdf>
- [4] IHS CHEMICAL, «Chemical Industry Capital Costs: A Global Spending Outlook». 2015.
- [5] M. G. Meza, F. R. Güere, y J. L. G. Lazo, «Cinética de la calcinación de los carbonatos de calcio de Angasmayo provincia de Chupaca – Junín – Perú», *Prospect. Univ.*, vol. 18, n.º 1, Art. n.º 1, 2021, doi: 10.26490/uncp.prospectivauniversitaria.2021.18.1421.
- [6] J. Benitez, *Principles and modern applications of mass transfer operations*, Thrid. John Wiley & Sons, Inc., 2016.
- [7] Y. Haroun y L. Raynal, «Use of Computational Fluid Dynamics for Absorption Packed Column Design», *Oil Gas Sci. Technol. – Rev. D'IFP Energ. Nouv.*, vol. 71, n.º 3, p. 43, may 2016, doi: 10.2516/ogst/2015027.
- [8] R. E. Treybal, *Mass-Transfer Operations*. Mc Graw Hill, 1981.
- [9] G. G. Brown, *Operaciones Básicas de la Ingeniería Química*. Marin, 1965.
- [10] Q. Solvay, «Declaración Medioambiental». 2019.
- [11] N. Sapag Chain, *Preparación y evaluación de proyectos*, Quinta edición. Mc Graw Hill.

ANEXOS

A1 Costos adicionales

Para no hacer tan extenso el análisis económico financiero, hemos decidido no colocar algunas tablas de costos y es por ello que las incluiremos a continuación. Es importante aclarar que dichos costos si fueron considerados a la hora de realizar los cálculos.

A1.1 Amortizaciones

En Argentina, la vida útil de los equipos para amortizaciones está regulada por la ley de impuestos a las ganancias y las normas contables. Según la Resolución Técnica 9 de la Federación Argentina de Consejos Profesionales de Ciencias Económicas (FACPCE), la vida útil de los equipos y otros activos fijos debe ser determinada por el sujeto contable de acuerdo a la naturaleza y el uso del activo.

En general, la ley de impuestos a las ganancias establece las siguientes vidas útiles para ciertos activos:

- Maquinarias y equipos: 10 años.
- Edificios: 50 años.
- Mobiliario y útiles: 10 años.
- Vehículos: 5 años.
- Computadoras y software: 3 años.

Las amortizaciones y depreciaciones del proyecto se pueden observar en la siguiente tabla:

Activos	Vida util	Valor del activo	PERIODOS			
			AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4
Maquinaria e insumos	10	\$ 2.238.450,00	\$ 223.845,00	\$ 223.845,00	\$ 223.845,00	\$ 223.845,00
Mobiliarios y equipamiento	10	\$ 38.418,38	\$ 3.841,84	\$ 3.841,84	\$ 3.841,84	\$ 3.841,84
Herramientas y seguridad	10	\$ 350.130,74	\$ 35.013,07	\$ 35.013,07	\$ 35.013,07	\$ 35.013,07
Inmueble	50	\$ 1.307.906,09	\$ 26.158,12	\$ 26.158,12	\$ 26.158,12	\$ 26.158,12
TOTAL			\$ 288.858,03	\$ 288.858,03	\$ 288.858,03	\$ 288.858,03

Activos	Vida util	PERIODOS					
		AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Maquinaria e insumos	10	\$ 223.845,00	\$ 223.845,00	\$ 223.845,00	\$ 223.845,00	\$ 223.845,00	\$ 223.845,00
Mobiliarios y equipamiento	10	\$ 3.841,84	\$ 3.841,84	\$ 3.841,84	\$ 3.841,84	\$ 3.841,84	\$ 3.841,84
Herramientas y seguridad	10	\$ 35.013,07	\$ 35.013,07	\$ 35.013,07	\$ 35.013,07	\$ 35.013,07	\$ 35.013,07
Inmueble	50	\$ 26.158,12	\$ 26.158,12	\$ 26.158,12	\$ 26.158,12	\$ 26.158,12	\$ 26.158,12
TOTAL		\$ 288.858,03	\$ 288.858,03	\$ 288.858,03	\$ 288.858,03	\$ 288.858,03	\$ 288.858,03

A1.2 Gastos de administración

Entre los gastos de administración consideramos la publicidad, materiales y útiles de oficina, seguros y capacitación del personal de modo estimativo para que nuestro flujo de fondos muestre un escenario lo más acorde a la realidad posible, dichos gastos se encuentran en la siguiente tabla:

CONCEPTO	PERIODOS				
	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Publicidad	\$20.000	\$22.000	\$24.200	\$26.620	\$29.282
Materiales y útiles de oficina	\$5.000	\$5.500	\$6.050	\$6.655	\$7.321
Seguros	\$972	\$1.069	\$1.176	\$1.294	\$1.423
Capacitación	\$100.000	\$110.000	\$121.000	\$133.100	\$146.410
TOTAL	\$ 125.972,19	\$ 138.569,41	\$ 152.426,35	\$ 167.668,98	\$ 184.435,88

CONCEPTO	PERIODOS				
	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Publicidad	\$32.210	\$35.431	\$38.974	\$42.872	\$47.159
Materiales y útiles de oficina	\$8.053	\$8.858	\$9.744	\$10.718	\$11.790
Seguros	\$1.566	\$1.722	\$1.895	\$2.084	\$2.292
Capacitación	\$161.051	\$177.156	\$194.872	\$214.359	\$235.795
TOTAL	\$ 202.879,47	\$ 223.167,42	\$ 245.484,16	\$ 270.032,57	\$ 297.035,83

A2 Hoja de seguridad del producto

Una hoja de seguridad, también conocida como hoja de datos de seguridad (HDS), es un documento técnico que proporciona información sobre las características y riesgos de una sustancia química. Esta información es importante para garantizar el manejo, almacenamiento y uso seguro de la sustancia.

Dicha hoja incluye información detallada sobre la identificación de la sustancia química, sus propiedades físicas y químicas, los riesgos para la salud y seguridad asociados con la exposición a la sustancia, así como las medidas de protección necesarias para el manejo seguro de la sustancia. Además, se utiliza en una variedad de entornos, incluyendo lugares de trabajo donde se manejan sustancias químicas, como laboratorios, plantas de producción química y talleres mecánicos. También se utiliza en situaciones de emergencia, donde es necesario tener información rápida y precisa sobre los riesgos asociados con una sustancia química.

Dado a que nuestro producto es un insumo químico presentamos la ficha de seguridad detallada de nuestro producto:

Hoja de Datos de Seguridad

Carbonato de Sodio

Este documento ha sido elaborado para cumplir los requisitos de la Norma de Comunicación de Peligros de OSHA de EE.UU., 29 CFR 1910.1200, y en base al Reglamento (CE) N° 1907/2006, según esté enmendado por el Reglamento (CE) N° 453/2010

SECCIÓN 1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y LA COMPAÑÍA

1.1 Identificador del Producto:					
Nombre del producto	Carbonato de sodio, anhidro				
Sinónimos	Sosa caustica, carbonato disódico, ácido carbónico, sal disódica				
Fórmula Química	Na ₂ CO ₃				
Peso molecular	105.99				
Número CAS	497-19-8				
Número de Índice de la CE	011-005-00-2				
Número RTECS	VZ4050000				
Número de Registración REACH	01-2119485498-19-0011				
Tipo de producto REACH	Sustancia/mono-componente				
1.2 Usos identificados relevantes de la sustancia o mezcla y usos no recomendados:					
Usos identificados relevantes	Fabricación de vidrio, fabricación química, pulpa y papel, tratamiento de agua y control de pH, fabricación de jabones y detergentes, tratamiento de carbón, control de emisiones, regeneración de resina por intercambio iónico, procesamiento químico				
Usos no aconsejables	No hay usos no aconsejables conocidos				
Fabricante(s)	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">Ciner Resources Corporation Five Concourse Parkway Atlanta, Georgia 30328 EE.UU.</td> <td style="width: 50%;">Tata Chemicals North America 100 Enterprise Drive Rockaway, New Jersey 07866 EE.UU.</td> </tr> <tr> <td>Tronox Alkali Wyoming Corporation 1735 Market Street Philadelphia, Pennsylvania 19103 EE.UU.</td> <td>Solvay Minerals 3333 Richmond Avenue Houston, Texas 77098 EE.UU.</td> </tr> </table>	Ciner Resources Corporation Five Concourse Parkway Atlanta, Georgia 30328 EE.UU.	Tata Chemicals North America 100 Enterprise Drive Rockaway, New Jersey 07866 EE.UU.	Tronox Alkali Wyoming Corporation 1735 Market Street Philadelphia, Pennsylvania 19103 EE.UU.	Solvay Minerals 3333 Richmond Avenue Houston, Texas 77098 EE.UU.
Ciner Resources Corporation Five Concourse Parkway Atlanta, Georgia 30328 EE.UU.	Tata Chemicals North America 100 Enterprise Drive Rockaway, New Jersey 07866 EE.UU.				
Tronox Alkali Wyoming Corporation 1735 Market Street Philadelphia, Pennsylvania 19103 EE.UU.	Solvay Minerals 3333 Richmond Avenue Houston, Texas 77098 EE.UU.				
Números de teléfono de emergencia	Para emergencias que involucran un derrame, fuga, incendio o exposición, comuníquese con: » Estados Unidos ____CHEMTREC____ (800) 424-9300 » Canadá _____CANUTEC_____ (613) 996-6666				
Información general o del producto	American Natural Soda Ash Corporation (203) 226-9056				

HDS: **Carbonato de Sodio**

SECCIÓN 2. Identificación de Peligros

2.1 Clasificación de la sustancia:

Reglamento CE N° 1272/2008, Norma de Comunicación de Peligros OSHA (29 CFR 1910.1200)

Clase	Categoría	Enunciado de peligros
Irritante de los ojos	Categoría 2	H319: Ocasiona irritación grave de los ojos

2.2 Elementos de rotulación:

Rotulación de acuerdo con el Reglamento CE N° 1272/2008 (CLP)



	Número	Declaración
Advertencia impresa de peligro		Advertencia
Enunciado de peligros	H319	Ocasiona irritación grave de los ojos
Enunciado de precaución: Prevención	P264	Lavar minuciosamente la cara, las manos y cualquier piel expuesta después de manejar
Enunciado de precaución: Prevención	P280	Usar protección de los ojos/protección de la cara
Enunciado de precaución: Respuesta	P305+ P351+ P338	EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuagar con cautela con agua durante varios minutos. Quitarse los lentes de contacto, si están presentes, y es fácil hacerlo. Continuar el enjuague.
Enunciado de precaución: Respuesta	P337+ P313	Si persiste la irritación de los ojos: Procurar consejos/atención médica

2.3 Peligros no clasificados de otra manera (PNCOM):

No se identificaron peligros no clasificados de otra manera.

SECCIÓN 3. Composición/información sobre ingredientes

3.1 Sustancias:

Familia química: Sal alcalina

Fórmula: Na₂CO₃

Materiales	N° CAS	Número EINECS	Conc. (C)	Clase CE	Clase CLP	Nota
Carbonato de sodio	497-19-8	207-838-8	C>99.2%	Xi; R36	Irritante de los ojos; H319	(1)

(1) Para las fases-R y enunciados-H completos, consulte el encabezamiento 16

3.2 Mezclas:

No aplica

HDS: **Carbonato de Sodio**

SECCIÓN 4. MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

4.1 Descripción de medidas de primeros auxilios:

Exposición de los ojos

- Sostener los párpados abiertos y enjuagar con un chorro suave y uniforme de agua durante por lo menos 15 minutos
- Procurar atención médica inmediata

Exposición de la piel

- En caso de contacto, lavar inmediatamente con abundante jabón y agua
- Procurar atención médica si se desarrolla o persiste una irritación
- Quitarse la ropa y los zapatos contaminados
- Limpiar la ropa y los zapatos contaminados antes de reutilizarlos

Inhalación

- Sacar al aire libre
- Si ocurre dificultad o problemas respiratorios y persiste, procurar atención médica

Ingestión

- Si el sujeto está consciente y alerta, administrar 1 – 2 vasos de agua para beber
- No administrar nada por la boca a una persona inconsciente
- No inducir vómitos
- Si se siente enfermo, procurar atención médica

4.2 Síntomas y efectos más importantes, tanto agudos y demorados:

Después de la exposición de los ojos

- Irritación del tejido ocular: Lagrimeo

Después de la exposición de la piel

- No irritante

Después de la inhalación

- DESPUÉS DE LA INHALACIÓN DE POLVO: Garganta seca/dolor de garganta. Tos. Irritación ligera.
- EXPOSICIÓN A CONCENTRACIONES ELEVADAS: Irritación de las vías respiratorias. Irritación de las membranas mucosas nasales. Dificultad respiratoria.

Ingestión

- DESPUÉS DE LA ABSORCIÓN DE CANTIDADES ELEVADAS: Náuseas, Dolor abdominal. Irritación de la mucosa gástrica/intestinal.

4.3 Indicación de cualquier atención médica inmediata y tratamiento especial necesario:

Tratar según los síntomas

HDS: **Carbonato de Sodio**

SECCIÓN 5. MEDIDAS CONTRA INCENDIOS

5.1 Medios de extinción:

5.1.1 Medios de extinción apropiados:

Adaptar los medios de extinción al entorno

5.1.2 Medios de extinción inapropiados:

No hay medios de extinción inapropiados conocidos

5.2 Peligros especiales que surgen de la sustancia o mezcla:

Combustión: Puede formarse óxidos de carbono (COx). Reacciona con la exposición al agua (humedad) con (algunos) metales.

5.3 Consejos para los bomberos:

5.3.1 Instrucciones:

No se requieren instrucciones contra incendios específicas

5.3.2 Equipos de protección especiales para los bomberos:

Equipo contra incendios estándar: guantes, casco, protección de los ojos (anteojos de seguridad y protector de la cara), ropa protectora, botas protectoras, aparato de aire comprimido/oxígeno

Otra información:

Tipo:	Comentario
Límites de inflamabilidad	No aplica
Temperatura de autoencendido	No aplica
Sensibilidad a impacto mecánico	No sensible
Sensibilidad a descarga estática	No sensible
Productos de combustión peligrosos	Óxidos de carbono (COx)

SECCIÓN 6. MEDIDAS DE DESCARGA ACCIDENTAL

6.1 Precauciones personales, equipo protector y procedimientos de emergencia:

Evitar la formación de nubes de polvo, ya sea recogiendo con escoba o, de ser necesario, humedecer. Recoger con escoba para evitar el peligro de resbalamiento.

6.1.1 Equipo protector para personal no de emergencia

Consultar la Sección 8

6.1.2 Equipo protector para los respondedores de emergencia

Guantes, Anteojos de seguridad, Ropa protectora. Si hay nube de polvo presente, aparato de aire comprimido/oxígeno. Consultar la Sección 8

6.2 Precauciones ambientales:

No desechar en el agua superficial o sistema de alcantarillado. Evitar el contacto de cantidades grandes de este producto con la vegetación o vías fluviales, los derrames grandes podrían matar la vegetación y los peces.

6.3 Métodos y materiales para contención y limpieza:

Recoger el derrame sólido en envases cerrados debidamente rotulados. Limpiar las superficies contaminadas con un exceso de agua. Guardar los envases cerrados rotulados en un lugar apropiado hasta su transferencia para desecho. Consulte la Sección 13

HDS: **Carbonato de Sodio**

SECCIÓN 7. MANEJO Y ALMACENAMIENTO

7.1 Precauciones para el manejo seguro:

- Mantener alejado de llamas abiertas/calor
- Usar sistemas transportadores neumáticos/mecánicos para la transferencia a granel a almacenamiento
- Evitar generar polvo
- Proporcionar ventilación de escape apropiada en lugares donde se forma polvo
- En caso de ventilación insuficiente, usar equipos respiratorios apropiados si se prevé la liberación de polvo en el aire

7.2 Condiciones para almacenamiento seguro, inclusive cualquier incompatibilidad:

7.2.1 Requisitos de almacenamiento seguro:

- Para material a granel, almacenar en un área fresca, seca
- Para contenedores, guardar en un área bien ventilada, y el producto debe almacenarse en su envase original rotulado y herméticamente cerrado
- Mantener el producto fuera de la luz solar directa
- Almacenar el producto de manera que cumpla todos los requisitos legales

7.2.2 Mantener alejado de:

- Fuente de calor
- Ácidos (fuertes)
- Agua/humedad
- Algunos metales (aluminio, cinc)
- Polvo de cal y humedad [podría formarse sosa cáustica (NaOH) y ocasionar quemaduras]

7.2.3 Material de envase apropiado:

No hay datos disponibles (la mayoría de los materiales de envasado son aceptables, excepto según se indica en 7.2.4 y donde las leyes locales sobreesen la Hoja de Datos de Seguridad)

7.2.4 Materiales de envasado inapropiados:

- Aluminio
- Cinc

HDS: Carbonato de Sodio

SECCIÓN 8. CONTROL DE EXPOSICIÓN Y PROTECCIÓN PERSONAL

8.1 Parámetros de control:

Pautas de Exposición: Las pautas federales tratan los ingredientes contenidos en este producto como polvo molesto, ya que no se ha emitido ninguna pauta específica del producto para exposición. Al igual que con todos los polvos molestos, las concentraciones en la zona de respiración de los trabajadores debe medirse mediante métodos de muestreo y analíticos validados. Los siguientes límites (OSHA y MSHA) se aplican a este material:

Método	Polvo total	Fracción RASP
OSHA (PEL/TWA)	10 mg/m ³	5 mg/m ³
MSHA (PEL/TWA)	10 mg/m ³	N/A

8.2 Controles de exposición:

La información en esta sección constituye una descripción general; debe desarrollarse escenarios de exposición para instalaciones específicas

8.2.1 Controles de ingeniería apropiados

- Evitar generar polvo
- Llevar a cabo las operaciones a la intemperie/bajo escape/ventilación localizado o con protección respiratoria
- Debe proporcionarse una instalación de lavado de ojos en el área de almacenamiento y de trabajo general

8.2.2 Medidas de protección individuales, por ejemplo, equipos de protección personal

Área de Protección	Equipo Recomendado*
Ojos/Cara	Anteojos de seguridad bien ajustados
Piel y cuerpo	Usar ropa protectora apropiada, calzado o botas protectoras
Manos	Guantes de goma de nitrilo, neopreno
Respiratorio	En caso de ventilación inadecuada, usar protección respiratoria
Higiene	Manejar de acuerdo con buenas prácticas de higiene y seguridad industrial

*Estas recomendaciones se aplican al producto según esté suministrado

HDS: Carbonato de Sodio

SECCIÓN 9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Las propiedades físicas y químicas aquí presentadas representan propiedades típicas de este producto. Comuníquese con el área comercial usando el número de teléfono indicado bajo Información del Producto en la Sección 1 para sus especificaciones exactas.

Aspecto	Gránulos
Estado físico	Sólido
Color	Blanco
Olor	Inodoro
Límite crítico de olores	No aplica
pH	11.4 (1% solución en agua)
Temperatura de fusión	851 °C
Temperatura de ebullición/gama	No hay información disponible
Temperatura de inflamación	No se requiere: exención según REACH
Índice de evaporación	No aplica
Inflamabilidad (sólido, gas)	La sustancia no combustible en sí no se quema pero puede descomponerse al calentarse para producir humos corrosivos y/o tóxicos
Límite de inflamabilidad en el aire	
- Límite de inflamabilidad superior	No hay información disponible
- Límite de inflamabilidad inferior	No hay información disponible
Presión de vapor	No se requiere: exención según REACH
Densidad del vapor	No aplica
Peso específico	2.52
Solubilidad en agua	212.5 g/L @ 20 °C
Solubilidad en otros disolventes	No hay información disponible
Coefficiente de reparto	No hay información disponible
Temperatura de autoencendido	No hay información disponible
Temperatura de descomposición	400 °C
Viscosidad, cinemática	No hay información disponible
Viscosidad, dinámica	No hay información disponible
Propiedades explosivas	No explosivo
Propiedades oxidantes	No oxidante
Peso molecular	105.99
Fórmula	Na ₂ CO ₃
Densidad a granel	0.86 – 1.12 g/cm ³ (grados densos) 0.70 – 0.90 g/cm ³ (grados livianos)

HDS: **Carbonato de Sodio**

SECCIÓN 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

10.1 Reactividad:

Ninguna bajo condiciones normales

10.2 Estabilidad química:

Higroscópico

10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas:

Reacciona ante la exposición a agua (humedad) con (algunos) metales. Reacción exotérmica violenta con (algunos) metales. Reacciona con oxidantes (fuertes).

10.4 Condiciones a evitarse:

Evitar generar polvo. Mantener alejado de llamas abiertas/calor. Evitar la exposición a humedad durante períodos prolongados.

10.5 Materiales incompatibles:

Aluminio, aluminio en polvo, ácidos (fuertes), cinc

10.6 Productos de descomposición peligrosos:

Óxidos de sodio, óxidos de carbono (COx)

SECCIÓN 11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Información del producto	
DL50 oral	2,800 mg/kg (rata)
DL50 dérmica	>2,000 mg/kg (conejo)
DL50 inhalación	2.3 mg/L (rata)
Contacto con los ojos	Irritante para los ojos
Contacto con la piel	No irritante
Sensibilización	La prueba de parcha en voluntarios humanos no exhibió propiedades de sensibilización
Información sobre efectos toxicológicos	
Síntomas	No hay información disponible
Efectos demorados e inmediatos, así como efectos crónicos debido a exposición de corto y largo plazo	
Toxicidad crónica	Ningún efecto conocido
Mutagenicidad	No hay información disponible
Carcinogenicidad	No reconocido como agente carcinogénico por las Agencias de Investigación (IARC, NTP, OSHA, ACGIH)
Toxicidad reproductiva	No hay información disponible
STOT- exposición única	No hay información disponible
STOT - exposición repetida	No hay información disponible
Peligro de aspiración	No hay información disponible

HDS: **Carbonato de Sodio**

SECCIÓN 12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

12.1 Toxicidad:

	Parámetro	Método	Valor	Unidades	Duración	Especie
Toxicidad aguda, peces	LC50	Otro	300	mg/L	96 horas	Lepomis macrochirus
Toxicidad aguda, invertebrados	EC50	Otro	200-227	mg/L	48 horas	Ceriodaphnia sp.
Toxicidad, algas y otras plantas	EC50		242	mg/L	5 días	Algas

12.2 Persistencia y degradabilidad:

La biodegradabilidad no se aplica a sustancias inorgánicas

12.3 Potencial de acumulación tisular:

No tiene acumulación tisular

12.4 Movilidad en el suelo:

Se disocia en iones; bajo potencial de adsorción en el suelo

12.5 Resultados de la evaluación PBT y vPvB:

Los criterios de PBT y vPvB según lo indicado en el Anexo XIII del Reglamento (CE) N° 1907/2006 no se aplican a sustancias inorgánicas

12.6 Otros efectos adversos:

Ninguno conocido

SECCIÓN 13. CONSIDERACIONES DE DESECHO

13.1 Estipulaciones relacionadas con residuos

Este material, según esté suministrado, no se considera peligroso

13.2 Método de desecho de residuos

Este material, según esté suministrado, no es un residuo peligroso de acuerdo con los reglamentos federales de EE.UU. (40 CFP 261). Desechar de acuerdo con los reglamentos locales.

13.3 Manejo y desecho de envases

Desechar de acuerdo con los reglamentos locales.

HDS: **Carbonato de Sodio**

SECCIÓN 14. INFORMACIÓN DE TRANSPORTE

Nombre de envío correcto	No regulado
Clase/división de peligro primaria	No regulado
Número UN/NA	No aplica
Etiqueta(s), Rótulo(s), Marca(s)	No aplica
Cantidad reportable (RG)	Ninguno
Número 49 STCC	No aplica
ADR (UE), TDG (Canadá)	No regulado
INDF (mar), ICAO (aire), IATA (aire)	No regulado

SECCIÓN 15. INFORMACIÓN REGULATORIA

REGLAMENTOS FEDERALES

SARA 313

Sección 313 del Título III de la Ley de Enmiendas y Reautorización del Superfondo de 1986 (SARA). Este producto no contiene agentes químicos sujetos a los requisitos de notificación de la Ley y el Título 40 del Código de Reglamentos Federales, Parte 372

Clases de Peligro SARA 311/312

Peligro de incendio.....NO
Peligro reactivo.....NO
Liberación de presión.....NO
Peligro agudo para la salud.....SÍ
Peligro crónico para la salud.....NO

Ley de Agua Limpia

Este producto no contiene sustancias reguladas como contaminantes conforme a la Ley de Agua Limpia (40 CFR 122.21 y 40 CFR 122.42)

CERCLA (Ley de Respuesta Ambiental Integral, Compensación y Responsabilidad):

Este material, según esté suministrado, no contiene sustancias reguladas como sustancias peligrosas bajo CERCLA (40 CFR 302) o SARA (40 CFR 355). Puede haber requisitos de notificación específicos al nivel local, regional o estatal relacionados con escapes de este material.

REGLAMENTOS ESTATALES

Propuesta 65 de California

Este producto no contiene componentes regulados bajo la Propuesta 65 de California

Reglamentos Federales del Derecho de Saber de los Estados

Este producto no contiene sustancias reguladas por los reglamentos del Derecho de Saber de los Estados.

HDS: Carbonato de Sodio

Inventarios Internacionales

Componente	TSCA (EE.UU)	DSL (Canadá)	EINECS/ELI NSC (Europa)	ENCS (Japón)	IECSC (China)	KECL (Corea)	PICCS (Filipinas)	AICS (Australia)
Carbonato de Sodio 497-19-8	X	X	X	X	X	X	X	X

México – Grado

Riesgo moderado, Grado 2

Clase de Peligro WHMIS (Canadá solamente)

- Materiales tóxicos D2B, Irritación de los ojos
- Clase E: Corrosivo al aluminio. No corrosivo para la piel de animales o el acero al carbono.

SECCIÓN 16. OTRA INFORMACIÓN

Clasificaciones de peligro de la Asociación Nacional de Protección contra Incendios – NFPA(R)

Salud	2
Inflamabilidad	0
Reactividad	0
Especial	Ninguno

4 = Extremo, 3 = Alto, 2 = Moderado, 1 = Ligero, 0 = Insignificante

Sistema Nacional de Identificación de Materiales Peligrosos de Pinturas y Recubrimientos (HMIS(R))

Salud	2
Inflamabilidad	0
Peligro físico	0
Protección personal (PPE)	B

Protección = B (Anteojos de seguridad y guantes)

4 = Severo, 3 = Grave, 2 = Moderado, 1 = Ligero, 0 = Mínimo

Certificado según ANSI/NSF 60 – Sosa caustica, densa a granel: Este producto está certificado según ANSI/NSF 60 cuando se usa en el tratamiento del agua potable a una dosis máxima de 100 mg/L.

HDS: **Carbonato de Sodio**

Información en base a la clasificación según CLP

Rotulación de acuerdo con la Directiva 67/548/EEC-1999/45/EC (DSD/DPD)

Enumerado en la lista de sustancias Anexo I de la Directiva 67/548/EEC et sequens

Rótulos



Irritante

Frases-R

36 Irritante para los ojos

Frases-S

(02) (Mantener fuera del alcance de los niños)

22 No aspirar el polvo

26 En caso de contacto con los ojos, enjuagar inmediatamente con abundante agua y procurar atención médica

Texto completo de cualquier frase-R referida bajo los encabezamientos 2 y 3:

R36 Irritante para los ojos

Texto completo de cualquier frase-H referida bajo los encabezamientos 2 y 3:

H319 Ocasiona irritación seria de los ojos

Renuncia de responsabilidad

La información contenida en este documento se presenta de buena fe, pero no se ofrece ninguna garantía expresa ni implícita.

Número de revisión

1.1: Direcciones de fabricantes actualizadas, 12/31/2014

1.2: Actualización de la HDS, dirección del fabricante actualizada, 04/27/2015

1.3: Actualización de la HDS, corregida 7.2.2 última bala, cambió para formar 07/24/2015

1.4: Actualización de la HDS, Cambio OCI a CINER la sección 1.1, 06/24/2016