

2008

# SIMULACIÓN DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE YODO A PARTIR DE SOLUCIONES DE YODATO

MOYA CANCINO, JOSÉ GERARDO

Universidad Técnica Federico Santa María

---

<http://hdl.handle.net/11673/5977>

*Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA*

## RESUMEN

El objetivo general de este trabajo es el desarrollo de una herramienta de análisis del proceso de producción de yodo. Donde los objetivos específicos son; desarrollar una herramienta de diagnóstico del proceso productivo, desarrollar una herramienta de diseño e identificar las principales variables que afectan la eficiencia del proceso.

Una planta productora de Yodo comprende las siguientes etapas; generación de  $\text{SO}_2$ , enfriamiento de los gases de combustión, pre-adsorción de  $\text{SO}_2$ , adsorción con reacción de  $\text{SO}_2$ , regulador de pH, reactor de yodo y extracción por solvente que puede ser reemplazada por una etapa de blow-out según decida el usuario. La simulación fue programada en Matlab 6.5.

Para analizar la sensibilidad del modelo, se realizaron distintas simulaciones usando extracción líquido-líquido y blow-out. Los cambios para analizar la sensibilidad del modelo fueron; aumento y disminución del flujo de azufre que entra al sistema en 15%, aumento y disminución del flujo de solución de alimentación de yodato que entra al sistema en un 15% además de aumento y disminución del largo del reactor de yodo en 10 m.

Para el análisis de los resultados obtenidos se calcularon diversos índices dependiendo la etapa involucrada en el proceso productivo, los índices calculados fueron los siguientes; rendimiento de adsorción de  $\text{SO}_2$  en la etapa de pre-adsorción, rendimiento de adsorción de  $\text{SO}_2$  en la etapa de adsorción, conversión de yodato en etapa de adsorción, conversión del yodato en la etapa de reactor de yodo, recuperación de yodo libre en etapa de extracción líquido-líquido, recuperación de yodo libre como yodato en la etapa de stripper, recuperación de yodo libre como yodato de la etapa de blow out y rendimiento global.

La Tabla 1 muestra los índices calculados para la simulación usando extracción líquido-líquido y stripper.

*Tabla 1  
Índices de análisis para la simulación usando extracción líquido-líquido y stripper.*

Caso	A.1	B.1.1	B.2.1	C.1.1	C.2.1	D.1.1	D.2.1
Rendimiento de absorción de SO <sub>2</sub> en la etapa de pre-absorción	31,2%	27,8%	35,5%	31,2%	31,2%	31,2%	31,2%
Conversión de yodato en etapa de absorción	82,6%	99,9%	65,9%	71,9%	97,2%	82,6%	82,6%
Rendimiento de absorción de SO <sub>2</sub> en la etapa de absorción	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%
Conversión del yodato en el reactor	43,6%	91,0%	24,1%	29,6%	81,1%	43,8%	43,2%
Recuperación de yodo libre en etapa de extracción líquido-líquido	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Recuperación de yodo libre como yodato en la etapa de stripper	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Recuperación total	81,4%	91,6%	65,2%	71,1%	92,2%	81,4%	80,6%

La Tabla 2 muestra los índices calculados para la simulación usando blow-out.

*Tabla 2  
Índices de análisis para la simulación usando blow-out.*

Caso	A.2	B.1.2	B.2.2	C.1.2	C.2.2	D.1.2	D.2.2
Rendimiento de absorción de SO <sub>2</sub> en la etapa de pre-absorción	31,2%	27,7%	35,9%	31,2%	31,2%	31,2%	31,2%
Conversión de yodato en etapa de absorción	82,6%	99,9%	65,5%	71,9%	97,3%	82,6%	82,6%
Rendimiento de absorción de SO <sub>2</sub> en la etapa de absorción	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%
Conversión del yodato en el reactor	43,7%	91,2%	23,8%	29,6%	81,4%	43,9%	43,3%
Recuperación de yodo libre como yoduro en etapa de blow-out	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%
Recuperación total	73,3%	82,4%	58,4%	64,0%	83,0%	73,3%	72,6%

Como conclusión, este trabajo demuestra la utilidad de la herramienta de simulación de procesos para optimizar la operación y/o diseño de plantas. Se demuestra por un análisis de sensibilidad como cambia la recuperación de yodo, estos valores van desde 65,2% hasta 92,2% de recuperación de yodo global para la simulación usando extracción líquido-líquido y 58,4% hasta 83% de recuperación de yodo global para la simulación usando blow-out.

Para aumentar la eficiencia del sistema se concluye que es necesario aumentar el largo desde 25 m hasta 35 m del reactor, para aumentar la eficiencia de conversión del yodato y yoduro a yodo libre desde 43,7 % hasta 43,9 % usando extracción líquido-líquido y desde 43,6% hasta 43,8% usando blow-out.

# ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I. ANTECEDENTES GENERALES</b>	<b>7</b>
1.1 Introducción	9
1.2 Evolución Tecnológica en la Producción de Yodo	9
1.2.1 Yodo a partir de algas marinas (1817-1959)	9
1.2.2 A partir de caliche del norte de Chile: 1852 en adelante	11
1.2.3 A partir de Brine: Desde 1854 en adelante	12
1.3 Objetivos	20
<b>CAPÍTULO II. ANTECEDENTES TEÓRICOS</b>	<b>21</b>
2.1 Descripción de la Planta Productora de Yodo	21
2.1.1 Descripción de la Operación de la Planta Productora de Yodo	24
2.2 Generación de SO <sub>2</sub>	25
2.2.1 Uso de la caldera con recuperación	26
2.2.2 Uso del horno rotatorio	26
2.3 Enfriamiento de los Gases de Combustión	26
2.4 Torre de Pre-absorción	27
2.5 Torre de Absorción	28
2.6 Ajuste de pH	30
2.7 Reactor de Yodo	31
2.8 Recuperación del Yodo Libre	31
2.8.1 Recuperación por Blow-out	31
2.8.2 Recuperación por Extracción líquido-líquido	32
2.9 Concentración del I <sub>2</sub> como yoduro	33
<b>CAPÍTULO III. MODELACIÓN PLANTA DE YODO</b>	<b>34</b>
3.1 Descripción del problema	34
3.2 Estrategia de solución del sistema	34
3.2.1 Modelo para Generación de SO <sub>2</sub>	37
3.2.2 Modelo para Enfriamiento de gases de combustión	40
3.2.3 Torre de Pre-absorción	43

3.2.4 Modelo para Torre de absorción	46
3.2.5 Modelo para Tanque de ácido	49
3.2.6 Modelación Reactor de Yodo	51
3.2.7 Modelación de recuperación de yodo libre por Extracción líquido-líquido	53
3.2.8 Stripper	54
3.2.9 Modelación Blow-out	56
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN</b>	<b>59</b>
4.1 Generación de casos y parámetros de diseño	59
4.2 Caso A.Caso Base	61
4.2.1 Resultado simulación para caso A usando extracción líquido-líquido	61
4.2.2 Resultado simulación para caso A usando blow-out	61
4.3 Caso B.Cambios en la alimentación de azufre	64
4.3.1 Resultado simulación para caso B.1 usando extracción líquido-líquido	64
4.3.2 Resultado simulación para caso B.1 usando blow-out	64
4.3.3 Resultado simulación para caso B.2 usando extracción líquido-líquido	67
4.3.4 Resultado simulación para caso B.2 usando blow-out	67
4.4 Caso C.Cambios en la alimentación de solución de yodato de entrada	70
4.4.1 Resultado simulación para caso C.1 usando extracción líquido-líquido	70
4.4.2 Resultado simulación para caso C.1 usando blow-out	70
4.4.3 Resultado simulación para caso C.2 usando extracción líquido-líquido	73
4.4.4 Resultado simulación para caso C.2 usando blow-out	73
4.5 Caso D.Cambios en el largo del reactor de yodo	76
4.5.1 Resultado simulación para caso D.1 usando extracción líquido-líquido	76
4.5.2 Resultado simulación para caso D.1 usando blow-out	76
4.5.3 Resultado simulación para caso D.2 usando extracción líquido-líquido	79
4.5.4 Resultado simulación para caso D.2 usando blow-out	79
<b>CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>82</b>
5.1 Análisis de resultados de la simulación para una planta que recupera el yodo por extracción líquido-líquido	82
5.1.1 Análisis de resultados de simulación para el caso base, caso A.1	82

5.1.2	Análisis de resultados de simulación para el caso B, caso B.1.1	84
5.1.3	Análisis de resultados de simulación para el caso B, caso B.2.1	86
5.1.4	Análisis de resultados de simulación para el caso C, caso C.1.1	88
5.1.5	Análisis de resultados de simulación para el caso C, caso C.2.1	91
5.1.6	Análisis de resultados de simulación para el caso D, caso D.1.1	93
5.1.7	Análisis de resultados de simulación para el caso D, caso D.2.1	94
5.2	Análisis de resultados de la simulación para una planta que recupera el yodo por blow-out	95
5.2.1	Análisis de resultados de simulación para el caso base, caso A.2	95
5.2.2	Análisis de resultados de simulación para el caso B, caso B.1.2	97
5.2.3	Análisis de resultados de simulación para el caso B, caso B.2.2	99
5.2.4	Análisis de resultados de simulación para el caso C, caso C.1.2	101
5.2.5	Análisis de resultados de simulación para el caso C, caso C.2.2	103
5.2.6	Análisis de resultados de simulación para el caso D, caso D.1.2	105
5.2.7	Análisis de resultados de simulación para el caso D, caso D.2.2	106
<b>CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>		<b>107</b>
6.1	Conclusiones	107
6.2	Recomendaciones	108
<b>REFERENCIAS</b>		<b>109</b>
<b>NOMENCLATURA</b>		<b>112</b>
<b>APÉNDICE</b>		<b>115</b>
Apéndice A		115
Exportación del sector minería no metálica		115
Apéndice B		118
Yodo		118
Hidrógeno		135
Agua		139
Nitrógeno		144
Azufre		153
Apéndice C		155

Generación de SO <sub>2</sub>	155
Torre de Pre-absorción	155
Torre de absorción de SO <sub>2</sub>	156
Condiciones de entrada del proceso	156
Apéndice D	157
Programa	157

# CAPITULO I

## ANTECEDENTES GENERALES

### 1.1 Introducción

El Yodo es un elemento químico de la familia de los halógenos, extraído de las salmueras ricas en Yodo asociadas a la explotación de gas natural, en EEUU y Japón, y extraído del caliche salitrero en el norte de Chile. La extracción de Yodo a partir de algas marinas en países de Europa, EEUU y Japón, sólo fue utilizada hasta el siglo pasado.

Las reservas mundiales de Yodo se estiman en 15 millones de toneladas, de las cuales 9 millones se encuentran en Chile y 4.9 millones de toneladas en Japón. La producción mundial de yodo en el año 2006 fue de 25.300 toneladas métricas de las cuales Chile produjo el 59,7%. La Figura 1.1 ilustra la producción chilena de yodo, en toneladas métricas, entre los años 1996 y 2006 [1].

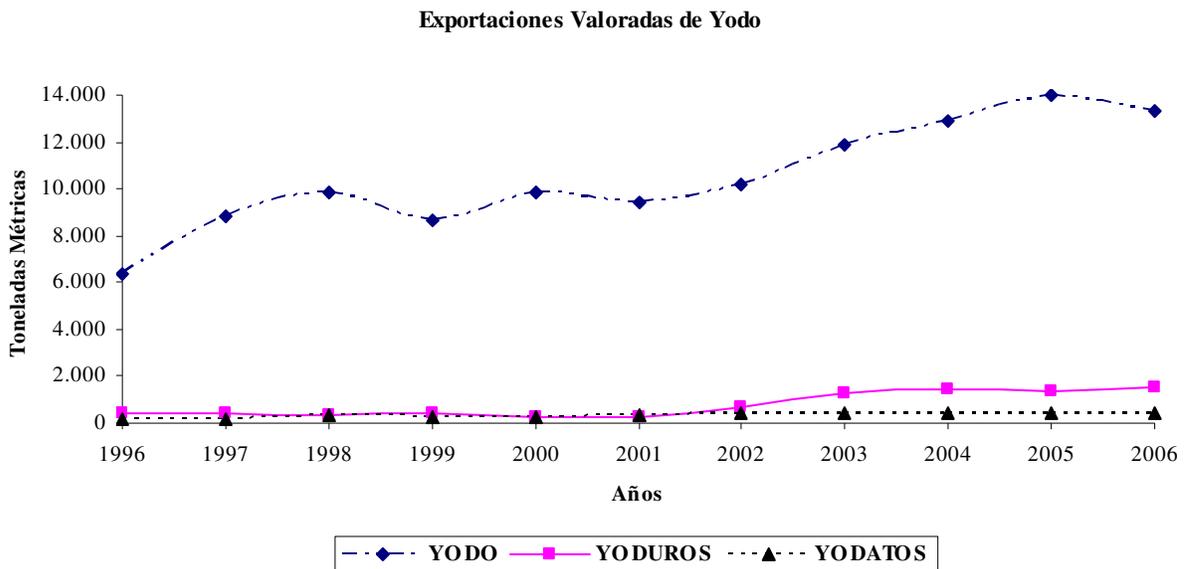


Figura 1.1. Resumen producción chilena de yodo en Toneladas Métricas [1].

La Figura 1.2 muestra la producción chilena de yodo, en US\$, entre los años 1996 y 2006 [1].

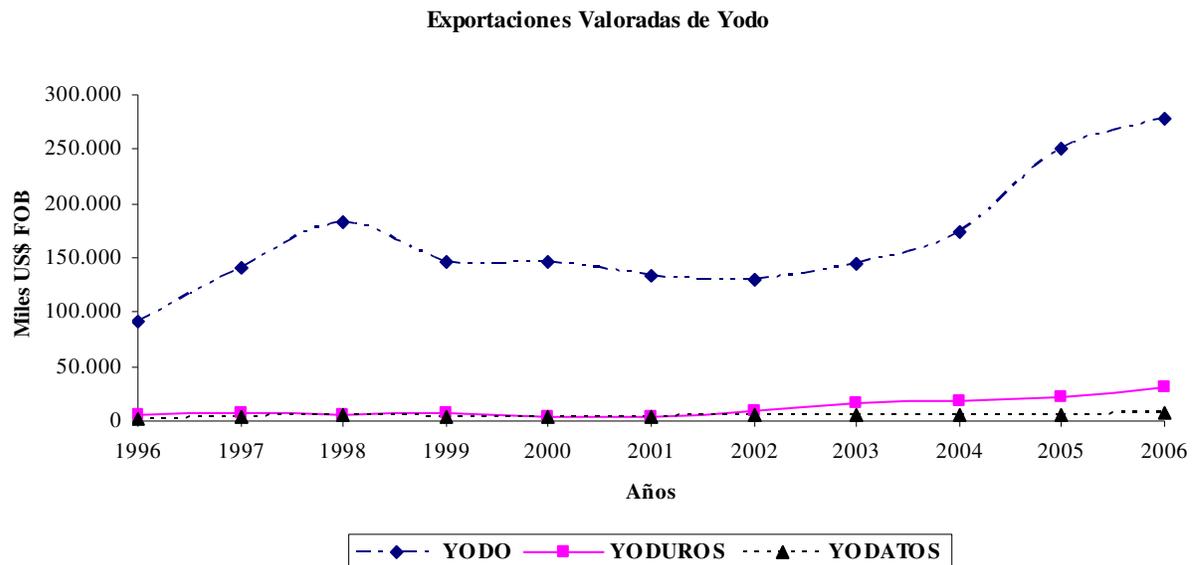


Figura 1.2. Resumen producción chilena de yodo en US\$ [1].

La calidad del yodo comercial es de una pureza mínima de 99,8 %, residuo máximo 0,01 % y porcentaje máximo de cloruro/bromuro de 0,005 %. Se vende como prill, envasado de dos formas [2]:

- Maxi-sacos de 500 [kg] tejidos con polietileno y bolsas de polivinilideno.
- Bidones de 50 [kg] de fibra de polietileno y bolsas de polivinilideno.

Del yodo se derivan productos químicos comerciales de dos tipos: sales Inorgánicas (yoduros y yodatos) y compuestos orgánicos (alifáticos y aromáticos). Los yoduros son los productos comerciales más importantes, siendo los más comunes la combinación de yodo con potasio, con sodio, con hidrógeno y con otros halógenos. Ejemplos del uso específico de yoduros son el yoduro de potasio usado en el área farmacéutica para el tratamiento de tiroides sobreactiva, o para proteger a la glándula tiroides de efectos producidos por el yodo radiactivo (antes y después de ingerir medicamentos que contiene yodo radiactivo). El yoduro de sodio además de ser usado en el área médica para el tratamiento de la tiroides, es usado en la industria veterinaria como antimicótico y expectorante, para tratamiento de la Actinobacilosis de los bovinos y como expectorante en equinos y en la industria alimenticia, al ser adicionado a la sal común para prevenir enfermedades a la tiroide.

## 1.2 Evolución Tecnológica en la Producción de Yodo

Históricamente han existido tres procesos distintos de obtención del Yodo, según sea el origen de la materia prima:

- Obtención a partir de algas marinas.
- Obtención a partir de caliche del norte de Chile.
- Obtención a partir de Soluciones Salinas.

### 1.2.1 Obtención de Yodo a Partir de algas marinas (1817 – 1959).

Después del descubrimiento del Yodo por Courtois en 1811, la primera obtención exitosa de Yodo fue hecha en Francia, usando algas marinas como materia prima. Existiendo tres métodos de obtención de Yodo a partir de algas marina:

- Incineración de algas o Native [3].
- Destilación destructiva o Char [4].
- Proceso Húmedo.

#### a) Incineración de algas o Native.

Las algas secas contienen entre 0,03 y 0,45 % en peso de Yodo en forma de Yoduros. Cuando las algas marinas eran incineradas correctamente, las cenizas podían contener 1,4 a 1,8 % en peso de Yodo [5].

Durante las primeras producciones, hasta el 90 % de Yodo en las algas podía perderse, ya que las algas eran recolectadas y mantenidas expuestas al medio ambiente en la época de invierno. Otro factor que influía en la baja recuperación, era en la etapa de incineración de las algas, ya que las cenizas quedaban adheridas a las paredes del horno, y en la etapa de limpieza de éste se perdía alrededor del 50 % de Yodo.

El proceso Solvay, usado para la producción de soda a partir de sal común, casi pone a la industria de algas marinas fuera del negocio en 1840, pero vivió un repunte al utilizar otro tipo de algas para la producción de cloruro de potasio y yodo.

Sin embargo, el descubrimiento de depósitos de fertilizante potásico en 1835 en la ciudad alemana de Stassfurt, produjo una disminución de la producción de Yodo a partir de algas marinas. Entre 1841 y 1844, el Yodo fue usado en Alemania, en la industria de las tintes anilínicas, lo cual produjo un aumento en la demanda y el precio del Yodo.

### **b) Destilación Destructiva o Char.**

En 1863 un segundo método comenzó a ponerse en práctica: la destilación destructiva de las algas marinas en estuches cerrados; esta práctica se inició en las Islas Escocesas de Tiree y North Uist.

Esta técnica producía Yodo, junto con Amoníaco, Ácido Acético, Nafta y carbón decolorado. En el proceso de destilación de 100 toneladas de algas marinas secas, se producían 36 toneladas de residuo carbonizado, 15 toneladas de sales de potasio y sodio, 600 libras de Yodo y 20 toneladas de carbón.

Las algas marinas eran incineradas, lixiviadas y evaporadas. Se recuperaba cloruro de sodio, cloruro de potasio y carbonato de sodio, los que eran separados por evaporación, cristalización y filtración.

Se agregaban dióxido de manganeso y el ácido sulfúrico al licor remanente, para la conversión del yoduro de sodio a sulfato de sodio ácido y yodo libre, como lo muestra la siguiente reacción:



El Yodo era sublimado y luego condensado antes de ser lavado y secado [6]. La producción durante la década de 1870, fue de alrededor de 60.000 libras de Yodo por año.

### **c) Proceso Húmedo.**

Un tercer método, se introdujo en Escocia en 1863 y luego en Estados Unidos en 1917, correspondía al proceso húmedo, donde las algas marinas eran maceradas en agua fría, luego era extraído el cloruro de potasio, sulfato de potasio, cloruro de sodio, carbonato de sodio y yoduros. El residuo contenía celulosa y una peculiar nueva sustancia llamada Algin.

El proceso húmedo usaba 100 toneladas de algas marinas secas produciendo 33 toneladas de solución, la que contenía 20 toneladas de sales de potasio y sodio y 600 libras de yodo.

En Estados Unidos, grandes cantidades de algas marinas correspondientes a los géneros *Macrocystis* y *Nereocystis* fueron cosechadas en California y usadas para la producción de ácido acético por procesos de destilación. El residuo era procesado para producir fertilizante potásico y yodo. Aunque la producción de cloruro de potasio a partir de algas marinas entre los años 1916 y 1919 ascendió a 40.000 toneladas, no se tienen cifras para la producción de yodo.

La producción comercial japonesa de yodo a partir de algas marinas comenzó en 1888 y en el año 1916 Japón fue líder en producción y exportaciones de algas marinas [7]. El proceso usado era idéntico al proceso de destilación destructiva. Las cenizas contenían 0,4% de yodo. La producción de 100 libras de yoduro requería 24.800 libras de cenizas, 158 libras de dióxido de manganeso y 220 libras de ácido sulfúrico. Como producto se obtenía 3.300 libras de cloruro de potasio y 2.100 libras de cloruro de sodio. La producción de yodo a partir de algas marinas alcanzó las 300.000 libras en 1916. El yodo además fue producido a partir de un subproducto del proceso de Aji-no moto, una popular salsa japonesa.

La producción de Yodo a partir de cenizas de algas marinas cesó en Irlanda, Noruega y Escocia en 1934, por la competencia del yodo proveniente de Chile y Japón. Éste último continuó la producción de yodo a partir de algas marinas hasta 1951, ya que a partir de 1946 se inicio la producción de yodo a partir de soluciones salinas.

### **1.2.2 Obtención de Yodo a partir de Caliche Salitrero del Norte de Chile (1852 en adelante).**

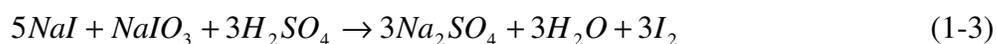
El yodo está presente en las provincias de Tarapacá y Antofagasta, en concentraciones alrededor de 0,06% de yodato de sodio, asociado a los depósitos de caliche salitrero.

Aunque los nitratos eran producidos antes del 1800, la producción de yodo comenzó sólo cuando la primera planta de yodo fue abierta en 1852. Los intentos de mejorar la producción e implementar un proceso continuo, se reanudaron cuando el yodo crudo fue exportado a Europa en 1868; el yodo llegó a ser el subproducto de más alto valor del proceso de obtención de nitrato.

Para obtener yodo a partir de soluciones de lixiviación, (1873), se hacía reaccionar licor madre sin tratar con bisulfito de sodio, preparado a partir de dióxido de azufre que pasaba a través de una solución de carbonato de sodio producido de la incineración de carbón y nitrato de sodio. La reacción de licor madre y bisulfito de sodio corresponde a la siguiente ecuación:



Luego se adicionaba ácido sulfúrico a la mezcla de yoduro producida por la reacción anterior y licor madre (yodato) produciendo yodo libre, como la muestra la siguiente ecuación:



El yodo libre era extraído de la solución acuosa, mediante el uso de kerosene [8]. Alrededor del 80% del yodo en la solución era recuperado.

La producción en Chile alcanzó 1 millón de libras por año en 1904. La primera planta moderna para la producción de salitre, Proceso Guggenheim, se construyó en 1927, esto incrementó la producción de yodo a 1.7 millones de libras de yodo anuales. La Figura 1.3 esquematiza el Proceso Guggenheim [8].

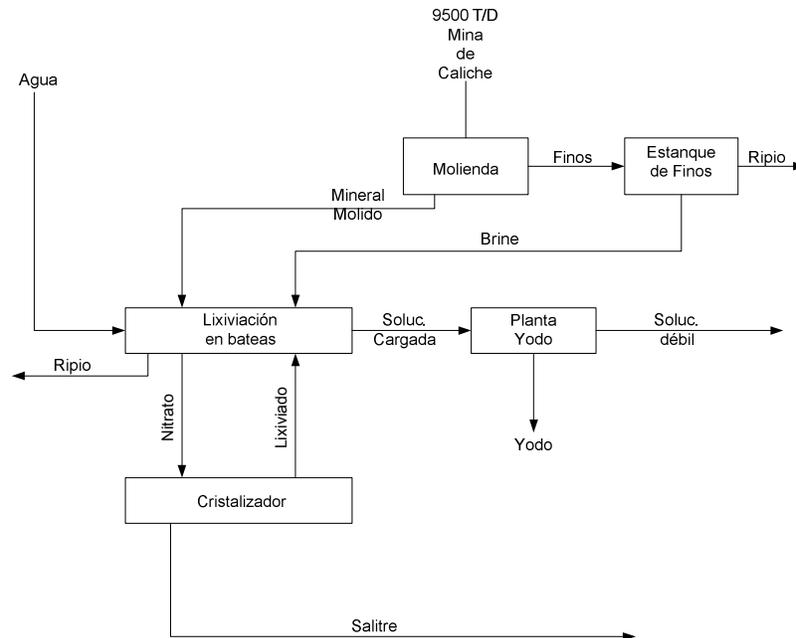


Figura 1.3. Proceso de producción del nitrato chileno [8].

Chile siguió siendo el mayor exportador de yodo en el mundo desde la década de 1880 hasta la década de 1930; en 1936 se produjo un incremento de la producción de yodo, llegando a un peak de 2,8 millones de libras.

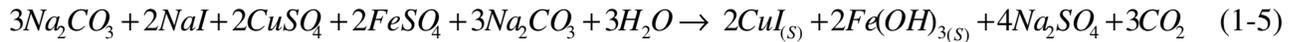
### 1.2.3 Obtención de Yodo a partir de Brine (1854 en adelante).

En 1854, corto tiempo después que se abriera la primera planta de yodo en Chile, se inició la producción de yodo en Java, Indonesia, siendo el primer reporte de producción de yodo a partir de brine en que el yodo contenido se encuentra como yoduro [10]. Se usaron seis tecnologías distintas para la producción de yodo a partir de brine. Las tecnologías son:

- Yoduro de cobre (I).
- Nitrato – Sulfito.
- Turrentine.
- “Blow - Out”.
- Carbón activado.
- Yoduro de Plata.
- Electrólisis.
- Dow.
- Intercambio iónico.

### a) Proceso Yoduro de Cobre (I).

El brine clarificado era mezclado con sulfato de hierro (II) y sulfato de cobre (I), la solución era neutralizada con carbonato de sodio, produciéndose la precipitación del yoduro de cobre (I) e hidróxido de hierro (III), el cual ayudaba a la coagulación de yoduro de cobre (I). Esta reacción corresponde a la siguiente ecuación [12]:



La solución era concentrada y filtrada, luego se recuperaba el yoduro de cobre (I) y el precipitado de hidróxido de hierro (III). Los sólidos en suspensión en el agua eran tratados con dióxido de azufre, lo que permitía la regeneración del sulfato de hierro (II) soluble y el yoduro de cobre (I) libre, el cual era recuperado por filtración. Esta reacción corresponde a la siguiente ecuación [12]:



Para recuperar el yoduro de cobre (I), el filtrado era calentado en un reactor vidriado, junto con cloro, según la siguiente reacción [12]:



El lodo de yodo era recuperado por filtración. El yodo era purificado por fusión con ácido sulfúrico.

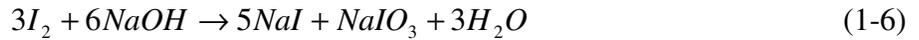
### b) Proceso Nitrato – Sulfito.

La producción de yodo en Italia comenzó en 1925 desde el tratamiento del agua mineral en Salsomaggiore. El agua era tratada con nitrato de sodio y ácido sulfúrico. El yodo libre era absorbido por un solvente y separado por un proceso de centrifugado. El yodo era recuperado desde el solvente mediante un tratamiento con sulfito de sodio, para formar yoduro de sodio, el cual era tratado con dicromato de sodio, para formar yodo elemental. La purificación con ácido sulfúrico producía 99.8% de yodo puro, después era lavado y luego secado sobre cloruro de calcio.

### c) Proceso Turrentine.

En 1925, el proceso Turrentine introdujo el método de “Blow-out”, mediante el cual el yodo es extraído desde soluciones diluidas sin concentración de la solución [13]. El yodo era liberado desde la solución con vapor y absorbido con soda cáustica.

Un nuevo volumen de absorción era introducido cuando la solución se saturaba. El yodo liberado formaba un lodo, el cual podía ser procesado para remover impurezas. Las ecuaciones para el proceso son las siguientes:



**d) Proceso “Blow – Out”.**

En 1926, un brine que contenía 35 partes por millón de yodo fue localizado en Lousiana; comenzando la producción de yodo en 1928, cuya producción fue de 700.000 libras/año. La compañía usaba el proceso “blow-out”, desarrollado por Dow Chemical Co., el que se describe a continuación.

El brine se obtenía junto con la producción de petróleo, una vez separados, se requería remover del brine el petróleo remanente, para ello el brine pasaba por tanques de separación de fase. Estos tanques eran protegidos contra la corrosión con aleaciones de magnesio anódico. El petróleo extraído de los tanques de separación de fase era vendido como combustible.

El brine, era bombeado a un equipo clarificador-floculador, el cual poseía ánodos protectores. Se agregaba una solución de 30 partes por millón de cloruro férrico, para la floculación del remanente de petróleo, sedimento y otras impurezas. En un estanque era agregado ácido sulfúrico, para bajar el pH del brine, donde se producía la precipitación del bario y la completa liberación del yodo. El brine clarificado era filtrado con arena, en un filtro de madera [14]. Para liberar el yodo, se agregaba gas cloro en exceso al brine, como se muestra en la siguiente ecuación:



Se agregaban 0.28 libras de cloro por libra de yodo, lográndose la conversión inmediata y la solución de  $I_2$  libre entraba a una torre de desorción de  $I_2$  con aire contra corriente. El aire cargado con yodo entraba a una torre de absorción, donde el yodo era reducido a yoduro de hidrógeno en presencia de dióxido de azufre, quedando en la solución como yoduro. La siguiente ecuación muestra la reacción de reducción del yodo libre:



El yodo se recupera de la solución de yoduro, por precipitación, después de haber reaccionado con cloro como lo indica la siguiente ecuación:



Luego era filtrado, en presencia de ácido sulfúrico, y retirado con una pureza de 99,8% [15]. La figura 1.4 esquematiza el proceso:

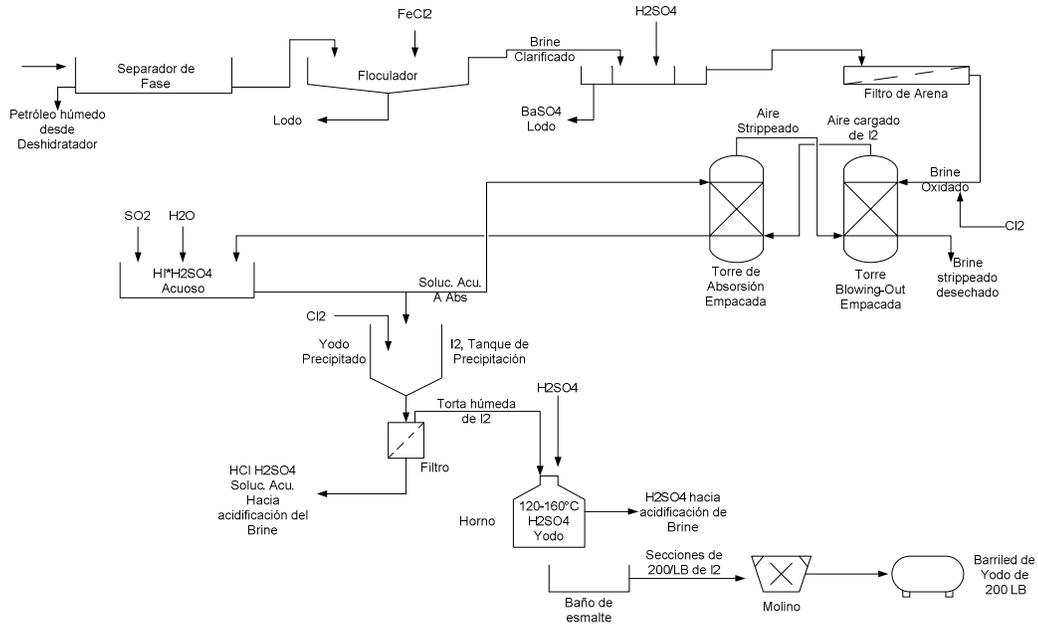


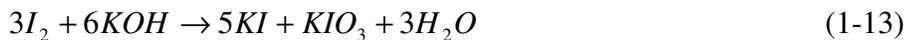
Figura 1.4: Proceso "Blow - out".

### e) Proceso Carbón activado.

General Salt Company comenzó a extraer yodo en 1928 desde los campos de brines de petróleo en Long Beach, California, usando el proceso carbón activado. Las concentraciones reportadas de yodo en los brines provenientes del petróleo eran de 50 partes por millón. El brine era separado del petróleo para luego pasar por bateas donde se le adicionaba ácido sulfúrico y nitrato de sodio, lo cual producía la liberación de yodo. La ecuación de dicha reacción es la siguiente:



El brine pasaba por dos tanques absorbentes de forma trapezoidal construidos de hormigón con revestimiento de asfalto. El carbón activado era adicionado y mantenido en suspensión mientras entraba brine al sistema. Cuando el carbón se saturaba, éste se trataba con hidróxido de potasio para producir yoduro de potasio, como lo muestra la siguiente ecuación:



El líquido era removido por filtración e iba a estanques de evaporación [16]. Después el ácido sulfúrico era adicionado, apareciendo impurezas orgánicas en la superficie, las cuales eran removidas. El yodo era liberado por la adición de cloro y vapor de agua, precipitando y condensando, y posteriormente purificado por fusión en presencia de ácido sulfúrico concentrado.

El proceso de carbón activo de encuentra esquematizado en la Figura 1.5

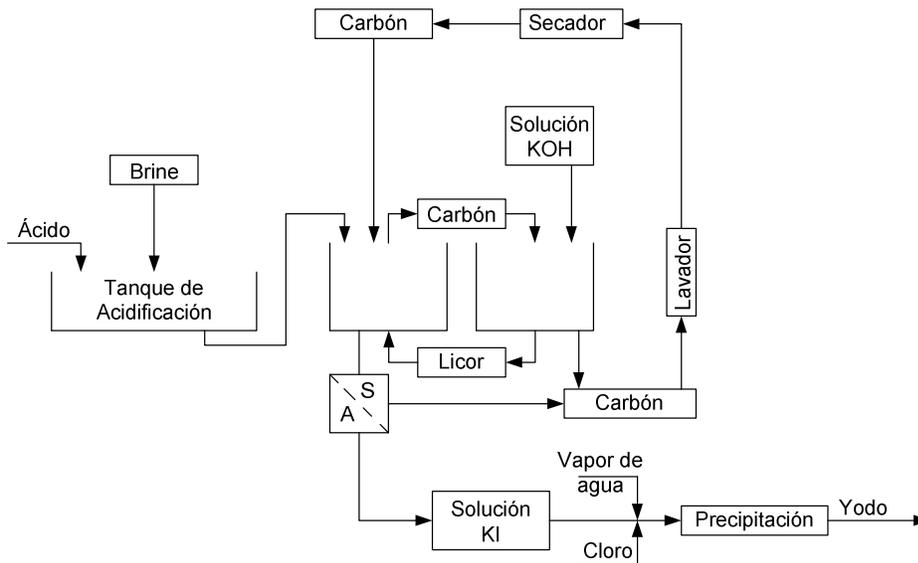
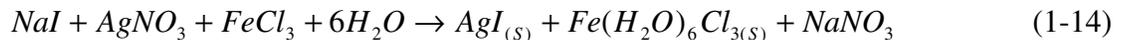


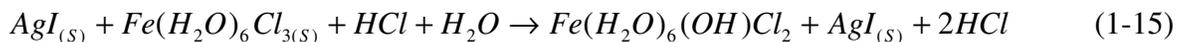
Figura 1.5. Proceso Carbón Activado

#### f) Proceso Yoduro de plata.

Deepwater Chemical Co. en California produjo yodo desde 1932 hasta 1960 por el proceso de yoduro de plata [17], El yodo era precipitado por tratamiento del brine con una solución de 2% de nitrato de plata en presencia de una solución coagulante de Cloruro de hierro (III). La ecuación para dicha reacción es la siguiente:



La mezcla de yoduro de plata e hidróxido de hierro (II) precipitaba y era tratada con ácido clorhídrico concentrado. Como se puede apreciar en la siguiente ecuación:

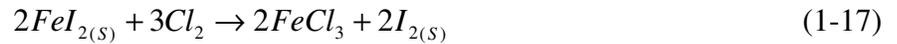


A continuación se agregaba chatarra de fierro, formando yoduro de hierro (II) y plata metálica. La ecuación para dicha reacción es la siguiente:



La plata era filtrada y oxidada a nitrato de plata, mientras que la solución de yoduro de hierro (II) era tratada con un oxidante el cual producía la precipitación del yodo.

Oxidantes comúnmente usados eran el cloro o dicromato de sodio y ácido sulfúrico, o nitrato y ácido. La siguiente ecuación corresponde a la reacción de oxidación de yoduro de hierro (II):



El yodo resultante era fundido en presencia de ácido sulfúrico concentrado, el yodo fundido, de aproximadamente 99,8% de pureza, era removido. El proceso de Yoduro de plata se esquematiza en la Figura 1.6 [18].

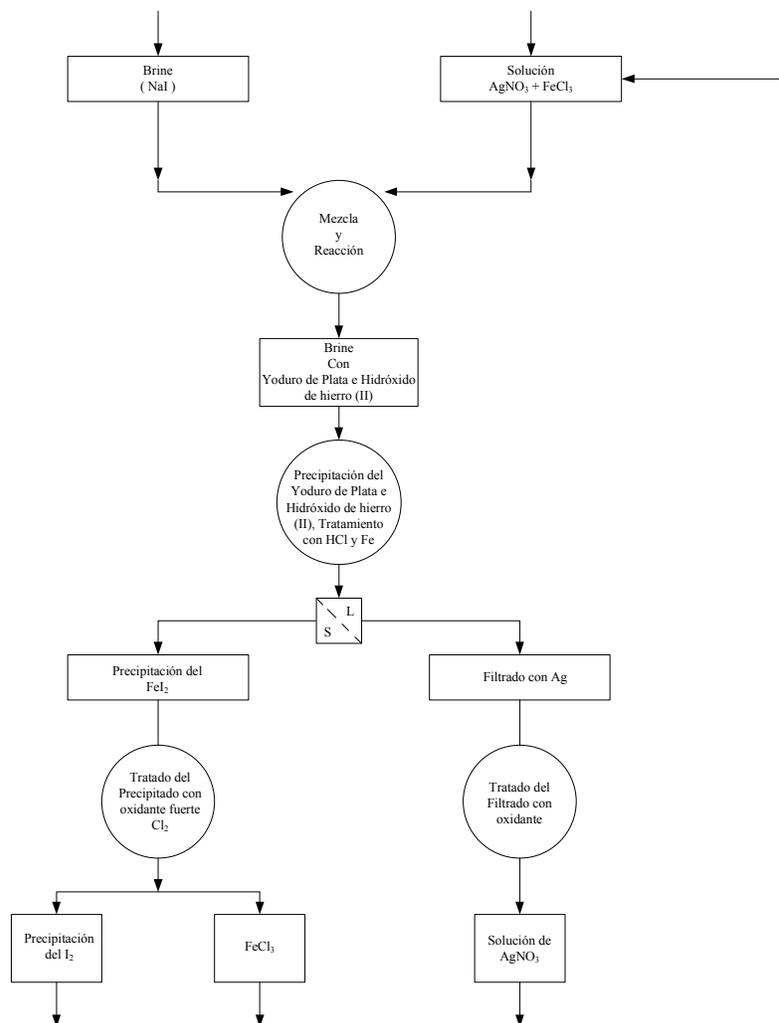


Figura 1.6. Proceso Yoduro de Plata.

### g) Proceso Electrolítico.

El proceso de electrólisis fue patentado en 1936, en los Estados Unidos pero nunca fue utilizado en producción comercial. En el proceso de la electrólisis, el brine era mezclado con ácido sulfúrico, dentro de un tanque que tenía un electrodo positivo de grafito y un electrodo negativo de hierro. Los electrodos eran separados por asbesto. Un potencial eléctrico de 3 volts era aplicado al flujo de brine de 600 litros por minuto.

El yodo depositado en el ánodo era posteriormente absorbido por el carbón activado en el tanque y procesado con soda cáustica caliente. El gas cloro era usado para la precipitación del yodo crudo. El yodo purificado tenía un grado de purificación entre el 90% y 99,9%, dependiendo del grado de sublimación [19].

### h) Proceso Dow.

El brine caliente era acidificado con ácido clorhídrico y oxidado con cloro para liberar el yodo elemental. El brine, acidificado y clorado pasaba por una torre desorbadora empacada donde una corriente de aire desorbía el yodo del brine y lo llevaba a la torre de yoduro de hidrógeno. En la torre de yoduro de hidrógeno (HI), dióxido de azufre y agua reducían y absorbían el yodo en solución. La solución saturada con yodo era continuamente drenada y el yodo era precipitado con la adición de cloro. El precipitado era fundido en presencia de ácido sulfúrico y extraído con 99,8% de pureza [18]. La Figura 1.7 esquematiza el proceso Dow de obtención de Yodo.

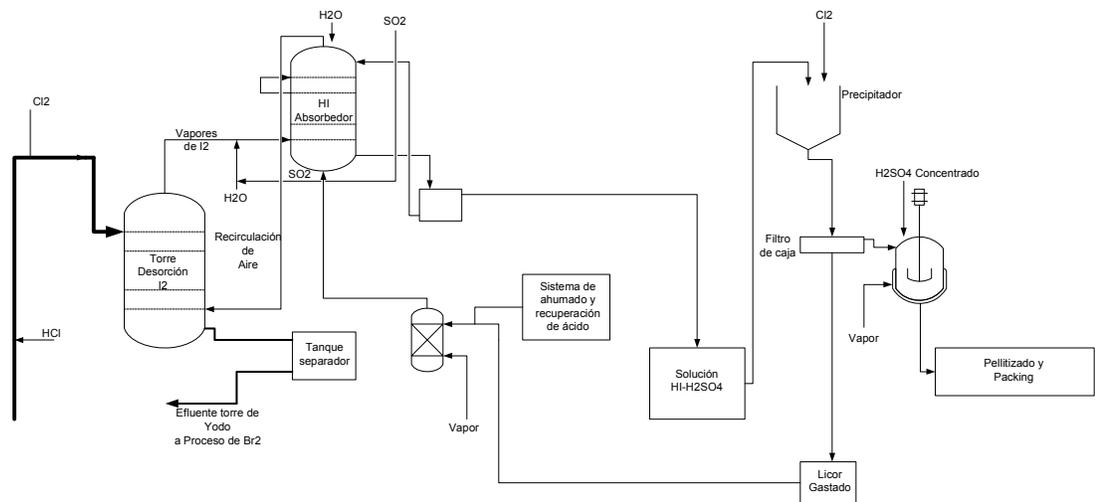
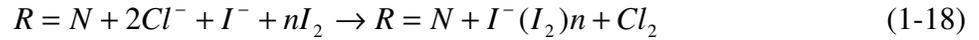


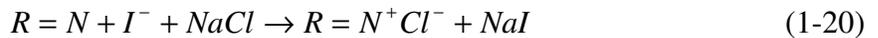
Figura 1.7. Proceso Dow.

**i) Proceso Intercambio Iónico.**

En 1963 Nippon Natural Gas Industry Co. instaló una planta que usaba el proceso de intercambio iónico. Esta fue la primera planta en usar dicho proceso, aunque una patente para el proceso con resina había sido publicada en Estados Unidos en 1938 [20]. El brine acidificado era tratado con cloro para liberar el yodo, el cual era absorbido en una resina de intercambio iónico. La siguiente ecuación describe el proceso anterior:



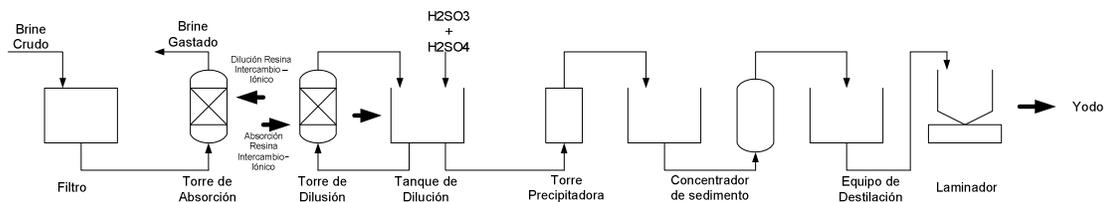
El yodo era extraído de la resina en dos etapas, por elusión con hidróxido de sodio y una solución de cloruro de sodio. La siguientes ecuaciones corresponden a extracción de yodo desde la resina.



Una vez concluida la elusión, la solución yoduro-yodato era acidificada con ácido sulfúrico en un reactor.



El lodo de yodo era recuperado por filtración o centrifugación y purificado por sublimación o por fusión en presencia de ácido sulfúrico. La Figura 1.8 esquematiza el proceso de Intercambio iónico antes descrito.



*Figura 1.8. Proceso Intercambio iónico.*

### 1.3 Objetivo

El objetivo general de este trabajo es el desarrollo de una herramienta de análisis del proceso de producción de yodo.

Los objetivos específicos son:

- Desarrollar una herramienta de diagnóstico del proceso productivo.
- Desarrollar una herramienta de diseño.
- Identificar las principales variables que afectan la eficiencia del proceso.

Para alcanzar este objetivo es necesario:

- Desarrollar los modelos teóricos que representen el comportamiento de cada una de las unidades que, interconectadas, configuran una planta de obtención de Yodo. Esto permite predecir el comportamiento que tendrán las distintas unidades bajo diferentes condiciones de operación.
- Estructurar un programa simulador en base a los modelos desarrollados que permita resolver las unidades interconectadas, resolviendo simultáneamente los balances de materia y energía y las restricciones que imponen los fenómenos de transferencia y las reacciones de los procesos que ocurren en los distintos equipos y los parámetros de diseño en cada una de las unidades del proceso.

## CAPITULO II

### ANTECEDENTES TEÓRICOS

El proceso de obtención de Yodo se realiza usando diferentes operaciones unitarias, que interconectadas configuran las distintas etapas de producción.

Conceptualmente, la planta productora de Yodo consiste de tres etapas:

- Producción de yodo libre.
- Recuperación del yodo libre desde la solución.
- Generación de yodo como solución concentrada de yoduro.

#### **2.1 Descripción de una Planta de producción de Yodo a partir de Soluciones de Yodatos.**

En el proceso se pueden reconocer las siguientes etapas:

- Generación de  $\text{SO}_2$  por combustión de azufre.
- Enfriamiento de los gases de combustión.
- Torre Pre-absorción de  $\text{SO}_2$ , Torre Absorción de  $\text{SO}_2$ .
- Reactor de Yodo.
- Recuperación de Yodo libre
- Concentración de  $\text{I}_2$  como yoduro.

En la etapa de generación de  $\text{SO}_2$  por combustión de azufre, se produce la reacción de combustión de azufre y oxígeno para formar dióxido de azufre que es necesario para la conversión del yodato de la alimentación a yoduro. Los gases de combustión,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_2$  y  $\text{N}_2$  provenientes de esta etapa, deben ser enfriados antes de entrar a la siguiente etapa, la que corresponde a la pre-absorción  $\text{SO}_2$ . En esta etapa se produce la absorción de una fracción de  $\text{SO}_2$  desde los gases de combustión, el  $\text{SO}_2$  absorbido se usa en la etapa de concentración de  $\text{I}_2$  como yoduro, en la conversión del yodo libre a yoduro. La corriente de gases de combustión entra a la siguiente etapa, torre de absorción de  $\text{SO}_2$ . En esta etapa se produce la reacción de conversión de yodato en solución a yoduro en solución.

La solución de yoduro que deja la etapa de absorción de  $\text{SO}_2$  y una fracción la corriente de alimentación, entran al reactor de yodo, donde se produce la conversión a yodo libre. La corriente acuosa de salida de esta etapa entra en la etapa de recuperación de yodo libre, donde el yodo libre es extraído.

Luego continúa con la etapa de Concentración de  $I_2$  a yoduro, en donde además de la reacción de conversión se produce la concentración de la solución de yoduro como producto. Las Figuras 2.1 y 2.2 esquematizan el proceso de obtención de yodo a partir de yodatos, para una planta que usa extracción líquido-líquido y una que usa blow-out, en la etapa de concentración de  $I_2$  como yoduro.

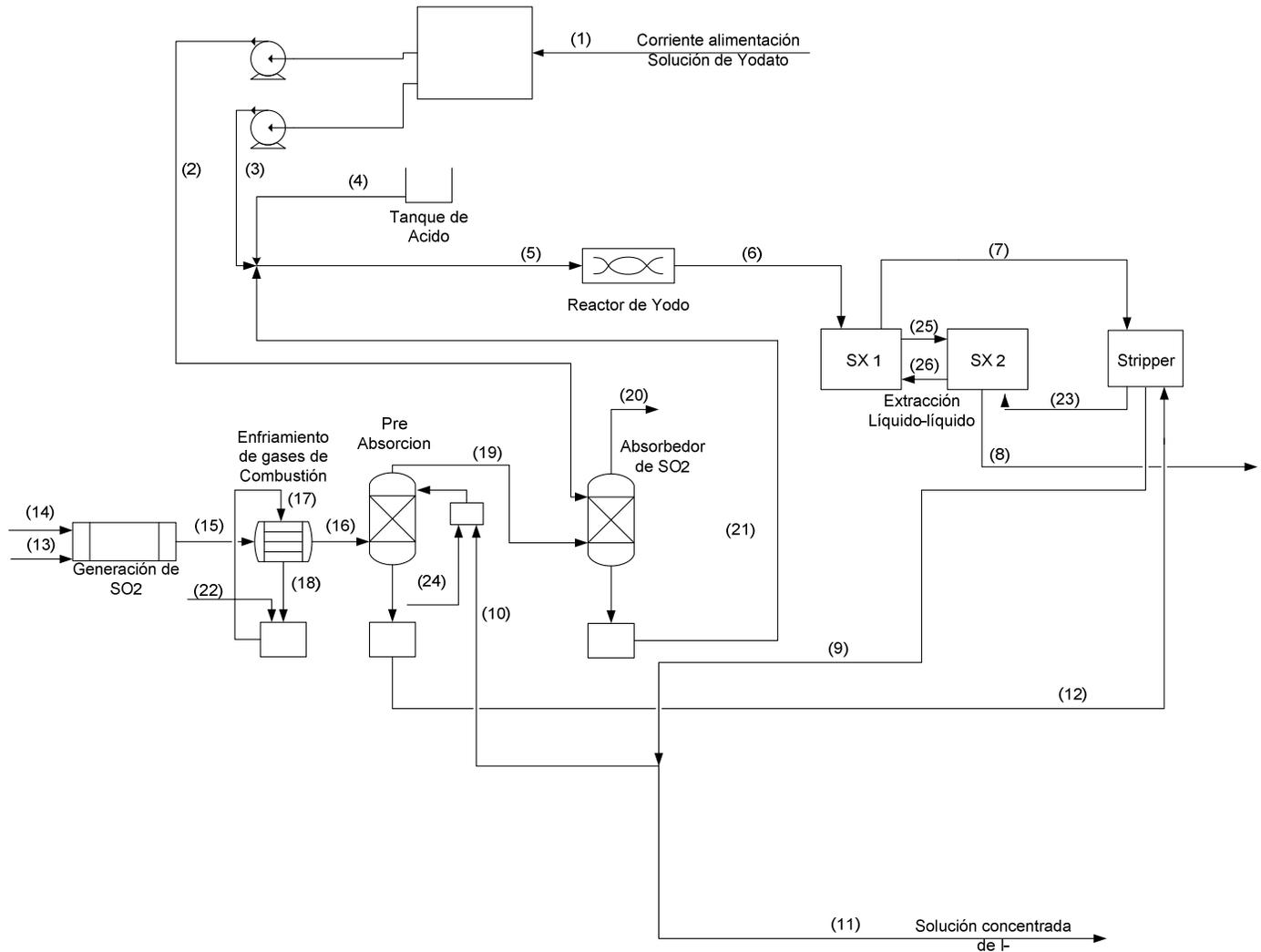


Figura 2.1: Flow Sheet de la planta productora de Yodo usando extracción líquido-líquido y stripper.

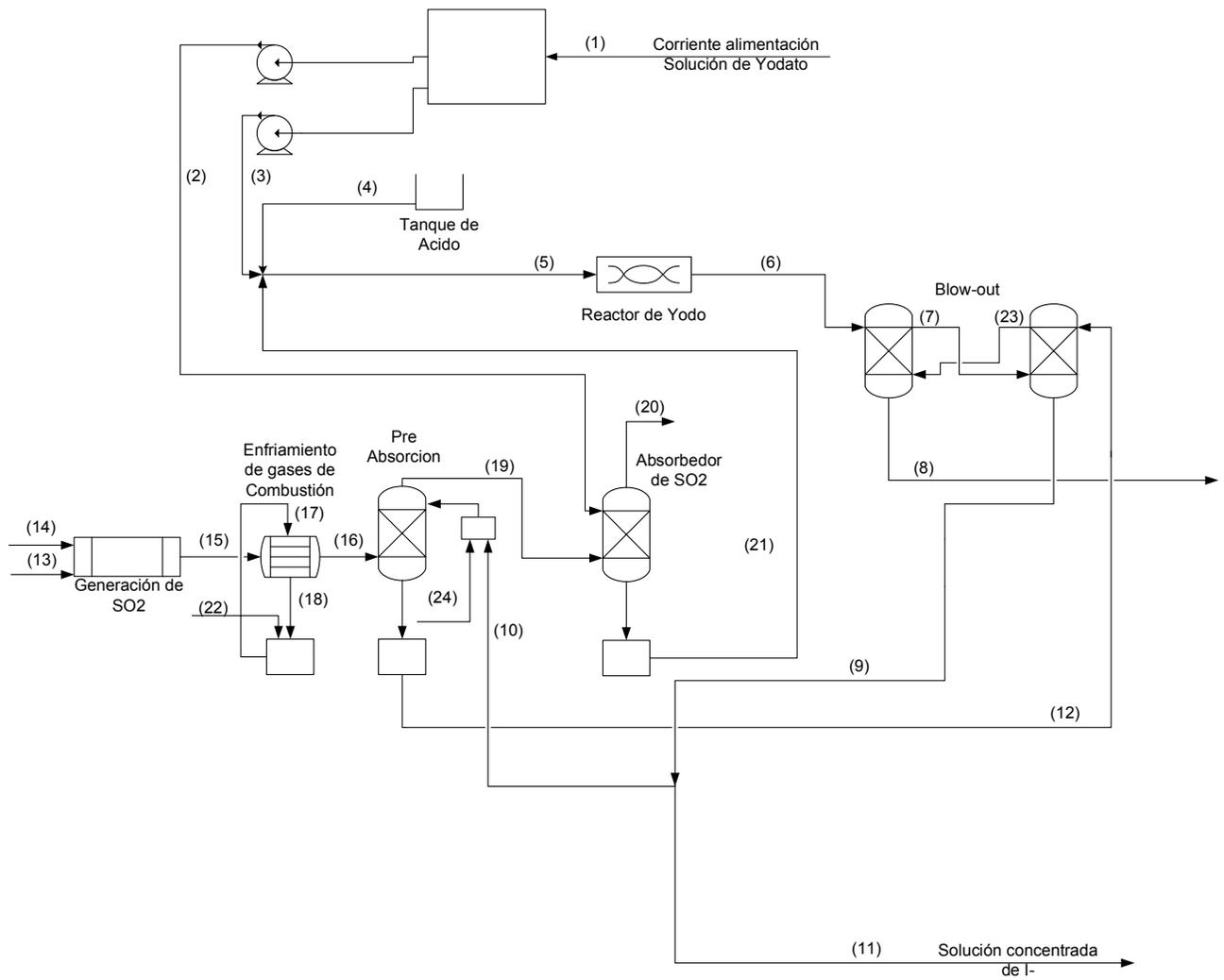


Figura 2.2: Flow Sheet de la planta productora de Yodo usando blow-out.

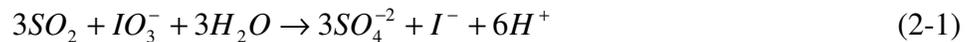
### 2.1.1 Descripción de la Operación de la Planta de Yodo.

Las corrientes de entrada a la etapa de generación de SO<sub>2</sub> corresponden a una corriente de azufre sólido (corriente 13) y una de aire (corriente 14). La cantidad de azufre y oxígeno corresponde a la cantidad necesaria para producir SO<sub>2</sub>, el cual será utilizado para la reacción de transformación del yodato a yoduro, y de yodo a yoduro.

Los gases de salida de la etapa de generación de SO<sub>2</sub> (corriente 15) son enfriados hasta aproximadamente 33°C en la etapa de enfriamiento de gases, los cuales luego ingresan al pre – absorbedor (corriente 16), donde es absorbido una pequeña cantidad de SO<sub>2</sub>, con una temperatura de salida de gases de 30°C.

La solución de alimentación que contiene al yodo como yodato (corriente 1), es dividida en una relación 5:1. La fracción menor es enviada al absorbedor de SO<sub>2</sub> (corriente 2), mientras que la fracción mayor es enviada al reactor de yodo (corriente 3).

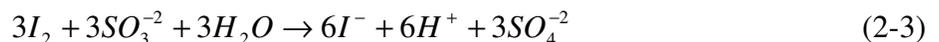
Los gases de salida del pre – absorbedor (corriente 19) entran al absorbedor de SO<sub>2</sub> donde se convierte el yodato en yoduro por reacción con el SO<sub>2</sub>. La siguiente ecuación corresponde a la reacción del SO<sub>2</sub> [22]:



La solución acuosa que sale del absorbedor (corriente 21) con una temperatura de 25°C, es enviada al reactor de yodo. En la entrada del reactor de yodo (corriente 5), se mezcla la solución de yoduro proveniente del absorbedor de SO<sub>2</sub> (corriente 21), la solución de yodato de la línea de alimentación (corriente 3) y, según el caso, el ácido sulfúrico o carbonato de sodio (corriente 4), necesario para mantener el pH de 1,55 a la entrada de éste. La reacción de formación de yodo libre es la siguiente [23]:



La corriente de salida del reactor (corriente 6) entra a la etapa de recuperación del yodo libre, donde el yodo producido en el reactor se transforma en una solución concentrada de yoduro. En la etapa de recuperación de I<sub>2</sub> como yoduro, el yodo libre proveniente de la etapa anterior (corriente 7) es transformado a yoduro y se aumenta la concentración en la fase acuosa que sale de esta etapa (corriente 9). La reacción para esta etapa corresponde a la siguiente ecuación [24]:



La corriente de salida de la etapa de concentración de  $I_2$  como yoduro es dividida: una fracción es recirculada al pre – absorbedor donde se carga con  $SO_2$  (corriente 10) y la otra corresponde a la producción de la planta (corriente 11).

## **2.2 Generación de $SO_2$ .**

Para la generación de  $SO_2$  a partir de azufre se tiene dos alternativas, éstas son:

- Caldera con recuperación.
- Horno rotatorio.

### **2.2.1 Caldera con recuperación.**

Este proceso de generación de dióxido de azufre permite la recuperación de energía, ya que el azufre sólido es precalentado y fusionado antes de entrar a la cámara de combustión donde se produce la reacción de combustión del azufre con aire para generar  $SO_2$  y calor de combustión, el que es aprovechado para la generación de vapor.

El proceso realiza la fusión del azufre sólido en un estanque, donde mediante vapor se agrega el calor requerido para fundir el azufre. En ciertos casos es necesario agregar cal, para controlar el pH en la piscina para evitar corrosión.

Generalmente los estanques de fusión son fabricados de hormigón armado cubiertas por ladrillo resistente al ácido; además éstas poseen una placa de acero al carbono que protege el hormigón de agrietamientos, producto de los cambios de temperatura experimentados en la cara exterior e interior de la piscina.

El azufre fundido es filtrado y enviado a la cámara de combustión, donde se produce  $SO_2$  y generando vapor de agua. La cámara de combustión corresponde a una caldera horizontal de acero inoxidable recubierto con ladrillo refractario.

La Figura 2.3 muestra un esquema del proceso.

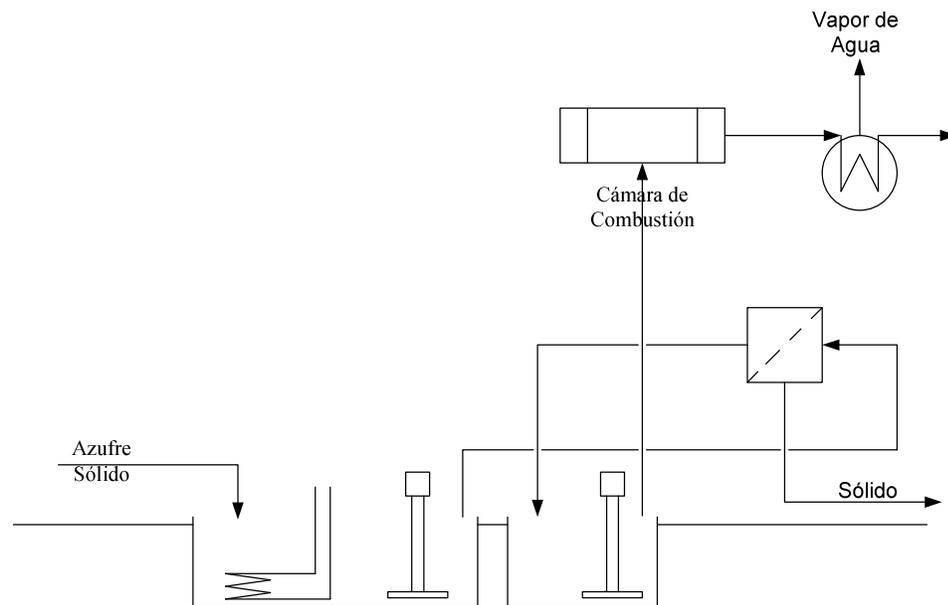


Figura 2.3: Diagrama del proceso producción de SO<sub>2</sub> con recuperación de calor.

### 2.2.2 Horno rotatorio.

En este caso se utiliza para generar el SO<sub>2</sub>, un horno cilíndrico rotatorio donde se produce la combustión de azufre. No existe recuperación de energía en esta etapa. Las corrientes de entrada al horno rotatorio corresponden a azufre sólido y aire. Una vez en el horno, se produce la fusión y calentamiento de éste, desde la temperatura de fusión a la temperatura de funcionamiento del horno, generando SO<sub>2</sub>. La reacción de combustión del azufre es exotérmica, con un calor de combustión de 1.107 [Kcal/kg] [30].

### 2.3 Enfriamiento de los gases de combustión.

Este proceso de enfriamiento de gases de combustión permite bajar la temperatura de los gases producidos en la etapa anterior de generación de SO<sub>2</sub>, desde una temperatura de 400 °C hasta una temperatura de 30 °C aproximadamente, temperatura necesaria para el funcionamiento correcto de los equipos existentes en las posteriores etapas del proceso.

## 2.4 Torre de pre-absorción.

En esta etapa se produce la absorción de una parte del SO<sub>2</sub> producido en el horno de azufre en una solución acuosa de yoduro de recirculación proveniente de la etapa de concentración del I<sub>2</sub> como solución de yoduro.

Esta etapa corresponde a una torre de absorción empacada en contracorriente. Como criterio de diseño se usará como relleno Jaeger Novalox Saddles 3". Se usa este tipo de relleno por su resistencia a la temperatura y propiedades mecánicas. El relleno está diseñado [25], para resistir una temperatura de 1.260 °C. La Tabla 2.1 corresponde a una tabla resumen de las propiedades del relleno usado.

Tabla 2.1  
Tabla resumen de propiedades de Novalox Saddles [25].

	Size [nominal]	Factor relleno [1/ft]	Peso [lb/ft <sup>3</sup> ]	Área Sup. [ft <sup>2</sup> /ft <sup>3</sup> ]	Frac. Hueco [%]
<b>Relleno Cerámico</b>					
<b>Novalox Saddles</b>	1/2"	201	43	190	73
	3/4"	131	41	102	74
	1"	97	40.3	78	74
	1 1/2"	52	40.3	61	75
	2"	40	36.8	37	77
	3"	22	35.9	28	77

La Figura 2.4 corresponde al gráfico para el cálculo del coeficiente de transferencia de materia K<sub>Ga</sub>

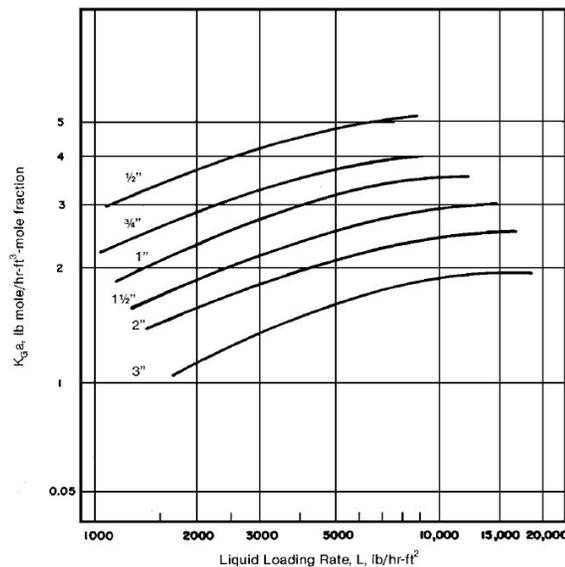


Figura 2.4. Gráfico para el cálculo del coeficiente de transferencia de materia [25].

La Figura 2.5 corresponde al gráfico de caída de presión para el relleno Novalox Saddles 3”.

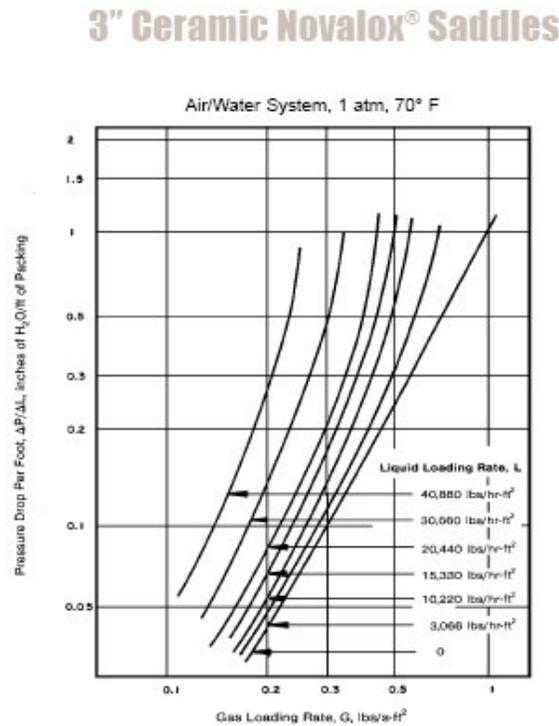


Figura 2.5. Gráfico para el cálculo de la caída de presión para el relleno Novalox Saddles 3” [25].

## 2.5 Torre de absorción de $SO_2$ .

Esta etapa tiene como función transformar la solución de yodato en una solución de yoduro requerido para generar yodo libre. En esta etapa se produce la absorción con reacción del  $SO_2$  en una solución de yodato. La ecuación es la siguiente [26]:



siendo su velocidad de reacción [26]:

$$- \frac{d[IO_3^-]}{dt} = k_{9a} * [IO_3^-] * [HSO_3^-] * [H^+] \quad (2-5)$$

Donde:

$$k_{9a} = 1.6 * 10^6 \text{ a } 25^\circ C$$

$$[IO_3^-] = \text{Conc. [gmoles/lit].}$$

$$[H^+] = \text{Conc. [gmoles/lit].}$$

$$[HSO_3^-] = \text{Conc. [gmoles/lit].}$$

Este equipo corresponde a una torre de absorción empacada, operando en contracorriente. Se ha usado como relleno Jaeger Tri-Packs 3 1/2" [25]. La Tabla 2.2 corresponde a una tabla resumen de las características del relleno usado.

Tabla 2.2.  
Tabla resumen de propiedades para el relleno Jaeger Tri – Packs [25].

	Size [nominal]	Factor relleno [1/ft]	Peso [lb/ft <sup>3</sup> ]	Área Sup. [ft <sup>2</sup> /ft <sup>3</sup> ]	Frac. Hueco [%]
<b>Relleno Cerámico</b>					
<b>Jaeger Tri-Packs</b>	1"	28	6.2	85	90
	1 1/4"	25	5.6	70	92
	2"	16	4.2	48	93.5
	3 1/2"	12	3.3	38	95

La Figura 2.6 corresponde al gráfico para el cálculo del coeficiente de transferencia de materia  $K_{Ga}$

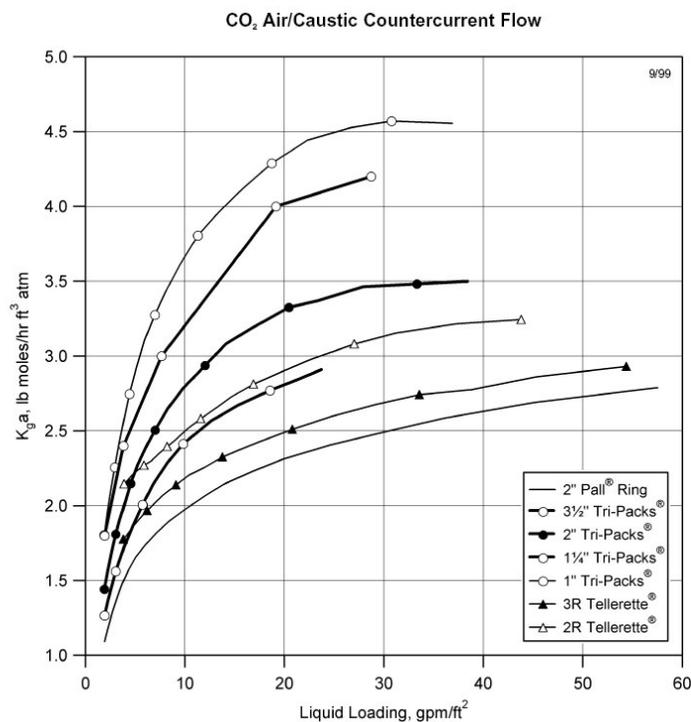


Figura 2.6. Gráfico para el cálculo del coeficiente de transferencia de materia [25].

La Figura 2.7 corresponde al gráfico de caída de presión para el relleno Tri - Packs 3 ½ ”.

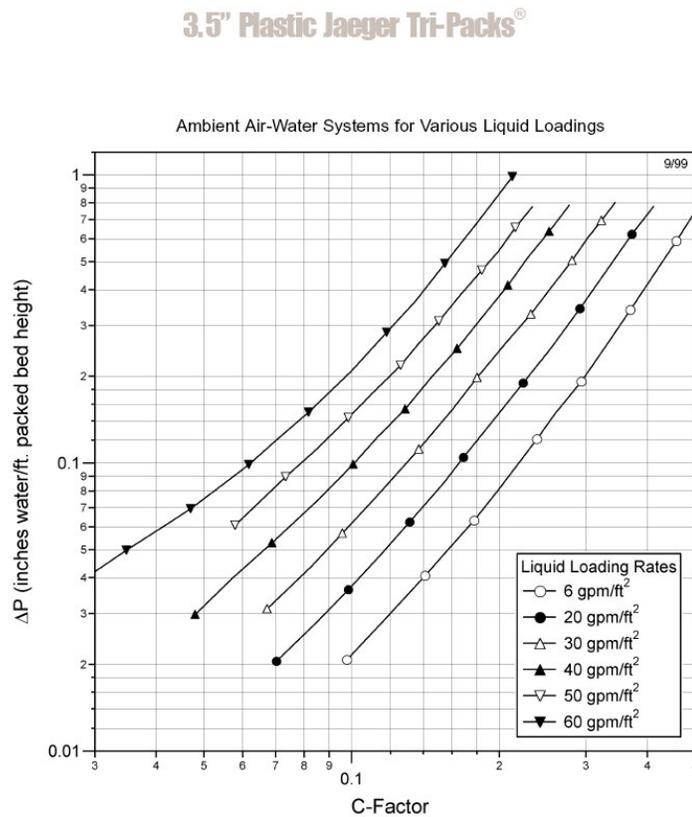


Figura 2.7. Gráfico para el cálculo de la caída de presión para el relleno Tri – Pack 3 ½ “ [25].

## 2.6 Ajuste de pH.

El pH que debe tener la solución que entra al reactor plug flow de yodo es de 1,5 para que se produzca la reacción de formación de yodo libre.

En esta etapa se produce la adición de ácido sulfúrico si la solución de entrada a la siguiente etapa tiene un pH > 1,5; en caso contrario, se adiciona Carbonato de Sodio.

## 2.7 Reactor de yodo.

En esta etapa se produce la reacción de formación del yodo, a partir de yoduro y yodato [27].

La ecuación para esta etapa es la siguiente:



Siendo la velocidad de reacción [27] la siguiente:

$$- \frac{d[IO_3^-]}{dt} = k_5 * [IO_3^-] * [H^+]^2 * [I^-]^2 \quad (2-7)$$

Donde:

$$k_5 = 5.33 * 10^{10} \text{ a } 25^\circ\text{C}$$

$$[IO_3^-] = \text{Conc. [gmol/lit].}$$

$$[H^+] = \text{Conc. [gmol/lit].}$$

$$[I^-] = \text{Conc. [gmol/lit].}$$

## 2.8 Recuperación del yodo libre.

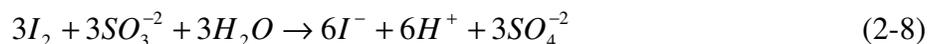
Para la recuperación del yodo libre se consideran dos alternativas:

- Recuperación por Blow-out.
- Recuperación por Extracción Líquido-líquido.

### 2.8.1 Recuperación por blow-out

En esta etapa se produce la extracción del yodo libre presente en la solución acuosa que sale del reactor mediante una desorción con aire y una posterior absorción con solución de yoduro cargado con SO<sub>2</sub>, produciéndose la concentración del I<sub>2</sub> como yoduro. El equilibrio del yodo en solución acuosa y en aire para el proceso de desorción [28] se encuentra en la Figura 2.8.

Para el proceso de absorción con reacción del yodo libre presente en el aire cargado. La ecuación es la siguiente [24]:



Los equipos corresponden a torres empacadas, operando en contracorriente. Se ha usado como relleno Jaeger Tri-Packs 3 1/2" [25]. Para el cálculo del K<sub>Ga</sub>, se usará la Figura 2.5 [25] y la Figura 2.6 [26] para el cálculo de la caída de presión.

### Curva de Equilibrio Yodo/Aire

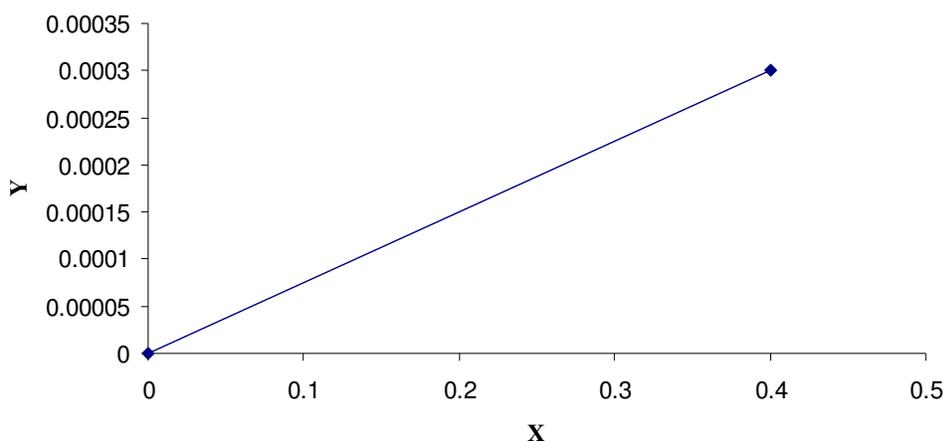


Figura 2.8. Curva equilibrio del yodo en solución acuosa y aire [28].

### 2.8.2 Recuperación por extracción líquido-líquido

En esta etapa se produce la extracción del yodo libre presente en la solución acuosa que sale del reactor mediante una corriente de kerosene. El equipo corresponde a un extractor líquido – líquido mezclador – decantador de dos etapas en contracorriente para la extracción y una para la desorción.

El equilibrio del yodo en una solución acuosa y orgánica se encuentra en la Figura 2.9:

### Curva Equilibrio del I2

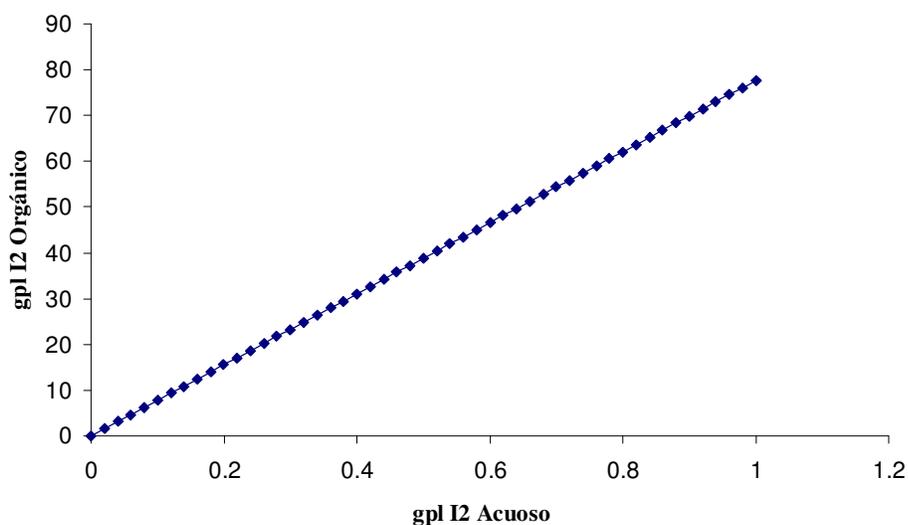
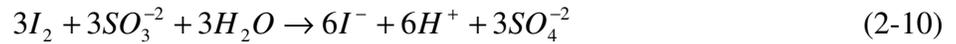


Figura 2.9. Curva equilibrio del yodo en solución acuosa y orgánica [28].

## 2.9 Concentración del I<sub>2</sub> como yoduro.

En esta etapa se produce la reacción del yodo libre, transferido desde la corriente acuosa a la corriente orgánica en la etapa de extracción líquido - líquido con el SO<sub>2</sub> absorbido en la etapa de Pre-absorción. La ecuación es la siguiente [24]:



De vital importancia es la solubilidad del SO<sub>2</sub> en la solución acuosa; la Tabla 2.3 contiene los valores de la solubilidad del SO<sub>2</sub> en agua.

Tabla 2.3  
Solubilidad de SO<sub>2</sub> en agua [30]

	t = 0 °C (50)		t = 25 °C (50)		t = 50 °C (50)		
	p <sub>SO2</sub> , mm	g SO <sub>2</sub> por lt de soluc	p <sub>SO2</sub> , mm	g SO <sub>2</sub> por lt de soluc	p <sub>SO2</sub> , mm	g SO <sub>2</sub> por lt de soluc	
	0.4	0.537	1.4	0.534	4.9	0.525	
	1	1	5	1.16	10	0.92	
	5	3.092	10	2.03	50	3.46	
	25	10.78	50	8.28	100	6.23	
	50	19.35	100	14.98	200	11.59	
	75	27.55	150	21.03	300	16.77	
	100	35.27	200	26.48	400	21.72	
	110	38.24	250	31.52	500	26.64	
			300	36.27	600	31.56	
			313	37.5	700	36.47	
t, °C	40	50	60	70	80	90	95
g*	53	38.3	26.3	16.6	9.8	5.8	4.2

g SO<sub>2</sub> por lt de solución a P = 760 mm

## CAPITULO III

### MODELACIÓN PLANTA DE YODO

En el siguiente capítulo se describen los modelos utilizados en la simulación de la planta de yodo.

#### 3.1 Descripción del problema.

En la bibliografía no existe una modelación para una planta de yodo a partir de una solución de yodato. Esto limita la optimización del proceso productivo, ya que no existen herramientas predictivas de diagnósticos que permitan analizar el comportamiento esperado de nuevas plantas o el diagnóstico de las existentes.

#### 3.2 Estrategia de solución del sistema

La simulación de una planta de yodo busca estimar el comportamiento del proceso, producción de solución enriquecida de yoduro, para variables de operación dadas por cada uno de los equipos y etapas que intervienen en el proceso. La Figura 3.1 esquematiza las variables de entrada y salida además de los parámetros necesarios para la simulación del proceso:

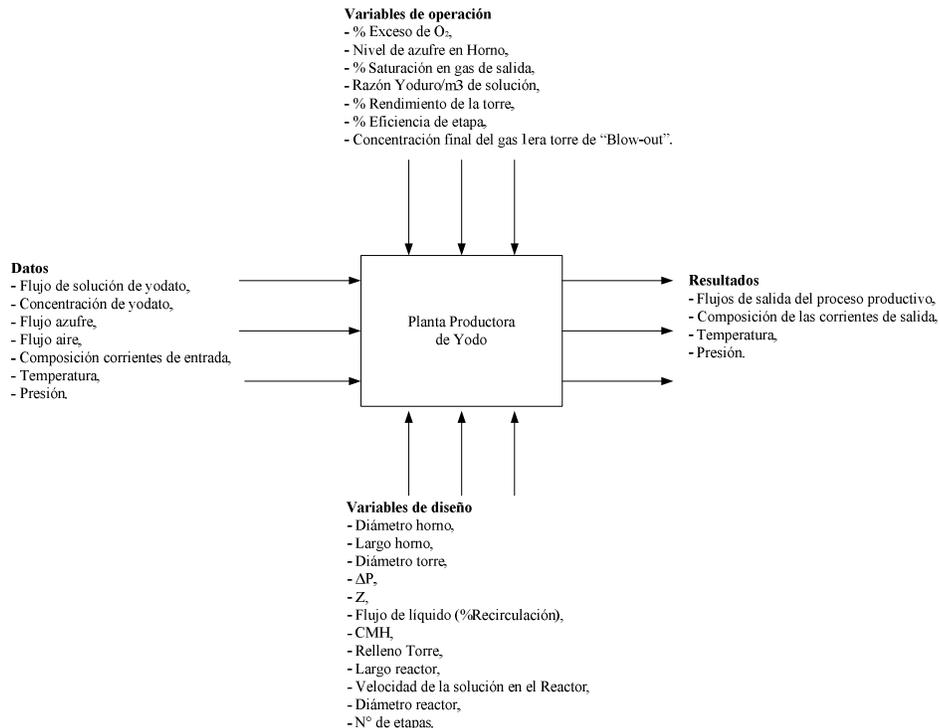


Figura 3.1. Estrategia general de simulación para la Planta productora de Yodo.

La estrategia usada por el modelo consiste en resolver los balances de materia y energía para cada equipo que interviene en el proceso, comenzando por la generación de dióxido de azufre, siguiendo con la etapa de enfriamiento de gases de combustión, pre-absorción de  $\text{SO}_2$ , absorción de  $\text{SO}_2$ , ajuste de pH, reactor de yodo, recuperación de yodo libre mediante extractor líquido-líquido y finalmente concentración del  $\text{I}_2$  como yoduro mediante stripper. Las etapas de extracción líquido-líquido y stripper pueden ser reemplazadas por blow-out.

Con la producción de solución enriquecida de yoduro como producto final y la composición para esta corriente, una fracción de ésta es recirculada a la etapa de pre-absorción de  $\text{SO}_2$ , en donde el dióxido de azufre es absorbido, el programa recircula el 100% de la producción de la planta hasta alcanzar 100 g/l de concentración de yoduro en la salida de la etapa de recuperación de yodo libre como yoduro, una vez alcanzada esta concentración se comienza a extraer el producto, manteniendo la concentración de la corriente recirculada a la etapa de pre-absorción de  $\text{SO}_2$  en 100 g/l . La simulación termina una vez que la corriente de salida de la planta no cambie más del 5%. A medida que se recircula a la etapa de pre-absorción se recalcula las etapas de absorción de  $\text{SO}_2$ , ajuste de pH, reactor de yodo, extracción líquido-líquido y stripper o blow-out, realizando las correcciones en los flujos y concentraciones, de forma tal que se cumplan los balances y el sistema converja. La simulación puede ser representada mediante un diagrama de bloques como se aprecia en la Figura 3.2.

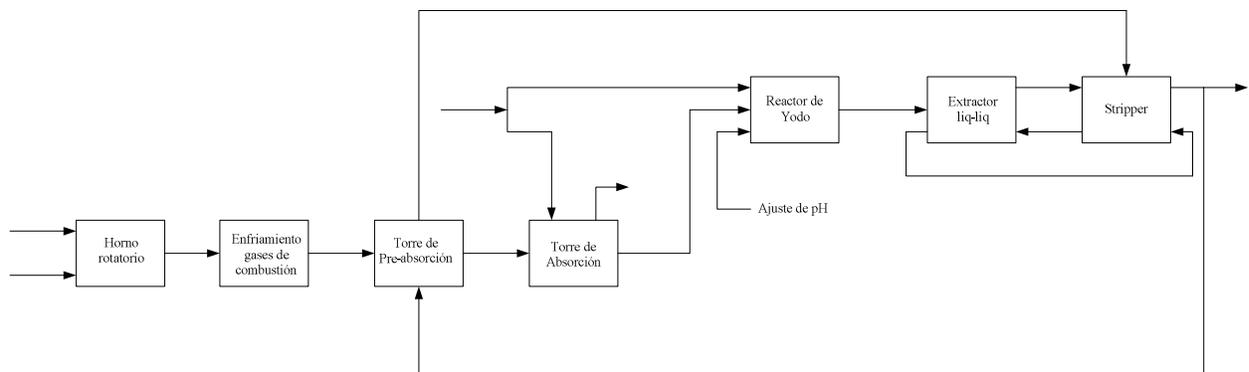


Figura 3.2. Diagrama de bloques para simulación de la Planta de Yodo.

En el siguiente punto de este capítulo se analizará cada unidad que conforma la simulación de la planta productora de yodo a partir de yodato.

En la siguiente Figura 3.3 se muestra el esquema con la estructura del modelo de la planta de yodo.

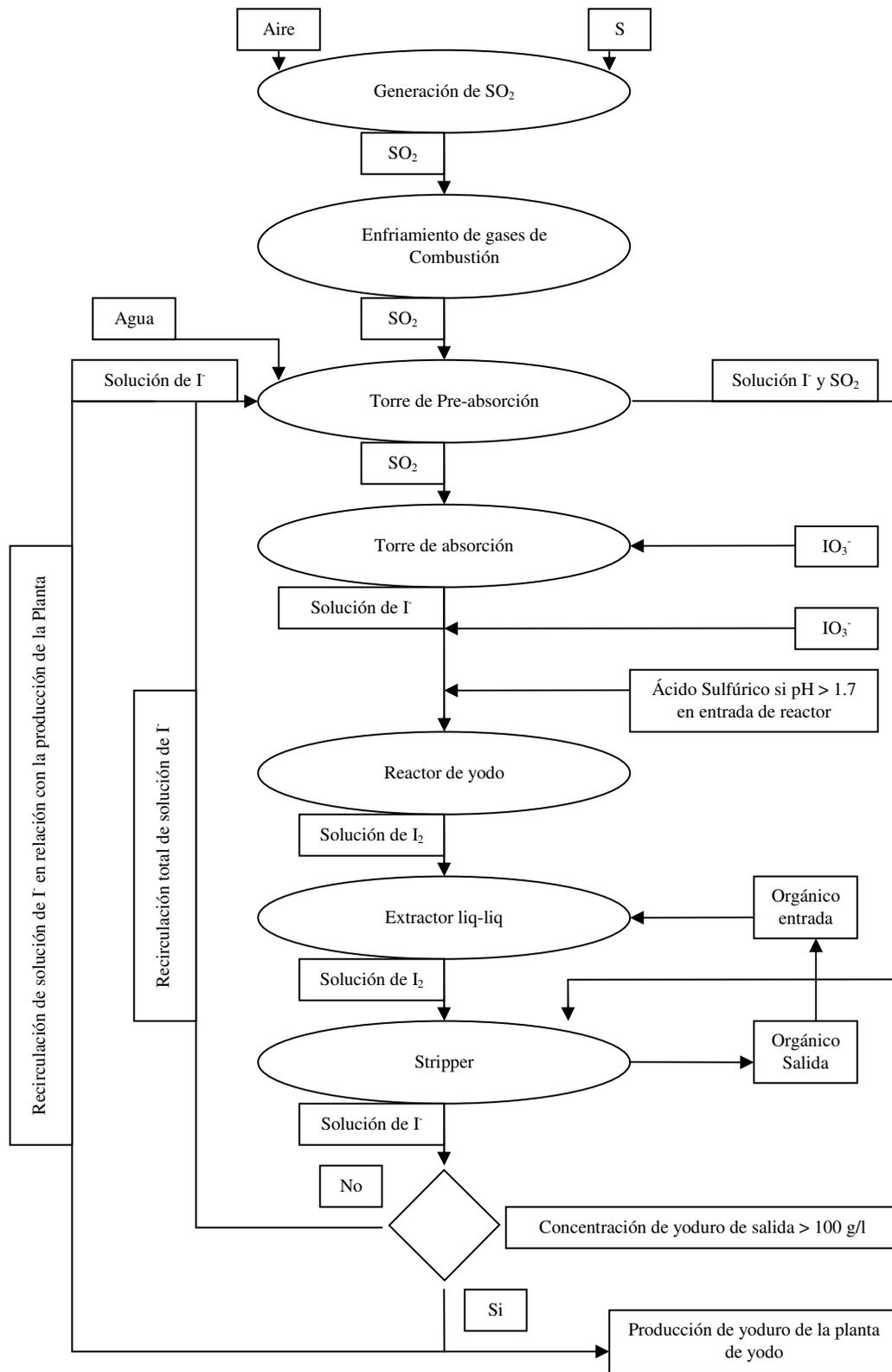


Figura 3.3. Estructura del modelo de la planta de yodo.

Con la información para la corriente de entrada y las suposiciones realizadas; el modelo es capaz de realizar los balances de materia y energía para cada unidad, iniciando el cálculo en la generación de dióxido de azufre y terminando en la etapa de Stripper, resolviendo cada unidad en línea. Para cada equipo se realizan los balances de materia y balance de energía y materia para la generación del SO<sub>2</sub> y torre de enfriamiento. El detalle del modelo por equipo se verá a continuación.

### 3.2.1 Modelo para generación de SO<sub>2</sub>.

En un comienzo se conocen los valores de composición, presión y temperatura de la corriente de aire y azufre sólido que entran al horno, parámetros de operación; % exceso de O<sub>2</sub> y nivel de azufre del reactor, además de los parámetros de diseño como son el diámetro y largo del horno. La Figura 3.4 proporciona una idea de la información disponible al inicio de la simulación:

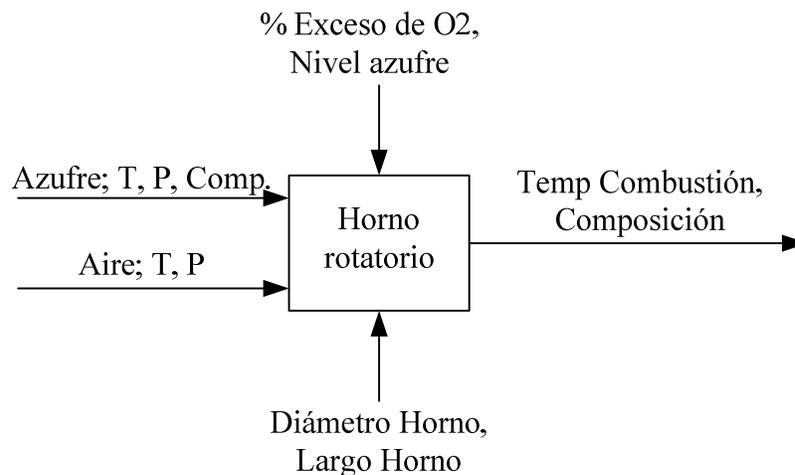


Figura 3.4. Información inicial para el horno rotatorio.

El modelo asume que la temperatura inicial dentro del horno es la misma temperatura a la que entran las corrientes, (temperatura ambiente). Por lo tanto la simulación consiste en el recálculo de la temperatura del horno hasta que el balance de energía y materia se cumpla. La tolerancia permitida para el cálculo de la temperatura de combustión es que la suma de los calores de pérdida, fusión, gases y precalentamiento sea menor o igual al calor de combustión.

Para el modelo de generación de SO<sub>2</sub>, se usará el horno rotatorio, este equipo no tiene recuperación de energía. La reacción de combustión es la siguiente:



La expresión para el balance de materia global es la siguiente:

$$F_{GasIn} + F_{SolidIn} = F_{GasOut} \quad (3-2)$$

La expresión para el balance de azufre tiene la siguiente forma:

$$x_S * F_{SolidIn} / PM_S - y_S * F_{GasOutMol} - y_{SO_2} * F_{GasOutMol} = 0 \quad (3-3)$$

El balance de energía para ese equipo es el descrito en la siguiente ecuación:

$$Q_{combustión} = Q_{fusiónS} + Q_{precalentamiento} + Q_{pérdida} + Q_{aire} \quad (3-4)$$

Donde cada término está definido de la siguiente forma:

$$Q_{fusiónS} = \Delta H_{fusiónS} * Flujo_S \quad (3-5)$$

$$Q_{precalentamiento} = Flujo_S * Cp_S * (T_{AdiabaticadeComb} - T_{entradahorno}) \quad (3-6)$$

$$Q_{pérdida} = h_{pérdida} * A_{manto} * (0.8 * T_{AdiabaticaComb} - T_{amb}) \quad (3-7)$$

$$Q_{aire} = Flujo_{O_2} * Cp_{O_2} * \Delta T + Flujo_{N_2} * Cp_{N_2} * \Delta T \quad (3-8)$$

$$Q_{combustión} = Flujo_{molSO_2} * (\Delta H_{combustión} + \int Cp_{SO_2} (dT)) \quad (3-9)$$

Para el  $Q_{Pérdida}$ , se usó como parámetro de diseño un 80% de la temperatura adiabática de combustión del delta de temperatura, ya que se asume que no existe una transferencia de energía del 100%, por lo tanto se asume el valor ya mencionado, además la corriente de entrada tiene azufre y aire como componentes, la corriente de salida tiene SO<sub>2</sub> como componente.

El horno tiene por misión la generación de dióxido de azufre usado en el proceso; la disminución en la temperatura de los gases es tratada en la etapa siguiente.

El siguiente diagrama muestra la rutina de iteración del modelo para el cálculo del horno rotatorio.

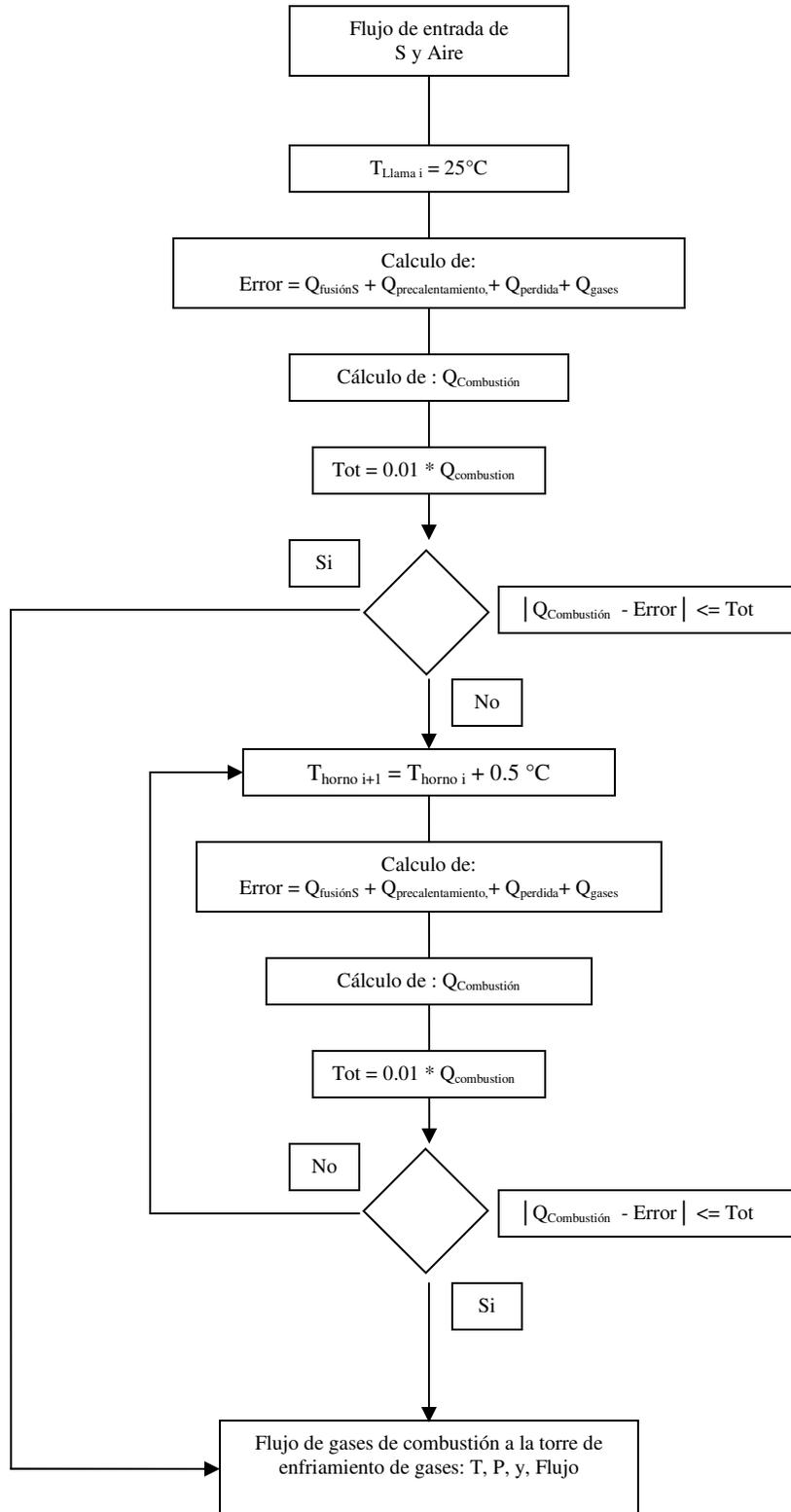


Figura 3.5. Esquema de la iteración realizada por el modelo para el horno rotatorio.

### 3.2.2 Modelo para enfriamiento de gases de combustión.

Los datos de entrada conocidos de las corrientes involucradas se representan en la Figura 3.6

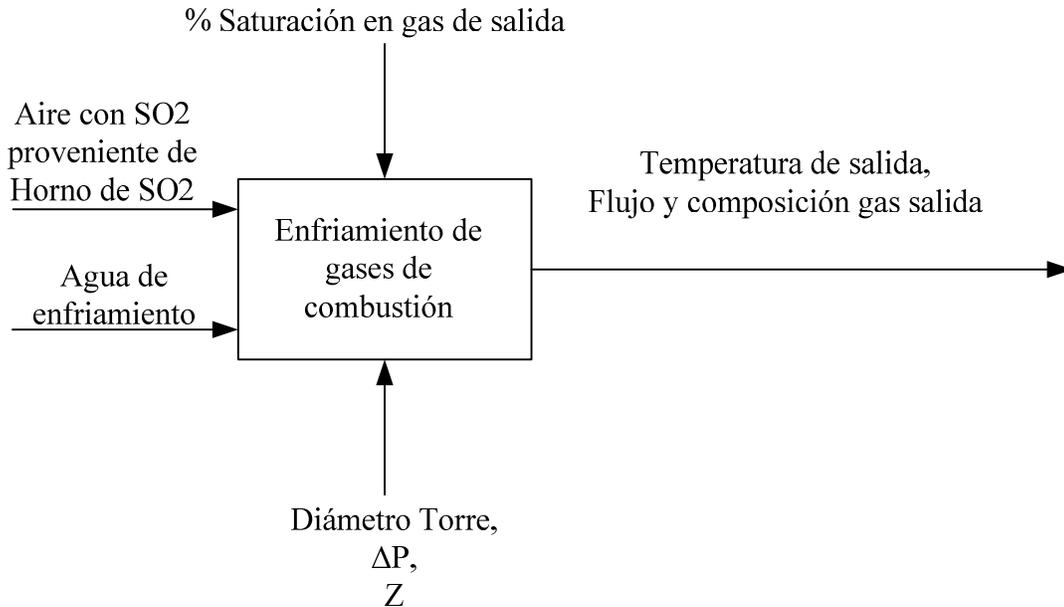


Figura 3.6. Información de corrientes a enfriamiento de gases de combustión.

La modelación ha calculado los distintos equipos anteriormente vistos; por lo tanto, a la entrada de la torre de enfriamiento la corriente gaseosa está especificada, ya que se ha calculado su flujo, temperatura, presión y composición. La corriente de agua de enfriamiento que entra a la torre de enfriamiento tiene la temperatura especificada, por lo tanto esta corriente es conocida. Con esta información. El sistema queda especificado y se puede continuar con la modelación, ya que se calcularán los datos de salida. El modelo resuelve el problema de la siguiente manera; se calcula la humedad y entalpía del gas que entra a la etapa, luego de su uso como suposición la temperatura de líquido que entra a la etapa, para este caso la temperatura de líquido corresponde a 25°C, de igual manera se asume la temperatura de salida del líquido, además se asume el porcentaje de saturación del gas de salida que corresponde a un 90% y la altura de la torre que corresponde a una variable de diseño, con esta información se calcula la curva de operación y se procede a calcular iterativamente la temperatura de gas de salida mediante el método de triángulos. La temperatura del gas de salida está limitada por la altura de la torre de enfriamiento. La siguiente Figura 3.7 muestra el modelo de cálculo de la torre de enfriamiento.

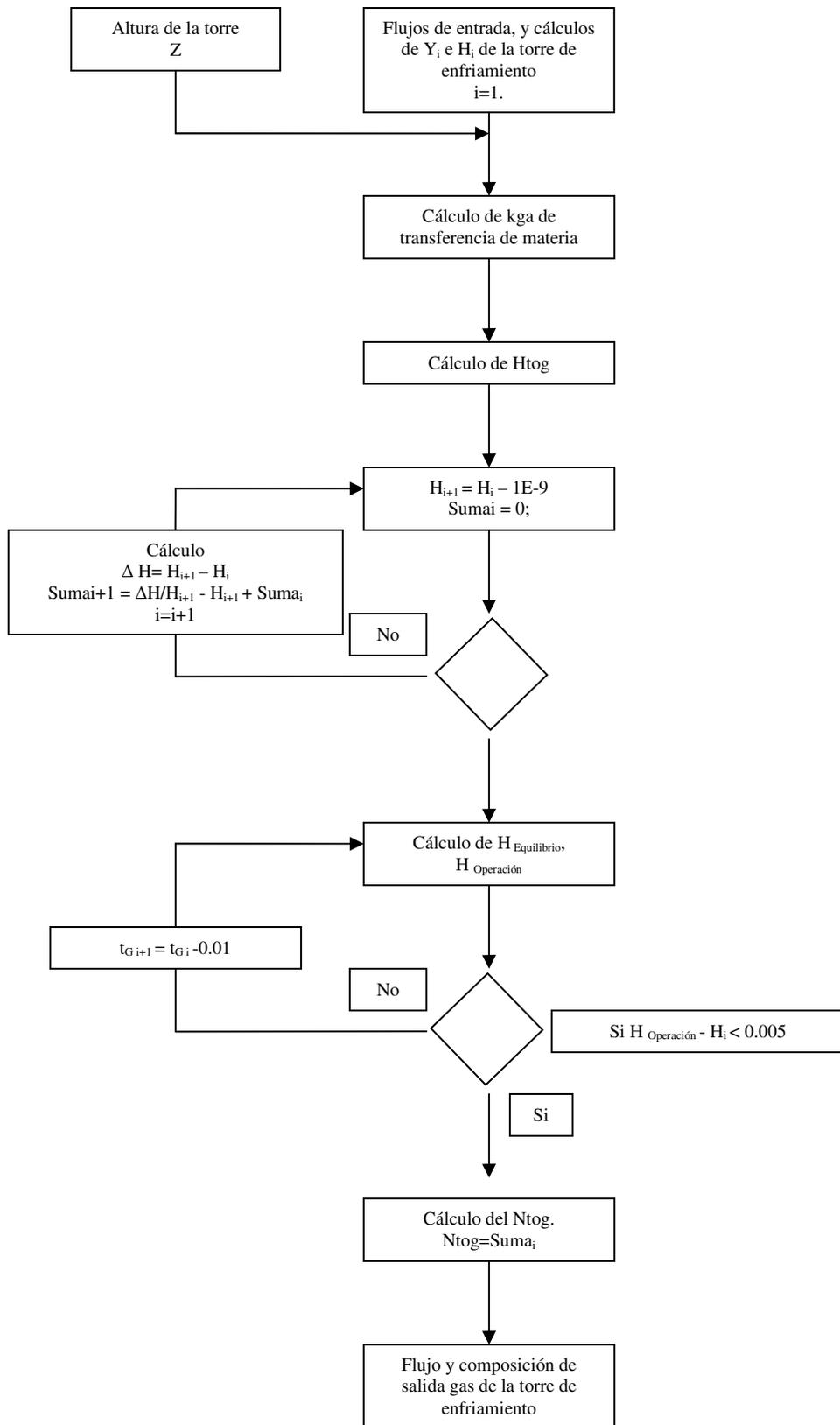


Figura 3.7. Modelo de cálculo para enfriamiento de gases de combustión.

La expresión del balance de materia para la corriente en esta etapa es la siguiente:

$$F_{GasIn} + F_{AguaIn} = F_{GasOut} + F_{AguaOut} \quad (3-10)$$

La expresión para el balance de materia para el SO<sub>2</sub> de la corriente gaseosa es la siguiente forma:

$$y_{SO_2i} * F_{GasIn} = y_{SO_2f} * F_{GasOut} \quad (3-11)$$

La corriente de gas que entra a esta etapa corresponde a la corriente que sale de la etapa de Horno de SO<sub>2</sub>, la cual contiene SO<sub>2</sub>, S arrastrado del horno, O<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>. La corriente acuosa corresponde a agua de enfriamiento.

La ecuación usada para calcular el H<sub>tog</sub> y N<sub>tog</sub> son:

$$H_{tog} = \frac{L'}{kya} \quad (3-12)$$

$$N_{tog} = \int \frac{dt_L}{(H' - H'^*)} \quad (3-13)$$

Donde:

$$kya = 2 \text{ [lbmol/hr ft}^3 \text{ atm]}$$

El N<sub>tog</sub> corresponderá a la variable *Suma* una vez terminado el modelo.

La altura de la torre de absorción se define como:

$$Z = H_{tog} * N_{tog} \quad (3-14)$$

### 3.2.3 Modelo para torre de pre-absorción

Los datos de entrada conocidos de las corrientes involucradas se representan en la siguiente Figura 3.8

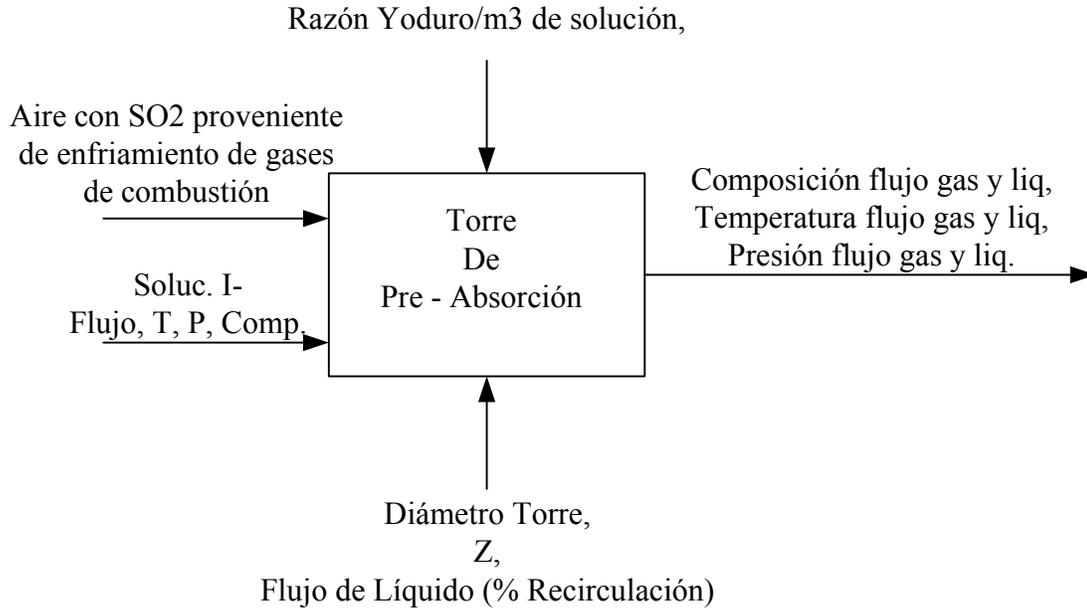


Figura 3.8. Información de corrientes a Torre Pre-absorción.

Como se aprecia en la figura, la corriente gaseosa de entrada a la torre de pre-absorción que proviene de la etapa de enfriamiento de gases de combustión, está completamente especificada; en cambio, la corriente acuosa de entrada corresponde a una recirculación de un equipo que se encuentra más adelante en la modelación. Esta corriente está especificada con valores iniciales de flujo, temperatura, presión y composición, lo cual permitirá especificar el equipo y así, usando el balance de materia, resolver esta etapa. La siguiente Figura 3.9 muestra el modelo de cálculo de la torre de pre-absorción.

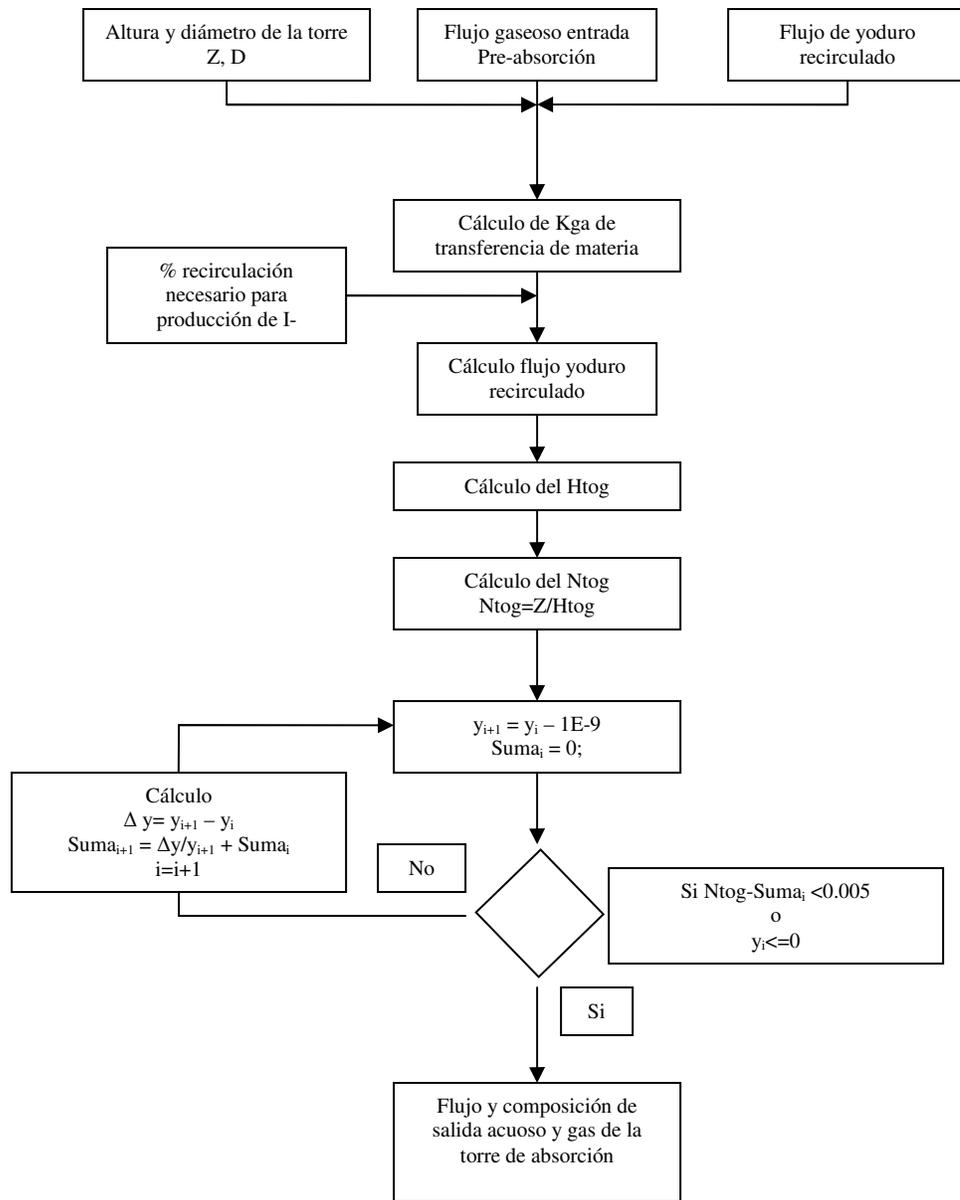


Figura 3.9. Modelo de cálculo para Pre-adsorción.

Este modelo se basa en la ecuación de transferencia de materia global. La expresión para esta etapa es la siguiente:

$$F_{GasIn} + F_{AcuoIn} = F_{GasOut} + F_{AcuoOut} \quad (3-15)$$

La expresión del balance para el SO<sub>2</sub> tiene la siguiente forma:

$$y_{SO_2} * F_{GasIn} = y_{SO_2} * F_{GasOut} + \frac{x_{SO_2} * F_{AcuoOut}}{PM_{SO_2}} \quad (3-16)$$

La corriente de gas que entra a la torre de pre-absorción corresponde a la salida de la torre de enfriamiento, la cual está compuesta por S arrastrado del horno, humedad de la corriente gaseosa, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>.

La corriente acuosa está compuesta por agua y Γ. Estos valores son supuestos al principio de la simulación para el desarrollo de ésta.

El flujo teórico de I<sub>2</sub> recirculado es calculado mediante la siguiente ecuación:

$$Flujo_{I_2 Teorico} = \frac{Flujo_{SO_2 mol} * PM_s}{Conc. \frac{kg_s}{kg_{I_2}}} \quad (3-17)$$

El flujo recirculado de solución de Γ inicial para la etapa de pre-absorción es calculado con la siguiente ecuación:

$$Flujo_{\Gamma recirculado} = Flujo_{\Gamma Teorico} * \%recirculación \quad (3-18)$$

Las expresiones para el cálculo del H<sub>tog</sub> y N<sub>tog</sub> son las siguientes:

$$H_{tog} = \frac{Flujo_{Gas}}{k_{ga} * P} \quad (3-19)$$

$$N_{tog} = Z / H_{tog} \quad (3-20)$$

La variable Suma corresponde al número de unidades de transferencias calculado en la ejecución del programa y que será contrastado con el N<sub>tog</sub> calculado anteriormente:

$$Suma = \int \frac{dy}{(y - y^*)} \quad (3-21)$$

La cantidad de SO<sub>2</sub> absorbida es calculada por al siguiente expresión:

$$Flujo_{SO_2 Salida} = (Flujo_{SO_2 Entrada} - Flujo_{\Gamma recirculado})_{kmol} * \%absorción \quad (3-22)$$

### 3.2.4 Modelo para torre de absorción.

Los datos de entrada conocidos de las corrientes involucradas se representan en la Figura 3.10

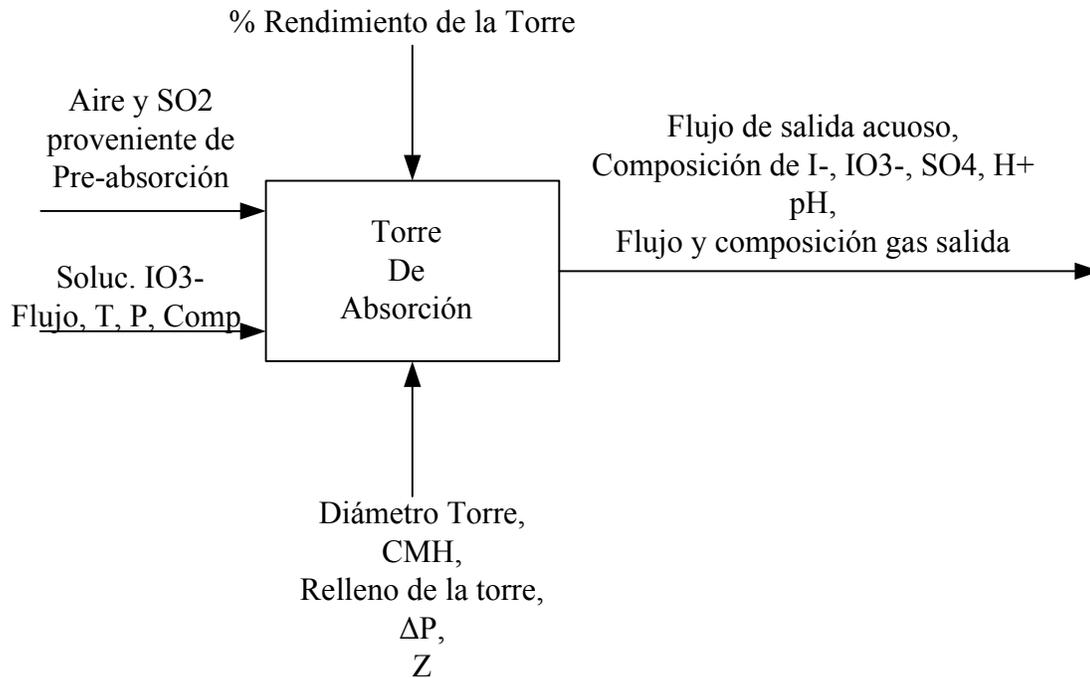


Figura 3.10. Información de corrientes a Torre de absorción.

La modelación ha calculado los distintos equipos anteriormente vistos; por lo tanto, a la entrada de la torre de absorción la corriente gaseosa está especificada, ya que se ha calculado su flujo, temperatura, presión y composición. La corriente acuosa que entra a la torre de absorción corresponde al brine alimentado a la planta, por lo tanto esta corriente es conocida. Con esta información, el sistema queda especificado y se puede continuar con la modelación, ya que se calcularán los datos de salida. La siguiente Figura 3.11 muestra el modelo de cálculo de la torre de absorción.

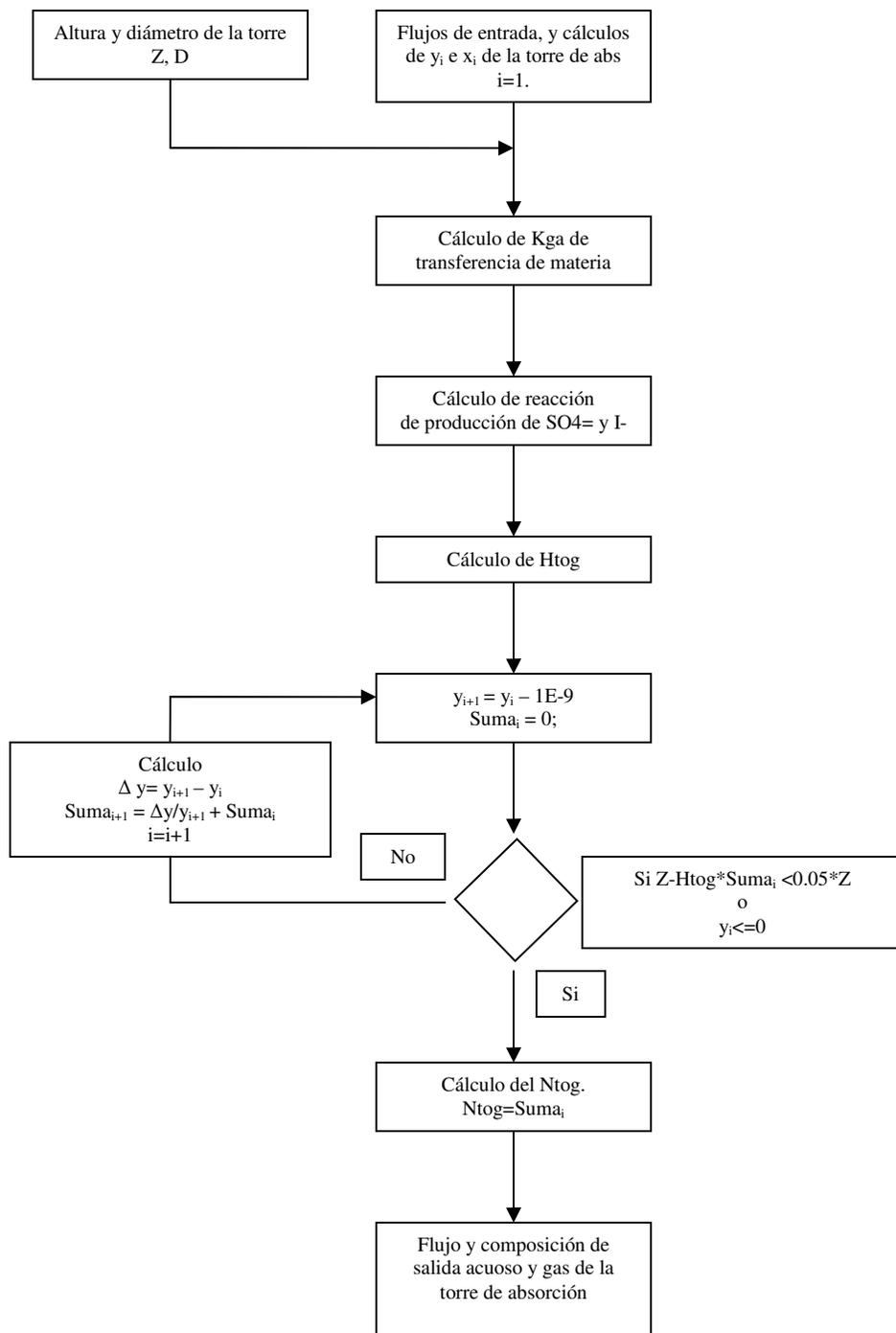


Figura 3.11. Modelo de cálculo para Torre de absorción.

La expresión del balance de materia para la corriente en esta etapa es la siguiente:

$$F_{GasIn} + F_{AcuoIn} = F_{GasOut} + F_{AcuoOut} \quad (3-23)$$

La expresión para el balance de materia para el SO<sub>2</sub> es de la siguiente forma:

$$y_{SO_2} * F_{GasIn} = y_{SO_2} * F_{GasOut} + \frac{x_{SO_2} * F_{AcuoOut}}{PM_{SO_2}} + r_{SO_2} * V \quad (3-24)$$

La corriente de gas que entra a esta etapa corresponde a la corriente que sale de la etapa de Pre- absorción, la cual contiene SO<sub>2</sub>, S arrastrado del horno, agua arrastrada de la torre de enfriamiento, O<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>. La corriente acuosa corresponde a los datos de alimentación de la planta, la cual corresponde a una solución de yodato.

La conversión de SO<sub>2</sub> a SO<sub>4</sub>= corresponde a una reacción 1:1, según la reacción en la torre de absorción vista en el capítulo 2, por lo tanto asumiendo un rendimiento de la reacción de un 100%, el SO<sub>2</sub> proveniente de la etapa de Pre-absorción reacciona completamente para formar SO<sub>4</sub>=.

$$F_{SO_2Mol} = F_{SO_4=Mol} \quad (3-25)$$

Estequiométricamente por cada tres moles que reaccionan de SO<sub>2</sub> con cada mol de IO<sub>3</sub>= se produce un mol de I-, por lo tanto:

$$F_{I-MolOut} = F_{IO_3=MolIn} \quad (3-26)$$

La ecuación usada para calcular el H<sub>tog</sub> y N<sub>tog</sub> son:

$$H_{tog} = \frac{F_{GasMol}}{kya * P} \quad (3-27)$$

$$N_{tog} = \int \frac{dy}{(y - y^*)} \quad (3-28)$$

El N<sub>tog</sub> corresponderá a la variable *Suma* una vez terminado el modelo.

La altura de la torre de absorción se define como:

$$Z = H_{tog} * N_{tog} \quad (3-29)$$

### 3.2.5 Modelo para ajuste de pH.

Los datos necesarios para identificar el pH de la entrada al reactor de yodo se encuentra en la Figura 3.12

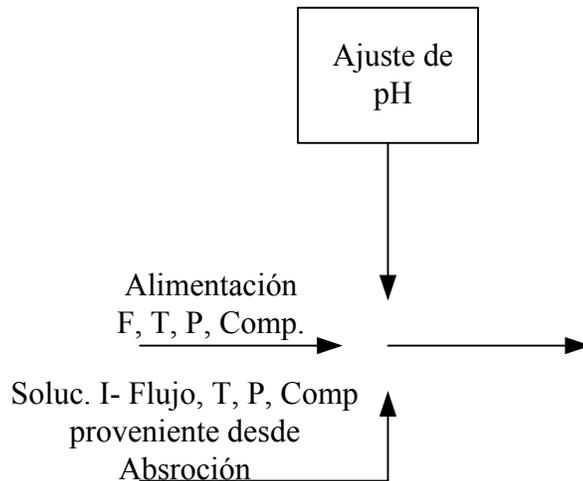


Figura 3.12. Información de corrientes para ajuste de pH.

En esta etapa la adición de ácido sulfúrico o carbonato de calcio, dependerá del pH que tenga la solución acuosa que entra al reactor de yodo. El pH necesario en el reactor es de 1.5 como se aprecia en la ecuación (2-6). En la etapa de absorción se generan  $H^+$ , como lo indica la ecuación (2-4), aumentando el pH de la corriente de salida de esta etapa; al contrario, la corriente de alimentación contiene carbonato de sodio, lo cual producirá diferente pH a la entrada del reactor un vez que se mezclen estas corrientes. La siguiente Figura 3.13 muestra el modelo de cálculo de la etapa de ajuste de pH. Por el contrario, la alcalinidad de la alimentación en ciertos casos será muchos menor al  $H^+$  producido en la etapa de absorción, lo cual no cambiara de mayor manera el pH a la entrada del reactor. En este caso, esta etapa adicionaría carbonato de calcio para estabilizar el pH.

Por esta razón el modelo es capaz de ver el  $H^+$  necesario para tener un pH de 1.5 y agregar las cantidades necesarias de carbonato de calcio y ácido sulfurico según sea necesario a la entrada del reactor dependiendo de las distintas concentraciones de carbonato y  $H^+$  provenientes de la alimentación y absorción de  $SO_2$  respectivamente

La ecuación para calcular el pH es la siguiente:

$$pH = -\log(H^+ [M]) \quad (3-30)$$

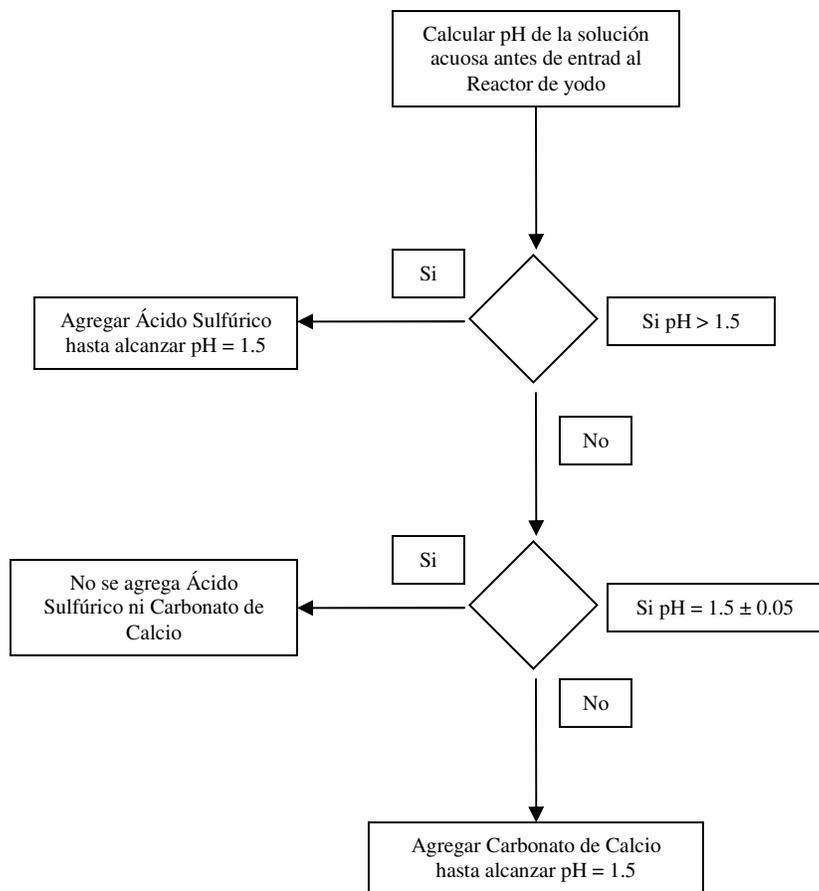


Figura 3.13. Modelo de cálculo para Tanque de Ácido.

### 3.2.6 Modelación reactor de yodo.

Los datos de entrada conocidos de las corrientes involucradas se representan en la Figura 3.14

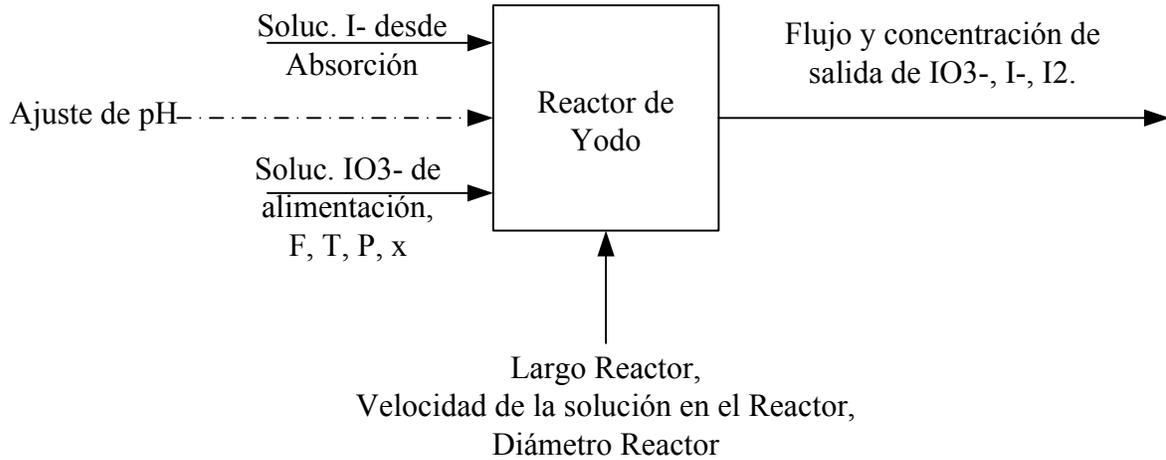


Figura 3.14. Información de corrientes Reactor de yodo.

Al llegar a esta etapa, el modelo ha calculado las etapas anteriores, la corriente de yoduro proveniente desde la torre de absorción está completamente definida, al igual que la corriente de yodato de alimentación, por lo tanto es posible determinar las condiciones de salida de ésta etapa.

La expresión del balance de materia para la corriente en esta etapa es la siguiente:

$$F_{in} = F_{out} \quad (3-31)$$

La expresión para el balance de materia para el yodato es de la siguiente forma:

$$x_{IO_3^i} * F_{in} / PM_{IO_3^-} = x_{IO_3^f} * F_{out} / PM_{IO_3^-} + r_{IO_3} * V \quad (3-32)$$

Se considera que el reactor se comporta como un reactor de flujo pistón y por lo tanto la conversión es resultado del tiempo de residencia. La siguiente expresión permite calcular iterativamente la conversión,  $X_{IO_3^-}$ , como función del tiempo de residencia en el reactor:

$$\frac{\tau}{C_{IO_3^- \text{ inicial}}} = \int_0^{X_A} \frac{dX_{IO_3^-}}{-K_3 * [IO_3^-] * [H^+]^2 * [I^-]^2} \quad (3-33)$$

La siguiente Figura 3.15 muestra el modelo de cálculo del Reactor de Yodo.

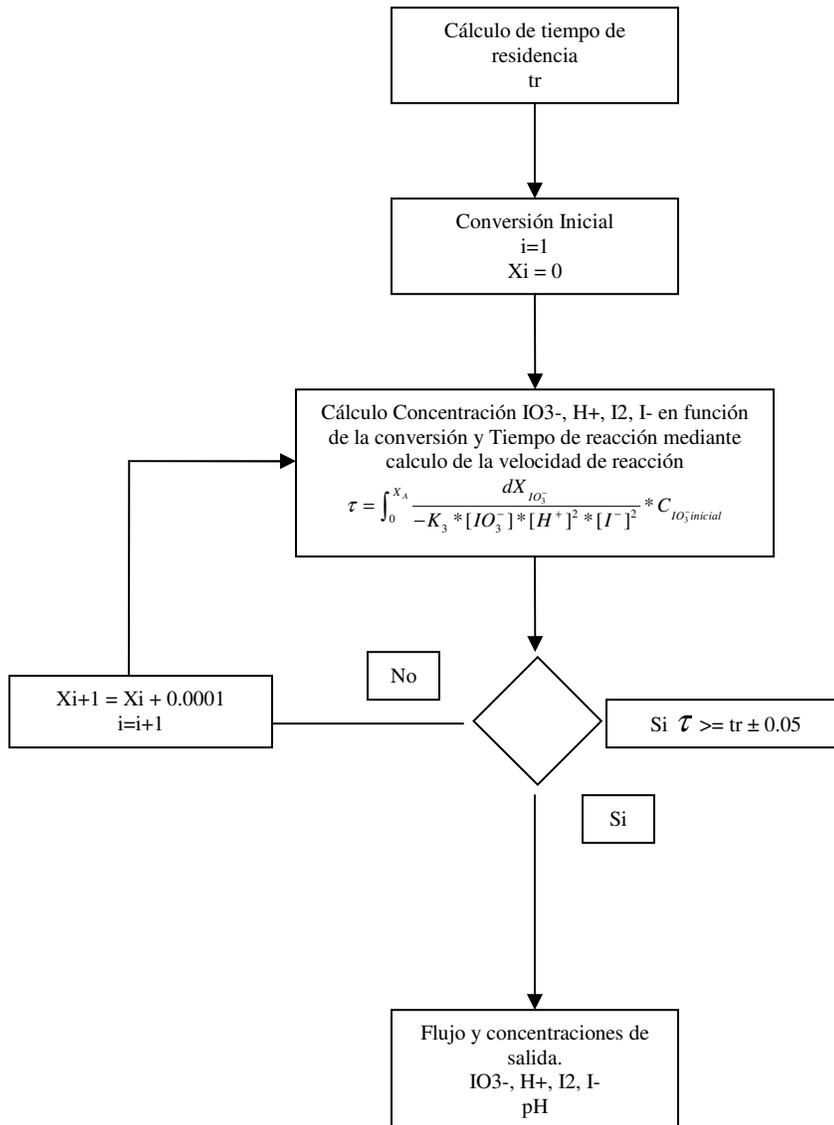


Figura 3.15. Modelo de cálculo para Reactor Plug Flow de yodo.

### 3.2.7 Modelación de recuperación de yodo libre por Extracción líquido-líquido.

Los datos de entrada conocidos de las corrientes involucradas se representan en la Figura 3.16

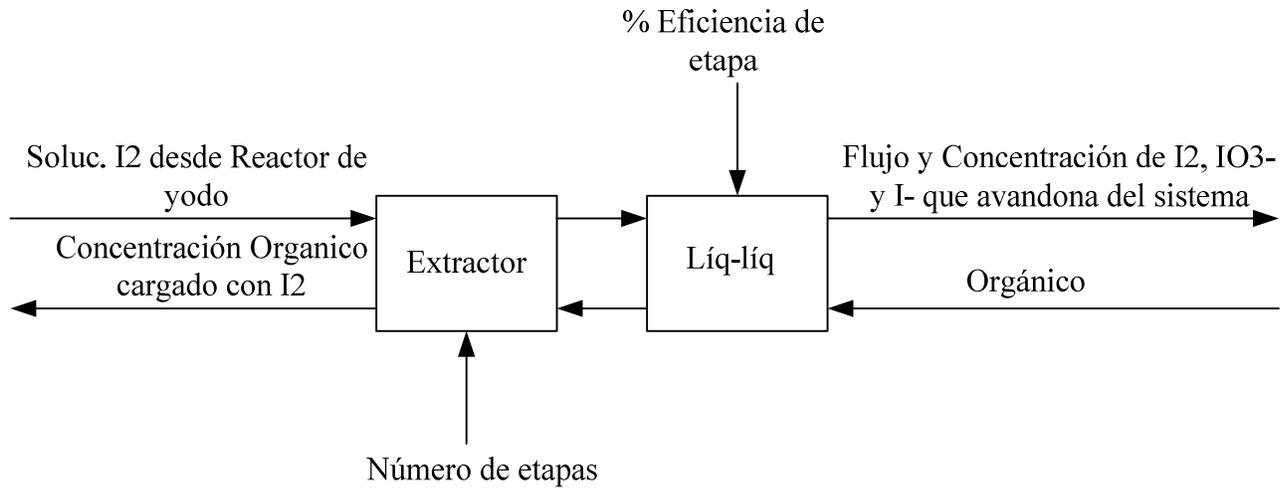


Figura 3.16. Información de corrientes Extractor líquido-líquido.

La corriente acuosa que entra a esta etapa, corresponde a la corriente de salida del reactor de yodo, por lo tanto, esta corriente está completamente especificada. Por otra parte, la corriente de orgánico que entra a la etapa corresponde a parafina, la cual en un principio se asume orgánico puro.

Se asume orgánico limpio en la primera iteración del modelo en esta etapa, a medida que el modelo realice las iteraciones correspondientes el orgánico se cargará con yodo libre, produciéndose la extracción de éste desde la solución acuosa.

Esta etapa está en estrecha relación con la etapa de Stripper, ya que el orgánico transfiere el yodo extraído en el extractor y es recirculado a la etapa de extracción. El modelo de cálculo se verá junto con el modelo de cálculo del Stripper.

La expresión del balance de materia para la corriente en esta etapa es la siguiente:

$$F_{AcuosoIn} + F_{Org.In} = F_{AcuosoOut} + F_{Org.Out} \quad (3-34)$$

La expresión para el balance de materia para el yodo libre es de la siguiente forma:

$$x_{I_2i} * F_{AcuosoIn} = x_{I_2f} * F_{AcuosoOut} + y_{I_2f} * F_{Org.Out} - y_{I_2i} * F_{Org.In} \quad (3-35)$$

### 3.2.8 Stripper.

Los datos de entrada conocidos de las corrientes involucradas se representan en la Figura 3.17

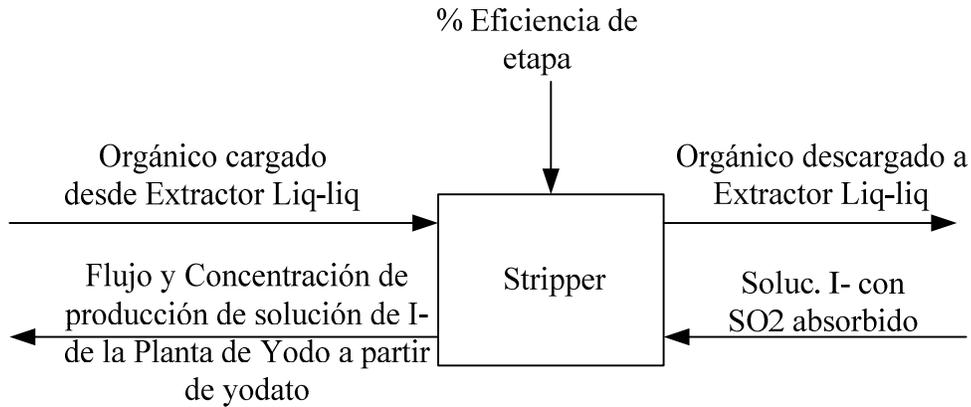


Figura 3.17. Información de corrientes Stripper.

La corriente de orgánico que entra a esta etapa corresponde a la corriente de salida del extractor líquido-líquido, la cual está completamente identificada aunque esta corriente está estrechamente relacionada con la etapa de stripper, ya que la corriente de orgánico de salida del stripper corresponde a la corriente de entrada del extractor líquido-líquido. Por esta razón, el sistema Extractor-Stripper deberá hacer iteraciones hasta que converja.

La corriente acuosa de entrada a esta etapa proviene desde la etapa de pre-absorción, por lo tanto, está completamente especificada. Estas dos corrientes de entrada permitirán determinar por completo el sistema, ya que se asume que el  $\text{SO}_2$  que entra al stripper reacciona estequiométricamente, el que no reacciona pasa a la fase orgánica reaccionando posteriormente con el yodo libre en la etapa de extracción líquido-líquido, no afectando la concentración de yoduro de salida.

La expresión del balance de materia para la corriente en esta etapa es la siguiente:

$$F_{AcuosoIn} + F_{Org.In} = F_{AcuosoOut} + F_{Org.Out} \quad (3-36)$$

La expresión para el balance de materia para el yodo es de la siguiente forma:

$$y_{I_2i} * F_{Org.In} / PM_{I_2} = y_{I_2f} * F_{Org.Out} / PM_{I_2} \quad (3-37)$$

La siguiente Figura 3.18 muestra el modelo de cálculo de Extractor líquido-líquido y Stripper.

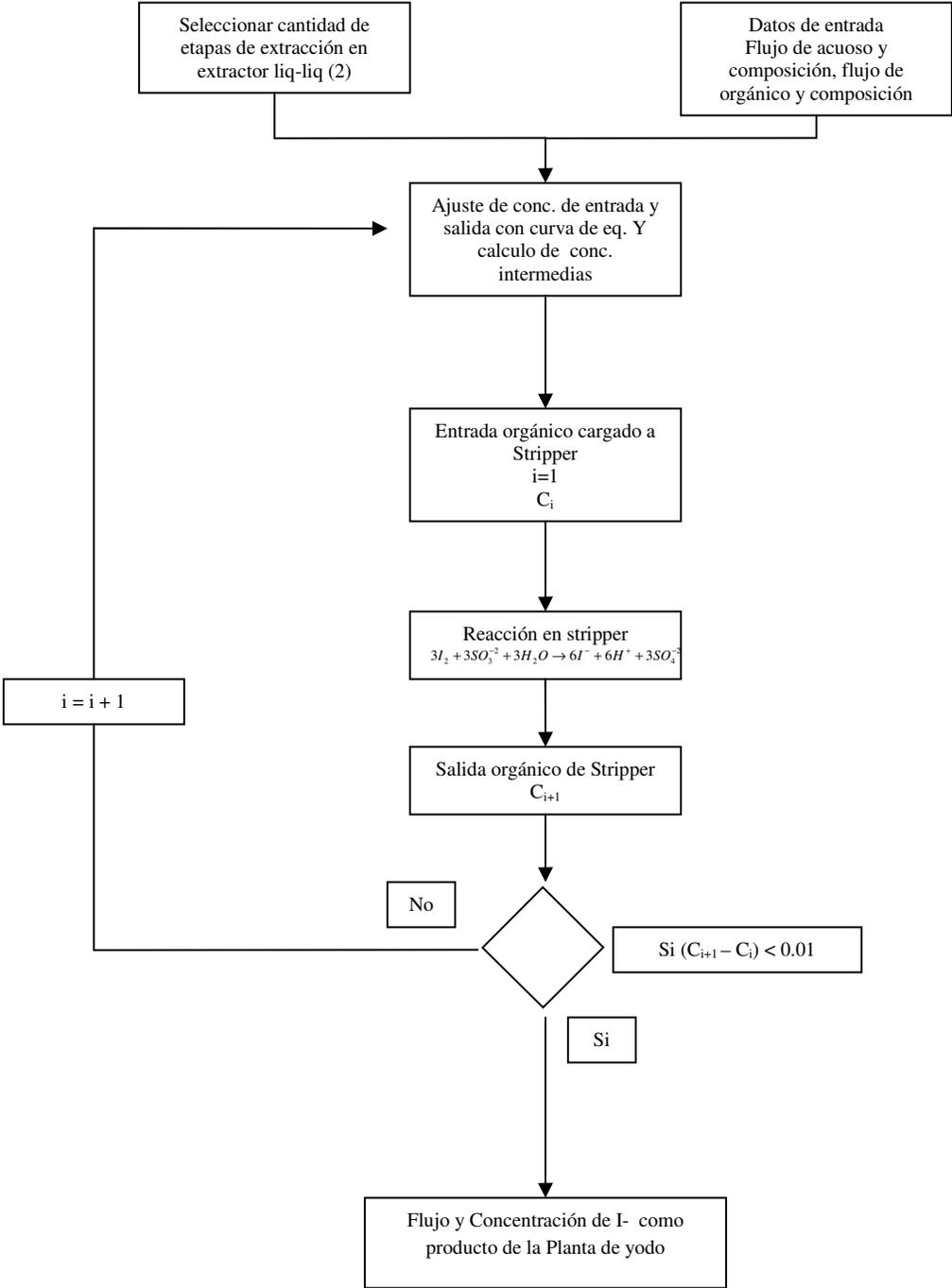


Figura 3.18. Modelo de cálculo para Extractor líq-líq y Stripper.

### 3.2.9 Modelación de Blow-out.

Los datos de entrada conocidos de las corrientes involucradas se representan en la Figura 3.19

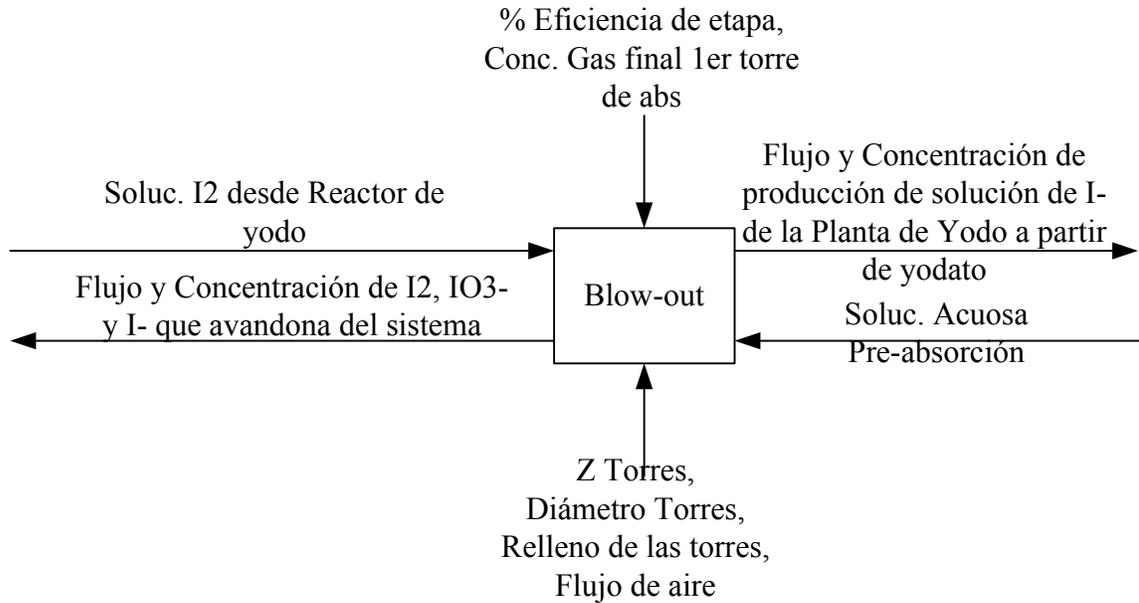


Figura 3.16. Información de corrientes para Blow-out.

La corriente acuosa que entra a esta etapa, corresponde a la corriente de salida del reactor de yodo, por lo tanto, esta corriente está completamente especificada. Por otra parte, la corriente acuosa que entra a la etapa corresponde a la recirculación de la etapa de Pre-absorción. Esta etapa consta de 2 torres, una de desorción con aire y otra de absorción. Se asume que el  $\text{SO}_2$  que entra a la etapa de blow-out reacciona estequiométricamente, el que no reacciona pasa a la corriente reaccionando posteriormente con el yodo libre en la torre de desorción, no afectando la concentración de yoduro de salida.

La expresión del balance de materia para la torre de desorción es la siguiente:

$$F_{AcuosoIn} + F_{AireIn} = F_{AcuosoOut} + F_{AireOut} \quad (3-38)$$

La expresión para el balance de materia para el yodo libre es de la siguiente forma:

$$x_{I_2i} * F_{AcuosoIn} + y_{I_2i} * F_{AireIn} * PM_{I_2} = x_{I_2f} * F_{AcuosoOut} + y_{I_2f} * F_{AireOut} * PM_{I_2} \quad (3-39)$$

La expresión del balance de materia para la torre de absorción con reacción es la siguiente:

$$F_{AcuosoIn} + F_{AireIn} = F_{AcuosoOut} + F_{AireOut} \quad (3-40)$$

La expresión para el balance de materia por componente es de la siguiente forma:

$$y_{I_{2i}} * F_{AireIn} = y_{I_{2f}} * F_{AireOut} + r_{I_2} * V \quad (3-41)$$

La siguiente Figura 3.20 muestra el modelo de cálculo de la torre de desorción.

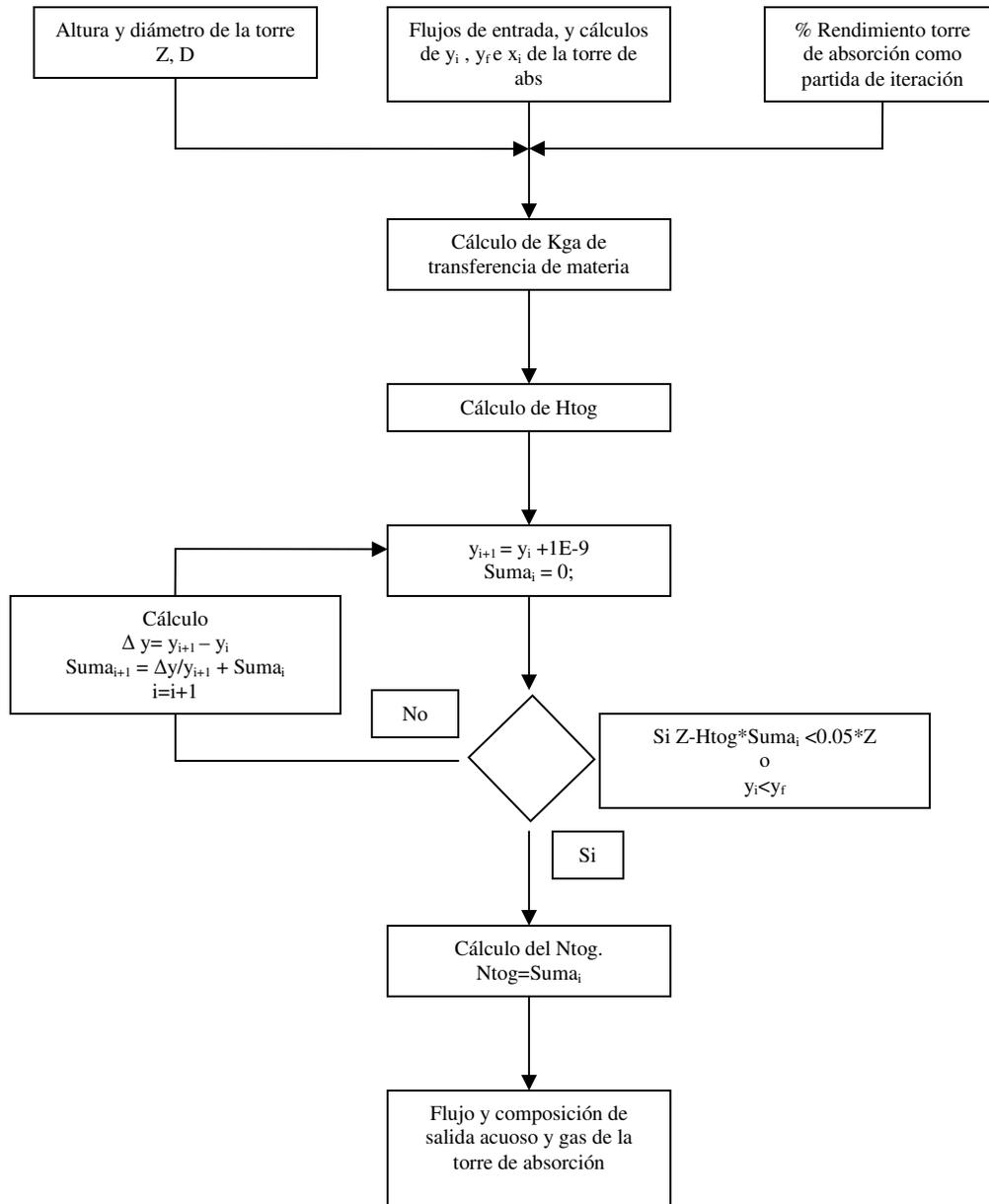


Figura 3.20. Modelo de cálculo para Torre de desorción.

La siguiente Figura 3.21 muestra el modelo de cálculo de la torre de absorción.

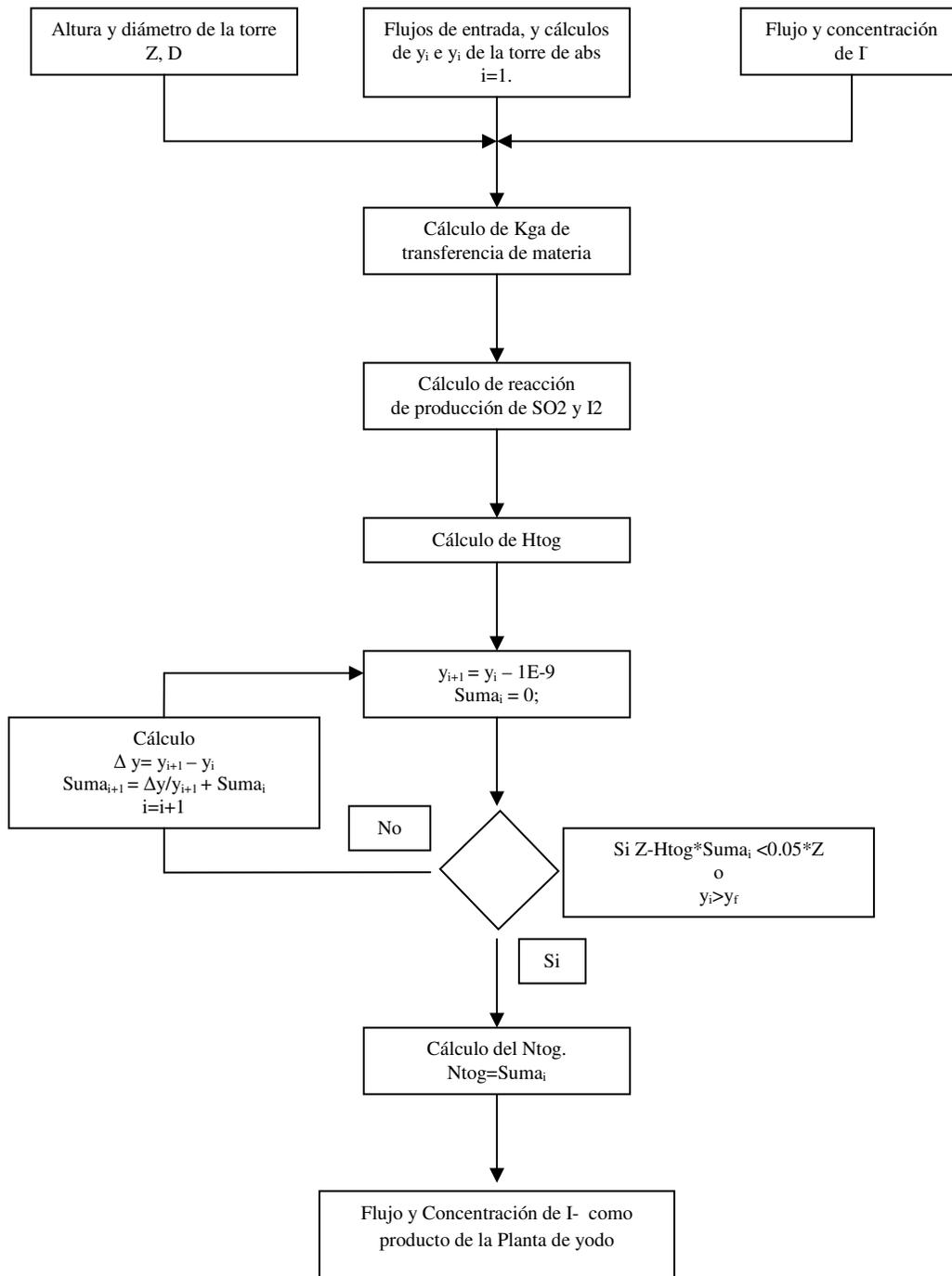


Figura 3.21. Modelo de cálculo para Torre de absorción.

## CAPITULO IV

### RESULTADO DE LA SIMULACIÓN

Se realizó la simulación para diferentes casos con el fin de determinar la sensibilidad del programa con respecto a cambios en las variables de entrada del proceso.

#### 4.1 Generación de casos y parámetros de diseño.

En esta sección se presentan los distintos casos de la simulación de la planta de yodo usando extracción líquido-líquido y blow-out, además de los parámetros de diseño usados en el proceso.

Los casos generados para simulación son los siguientes:

- Caso A. Caso base.
  - a. Caso A.1. Simulación con etapa de extracción líquido-líquido y stripper.
  - b. Caso A.2. Simulación con etapa de blow-out.
- Caso B. Cambios en la alimentación de azufre.
  - a. Caso B.1.1 Aumento de la alimentación de azufre en un 15% usando extracción líquido-líquido y stripper.
  - b. Caso B.1.2 Aumento de la alimentación de azufre en un 15% usando blow-out.
  - c. Caso B.2.1 Disminución de alimentación de azufre en un 15% usando extracción líquido-líquido y stripper.
  - d. Caso B.2.2 Disminución de la alimentación de azufre en un 15% usando blow-out.
- Caso C. Cambios en la alimentación de solución de yodato de entrada.
  - a. Caso C.1.1 Aumento de la alimentación de yodato en un 15% usando extracción líquido-líquido y stripper.
  - b. Caso C.1.2 Aumento de la alimentación de yodato en un 15% usando blow-out.
  - c. Caso C.2.1 Disminución de alimentación de yodato en un 15% usando extracción líquido-líquido y stripper.
  - d. Caso C.2.2 Disminución de la alimentación de yodato en un 15% usando blow-out.
- Caso D. Cambios en el largo del reactor de yodo.
  - a. Caso D.1.1 Aumento del largo del reactor en 10 [m] usando extracción líquido-líquido y stripper.
  - b. Caso D.1.2 Aumento del largo del reactor en 10 [m] usando blow-out.
  - c. Caso D.2.1 Disminución del largo del reactor en 10 [m] usando extracción líquido-líquido y stripper.
  - d. Caso D.2.2 Disminución del largo del reactor en 10 [m] usando blow-out.

La Tabla 4.1 corresponde a la tabla resumen de los parámetros de diseño usados en el proceso.

Tabla 4.1.  
Resumen de los parámetros de diseño de la simulación.

Equipos	Horno de Azufre	Torre de Enfriamiento	Torre de Preabsorción	Torre de Absorción	Reactor	SX	Stripper	Torre desorción Blow - out	Torre de abs Blow - out
Largo [m]	1,0	-	-	-	25,0	-	-	-	-
Diametro [m]	1,0	1,0	1,0	1,0	0,1	-	-	1,0	1,0
Altura [m]	-	3,0	1,5	6,0	-	-	-	2,0	2,0
N° Etapas	-	-	-	-	-	2,0	1,0	-	-
ΔP Torre	-	0,3	-	0,2	-	-	-	-	-
Relleno Torre CMH	-	-	Jaeger Novalox Saddles 3"	Jaeger Tri-Packs 3 ½"	-	-	-	Jaeger Tri-Packs 3 ½"	Jaeger Tri-Packs 3 ½"
Nivel Azufre	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-
Exceso de Aire	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-
% Saturación Salida	-	90,0	-	-	-	-	-	-	-
Recirculación [m3/h]	-	-	6,5	-	-	-	-	-	-
Concentración I- Recirc. [kg/m3]	-	-	100,0	-	-	-	-	-	-
Razón Yodo/Azufre [kg/kg]	-	-	1,3	-	-	-	-	-	-
Temperatura [°C]	-	-	-	-	25,0	-	-	-	-

## 4.2 Caso A. Caso base.

Los casos A, corresponden a la cantidad estequiométrica de yodato y azufre que entra a la planta de yodo. Los parámetros de diseño para la simulación corresponden a los expuestos en la Tabla 4.1, los datos de alimentación para los casos A.1 y A.2 se encuentran en las Tablas 4.2 y 4.3.

*Tabla 4.2.  
Datos de entrada para caso A.1.*

Alimentación solución de yodato	m3/h	60
Conc. solución de yodato	gpl	1.309
Temperatura entrada	°C	25
Presión de entrada	atm	0.7896
Flujo de azufre de entrada	kg/h	43.2

*Tabla 4.3.  
Datos de entrada para caso A.2*

Alimentación solución de yodato	m3/h	60
Conc. solución de yodato	gpl	1.309
Temperatura entrada	°C	25
Presión de entrada	atm	0.7896
Flujo de azufre de entrada	kg/h	43.2

### 4.2.1 Resultado simulación para caso A.1 usando extracción líquido-líquido.

Se presentan los resultados de la simulación para el caso base, el cual corresponde a la cantidad estequiométrica de solución de yodato y azufre que entra al sistema, para este caso fue usada la etapa de extracción líquido-líquido. La Tabla 4.4 corresponde a la tabla resumen de la simulación para las distintas corrientes involucradas en el proceso.

### 4.2.2 Resultado simulación para caso A.2 usando blow-out.

Se presentan los resultados de la simulación para el caso base, el cual corresponde a la cantidad estequiométrica de solución de yodato y azufre que entra al sistema, usando la etapa de blow-out. La Tabla 4.5 corresponde a la tabla resumen de la simulación para las distintas corrientes involucradas en el proceso.

Tabla 4.4.  
Tabla resumen para las corrientes involucradas en la simulación de caso A.1.

Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Nombre corriente	Alimentación	Fración de alimentación a absorción	Fración de alimentación a reactor de yodo	Flujo de ajuste de pH	Entrada reactor de yodo	Salida reactor de yodo	Orgánico cargado con I <sub>2</sub>	Purga	Solución de yoduro de salida	Entrada recirculación a pre-absorción	Producción de la planta	Salida recirculación a pre-absorción	Azufre de entrada	Aire de entrada	Gases de combustión	Gases de combustión enfriados	Agua de entrada de enfriamiento	Agua de salida de enfriamiento	Gases de salida de pre-absorción	Gases de salida de absorción	Solución de yoduro desde absorción	Agua	Orgánico	Agua necesaria en absorción	Solución intermedia en SX	Orgánico intermedio en SX
Flujo [kg/h]	60000,0	50000,0	10000,0	10,3	60086,0	60086,0	48068,0	60040,0	7527,3	7481,1	515,0	7505,3	47,5	241,0	288,6	295,1	1170,9	1168,7	270,7	211,2	50076,0	2,2	48068,0	468,8	60041,0	48068,0
Flujo [m <sup>3</sup> /h]	60,0	50,0	10,0	0,0	60,1	60,1	60,1	60,1	6,3	6,3	0,4	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	50,1	0,0	60,1	0,5	60,1	60,1
Flujo [Nm <sup>3</sup> /h]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	187,2	192,5	200,6	0,0	0,0	192,1	171,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Flujo [kmol/h]	3326,9	2772,4	554,5	0,1	557,8	3331,4	282,7	3331,2	385,9	385,5	26,4	385,9	1,6	8,4	8,6	9,0	65,1	64,9	8,6	7,6	3,2	0,1	282,9	26,0	3331,2	282,8
P [kPa]	80,01	80,01	80,01	80,01	79,58	79,58	79,58	79,58	80,01	80,01	80,01	80,01	80,01	80,01	265,00	264,68	101,33	101,33	264,61	264,18	79,58	101,33	79,58	80,006	79,575	79,575
T [K]	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	714,00	298,00	307,21	25,00	55,00	303,00	303,00	298,00	25,00	298,00	298,00	298,00	298,00
Flujo Acuoso [kg/h]	60003	50002	10000	10	60134	60134	48115	60041	8205	8112	561	8137	48	0	0	0	1171	1169	0	0	50123	2	48068	469	60043	48069
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,67	0,00	0,00
Yodo equivalente	56,99	47,49	9,50	0,00	57,00	57,00	46,37	10,63	677,59	631,24	46,36	631,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	47,50	0,00	0,00	0,00	11,22	0,59
I <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	46,38	46,37	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60
Yoduro	0,00	0,00	0,00	0,00	39,26	0,61	0,00	0,61	677,59	631,24	46,36	631,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,26	0,00	0,00	0,00	0,61
Yodato	78,54	65,45	13,09	0,00	24,45	13,80	0,00	13,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,36	0,00	0,00	0,00	13,80	0,00
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	10,12	99,27	99,27	0,00	99,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	89,16	0,00	0,00	0,00	99,27	0,00
H	0,00	0,00	0,00	0,00	1,36	1,33	0,00	1,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,86	0,00	0,00	0,00	1,33	0,00
Kero	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48021,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48055,50	0,00	0,00	48067,52
Agua	59867,40	49889,50	9977,90	0,21	59912,35	59915,36	0,00	59915,72	6849,69	6849,84	468,65	6849,71	4,32	0,00	0,00	0,00	1170,90	1168,70	0,00	0,00	49934,28	2,18	0,00	468,75	59916,11	0,00
Flujo Gas [kg/h]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	91	97	0	0	59	682	0	0	0	0	0	0
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	86,47	86,48	0,00	0,00	59,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	681,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agua	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,32	10,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Conc. Acuoso p/p																										
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
I <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Yoduro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,08	0,09	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Yodato	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kero	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00
Agua	1,00	1,00	1,00	0,02	1,00	1,00	0,00	1,00	0,91	0,92	0,91	0,91	0,09	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00
Conc. Gas w/v																										
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,15	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agua	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 4.5.  
Tabla resumen para las corrientes involucradas en la simulación del caso A.2.

Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Nombre corriente	Alimentación	Fracción de alimentación a absorción	Fracción de alimentación a reactor de yodo	Flujo de ajuste de pH	Entrada reactor de yodo	Salida reactor de yodo	Aire cargado con I <sub>2</sub>	Purga	Solución de yoduro de salida	Entrada recirculación a pre-absorción	Producción de la planta	Salida recirculación a pre-absorción	Azufre de entrada	Aire de entrada	Gases de combustión	Gases de combustión enfriados	Agua de entrada de enfriamiento	Agua de salida de enfriamiento	Gases de salida de pre-absorción	Gases de salida de absorción	Solución de yoduro desde absorción	Agua	Aire	Agua necesaria en absorción	
Flujo [kg/h]	60000,0	50000,0	10000,0	10,3	60087,0	60087,0	15022,0	60087,0	7455,5	7431,2	465,8	7455,5	47,5	241,0	288,6	295,1	1170,9	1168,7	270,7	211,2	50076,0	2,2	15022,0	441,6	
Flujo [m <sup>3</sup> /h]	60,0	50,0	10,0	0,0	60,1	60,1	0,0	60,1	6,2	6,3	0,4	6,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	50,1	0,0	0,0	0,4	
Flujo [Nm <sup>3</sup> /h]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18694,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	187,2	192,5	200,6	0,0	0,0	192,1	171,3	0,0	0,0	18694,0	0,0	
Flujo [kmol/h]	3326,9	2772,4	554,5	0,1	557,8	3331,4	834,5	3333,5	381,6	382,3	23,8	383,4	1,6	8,4	8,6	9,0	65,1	64,9	8,6	7,6	3,2	0,1	834,5	24,5	
P [kPa]	80,01	80,01	80,01	80,01	79,59	79,59	79,29	79,29	80,01	80,01	80,01	80,01	80,01	80,01	80,01	265,00	264,68	101,33	101,33	264,61	264,20	79,59	101,33	80,01	80,006
T [K]	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	714,00	307,21	25,00	55,00	303,00	303,00	298,00	25,00	298,00	298
Flujo Acuoso [kg/h]	60003	50002	10000	10	60135	60135	0	60093	8110	8058	507	8082	48	0	0	0	1171	1169	0	0	50123	2	0	442	
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Yodo equivalente	56,99	47,49	9,50	0,00	57,00	57,00	0,00	15,23	668,39	626,63	41,76	626,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	47,50	0,00	0,00	0,00	0,00
I <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	46,41	0,00	4,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Yoduro	0,00	0,00	0,00	0,00	39,28	0,61	0,00	0,61	668,39	626,63	41,76	626,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,28	0,00	0,00	0,00	0,00
Yodato	78,54	65,45	13,09	0,00	24,41	13,75	0,00	13,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,32	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	10,08	99,30	99,30	0,00	99,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	89,22	0,00	0,00	0,00	0,00
H	0,00	0,00	0,00	0,00	1,86	1,33	0,00	1,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,86	0,00	0,00	0,00	0,00
Kero	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agua	59867,40	49889,50	9977,90	0,21	59913,35	59916,35	0,00	59938,41	6773,32	6804,60	423,16	6804,56	4,32	0,00	0,00	0,00	1170,90	1168,70	0,00	0,00	49934,28	2,18	0,00	441,55	
Flujo Gas [kg/h]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	91	97	0	0	60	682	0	0	0	0	
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	86,47	86,48	0,00	0,00	59,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	682,40	0,00	0,00	0,00	
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Agua	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,32	10,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Conc. Acuoso p/p																									
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
I <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Yoduro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,08	0,09	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Yodato	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Kero	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Agua	1,00	1,00	1,00	0,02	1,00	1,00	0,00	1,00	0,91	0,92	0,91	0,91	0,09	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	
Conc. Gas w/v																									
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,15	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,93	0,00	0,00	0,00	0,00	
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Agua	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

### 4.3 Caso B. Cambios en la alimentación de azufre.

Los casos B, corresponden a un cambio en la alimentación de azufre a la planta. Se hicieron dos cambios de flujo de azufre, un aumento del flujo del 15% el cual corresponde a los casos B.1.1 y B.1.2, lo cuales usan la etapa de extractor líquido-líquido y blow-out respectivamente y una disminución del flujo de azufre de entrada del 15% el cual corresponde a los casos B.2.1 y B.2.2 usando la etapa de extracción líquido-líquido y blow-out. Para los casos B.1 el flujo de azufre es 49,7 kg/h y para los casos B.2 el flujo de azufre es de 36,7 kg/h. Los parámetros de diseño para la simulación corresponden a los expuestos en la Tabla 4.1, los datos de alimentación para los casos B.1.1 y B.1.2 se encuentran en las Tablas 4.6 y 4.7.

*Tabla 4.6.  
Datos de entrada para caso B.1.1.*

Alimentación solución de yodato	m <sup>3</sup> /h	60
Conc. solución de yodato	gpl	1.309
Temperatura entrada	°C	25
Presión de entrada	atm	0.7896
Flujo de azufre de entrada	kg/h	49.7

*Tabla 4.6.  
Datos de entrada para caso B.1.2.*

Alimentación solución de yodato	m <sup>3</sup> /h	60
Conc. solución de yodato	gpl	1.309
Temperatura entrada	°C	25
Presión de entrada	atm	0.7896
Flujo de azufre de entrada	kg/h	49.7

#### 4.3.1 Resultado simulación para caso B.1.1 usando extracción líquido-líquido.

Se presentan los resultados de la simulación para el caso B.1.1, el cual corresponde a un aumento del 15% del flujo de azufre que entra a la planta, usando la etapa de extracción líquido-líquido. La Tabla 4.7 corresponde a la tabla resumen de la simulación para las distintas corrientes involucradas en el proceso.

#### 4.3.2 Resultado simulación para caso B.1.2 blow-out.

Se presentan los resultados de la simulación para el caso B.1.2 el cual corresponde a un aumento del flujo de azufre en un 15%, usando la etapa de blow-out. La Tabla 4.8 corresponde a la tabla resumen de la simulación para las distintas corrientes involucradas en el proceso.

Tabla 4.7.  
Tabla resumen para las corrientes involucradas en la simulación de caso B.1.1.

Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
Nombre corriente	Alimentación	Fracción de alimentación a absorción	Fracción de alimentación a reactor de yodo	Flujo de ajuste de pH	Entrada reactor de yodo	Salida reactor de yodo	Orgánico cargado con I <sub>2</sub>	Purga	Solución de yoduro de salida	Entrada recirculación a pre-absorción	Producción de la planta	Salida recirculación a pre-absorción	Azufre de entrada	Aire de entrada	Gases de combustión	Gases de combustión enfriados	Agua de entrada de enfriamiento	Agua de salida de enfriamiento	Gases de salida de pre-absorción	Gases de salida de absorción	Solución de yoduro desde absorción	Agua	Orgánico	Agua necesaria en absorción	Solución intermedia en SX	Orgánico intermedio en SX	
Flujo [kg/h]	60000,0	50000,0	10000,0	30,7	60123,0	60123,0	48095,0	60071,0	7596,2	7544,1	574,8	7568,2	54,6	277,1	331,9	339,2	1487,1	1484,7	314,4	242,6	50092,0	2,4	48095,0	522,8	60071,0	48095,0	
Flujo [m <sup>3</sup> /h]	60,0	50,0	10,0	0,0	60,1	60,1	60,1	60,1	6,3	6,4	0,5	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	1,3	0,0	0,0	50,1	0,0	60,1	0,5	60,1	60,1	
Flujo [Nm <sup>3</sup> /h]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	215,2	221,4	230,6	0,0	0,0	221,9	196,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Flujo [kmol/h]	3326,9	2772,4	554,5	3233,7	3811,9	3332,9	282,8	3332,7	389,1	388,7	29,4	389,1	1,8	9,6	9,9	10,3	82,6	82,5	9,9	8,8	3,7	0,1	283,0	29,0	3332,7	282,9	
P [kPa]	80,01	80,01	80,01	80,01	79,51	79,51	79,51	79,51	80,01	80,01	80,01	80,01	80,01	80,01	80,01	280,04	279,72	101,33	101,33	279,64	279,14	79,51	101,33	80,006	79,506	79,506	
T [K]	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	754,50	308,06	25,00	55,00	303,00	303,00	298,00	25,00	298,00	298,00	298,00	298,00	
Flujo Acuoso [kg/h]	60003	50002	10000	26	60167	60167	48147	60063	8286	8181	627	8206	55	0	0	0	1487	1485	0	0	50140	2	48095	523	60063	48096	
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,62	0,00	0,00	0,00
Yodo equivalente	56,99	47,49	9,50	0,00	57,00	57,00	52,19	4,80	689,58	637,39	52,18	637,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,47	0,66
I <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67
Yoduro	0,00	0,00	0,00	0,00	47,43	3,93	0,00	3,93	689,58	637,39	52,18	637,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,93	0,00
Yodato	78,54	65,45	13,09	0,00	13,18	1,19	0,00	1,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,19	0,00
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	107,72	107,72	0,00	107,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	107,73	0,00
H	0,00	0,00	0,00	0,00	2,24	1,28	0,00	1,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,28	0,00
Kero	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48042,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48083,46	0,00	0,00	48094,52	
Agua	59867,40	49889,50	9977,90	26,40	59939,02	59943,23	0,00	59943,65	6906,62	6906,70	322,66	6906,61	4,97	0,00	0,00	0,00	1487,10	1484,70	0,00	0,00	49934,71	2,39	0,00	522,75	59943,05	0,00	
Flujo Gas [kg/h]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	104	112	0	0	0	72	946	0	0	0	0	0	0	
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,44	99,45	0,00	0,00	71,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	946,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Agua	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,97	12,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Conc. Acuoso p/p																											
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
I <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Yoduro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,08	0,09	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Yodato	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,08	0,09	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Kero	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	
Agua	1,00	1,00	1,00	0,86	1,00	1,00	0,00	1,00	0,91	0,92	0,91	0,91	0,09	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	
Conc. Gas w/v																											
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,15	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Agua	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Tabla 4.8.  
Tabla resumen para las corrientes involucradas en la simulación de caso B.1.2.

Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Nombre corriente	Alimentación	Fracción de alimentación a absorción	Fracción de alimentación a reactor de yodo	Flujo de ajuste de pH	Entrada reactor de yodo	Salida reactor de yodo	Aire cargado con I <sub>2</sub>	Purga	Solución de yoduro de salida	Entrada recirculación a pre-absorción	Producción de la planta	Salida recirculación a pre-absorción	Azufre de entrada	Aire de entrada	Gases de combustión	Gases de combustión enfriados	Agua de entrada de enfriamiento	Agua de salida de enfriamiento	Gases de salida de pre-absorción	Gases de salida de absorción	Solución de yoduro desde absorción	Agua	Aire	Agua necesaria en absorción	
Flujo [kg/h]	60000,0	50000,0	10000,0	31,9	60124,0	60124,0	15031,0	60124,0	7511,8	7487,1	519,2	7511,8	54,6	277,1	331,9	339,2	1487,1	1484,7	314,5	242,6	50092,0	2,4	15031,0	494,5	
Flujo [m <sup>3</sup> /h]	60,0	50,0	10,0	0,0	60,1	60,1	0,0	60,1	6,3	6,3	0,4	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	1,3	0,0	0,0	50,1	0,0	0,0	0,5	
Flujo [Nm <sup>3</sup> /h]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18706,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	215,2	221,4	230,6	0,0	0,0	221,9	196,8	0,0	0,0	18706,0	0,0	
Flujo [kmol/h]	3326,9	2772,4	554,5	3378,2	3936,5	3333,0	835,1	3335,4	384,2	385,2	26,6	386,2	1,8	9,6	9,9	10,3	82,6	82,5	9,9	8,8	3,7	0,1	835,1	27,5	
P [kPa]	80,01	80,01	80,01	80,01	79,54	79,54	79,24	79,24	80,01	80,01	80,01	80,01	80,01	80,01	280,04	279,72	101,33	101,33	279,64	279,17	79,54	101,33	80,01	80,006	
T [K]	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	754,50	308,06	25,00	55,00	303,00	303,00	298,00	25,00	298,00	298	
Flujo Acuoso [kg/h]	60003	50002	10000	27	60168	60168	0	60121	8178	8119	565	8144	55	0	0	0	1487	1485	0	0	50139	2	0	495	
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	49,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Yodo equivalente	56,99	47,49	9,50	0,00	57,00	57,00	0,00	10,05	679,10	632,17	46,93	632,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	47,50	0,00	0,00	0,00	0,00
I <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	52,16	0,00	5,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Yoduro	0,00	0,00	0,00	0,00	47,47	4,00	0,00	4,00	679,10	632,17	46,93	632,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	47,47	0,00	0,00	0,00	0,00
Yodato	78,54	65,45	13,09	0,00	13,14	1,15	0,00	1,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	107,80	107,80	0,00	107,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	107,80	0,00	0,00	0,00	0,00
H	0,00	0,00	0,00	0,00	2,24	1,28	0,00	1,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,24	0,00	0,00	0,00	0,00
Kero	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agua	59867,40	49889,50	9977,90	27,41	59940,02	59944,23	0,00	59991,13	6819,81	6854,96	471,33	6854,89	4,97	0,00	0,00	0,00	1487,10	1484,70	0,00	0,00	49934,21	2,39	0,00	0,00	494,52
Flujo Gas [kg/h]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	104	112	0	0	0	72	947	0	0	0	0	
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,44	99,45	0,00	0,00	71,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	947,11	0,00	0,00	0,00	0,00	
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Agua	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,97	12,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Conc. Acuoso p/p																									
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
I <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Yoduro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,08	0,09	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Yodato	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Kero	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Agua	1,00	1,00	1,00	0,86	1,00	1,00	0,00	1,00	0,91	0,92	0,91	0,91	0,09	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	
Conc. Gas w/v																									
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,15	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,12	0,00	0,00	0,00	0,00	
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Agua	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Para los casos B.2.1 y B.2.2 que corresponden a la disminución del flujo de azufre en un 15% que entra al sistema, para los casos usando extracción líquido-líquido y blow-out, respectivamente, los parámetros de diseño para la simulación corresponden a los expuestos en la Tabla 4.1, los datos de alimentación para estos casos se encuentran en las Tablas 4.9 y 4.10.

*Tabla 4.9.  
Datos de entrada para caso B.2.1.*

Alimentación solución de yodato	m <sup>3</sup> /h	60
Conc. solución de yodato	gpl	1.309
Temperatura entrada	°C	25
Presión de entrada	atm	0.7896
Flujo de azufre de entrada	kg/h	36.7

*Tabla 4.10.  
Datos de entrada para caso B.2.2.*

Alimentación solución de yodato	m <sup>3</sup> /h	60
Conc. solución de yodato	gpl	1.309
Temperatura entrada	°C	25
Presión de entrada	atm	0.7896
Flujo de azufre de entrada	kg/h	36.7

#### **4.3.3 Resultado simulación para caso B.2.1 usando extracción líquido-líquido.**

Se presentan los resultados de la simulación para el caso B.2.1 usando la etapa de extracción líquido-líquido y disminuyendo el flujo de azufre de entrada en un 15%. La Tabla 4.11 corresponde a la tabla resumen de la simulación para las distintas corrientes involucradas en el proceso.

#### **4.3.4 Resultado simulación para caso B.2.2 blow-out.**

Se presentan los resultados de la simulación para el caso B.2.2 el cual corresponde a una disminución del 15% de azufre que entra a la planta, usando la etapa de blow-out . La Tabla 4.12 corresponde a la tabla resumen de la simulación para las distintas corrientes involucradas en el proceso.

Tabla 4.11.  
Tabla resumen para las corrientes involucradas en la simulación para el caso B.2.1.

Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
Nombre corriente	Alimentación	Fracción de alimentación a absorción	Fracción de alimentación a reactor de yodo	Flujo de ajuste de pH	Entrada reactor de yodo	Salida reactor de yodo	Orgánico cargado con I <sub>2</sub>	Purga	Solución de yoduro de salida	Entrada recirculación a pre-absorción	Producción de la planta	Salida recirculación a pre-absorción	Azufre de entrada	Aire de entrada	Gases de combustión	Gases de combustión enfriados	Agua de entrada de enfriamiento	Agua de salida de enfriamiento	Gases de salida de pre-absorción	Gases de salida de absorción	Solución de yoduro desde absorción	Agua	Orgánico	Agua necesaria en absorción	Solución intermedia en SX	Orgánico intermedio en SX	
Flujo [kg/h]	60000,0	50000,0	10000,0	21,6	60082,0	60082,0	48064,0	60045,0	7424,8	7387,5	418,8	7411,3	40,4	204,8	245,3	251,6	886,3	883,6	227,9	180,5	50061,0	2,7	48064,0	381,5	60046,0	48064,0	
Flujo [m <sup>3</sup> /h]	60,0	50,0	10,0	0,0	60,1	60,1	60,1	60,1	6,2	6,2	0,3	6,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,7	0,0	0,0	50,1	0,0	60,1	0,4	60,1	60,1	
Flujo [Nm <sup>3</sup> /h]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	159,1	163,7	171,6	0,0	0,0	163,3	146,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Flujo [kmol/h]	3326,9	2772,4	554,5	0,2	557,3	3331,2	282,7	3331,1	381,1	380,8	21,5	381,1	1,4	7,1	7,3	7,7	49,2	49,1	7,3	6,5	2,6	0,1	282,9	21,2	3331,1	282,7	
P [kPa]	80,01	80,01	80,01	80,01	79,49	79,49	79,68	79,49	80,01	80,01	80,01	80,01	80,01	80,01	249,23	248,91	101,33	101,33	248,84	248,32	79,49	101,33	79,68	80,006	79,485	79,485	
T [K]	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	671,50	310,35	25,00	55,00	303,00	303,00	298,00	25,00	298,00	298	298	298	
Flujo Acuoso [kg/h]	60003	50002	10000	22	60127	60127	48101	60053	8084	8010	456	8033	40	0	0	0	886	884	0	0	50109	3	48064	381	60054	48064	
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,32	0,00	0,00	0,00
Yodo equivalente	56,99	47,49	9,50	0,00	57,00	57,00	37,19	19,81	659,16	621,98	37,18	621,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,28	0,47
I <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	37,19	37,19	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48	0,47
Yoduro	0,00	0,00	0,00	0,00	31,28	0,29	0,00	0,29	659,16	621,98	37,18	621,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29	0,00
Yodato	78,54	65,45	13,09	0,00	35,44	26,89	0,00	26,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,89	0,00
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	21,14	92,19	92,19	0,00	92,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	71,05	0,00
H	0,00	0,00	0,00	0,00	1,48	1,40	0,00	1,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	0,00
Kero	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48026,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48049,58	0,00	48063,52	
Agua	59867,40	49889,50	9977,90	0,43	59909,56	59911,97	0,00	59912,30	6765,63	6765,55	381,57	6765,63	3,67	0,00	0,00	0,00	886,27	883,60	0,00	0,00	49934,85	2,68	0,00	381,45	59912,70	0,00	
Flujo Gas [kg/h]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	77	84	0	0	47	465	0	0	0	0	0	0	
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	73,50	73,50	0,00	0,00	47,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	465,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Agua	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,67	10,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Conc. Acuoso p/p																											
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
I <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Yoduro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,08	0,09	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Yodato	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kero	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	
Agua	1,00	1,00	1,00	0,02	1,00	1,00	0,00	1,00	0,91	0,92	0,91	0,91	0,09	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	
Conc. Gas w/v																											
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,15	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Agua	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Tabla 4.12.  
Tabla resumen para las corrientes involucradas en la simulación para el caso B.2.2.

Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Nombre corriente	Alimentación	Fracción de alimentación a absorción	Fracción de alimentación a reactor de yodo	Flujo de ajuste de pH	Entrada reactor de yodo	Salida reactor de yodo	Aire cargado con I <sub>2</sub>	Purga	Solución de yoduro de salida	Entrada recirculación a pre-adsorción	Producción de la planta	Salida recirculación a pre-adsorción	Azufre de entrada	Aire de entrada	Gases de combustión	Gases de combustión enfriados	Agua de entrada de enfriamiento	Agua de salida de enfriamiento	Gases de salida de pre-adsorción	Gases de salida de adsorción	Solución de yoduro desde adsorción	Agua	Aire	Agua necesaria en adsorción
Flujo [kg/h]	60000,0	50000,0	10000,0	21,8	60082,0	60082,0	15021,0	60082,0	7771,4	7747,5	377,5	7771,4	40,4	204,8	245,3	251,6	886,3	883,6	227,7	180,6	50060,0	2,7	15021,0	353,6
Flujo [m <sup>3</sup> /h]	60,0	50,0	10,0	0,0	60,1	60,1	0,0	60,1	6,5	6,5	0,3	6,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,7	0,0	0,0	50,1	0,0	0,0	0,4
Flujo [Nm <sup>3</sup> /h]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18693,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	159,1	163,7	171,6	0,0	0,0	163,2	146,7	0,0	0,0	18693,0	0,0
Flujo [kmol/h]	3326,9	2772,4	554,5	0,2	557,3	3331,2	834,5	3333,0	398,2	398,5	19,3	399,7	1,4	7,1	7,3	7,7	49,2	49,1	7,3	6,5	2,6	0,1	834,5	19,6
P [kPa]	80,01	80,01	80,01	80,01	79,49	79,49	79,19	79,19	80,01	80,01	80,01	80,01	80,01	80,01	249,23	248,91	101,33	101,33	248,84	248,32	79,49	101,33	80,01	80,006
T [K]	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	671,50	310,35	25,00	55,00	303,00	303,00	298,00	25,00	298,00	298
Flujo Acuoso [kg/h]	60003	50002	10000	22	60127	60127	0	60094	8441	8399	410	8423	40	0	0	0	886	884	0	0	50108	3	0	354
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Yodo equivalente	56,99	47,49	9,50	0,00	57,00	57,00	0,00	23,72	684,78	651,52	33,26	651,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	47,50	0,00	0,00	0,00
I <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,97	0,00	3,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Yoduro	0,00	0,00	0,00	0,00	31,09	0,28	0,00	0,28	684,78	651,52	33,26	651,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31,09	0,00	0,00	0,00
Yodato	78,54	65,45	13,09	0,00	35,70	27,21	0,00	27,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,61	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	21,40	92,02	92,02	0,00	92,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	70,61	0,00	0,00	0,00
H	0,00	0,00	0,00	0,00	1,47	1,40	0,00	1,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,47	0,00	0,00	0,00
Kero	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agua	59867,40	49889,50	9977,90	0,44	59909,56	59911,97	0,00	59945,61	7071,04	7096,01	343,48	7095,91	3,67	0,00	0,00	0,00	886,27	883,60	0,00	0,00	49934,35	2,68	0,00	353,59
Flujo Gas [kg/h]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	77	84	0	0	47	463	0	0	0	0
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	73,50	73,50	0,00	0,00	47,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	462,50	0,00	0,00	0,00	0,00
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agua	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,67	10,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Conc. Acuoso p/p																								
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
I <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Yoduro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,08	0,09	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Yodato	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kero	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agua	1,00	1,00	1,00	0,02	1,00	1,00	0,00	1,00	0,91	0,92	0,91	0,91	0,09	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00
Conc. Gas w/v																								
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,15	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74	0,00	0,00	0,00	0,00
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agua	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

#### 4.4 Caso C. Cambios en la alimentación de solución de yodato de entrada.

Los casos C, corresponden a un cambio en la alimentación de solución de yodato de entrada a la planta. Se hicieron dos cambios de flujo de yodato, un aumento del flujo del 15%, los cuales corresponden a los casos C.1.1 y C.1.2 usando las etapas de extracción líquido-líquido y blow-out, respectivamente, y una disminución del flujo de alimentación de yodato de un 15% los cuales corresponden a los casos C.2.1 y C.2.2 usando las etapa de extracción líquido-líquido y blow-out. Para los casos C.1 el flujo es de 69 m<sup>3</sup>/h, en cambio para los casos C.2 el flujo es de 51 m<sup>3</sup>/h. Los parámetros de diseño para la simulación corresponden a los expuestos en la Tabla 4.1, los datos de alimentación para los casos C.1.1 y C.1.2 se encuentran en las Tablas 4.13 y 4.14.

*Tabla 4.13.  
Datos de entrada para caso C.1.1.*

Alimentación solución de yodato	m <sup>3</sup> /h	69
Conc. solución de yodato	gpl	1.309
Temperatura entrada	°C	25
Presión de entrada	atm	0.7896
Flujo de azufre de entrada	kg/h	43.2

*Tabla 4.14.  
Datos de entrada para caso C.1.2.*

Alimentación solución de yodato	m <sup>3</sup> /h	69
Conc. solución de yodato	gpl	1.309
Temperatura entrada	°C	25
Presión de entrada	atm	0.7896
Flujo de azufre de entrada	kg/h	43.2

##### 4.4.1 Resultado simulación para caso C.1.1 usando extracción líquido-líquido.

Se presentan los resultados de la simulación para el caso C.2.1, el cual corresponde al aumento del flujo de alimentación de yodato en un 15% usando la etapa de extracción líquido-líquido. La Tabla 4.15 corresponde a la tabla resumen de la simulación para las distintas corrientes involucradas en el proceso.

##### 4.4.2 Resultado simulación para caso C.1.2 blow-out.

Se presentan los resultados de la simulación para el caso C.2.2, el cual corresponde a la disminución del flujo en un 15% usando la etapa de blow-out. La Tabla 4.16 corresponde a la tabla resumen de la simulación para las distintas corrientes involucradas en el proceso.

Tabla 4.15.  
Tabla resumen para las corrientes involucradas en la simulación para el caso C.1.1.

Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
Nombre corriente	Alimentación	Fracción de alimentación a absorción	Fracción de alimentación a reactor de yodo	Flujo de ajuste de pH	Entrada reactor de yodo	Salida reactor de yodo	Orgánico cargado con I <sub>2</sub>	Purga	Solución de yoduro de salida	Entrada recirculación a pre-absorción	Producción de la planta	Salida recirculación a pre-absorción	Azufre de entrada	Aire de entrada	Gases de combustión	Gases de combustión enfriados	Agua de entrada de enfriamiento	Agua de salida de enfriamiento	Gases de salida de pre-absorción	ases de salida de absorción	Solución de yoduro desde absorción	Agua	Orgánico	Agua necesaria en absorción	Solución intermedia en SX	Orgánico intermedio en SX	
Flujo [kg/h]	69000,0	57500,0	11500,0	20,2	69096,0	69096,0	55276,0	69050,0	7529,9	7483,4	517,4	7507,6	47,5	241,0	288,6	295,1	1170,9	1168,7	270,7	211,2	57576,0	2,2	55276,0	470,9	69050,0	55276,0	
Flujo [m <sup>3</sup> /h]	69,0	57,5	11,5	0,0	69,1	69,1	69,1	69,1	6,3	6,3	0,4	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	57,6	0,0	69,1	0,5	69,1	69,1	
Flujo [Nm <sup>3</sup> /h]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	187,2	192,5	200,6	0,0	0,0	192,1	171,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Flujo [kmol/h]	3826,0	3188,3	637,7	0,2	641,1	3830,9	325,1	3830,8	386,0	385,6	26,5	386,0	1,6	8,4	8,6	9,0	65,1	64,9	8,6	7,6	3,2	0,1	325,3	26,2	3830,8	325,2	
P [kPa]	80,01	80,01	80,01	80,01	79,48	79,48	79,48	79,48	80,01	79,48	80,01	80,01	80,01	80,01	265,00	264,68	101,33	101,33	264,61	264,09	79,48	101,33	79,48	80,006	79,48	79,48	
T [K]	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	714,00	307,21	25,00	55,00	303,00	303,00	298,00	25,00	298,00	298	298	298	
Flujo Acuoso [kg/h]	69003	57503	11501	20	69148	69148	55323	69056	8208	8115	564	8139	48	0	0	0	1171	1169	0	0	57631	2	55276	471	69056	55277	
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,61	0,00	0,00	0,00
Yodo equivalente	65,53	54,61	10,92	0,00	65,55	65,55	46,60	18,95	678,05	631,46	46,59	631,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,54	0,59
I <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	46,61	46,60	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	0,59
Yoduro	0,00	0,00	0,00	0,00	39,26	0,42	0,00	0,42	678,05	631,46	46,59	631,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,42	0,00
Yodato	90,32	75,27	15,05	0,00	36,24	25,53	0,00	25,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,53	0,00
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	19,78	108,93	108,93	0,00	108,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	108,93	0,00
H	0,00	0,00	0,00	0,00	1,86	1,58	0,00	1,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,58	0,00
Kero	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	55229,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	55275,45	0,00
Agua	68847,51	57372,93	11474,59	0,40	68894,31	68899,77	0,00	68900,16	6851,83	6851,95	470,78	6851,81	4,32	0,00	0,00	0,00	1170,90	1168,70	0,00	0,00	57424,58	2,18	0,00	0,00	470,89	68899,47	0,00
Flujo Gas [kg/h]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	91	97	0	0	59	682	0	0	0	0	0	0	0
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	86,47	86,48	0,00	0,00	59,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	681,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agua	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,32	10,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Conc. Acuoso p/p																											
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
I <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Yoduro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,08	0,09	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Yodato	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kero	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agua	1,00	1,00	1,00	0,02	1,00	1,00	0,00	1,00	0,91	0,92	0,91	0,91	0,09	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00
Conc. Gas v/v																											
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,15	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agua	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 4.16.  
Tabla resumen para las corrientes involucradas en la simulación para el caso C.1.2.

Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Nombre corriente	Alimentación	Fración de alimentación a absorción	Fración de alimentación a reactor de yodo	Flujo de ajuste de pH	Entrada reactor de yodo	Salida reactor de yodo	Aire cargado con I <sub>2</sub>	Purga	Solución de yoduro de salida	Entrada recirculación a pre-absorción	Producción de la planta	Salida recirculación a pre-absorción	Azufre de entrada	Aire de entrada	Gases de combustión	Gases de combustión enfriados	Agua de entrada de enfriamiento	Agua de salida de enfriamiento	Gases de salida de pre-absorción	Gases de salida de absorción	Solución de yoduro desde absorción	Agua	Aire	Agua necesaria en absorción	
Flujo [kg/h]	69000,0	57500,0	11500,0	20,1	69096,0	69096,0	17274,0	69096,0	7457,5	7433,3	467,9	7457,5	47,5	241,0	288,6	295,1	1170,9	1168,7	270,7	211,2	57576,0	2,2	17274,0	443,7	
Flujo [m <sup>3</sup> /h]	69,0	57,5	11,5	0,0	69,1	69,1	0,0	69,1	6,2	6,3	0,4	6,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	57,6	0,0	0,0	0,4	
Flujo [Nm <sup>3</sup> /h]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21497,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	187,2	192,5	200,6	0,0	0,0	192,1	171,3	0,0	0,0	21497,0	0,0	
Flujo [kmol/h]	3826,0	3188,3	637,7	0,2	641,1	3830,9	959,7	3833,1	381,7	382,4	23,9	383,5	1,6	8,4	8,6	9,0	65,1	64,9	8,6	7,6	3,2	0,1	959,7	24,6	
P [kPa]	80,01	80,01	80,01	80,01	79,54	79,54	79,24	79,24	80,01	80,01	80,01	80,01	80,01	80,01	80,01	265,00	264,68	101,33	101,33	264,61	264,14	79,54	101,33	80,01	80,006
T [K]	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	714,00	307,21	25,00	55,00	303,00	303,00	298,00	25,00	298,00	298
Flujo Acuoso [kg/h]	69003	57503	11501	20	69148	69148	0	69107	8113	8060	509	8084	48	0	0	0	1171	1169	0	0	57631	2	0	444	
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Yodo equivalente	65,53	54,61	10,92	0,00	65,55	65,55	0,00	23,57	668,80	626,84	41,96	626,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
I <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	46,64	0,00	4,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Yoduro	0,00	0,00	0,00	0,00	39,28	0,42	0,00	0,42	668,80	626,84	41,96	626,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Yodato	90,32	75,27	15,05	0,00	36,20	25,48	0,00	25,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	19,74	108,96	108,96	0,00	108,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H	0,00	0,00	0,00	1,86	0,00	1,58	0,00	1,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kero	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agua	68847,51	57372,93	11474,59	0,40	68896,31	68899,77	0,00	68941,92	6774,99	6806,45	425,05	6806,31	4,32	0,00	0,00	0,00	1170,90	1168,70	0,00	0,00	57424,58	2,18	0,00	443,67	
Flujo Gas [kg/h]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	86	86	0	0	59	682	0	0	0	0	
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	86,47	86,48	0,00	0,00	59,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	682,37	0,00	0,00	0,00	
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Agua	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Conc. Acuoso p/p																									
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
I <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Yoduro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,08	0,09	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Yodato	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Kero	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Agua	1,00	1,00	1,00	0,02	1,00	1,00	0,00	1,00	0,91	0,92	0,91	0,91	0,09	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	
Conc. Gas w/v																									
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,15	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,93	0,00	0,00	0,00	0,00	
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Agua	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Para los casos C.2.1 y C.2.2, que corresponde a la disminución del flujo de alimentación de yodato a la planta usando extracción líquido-líquido y blow-out, respectivamente. Los parámetros de diseño para la simulación corresponden a los expuestos en la Tabla 4.1, los datos de alimentación para estos casos se encuentran en las Tablas 4.17 y 4.18.

*Tabla 4.17.  
Datos de entrada para caso C.2.1.*

Alimentación solución de yodato	m3/h	51
Conc. solución de yodato	gpl	1.309
Temperatura entrada	°C	25
Presión de entrada	atm	0.7896
Flujo de azufre de entrada	kg/h	43.2

*Tabla 4.18.  
Datos de entrada para caso C.2.2.*

Alimentación solución de yodato	m3/h	51
Conc. solución de yodato	gpl	1.309
Temperatura entrada	°C	25
Presión de entrada	atm	0.7896
Flujo de azufre de entrada	kg/h	43.2

#### **4.4.3 Resultado simulación para caso C.2.1 usando extracción líquido-líquido.**

Se presentan los resultados de la simulación para el caso C.2.1 que corresponde a la disminución del flujo de yodato de entrada usando la etapa de extracción líquido-líquido. La Tabla 4.19 corresponde a la tabla resumen de la simulación para las distintas corrientes involucradas en el proceso.

#### **4.4.4 Resultado simulación para caso C.2.2 blow-out.**

Se presentan los resultados de la simulación para el caso C.2.2 que corresponde a la disminución del flujo de yodato de entrada a la planta usando la etapa de blow-out. La Tabla 4.20 corresponde a la tabla resumen de la simulación para las distintas corrientes involucradas en el proceso.

Tabla 4.19.  
Tabla resumen para las corrientes involucradas en la simulación para el caso C.2.1.

Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
Nombre corriente	Alimentación	Fración de alimentación a absorción	Fración de alimentación a reactor de yodo	Flujo de ajuste de pH	Entrada reactor de yodo	Salida reactor de yodo	Orgánico cargado con I <sub>2</sub>	Purga	Solución de yoduro de salida	Entrada recirculación a pre-absorción	Producción de la planta	Salida recirculación a pre-absorción	Azufre de entrada	Aire de entrada	Gases de combustión	Gases de combustión enfriados	Agua de entrada de enfriamiento	Agua de salida de enfriamiento	Gases de salida de pre-absorción	Gases de salida de absorción	Solución de yoduro desde absorción	Agua	Orgánico	Agua necesaria en absorción	Solución intermedia en SX	Orgánico intermedio en SX	
Flujo [kg/h]	51000,0	42500,0	8500,0	0,5	51077,0	51077,0	40861,0	51032,0	7510,4	7465,8	497,6	7490,0	47,5	241,0	288,6	295,1	1170,9	1168,7	270,7	211,2	42576,0	2,2	40861,0	453,0	51033,0	40861,0	
Flujo [m <sup>3</sup> /h]	51,0	42,5	8,5	0,0	51,1	51,1	51,1	51,1	6,3	6,3	0,4	6,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	42,6	0,0	51,1	0,5	51,1	51,1	
Flujo [Nm <sup>3</sup> /h]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	187,2	192,5	200,6	0,0	0,0	192,1	171,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Flujo [kmol/h]	2827,9	2356,6	471,3	0,0	474,4	2831,7	240,3	2831,5	385,1	384,7	25,5	385,1	1,6	8,4	8,6	9,0	65,1	64,9	8,6	7,6	3,1	0,1	240,5	25,2	2831,5	240,4	
P [kPa]	80,01	80,01	80,01	80,01	79,59	79,59	79,59	79,59	80,01	80,01	80,01	80,01	80,01	80,01	265,00	264,68	101,33	101,33	264,61	264,19	79,59	101,33	79,59	80,006	79,59	79,59	
T [K]	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	714,00	307,21	25,00	55,00	303,00	303,00	298,00	25,00	298,00	298	298	298	
Flujo Acuoso [kg/h]	51002	42502	8500	0	51118	51118	40906	51028	8185	8096	542	8120	48	0	0	0	1171	1169	0	0	42616	2	40861	453	51029	40862	
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,08	0,00	0,00	0,00	0,00
Yodo equivalente	48,44	40,36	8,07	0,00	48,45	48,45	44,69	3,76	674,37	629,70	44,68	629,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40,37	0,00	0,00	4,33	0,00	
I <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	44,69	44,69	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	
Yoduro	0,00	0,00	0,00	0,00	39,26	2,02	0,00	2,02	674,37	629,70	44,68	629,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,26	0,00	0,00	0,00	2,02	0,00	
Yodato	66,76	55,63	11,13	0,00	12,66	2,39	0,00	2,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,53	0,00	0,00	0,00	2,39	0,00	
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,45	89,62	89,62	0,00	89,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	89,17	0,00	0,00	0,00	89,62	0,00	
H	0,00	0,00	0,00	0,00	1,86	1,09	0,00	1,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,86	0,00	0,00	0,00	1,09	0,00	
Kero	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40816,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40847,92	0,00	0,00	40860,59	
Agua	50887,29	42406,08	8481,22	0,01	50925,81	50929,39	0,00	50928,92	6836,04	6836,13	452,88	6835,97	4,32	0,00	0,00	0,00	1170,90	1168,70	0,00	0,00	42444,01	2,18	0,00	452,96	50929,40	0,00	
Flujo Gas [kg/h]	0	0	0	0	0	32095387	174614	2469254	4700569	335444	0	0	0	0	86	86	0	0	59	682	0	0	0	0	0	0	
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	86,47	86,48	0,00	0,00	59,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	682,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Agua	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	32095386,38	174614,44	2469254,32	4700569,07	335444,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Conc. Acuoso p/p																											
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
I <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Yoduro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,08	0,09	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Yodato	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Kero	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	
Agua	1,00	1,00	1,00	0,02	1,00	1,00	0,00	1,00	0,91	0,92	0,91	0,91	0,09	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	
Conc. Gas w/v																											
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,15	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Agua	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Tabla 4.20.  
Tabla resumen para las corrientes involucradas en la simulación para el caso C.2.2.

Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Nombre corriente	Alimentación	Fracción de alimentación a absorción	Fracción de alimentación a reactor de yodo	Flujo de ajuste de pH	Entrada reactor de yodo	Salida reactor de yodo	Aire cargado con I <sub>2</sub>	Purga	Solución de yoduro de salida	Entrada recirculación a pre-absorción	Producción de la planta	Salida recirculación a pre-absorción	Azufre de entrada	Aire de entrada	Gases de combustión	Gases de combustión enfriados	Agua de entrada de enfriamiento	Agua de salida de enfriamiento	Gases de salida de pre-absorción	Gases de salida de absorción	Solución de yoduro desde absorción	Agua	Aire	Agua necesaria en absorción
Flujo [kg/h]	51000,0	42500,0	8500,0	0,4	51077,0	51077,0	12769,0	51077,0	7442,0	7417,8	449,8	7442,0	47,5	241,0	288,6	295,1	1170,9	1168,7	270,8	211,2	42576,0	2,2	12769,0	425,6
Flujo [m <sup>3</sup> /h]	51,0	42,5	8,5	0,0	51,1	51,1	0,0	51,1	6,2	6,3	0,4	6,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	42,6	0,0	0,0	0,4
Flujo [Nm <sup>3</sup> /h]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15891,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	187,2	192,5	200,6	0,0	0,0	192,1	171,3	0,0	0,0	15891,0	0,0
Flujo [kmol/h]	2827,9	2356,6	471,3	0,0	474,4	2831,7	709,4	2833,8	380,9	381,6	23,0	382,7	1,6	8,4	8,6	9,0	65,1	64,9	8,6	7,6	3,1	0,1	709,4	23,6
P [kPa]	80,01	80,01	80,01	80,01	79,56	79,56	79,26	79,26	80,01	80,01	80,01	80,01	80,01	80,01	265,00	264,68	101,33	101,33	264,61	264,16	79,56	101,33	80,01	80,006
T [K]	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	714,00	307,21	25,00	55,00	303,00	303,00	298,00	25,00	298,00	298,00
Flujo Acuoso [kg/h]	51002	42502	8500	0	51118	51118	0	51078	8093	8043	489	8067	48	0	0	0	1171	1169	0	0	42616	2	0	426
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Yodo equivalente	48,44	40,36	8,07	0,00	48,45	48,45	0,00	8,21	665,46	625,25	40,22	625,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40,37	0,00	0,00	0,00
I <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	44,70	0,00	4,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Yoduro	0,00	0,00	0,00	0,00	39,29	2,04	0,00	2,04	665,46	625,25	40,22	625,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,29	0,00	0,00	0,00
Yodato	66,76	55,63	11,13	0,00	12,62	2,35	0,00	2,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,49	0,00	0,00	0,00
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,41	89,65	89,65	0,00	89,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	89,24	0,00	0,00	0,00
H	0,00	0,00	0,00	0,00	1,86	1,09	0,00	1,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,86	0,00	0,00	0,00
Kero	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agua	50887,29	42406,08	8481,22	0,01	50925,81	50929,39	0,00	50969,74	6762,40	6792,55	408,75	6792,46	4,32	0,00	0,00	0,00	1170,90	1168,70	0,00	0,00	42444,01	2,18	0,00	425,59
Flujo Gas [kg/h]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	91	97	0	0	60	683	0	0	0	0
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	86,47	86,48	0,00	0,00	59,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	682,53	0,00	0,00	0,00	0,00
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agua	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,32	10,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Conc. Acuoso p/p																								
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
I <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Yoduro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,08	0,09	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Yodato	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kero	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agua	1,00	1,00	1,00	0,02	1,00	1,00	0,00	1,00	0,91	0,92	0,91	0,91	0,09	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00
Conc. Gas v/v																								
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,15	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,93	0,00	0,00	0,00	0,00
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agua	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

#### 4.5 Caso D. Cambios en el largo del reactor de yodo.

Los casos D, corresponde al cambio del largo del reactor. Los parámetros de diseño para la simulación corresponden a los expuestos en la Tabla 4.1, salvo el cambio hecho al largo del reactor, los datos de alimentación para los casos D.1.1 y D.1.2 lo cuales corresponden a un aumento de 10 m de largo usando extracción líquido-líquido y blow-out, respectivamente, se encuentran en las Tablas 4.19 y 4.20.

*Tabla 4.19.  
Datos de entrada para caso D.1.1.*

Alimentación solución de yodato	m <sup>3</sup> /h	60
Conc. solución de yodato	gpl	1.309
Temperatura entrada	°C	25
Presión de entrada	atm	0.7896
Flujo de azufre de entrada	kg/h	43.2

*Tabla 4.20.  
Datos de entrada para caso D.1.2.*

Alimentación solución de yodato	m <sup>3</sup> /h	60
Conc. solución de yodato	gpl	1.309
Temperatura entrada	°C	25
Presión de entrada	atm	0.7896
Flujo de azufre de entrada	kg/h	43.2

##### 4.5.1 Resultado simulación para caso D.1.1 usando extracción líquido-líquido.

Se presentan los resultados de la simulación para el caso D.1.1, el cual corresponde al aumento en 10 m del largo del reactor usando la etapa de extracción líquido-líquido. La Tabla 4.21 corresponde a la tabla resumen de la simulación para las distintas corrientes involucradas en el proceso.

##### 4.5.2 Resultado simulación para caso D.1.2 usando blow-out.

Se presentan los resultados de la simulación para el caso D.1.1, el cual corresponde al aumento en 10 m del largo del reactor usando la etapa de blow-out. La Tabla 4.22 corresponde a la tabla resumen de la simulación para las distintas corrientes involucradas en el proceso.

Tabla 4.21.  
Tabla resumen para las corrientes involucradas en la simulación para el caso D.1.1.

Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
Nombre corriente	Alimentación	Fración de alimentación a absorción	Fración de alimentación a reactor de yodo	Flujo de ajuste de pH	Entrada reactor de yodo	Salida reactor de yodo	Orgánico cargado con I <sub>2</sub>	Purga	Solución de yoduro de salida	Entrada recirculación a pre-absorción	Producción de la planta	Salida recirculación a pre-absorción	Azufre de entrada	Aire de entrada	Gases de combustión	Gases de combustión enfriados	Agua de entrada de enfriamiento	Agua de salida de enfriamiento	Gases de salida de pre-absorción	Gases de salida de absorción	Solución de yoduro desde absorción	Agua	Orgánico	Agua necesaria en absorción	Solución intermedia en SX	Orgánico intermedio en SX	
Flujo [kg/h]	60000,0	50000,0	10000,0	10,3	60086,0	60086,0	48068,0	60040,0	7529,5	7483,0	517,1	7507,3	47,5	241,0	288,6	295,1	1170,9	1168,7	270,7	211,2	50076,0	2,2	48068,0	470,6	60041,0	48068,0	
Flujo [m <sup>3</sup> /h]	60,0	50,0	10,0	0,0	60,1	60,1	60,1	60,1	6,3	6,3	0,4	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	50,1	0,0	60,1	0,5	60,1	60,1	
Flujo [Nm <sup>3</sup> /h]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	187,2	192,5	200,6	0,0	0,0	192,1	171,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Flujo [kmol/h]	3326,9	2772,4	554,5	0,1	557,8	3331,3	282,7	3331,1	386,0	385,6	26,5	386,0	1,6	8,4	8,6	9,0	65,1	64,9	8,6	7,6	3,2	0,1	282,9	26,1	3331,1	282,8	
P [kPa]	80,01	80,01	80,01	80,01	79,46	79,46	79,46	79,46	80,01	80,01	80,01	80,01	80,01	80,01	265,00	264,68	101,33	101,33	264,61	264,07	79,46	101,33	79,46	80,006	79,464	79,464	
T [K]	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	714,00	307,21	25,00	55,00	303,00	303,00	298,00	25,00	298,00	298	298	298	
Flujo Acuoso [kg/h]	60003	50002	10000	10	60132	60133	48115	60040	8208	8114	564	8139	48	0	0	0	50123	1171	1169	0	0	50123	2	48068	471	60041	48069
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,62	0,00	0,00	0,00
Yodo equivalente	56,99	47,49	9,50	0,00	57,00	57,00	46,57	10,43	677,99	631,42	46,56	631,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	47,50	0,00	11,02	0,59
I <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	46,58	46,57	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,59
Yoduro	0,00	0,00	0,00	0,00	39,26	0,44	0,00	0,44	677,99	631,42	46,56	631,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,26	0,00	0,00	0,44
Yodato	78,54	65,45	13,09	0,00	24,45	13,75	0,00	13,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,36	0,00	13,75	0,00
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	10,12	99,27	99,27	0,00	99,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	89,15	0,00	99,27	0,00
H	0,00	0,00	0,00	0,00	1,86	1,33	0,00	1,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,86	0,00	1,33	0,00
Kero	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48021,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48055,50	0,00	0,00	48067,52
Agua	59867,40	49889,50	9977,90	0,21	59910,55	59914,15	0,00	59914,52	6851,54	6851,38	470,50	6851,54	4,32	0,00	0,00	0,00	1170,90	1168,70	0,00	0,00	49934,28	2,18	0,00	470,59	59914,91	0,00	
Flujo Gas [kg/h]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	91	97	0	0	59	682	0	0	0	0	0	0	0
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	86,47	86,48	0,00	0,00	59,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	681,88	0,00	0,00	0,00
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agua	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,32	10,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Conc. Acuoso p/p																											
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
I <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Yoduro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,08	0,09	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Yodato	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kero	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00
Agua	1,00	1,00	1,00	0,02	1,00	1,00	0,00	1,00	0,91	0,92	0,91	0,91	0,09	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00
Conc. Gas v/v																											
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,15	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agua	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 4.22.  
Tabla resumen para las corrientes involucradas en la simulación para el caso D.1.2.

Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Nombre corriente	Alimentación	Fración de alimentación a absorción	Fración de alimentación a reactor de yodo	Flujo de ajuste de pH	Entrada reactor de yodo	Salida reactor de yodo	Aire cargado con I <sub>2</sub>	Purga	Solución de yoduro de salida	Entrada recirculación a pre-adsorción	Producción de la planta	Salida recirculación a pre-adsorción	Azufre de entrada	Aire de entrada	Gases de combustión	Gases de combustión enfriados	Agua de entrada de enfriamiento	Agua de salida de enfriamiento	Gases de salida de pre-adsorción	Gases de salida de absorción	Solución de yoduro desde absorción	Agua	Aire	Agua necesaria en absorción
Flujo [kg/h]	60000,0	50000,0	10000,0	10,3	60087,0	60087,0	15022,0	60087,0	7457,2	7433,0	467,6	7457,2	47,5	241,0	288,6	295,1	1170,9	1168,7	270,7	211,2	50076,0	2,2	15022,0	443,4
Flujo [m <sup>3</sup> /h]	60,0	50,0	10,0	0,0	60,1	60,1	0,0	60,1	6,2	6,3	0,4	6,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	50,1	0,0	0,0	0,4
Flujo [Nm <sup>3</sup> /h]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18694,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	187,2	192,5	200,6	0,0	0,0	192,1	171,3	0,0	0,0	18694,0	0,0
Flujo [kmol/h]	3326,9	2772,4	554,5	0,1	557,8	3331,3	834,5	3333,5	381,6	382,3	23,9	383,4	1,6	8,4	8,6	9,0	65,1	64,9	8,6	7,6	3,2	0,1	834,5	24,6
P [kPa]	80,01	80,01	80,01	80,01	79,52	79,52	79,22	79,22	80,01	80,01	80,01	80,01	80,01	80,01	265,00	264,68	101,33	101,33	264,61	264,13	79,52	101,33	80,01	80,006
T [K]	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	714,00	307,21	25,00	55,00	303,00	303,00	298,00	25,00	298,00	298
Flujo Acuoso [kg/h]	60003	50002	10000	10	60133	60134	15037	60092	8112	8060	509	8084	48	0	0	0	1171	1169	0	0	50123	2	15022	443
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,94
Yodo equivalente	56,99	47,49	9,50	0,00	57,00	57,00	14,55	15,05	668,74	626,81	41,93	626,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	47,50	0,00	0,00	0,00
I <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	46,61	14,55	4,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Yoduro	0,00	0,00	0,00	0,00	39,28	0,45	0,00	0,45	668,74	626,81	41,93	626,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,28	0,00	0,00	0,00
Yodato	78,54	65,45	13,09	0,00	24,41	13,71	0,00	13,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,32	0,00	0,00	0,00
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	10,08	99,30	99,30	0,00	99,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	89,22	0,00	0,00	0,00
H	0,00	0,00	0,00	0,00	1,86	1,33	0,00	1,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,86	0,00	0,00	0,00
Kero	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15007,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15018,09	0,00
Agua	59867,40	49889,50	9977,90	0,21	59911,55	59915,15	0,00	59957,21	6774,72	6806,18	424,82	6806,04	4,32	0,00	0,00	0,00	1170,90	1168,70	0,00	0,00	49934,28	2,18	0,00	443,39
Flujo Gas [kg/h]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	91	97	0	0	59	682	0	0	0	0
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	86,47	86,48	0,00	0,00	59,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	682,37	0,00	0,00	0,00	0,00
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agua	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,32	10,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Conc. Acuoso p/p																								
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
I <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Yoduro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,08	0,09	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Yodato	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kero	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
Agua	1,00	1,00	1,00	0,02	1,00	1,00	0,00	1,00	0,91	0,92	0,91	0,91	0,09	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00
Conc. Gas v/v																								
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,15	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,93	0,00	0,00	0,00	0,00
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agua	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Los casos D.2.1 y D.2.2 corresponden a la disminución del largo del reactor en 10 m, usando extracción líquido-líquido y blow-out, respectivamente. Los parámetros de diseño para la simulación corresponden a los expuestos en la Tabla 4.1, salvo el cambio hecho al largo del reactor, los datos de alimentación para los casos D.2.1 y D.2.2 se encuentran en las Tablas 4.21 y 4.22.

*Tabla 4.21.  
Datos de entrada para caso D.2.1.*

Alimentación solución de yodato	m <sup>3</sup> /h	60
Conc. solución de yodato	gpl	1.309
Temperatura entrada	°C	25
Presión de entrada	atm	0.7896
Flujo de azufre de entrada	kg/h	43.2

*Tabla 4.22.  
Datos de entrada para caso D.2.2.*

Alimentación solución de yodato	m <sup>3</sup> /h	60
Conc. solución de yodato	gpl	1.309
Temperatura entrada	°C	25
Presión de entrada	atm	0.7896
Flujo de azufre de entrada	kg/h	43.2

#### **4.5.3 Resultado simulación para caso D.2.1 usando extracción líquido-líquido.**

Se presentan los resultados de la simulación para el caso D.2.1, el cual corresponde a la disminución en 10 m del largo, 15 m de largo de reactor, usando la etapa de extracción líquido-líquido. La Tabla 4.23 corresponde a la tabla resumen de la simulación para las distintas corrientes involucradas en el proceso.

#### **4.5.4 Resultado simulación para caso D.2.2 usando blow-out.**

Se presentan los resultados de la simulación para el caso D.2.2, el cual corresponde a la disminución en 10 [m] del largo, 15 m de largo de reactor, usando la etapa de blow-out. La Tabla 4.24 corresponde a la tabla resumen de la simulación para las distintas corrientes involucradas en el proceso.

Tabla 4.23.  
Tabla resumen para las corrientes involucradas en la simulación para el caso D.2.1.

Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26		
Nombre corriente	Alimentación	Fracción de alimentación a absorción	Fracción de alimentación a reactor de yodo	Flujo de ajuste de pH	Entrada reactor de yodo	Salida reactor de yodo	Orgánico cargado con I <sub>2</sub>	Purga	Solución de yoduro de salida	Entrada recirculación a pre-absorción	Producción de la planta	Salida recirculación a pre-absorción	Azufre de entrada	Aire de entrada	Gases de combustión	Gases de combustión enfriados	Agua de entrada de enfriamiento	Agua de salida de enfriamiento	Gases de salida de pre-absorción	Gases de salida de absorción	Solución de yoduro desde absorción	Agua	Orgánico	Agua necesaria en absorción	Solución intermedia en SX	Orgánico intermedio en SX		
Flujo [kg/h]	60000,0	50000,0	10000,0	10,3	60086,0	60086,0	48068,0	60041,0	7522,7	7476,8	510,7	7501,1	47,5	241,0	288,6	295,1	1170,9	1168,7	270,7	211,2	50076,0	2,2	48068,0	464,8	60041,0	48068,0		
Flujo [m <sup>3</sup> /h]	60,0	50,0	10,0	0,0	60,1	60,1	60,1	60,1	6,3	6,3	0,4	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	50,1	0,0	60,1	0,5	60,1	60,1		
Flujo [Nm <sup>3</sup> /h]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	187,2	192,5	200,6	0,0	0,0	192,1	171,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Flujo [kmol/h]	3326,9	2772,4	554,5	0,1	557,8	3331,3	282,7	3331,1	385,7	385,3	26,2	385,7	1,6	8,4	8,6	9,0	65,1	64,9	8,6	7,6	3,2	0,1	282,9	25,8	3331,1	282,8		
P [kPa]	80,01	80,01	80,01	80,01	79,32	79,32	79,32	79,32	80,01	80,01	80,01	80,01	80,01	80,01	265,00	264,68	101,33	101,33	264,61	263,92	79,32	101,33	79,32	80,006	79,32	79,32		
T [K]	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	714,00	307,21	25,00	53,00	303,00	303,00	298,00	25,00	298,00	298	298	298		
Flujo Acuoso [kg/h]	60003	50002	10000	10	60132	60133	48114	60041	8199	8108	557	8132	48	0	0	0	1171	1169	0	0	50123	2	48068	465	60042	48069		
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,77	0,00	0,00	0,00	
Yodo equivalente	56,99	47,49	9,50	0,00	57,00	57,00	45,95	11,04	676,76	630,82	45,94	630,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	47,50	0,00	11,63	0,00	
I <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	45,96	45,95	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,59	0,58	
Yoduro	0,00	0,00	0,00	0,00	39,26	0,96	0,00	0,96	676,76	630,82	45,94	630,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,26	0,00	0,96	0,00
Yodato	78,54	65,45	13,09	0,00	24,45	13,89	0,00	13,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,36	0,00	13,89	0,00
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	10,11	99,27	99,27	0,00	99,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	89,16	0,00	99,28	0,00
H	0,00	0,00	0,00	0,00	1,86	1,33	0,00	1,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,86	0,00	1,33	0,00
Kero	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48021,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48055,02	0,00	0,00	0,00	48067,52	
Agua	59867,40	49889,50	9977,90	0,21	59910,55	59914,15	0,00	59914,91	6845,96	6845,98	464,75	6845,95	4,32	0,00	0,00	0,00	1170,90	1168,70	0,00	0,00	49934,28	2,18	0,00	464,84	59914,31	0,00		
Flujo Gas [kg/h]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	91	97	0	0	59	682	0	0	0	0	0	0		
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	86,47	86,48	0,00	0,00	59,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	681,94	0,00	0,00	
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Agua	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,32	10,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Conc. Acuoso p/p																												
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
I <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Yoduro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,08	0,09	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Yodato	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Kero	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	
Agua	1,00	1,00	1,00	0,02	1,00	1,00	0,00	1,00	0,91	0,92	0,91	0,91	0,09	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00		
Conc. Gas v/v																												
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,15	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Agua	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		

Tabla 4.24.  
Tabla resumen para las corrientes involucradas en la simulación para el caso D.2.2.

Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Nombre corriente	Alimentación	Fracción de alimentación a absorción	Fracción de alimentación a reactor de yodo	Flujo de ajuste de pH	Entrada reactor de yodo	Salida reactor de yodo	Aire cargado con I <sub>2</sub>	Purga	Solución de yoduro de salida	Entrada recirculación a pre-absorción	Producción de la planta	Salida recirculación a pre-absorción	Azufre de entrada	Aire de entrada	Gases de combustión	Gases de combustión enfriados	Agua de entrada de enfriamiento	Agua de salida de enfriamiento	Gases de salida de pre-absorción	Gases de salida de absorción	Solución de yoduro desde absorción	Agua	Aire	Agua necesaria en absorción	
Flujo [kg/h]	60000,0	50000,0	10000,0	10,3	60087,0	60087,0	15022,0	60087,0	7451,7	7427,5	461,8	7451,7	47,5	241,0	288,6	295,1	1170,9	1168,7	270,8	211,2	50076,0	2,2	15022,0	437,6	
Flujo [m <sup>3</sup> /h]	60,0	50,0	10,0	0,0	60,1	60,1	0,0	60,1	6,2	6,3	0,4	6,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	50,1	0,0	0,0	0,4	
Flujo [Nm <sup>3</sup> /h]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18694,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	187,2	192,5	200,6	0,0	0,0	192,1	171,3	0,0	0,0	18694,0	0,0	
Flujo [kmol/h]	3326,9	2772,4	554,5	0,1	557,8	3331,3	834,5	3333,5	381,4	382,1	23,6	383,2	1,6	8,4	8,6	9,0	65,1	64,9	8,6	3,2	0,1	0,0	834,5	24,3	
P [kPa]	80,01	80,01	80,01	80,01	79,32	79,32	79,02	79,02	80,01	80,01	80,01	80,01	80,01	80,01	80,01	265,00	264,68	101,33	101,33	264,61	263,92	79,32	101,33	80,01	80,006
T [K]	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	298,00	714,00	307,21	25,00	55,00	303,00	303,00	298,00	25,00	298,00	298
Flujo Acuoso [kg/h]	60003	50002	10000	10	60133	60134	15037	60092	8105	8054	502	8078	48	0	0	0	1171	1169	0	0	50123	2	15022	438	
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,94	0,00
Yodo equivalente	56,99	47,49	9,50	0,00	57,00	57,00	14,55	15,61	667,62	626,25	41,37	626,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	47,50	0,00	0,00	0,00	0,00
I <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	45,99	14,55	4,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Yoduro	0,00	0,00	0,00	0,00	39,29	0,97	0,00	0,97	667,62	626,25	41,37	626,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Yodato	78,54	65,45	13,09	0,00	24,41	13,84	0,00	13,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	10,07	99,30	99,30	0,00	99,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	89,23	0,00
H	0,00	0,00	0,00	0,00	1,86	1,33	0,00	1,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,86	0,00
Kero	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15007,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15018,09	0,00
Agua	59867,40	49889,50	9977,90	0,21	59911,55	59915,15	0,00	59956,61	6770,17	6801,21	419,56	6801,17	4,32	0,00	0,00	0,00	1170,90	1168,70	0,00	0,00	49934,28	2,18	0,00	0,00	437,57
Flujo Gas [kg/h]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	91	97	0	0	60	682	0	0	0	0	
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	86,47	86,48	0,00	0,00	59,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	682,43	0,00
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agua	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,32	10,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Conc. Acuoso p/p																									
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
I <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Yoduro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,09	0,08	0,09	0,08	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Yodato	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kero	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
Agua	1,00	1,00	1,00	0,02	1,00	1,00	0,00	1,00	0,91	0,92	0,91	0,91	0,09	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	
Conc. Gas w/v																									
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,15	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,93	0,00	0,00	0,00	0,00	
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Agua	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

## CAPÍTULO V

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se analizan a continuación los resultados de la simulación de la planta para recuperación del yodo por extracción líquido-líquido y por proceso de blow-out. El análisis se basa en analizar el comportamiento de la planta en función de la variación de algunos índices de comportamiento del proceso. Los índices analizados para los distintos casos son los siguientes:

- Rendimiento de absorción de SO<sub>2</sub> en la etapa de pre-absorción.
- Rendimiento de absorción de SO<sub>2</sub> en la etapa de absorción.
- Conversión de yodato en etapa de absorción.
- Conversión del yodato en la etapa de reactor de yodo.
- Recuperación de yodo libre en etapa de extracción líquido-líquido.
- Recuperación de yodo libre como yodato en la etapa de stripper.
- Recuperación de yodo libre como yodato de la etapa de blow out.

#### 5.1 Análisis de resultados de la simulación para una planta que recupera el yodo por extracción líquido-líquido.

##### 5.1.1 Análisis de resultados de simulación para el caso base, caso A.1

Para el caso base, caso A.1, el cual corresponde a las cantidades estequiométricas de azufre y yodato (43,2 kg/h y 60 m<sup>3</sup>/h respectivamente), de entrada necesarios para la conversión del yodato a yoduro y yodo libre a yoduro, los datos de operación de las corrientes de entrada a la planta se detallan en la Tabla 5.1.

*Tabla 5.1.  
Datos de operación de las corrientes de entrada para caso A.1.*

<b>Caso</b>		<b>A.1</b>
Alimentación solución de yodato	m <sup>3</sup> /h	60
Conc. solución de yodato	gpl	1.309
Temperatura entrada	°C	25
Presión de entrada	atm	0.7896
Flujo de azufre de entrada	kg/h	43.2

Los resultados de los índices analizados se detallan en la Tabla 5.2.

*Tabla 5.2.  
Resultados de índices de análisis para caso A.1.*

<b>Caso</b>	<b>A.1</b>
Rendimiento de absorción de SO <sub>2</sub> en la etapa de pre-absorción	31,2%
Conversión de yodato en etapa de absorción	82,6%
Rendimiento de absorción de SO <sub>2</sub> en la etapa de absorción	90,0%
Conversión del yodato en el reactor	43,6%
Recuperación de yodo libre en etapa de extracción líquido-líquido	100,0%
Recuperación de yodo libre como yodato en la etapa de stripper	100,0%
Recuperación total	81,4%

El rendimiento de absorción de SO<sub>2</sub> en la etapa de pre-absorción es de un 31,2%, esto se explica por el hecho que la altura de la torre de absorción de la etapa de pre-absorción está dada en 1,5 m, por lo tanto para lograr un mayor rendimiento se necesita aumentar la altura de la torre, aunque en esta etapa solo se necesita absorber la cantidad de SO<sub>2</sub> necesaria para la etapa de recuperación de yodo libre como yoduro.

En la etapa de absorción, para producir yoduro la conversión del yodato a yoduro resulta en un 82,6%, el rendimiento de absorción en la etapa de absorción es de un 90%, el SO<sub>2</sub> que no reacciona con el yodato presenta un comportamiento similar al descrito en la etapa de pre-absorción, ya que es absorbido por la fase acuosa, asumiendo que se tiene toda la torre para absorber el SO<sub>2</sub> en exceso, tanto la conversión del yodato a yoduro y la absorción de SO<sub>2</sub> en la fase líquida dependen de la altura de diseño de la torre la cual corresponde a 6 m.

La conversión de yodato a yodo libre en el reactor es de un 43,6%, con este resultado se puede inferir que esta etapa corresponde a la etapa crítica dentro del proceso. Las razones por las cuales la conversión en esta etapa es relativamente baja al compararla con los otros índices, es porque el largo de reactor, 25 m y velocidad de la fase líquida, 6 m/s generan un  $\tau$  en el reactor de solo 4,2 s, lo que es insuficiente, por lo tanto para lograr una mayor conversión del yodato se necesitaría aumentar el largo del reactor.

Para la etapa de extracción líquido-líquido se supone que las etapas son ideales. Se usan 2 etapas de extracción. Para la etapa de stripper se supone que se comporta de forma ideal, por lo tanto el factor que influye es la cantidad de yoduro recirculado desde la etapa de pre-absorción, ya que en esta etapa, se asume reacción mol a mol entre el yodo libre proveniente de la etapa de extracción líquido-líquido y el SO<sub>2</sub> recirculado desde la etapa de pre-absorción.

La recuperación total de yodo de la planta para el caso A.1 es de 81,4%, se aprecia claramente que la etapa limitante para este caso corresponde a la etapa de reactor de yodo, ya que la menor conversión dentro de la planta corresponde a esta etapa.

### 5.1.2 Análisis de resultados de simulación para el caso B, caso B.1.1

Para el caso B, caso B.1.1, el cual corresponde al aumento de la cantidad de azufre de entrada al sistema en un 15%, desde 43,2 kg/h a 49,7 kg/h, los datos de operación de las corrientes de entrada a la planta se detallan en la Tabla 5.3.

*Tabla 5.3.  
Datos de operación de las corrientes entrada para caso B.1.1.*

<b>Caso</b>		<b>A.1</b>	<b>B.1.1</b>
Alimentación solución de yodato	m <sup>3</sup> /h	60	60
Conc. solución de yodato	gpl	1.309	1.309
Temperatura entrada	°C	25	25
Presión de entrada	atm	0.7896	0.7896
Flujo de azufre de entrada	kg/h	43.2	49.7

Los resultados de los índices analizados se detallan en la Tabla 5.4.

*Tabla 5.4.  
Resultados de índices de análisis para caso B.1.1.*

<b>Caso</b>	<b>A.1</b>	<b>B.1.1</b>
Rendimiento de absorción de SO <sub>2</sub> en la etapa de pre-absorción	31,2%	27,8%
Conversión de yodato en etapa de absorción	82,6%	99,9%
Rendimiento de absorción de SO <sub>2</sub> en la etapa de absorción	90,0%	90,0%
Conversión del yodato en el reactor	43,6%	91,0%
Recuperación de yodo libre en etapa de extracción líquido-líquido	100,0%	100,0%
Recuperación de yodo libre como yodato en la etapa de stripper	100,0%	100,0%
Recuperación total	81,4%	91,6%

El rendimiento de absorción de  $\text{SO}_2$  en la etapa de pre-absorción es de un 27,8%, esto se explica por el hecho que la altura de la torre de absorción de la etapa de pre-absorción está dada en 1,5 m por lo tanto para lograr un mayor rendimiento se necesita aumentar la altura de la torre, aunque en esta etapa solo se necesita absorber la cantidad de  $\text{SO}_2$  necesaria para la etapa de recuperación de yodo libre como yoduro. A diferencia del rendimiento obtenido para el caso base, caso A.1, en el caso B.1.1 se aumentó el azufre de entrada al sistema lo cual produjo un aumento del flujo de gas a la salida de la etapa de generación de  $\text{SO}_2$ , al aumentar el flujo de gas, aumentó el Htog de la torre absorción de la etapa de pre-absorción, lo cual produjo una disminución en la eficiencia de absorción de la torre, por esta razón para una altura dada, 1,5 m, el porcentaje de rendimiento obtenido disminuye para el caso B.1.1 en comparación al caso A.1. Se deduce que al aumentar la cantidad de  $\text{SO}_2$ , la eficiencia de absorción disminuirá.

El fenómeno de reacción del yodato con el  $\text{SO}_2$  se puede estimar mediante la conversión del yodato a yoduro en la etapa de absorción, el cual asciende a un 99,9%, este comportamiento se debe al azufre en exceso presente en el sistema el cual produce una aumento en la conversión de yodato a yoduro, el  $\text{SO}_2$  que no reacciona con el yodato presenta un comportamiento similar al descrito en la etapa de pre-absorción, el rendimiento de absorción de  $\text{SO}_2$  para la etapa de absorción es de un 90%, se aprecia que el rendimiento de absorción no se ve disminuido para esta etapa en comparación al experimentado por la etapa de pre-absorción al aumentar el flujo de gas, esto se debe a que en la programación, primero reacciona el  $\text{SO}_2$  con el yodato proveniente de la alimentación y luego se produce la absorción de  $\text{SO}_2$  en la fase líquida, por lo tanto para una altura dada de la torre, 6 m] y un eficiencia máxima de 90% dada, se necesitaría un mayor aumento del flujo de gas para ver disminuida la eficiencia de absorción en esta etapa.

La conversión de yodato a yodo libre en la etapa de reactor de yodo es de un 91%, una razón por la cual la conversión en esta etapa aumentó con respecto al caso base, caso A.1 corresponde al hecho que en esta etapa la concentración de  $\text{SO}_2$  aumenta, resultado del aumento de azufre en el sistema, además se produce el aumento de la concentración de yoduro en esta etapa, lo cual permite una mayor conversión del yodato para un largo de reactor dado en 25 m. Si se desea aumentar la conversión de la etapa, se necesita aumentar el largo del reactor.

Para la etapa de extracción líquido-líquido se supone que las etapas son ideales. Fueron usadas 2 etapas de absorción. Para la etapa de stripper, al igual que la etapa anterior, se asumió un stripper ideal, donde el factor que influye es la cantidad de yoduro recirculado desde la etapa de pre-absorción, ya que en esta etapa, se asume reacción mol a mol entre el yodo libre proveniente de la etapa de extracción líquido-líquido y el SO<sub>2</sub> recirculado desde la etapa de pre-absorción.

Para este caso, la conversión total es de 91,6%, este comportamiento se explica en el aumento de la conversión de la etapa de reactor de yodo, ya que al aumentar el rendimiento de esta etapa produce un aumento de la recuperación total.

### 5.1.3 Análisis de resultados de simulación para el caso B, caso B.2.1

Para el caso B, caso B.2.1, el cual corresponde a la disminución en un 15% del azufre que entra al sistema, desde 43,2 kg/h a 36,7 kg/h, los datos de operación de las corrientes de entrada a la planta se detallan en la Tabla 5.5.

*Tabla 5.5.  
Datos de operación de las corrientes de entrada para caso B.2.1.*

Caso		A.1	B.1.1	B.2.1
Alimentación solución de yodato	m <sup>3</sup> /h	60	60	60
Conc. solución de yodato	gpl	1.309	1.309	1.309
Temperatura entrada	°C	25	25	25
Presión de entrada	atm	0.7896	0.7896	0.7896
Flujo de azufre de entrada	kg/h	43.2	49.7	36.7

Los resultados de los índices analizados se presentan en la Tabla 5.6.

*Tabla 5.6.  
Resultados de índices de análisis para caso B.2.1.*

Caso	A.1	B.1.1	B.2.1
Rendimiento de absorción de SO <sub>2</sub> en la etapa de pre-absorción	31,2%	27,8%	35,5%
Conversión de yodato en etapa de absorción	82,6%	99,9%	65,9%
Rendimiento de absorción de SO <sub>2</sub> en la etapa de absorción	90,0%	90,0%	90,0%
Conversión del yodato en el reactor	43,6%	91,0%	24,1%
Recuperación de yodo libre en etapa de extracción líquido-líquido	100,0%	100,0%	100,0%
Recuperación de yodo libre como yodato en la etapa de stripper	100,0%	100,0%	100,0%
Recuperación total	81,4%	91,6%	65,2%

El rendimiento de absorción de  $\text{SO}_2$  en la etapa de pre-absorción es de un 35,5%, esto se explica por el hecho que la altura de la torre de absorción de la etapa de pre-absorción está dada en 1,5 m, por lo tanto para lograr un mayor rendimiento se necesita aumentar la altura de la torre, aunque en esta etapa solo se necesita absorber la cantidad de  $\text{SO}_2$  necesaria para la etapa de recuperación de yodo libre como yoduro. A diferencia del rendimiento obtenido para el caso base, caso A.1, y el caso B.1.1 se disminuyó el azufre de entrada al sistema lo cual produjo una disminución del flujo de gas a la salida de la etapa de generación de  $\text{SO}_2$ , al disminuir el flujo de gas, disminuyó el Htog de la torre absorción de la etapa de pre-absorción, lo cual produjo un aumento en la eficiencia de absorción de la torre, por esta razón para una altura dada, 1,5 m, el porcentaje de rendimiento obtenido aumenta para el caso B.2.1 en comparación al caso A.1 y caso B.1.1.

En la etapa de absorción ocurren dos fenómenos;

- Se produce la reacción de formación de yoduro entre el yodato y el  $\text{SO}_2$ .
- El  $\text{SO}_2$  que no reaccionó es absorbido por la fase líquida.

Los dos fenómenos existentes en la etapa de absorción, ocurren de la siguiente forma; se produce una absorción con reacción, entre el yodato y  $\text{SO}_2$ . El modelo simula el segundo fenómeno de absorción sin reacción, como si se usara toda la torre de absorción para absorber el  $\text{SO}_2$  que no reaccionó, en pocas palabras, se simula como si la corriente gaseosa con  $\text{SO}_2$  sin reaccionar volviera a pasar por la torre y se produjera la absorción. El fenómeno de reacción del yodato con el  $\text{SO}_2$  se puede estimar mediante la conversión del yodato a yoduro en la etapa de absorción, el cual asciende a un 65,9%, este comportamiento se debe a la disminución de azufre en el sistema el cual produce una disminución en la conversión de yodato a yoduro, el rendimiento de absorción de  $\text{SO}_2$  para la etapa de absorción es de un 90%, se aprecia que el rendimiento de absorción no aumenta para esta etapa en comparación al experimentado por la etapa de pre-absorción al aumentar el flujo de gas, esto se debe a que en la programación, como ya fue explicado, primero reacciona el  $\text{SO}_2$  con el yodato proveniente de la alimentación y luego se produce la absorción de  $\text{SO}_2$  en la fase líquida, por lo tanto para una altura dada de la torre en 6 m] y un eficiencia máxima de 90% dada, se necesitaría un aumento considerable del flujo de gas para ver disminuida la eficiencia de absorción en esta etapa.

La conversión de yodato a yodo libre en el reactor es de un 24,1%, una razón por la cual la conversión en esta etapa disminuyó con respecto al caso base, caso A.1 y el caso B.1.1, corresponde al hecho que en esta etapa la concentración de SO<sub>2</sub> disminuye, resultado de la disminución de azufre en el sistema, lo cual produce la disminución de la concentración de yoduro en esta etapa, lo que permite una menor conversión del yodato para un largo de reactor dado, 25 m. Si se desea aumentar la conversión de la etapa, se necesita aumentar de forma significativa el largo del reactor.

Para la etapa de extracción líquido-líquido se supone que las etapas son ideales. Fueron usadas 2 etapas de absorción. Para la etapa de stripper, al igual que la etapa anterior, se asumió un stripper ideal, donde el factor que influye es la cantidad de yoduro recirculado desde la etapa de pre-absorción, ya que en esta etapa, se asume reacción mol a mol entre el yodo libre proveniente de la etapa de extracción líquido-líquido y el SO<sub>2</sub> recirculado desde la etapa de pre-absorción.

Se aprecia que la conversión total disminuyó con respecto a los casos antes analizados, A.1 y B.1.1, este comportamiento es producto entre otros factores, de la disminución de la conversión en el reactor de yodo, por lo tanto para aumentar el rendimiento total se necesita aumentar la conversión de esta etapa.

#### 5.1.4 Análisis de resultados de simulación para el caso C, caso C.1.1

Para el caso C, caso C.1.1, el cual corresponde al aumento del flujo de yodato de entrada a la planta en un 15%, desde 60 m<sup>3</sup>/h a 69 m<sup>3</sup>/h, manteniendo el azufre de entrada constante e igual al del caso base, caso A.1, los datos de operación de las corrientes de entrada a la planta se detallan en la Tabla 5.7.

*Tabla 5.7.  
Datos de operación de las corrientes entrada para caso C.1.1.*

Caso		A.1	B.1.1	B.2.1	C.1.1
Alimentación solución de yodato	m <sup>3</sup> /h	60	60	60	69
Conc. solución de yodato	gpl	1.309	1.309	1.309	1.309
Temperatura entrada	°C	25	25	25	25
Presión de entrada	atm	0.7896	0.7896	0.7896	0.7896
Flujo de azufre de entrada	kg/h	43.2	49.7	36.7	43.2

Los resultados de los índices analizados se presentan en la Tabla 5.8.

*Tabla 5.8.  
Resultados de índices de análisis para caso C.1.1.*

<b>Caso</b>	<b>A.1</b>	<b>B.1.1</b>	<b>B.2.1</b>	<b>C.1.1</b>
Rendimiento de absorción de SO <sub>2</sub> en la etapa de pre-absorción	31,2%	27,8%	35,5%	31,2%
Conversión de yodato en etapa de absorción	82,6%	99,9%	65,9%	71,9%
Rendimiento de absorción de SO <sub>2</sub> en la etapa de absorción	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%
Conversión del yodato en el reactor	43,6%	91,0%	24,1%	29,6%
Recuperación de yodo libre en etapa de extracción líquido-líquido	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Recuperación de yodo libre como yodato en la etapa de stripper	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Recuperación total	81,4%	91,6%	65,2%	71,1%

En este caso el rendimiento de absorción de SO<sub>2</sub> en la etapa de pre-absorción es de un 31,2%, esto se explica por el hecho que la altura de la torre de absorción de la etapa de pre-absorción está dada en 1,5 m, por lo tanto para lograr un mayor rendimiento se necesita aumentar la altura de la torre, aunque en esta etapa solo se necesita absorber la cantidad de SO<sub>2</sub> necesaria para la etapa de recuperación de yodo libre como yoduro. A diferencia del rendimiento obtenido para el caso B.1.1 y B.2.1 se aumentó el flujo de solución de entrada al sistema lo cual produjo una eficiencia de absorción de la torre igual a la obtenida para el caso A.1, esto se debe al hecho que no ha cambiado el flujo de gas en el sistema, por lo tanto el único factor que influye en el rendimiento corresponde al flujo de líquido donde el coeficiente de transferencia de materia depende de éste, aunque para experimentar un cambio considerable se necesita disminuir de mayor manera el flujo de líquido que entra al sistema, este fenómeno tiene su razón en la dependencia del coeficiente de materia y el flujo de líquido para un relleno dado, por esta razón para una altura dada, 1,5 m, el porcentaje de rendimiento obtenido no cambia para el caso C.1.1 en comparación al caso A.1.

Como se explico anteriormente, en la etapa de absorción se producen dos fenómenos, el fenómeno de reacción del yodato con el SO<sub>2</sub> se puede estimar mediante la conversión del yodato a yoduro en la etapa de absorción, el cual asciende a un 71,9%, este comportamiento se debe al aumento de solución de yodato de alimentación en el sistema el cual produce una disminución en la conversión de yodato a yoduro con respecto al caso A.1, ya que el SO<sub>2</sub> es insuficiente para reaccionar con todo el yodato producto del aumento del flujo.

El  $\text{SO}_2$  que no reacciona con el yodato presenta un comportamiento similar al descrito en la etapa de pre-absorción, el rendimiento de absorción de  $\text{SO}_2$  para la etapa de absorción es de un 90%, se aprecia que el rendimiento de absorción no aumenta para esta etapa, esto se debe a que en la programación, primero reacciona el  $\text{SO}_2$  con el yodato proveniente de la alimentación y luego se produce la absorción de  $\text{SO}_2$  en la fase líquida, por lo tanto para una altura dada de la torre, 6 m, y una eficiencia máxima de 90% dada, se necesitaría un aumento considerable del flujo de gas y concentración de  $\text{SO}_2$  para ver disminuida la eficiencia de absorción en esta etapa.

La conversión de yodato a yodo libre en la etapa de reactor de yodo es de un 29,6%, una razón por la cual la conversión en esta etapa disminuyó con respecto al caso base, caso A.1 corresponde al hecho que en esta etapa la cantidad de yodato aumenta en el sistema, resultado del aumento de flujo de yodato, por lo tanto la cantidad de  $\text{SO}_2$  es insuficiente para reaccionar con el yodato, como se aprecia en la eficiencia de conversión de yodato de la etapa de absorción, lo cual produce una disminución de la concentración de yoduro produciendo una menor conversión del yodato para un largo de reactor dado, 25 m. Si se desea aumentar la conversión de la etapa, se necesita aumentar el largo del reactor, como se explicó anteriormente.

Para la etapa de extracción líquido-líquido se supone que las etapas son ideales. Fueron usadas 2 etapas de absorción. Para la etapa de stripper, al igual que la etapa anterior, se asumió un stripper ideal, donde el factor que influye es la cantidad de yoduro recirculado desde la etapa de pre-absorción, ya que en esta etapa, se asume reacción mol a mol entre el yodo libre proveniente de la etapa de extracción líquido-líquido y el  $\text{SO}_2$  recirculado desde la etapa de pre-absorción.

El rendimiento total de planta experimentó un aumento en comparación al caso B.2.1, esto se debe al aumento de la conversión experimentado en la etapa de reactor de yodo para este caso.

### 5.1.5 Análisis de resultados de simulación para el caso C, caso C.2.1

Para el caso C, caso C.2.1, el cual corresponde a la disminución del flujo de yodato de entrada a la planta en un 15%, desde 60 m<sup>3</sup>/h hasta 51 m<sup>3</sup>/h, los datos de operación de las corrientes de entrada a la planta se detallan en la Tabla 5.9.

*Tabla 5.9.  
Datos de operación de las corrientes de entrada para caso C.2.1.*

Caso		A.1	B.1.1	B.2.1	C.1.1	C.2.1
Alimentación solución de yodato	m <sup>3</sup> /h	60	60	60	69	51
Conc. solución de yodato	gpl	1.309	1.309	1.309	1.309	1.309
Temperatura entrada	°C	25	25	25	25	25
Presión de entrada	atm	0.7896	0.7896	0.7896	0.7896	0.7896
Flujo de azufre de entrada	kg/h	43.2	49.7	36.7	43.2	43.2

Los resultados de los índices analizados se presentan en la Tabla 5.10.

*Tabla 5.10.  
Resultados de índices de análisis para caso C.2.1.*

Caso	A.1	B.1.1	B.2.1	C.1.1	C.2.1
Rendimiento de absorción de SO <sub>2</sub> en la etapa de pre-absorción	31,2%	27,8%	35,5%	31,2%	31,2%
Conversión de yodato en etapa de absorción	82,6%	99,9%	65,9%	71,9%	97,2%
Rendimiento de absorción de SO <sub>2</sub> en la etapa de absorción	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%
Conversión del yodato en el reactor	43,6%	91,0%	24,1%	29,6%	81,1%
Recuperación de yodo libre en etapa de extracción líquido-líquido	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Recuperación de yodo libre como yodato en la etapa de stripper	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Recuperación total	81,4%	91,6%	65,2%	71,1%	92,2%

El rendimiento de absorción de SO<sub>2</sub> en la etapa de pre-absorción es de un 31,2%, no experimentando cambios con respecto al caso C.1.1, esto se explica por el hecho que la altura de la torre de absorción de la etapa de pre-absorción está dada en 1,5 m, por lo tanto para lograr un mayor rendimiento se necesita aumentar la altura de la torre, aunque en esta etapa solo se necesita absorber la cantidad de SO<sub>2</sub> necesaria para la etapa de recuperación de yodo libre como yoduro. A diferencia del rendimiento obtenido para el caso B.1.1 y B.2.1 se disminuyó el flujo de solución de entrada al sistema lo cual produjo una eficiencia de absorción de la torre igual a la obtenida para el caso A.1 y C.1.1, esto se debe al hecho que no ha cambiado el flujo de gas en el sistema, por lo tanto el único factor que influye en el rendimiento corresponde al flujo de líquido donde el coeficiente de transferencia de materia depende de éste, aunque para experimentar un cambio considerable se necesita disminuir de mayor manera el flujo de líquido que entra al sistema, este fenómeno tiene su razón en la dependencia del coeficiente de materia y el flujo de líquido para un relleno dado, por esta razón para una altura dada, 1,5 m, el porcentaje de rendimiento obtenido no cambia para el caso C.2.1 en comparación al caso A.1 y C.2.1.

Al igual que en los antes vistos, en la etapa de absorción ocurren dos fenómenos; el fenómeno de reacción del yodato con el  $\text{SO}_2$  se puede estimar mediante la conversión del yodato a yoduro en la etapa de absorción, el cual asciende a un 97,2%, este comportamiento se debe a la disminución de la solución de yodato de alimentación en el sistema el cual produce un aumento en la conversión de yodato a yoduro con respecto al caso A.1 y C.1.1, esto sucede porque al disminuir el flujo de yodato en el sistema aumenta la cantidad de azufre en relación al yodato, por lo tanto se produce una mayor conversión del yodato a yoduro, el  $\text{SO}_2$  que no reacciona con el yodato presenta un comportamiento similar al descrito en la etapa de pre-absorción, el rendimiento de absorción de  $\text{SO}_2$  para la etapa de absorción es de un 90%, se aprecia que el rendimiento de absorción no aumenta para esta etapa, esto se debe a que en la programación, primero reacciona el  $\text{SO}_2$  con el yodato proveniente de la alimentación y luego se produce la absorción de  $\text{SO}_2$  en la fase líquida, por lo tanto para una altura dada de la torre, 6 m, y una eficiencia máxima de 90% dada, se necesitaría un aumento considerable del flujo de gas para ver disminuida la eficiencia de absorción en esta etapa.

La conversión de yodato a yodo libre en el reactor es de un 81,1%, una razón por la cual la conversión en esta etapa aumentó con respecto al caso base, caso A.1 corresponde al hecho que en esta etapa la cantidad de yodato disminuye en el sistema, resultado de la disminución de flujo de yodato, por lo tanto la cantidad de  $\text{SO}_2$  aumenta en relación al yodato, como se aprecia en la eficiencia de conversión de yodato de la etapa de absorción, lo cual produce un aumento de la concentración de yoduro, produciendo una mayor conversión del yodato para un largo de reactor dado, 25 m, como en el caso B.1.1. Si se desea aumentar la conversión de la etapa, se necesita aumentar el largo del reactor.

Para la etapa de extracción líquido-líquido se supone que las etapas son ideales. Fueron usadas 2 etapas de absorción. Para la etapa de stripper, al igual que la etapa anterior, se asumió un stripper ideal, donde el factor que influye es la cantidad de yoduro recirculado desde la etapa de pre-absorción, ya que en esta etapa, se asume reacción mol a mol entre el yodo libre proveniente de la etapa de extracción líquido-líquido y el  $\text{SO}_2$  recirculado desde la etapa de pre-absorción.

Se aprecia un aumento en el rendimiento total de la planta, esto se debe como se concluyó en los casos anteriores, por el aumento de la conversión de la etapa de reactor de yodo, además en esta etapa el azufre está en exceso al igual que en el caso B.1.1, por lo tanto un aumento en la conversión de la etapa de reactor de yodo y un aumento de la cantidad de azufre en el sistema, produce un aumento en la conversión total de este.

### 5.1.6 Análisis de resultados de simulación para el caso D, caso D.1.1

Para el caso D, caso D.1.1 al cual solo se le ha realizado un cambio, este cambio corresponde al aumento del largo del reactor, desde 25 m a 35 m, los datos de operación de las corrientes de entrada a la planta se detallan en la Tabla 5.11.

*Tabla 5.11.  
Datos de operación de las corrientes de entrada para caso D.1.1.*

Caso		A.1	B.1.1	B.2.1	C.1.1	C.2.1	D.1.1
Alimentación solución de yodato	m3/h	60	60	60	69	51	60
Conc. solución de yodato	gpl	1.309	1.309	1.309	1.309	1.309	1.309
Temperatura entrada	°C	25	25	25	25	25	25
Presión de entrada	atm	0.7896	0.7896	0.7896	0.7896	0.7896	0.7896
Flujo de azufre de entrada	kg/h	43.2	49.7	36.7	43.2	43.2	43.2

Los resultados de los índices analizados se presentan en la Tabla 5.12.

*Tabla 5.12.  
Resultados de índices de análisis para caso D.1.1.*

Caso	A.1	B.1.1	B.2.1	C.1.1	C.2.1	D.1.1
Rendimiento de absorción de SO <sub>2</sub> en la etapa de pre-absorción	31,2%	27,8%	35,5%	31,2%	31,2%	31,2%
Conversión de yodato en etapa de absorción	82,6%	99,9%	65,9%	71,9%	97,2%	82,6%
Rendimiento de absorción de SO <sub>2</sub> en la etapa de absorción	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%
Conversión del yodato en el reactor	43,6%	91,0%	24,1%	29,6%	81,1%	43,8%
Recuperación de yodo libre en etapa de extracción líquido-líquido	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Recuperación de yodo libre como yodato en la etapa de stripper	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Recuperación total	81,4%	91,6%	65,2%	71,1%	92,2%	81,4%

Este caso corresponde al caso base A.1 salvo el cambio en el largo del reactor, el cual se aumentó en 10 m, desde 25 m a 35 m. No se aprecia un cambio relevante del rendimiento de este caso en comparación con el caso base, caso A.1, ya que la conversión de la etapa de reactor de yodo solo aumentó desde 43,6% a 43,8%, lo cual no afectó de mayor manera el rendimiento global, por lo tanto se concluye que se debiera aumentar aun más el largo del reactor para apreciar un cambio considerable.

### 5.1.7 Análisis de resultados de simulación para el caso D, caso D.2.1

Para el caso D, caso D.2.1 al cual solo se le ha realizado un cambio, este cambio corresponde a la disminución del largo del reactor, desde 25 m a 15 m, los datos de operación de las corrientes de entrada a la planta se detallan en la Tabla 5.13.

*Tabla 5.13.  
Datos de operación de las corrientes de entrada para caso D.2.1.*

Caso		A.1	B.1.1	B.2.1	C.1.1	C.2.1	D.1.1	D.2.1
Alimentación solución de yodato	m <sup>3</sup> /h	60	60	60	69	51	60	60
Conc. solución de yodato	gpl	1.309	1.309	1.309	1.309	1.309	1.309	1.309
Temperatura entrada	°C	25	25	25	25	25	25	25
Presión de entrada	atm	0.7896	0.7896	0.7896	0.7896	0.7896	0.7896	0.7896
Flujo de azufre de entrada	kg/h	43.2	49.7	36.7	43.2	43.2	43.2	43.2

Los resultados de los índices analizados se presentan en la Tabla 5.14.

*Tabla 5.14.  
Resultados de índices de análisis para caso D.2.1.*

Caso	A.1	B.1.1	B.2.1	C.1.1	C.2.1	D.1.1	D.2.1
Rendimiento de absorción de SO <sub>2</sub> en la etapa de pre-absorción	31,2%	27,8%	35,5%	31,2%	31,2%	31,2%	31,2%
Conversión de yodato en etapa de absorción	82,6%	99,9%	65,9%	71,9%	97,2%	82,6%	82,6%
Rendimiento de absorción de SO <sub>2</sub> en la etapa de absorción	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%
Conversión del yodato en el reactor	43,6%	91,0%	24,1%	29,6%	81,1%	43,8%	43,2%
Recuperación de yodo libre en etapa de extracción líquido-líquido	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Recuperación de yodo libre como yodato en la etapa de stripper	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Recuperación total	81,4%	91,6%	65,2%	71,1%	92,2%	81,4%	80,6%

Este caso corresponde al caso base A.1 salvo el cambio en el largo del reactor, el cual se disminuyó en 10 m, desde 25 m a 15 m. Se aprecia una disminución del rendimiento global producto de la disminución de la conversión en la etapa de reactor de yodo, ya que el largo del reactor disminuyó provocando la disminución en la eficiencia de conversión. Para experimentar cambios sustanciales en la eficiencia global se debiera aumentar o disminuir de forma significativa el largo del reactor.

## 5.2 Análisis de resultados de la simulación para una planta que recupera el yodo por blow-out.

### 5.2.1 Análisis de resultados de simulación para el caso base, caso A.2

Para el caso base, caso A.2, el cual corresponde a las cantidades estequiométricas de azufre y yodato (43,2 kg/h y 60 m<sup>3</sup>/h respectivamente), de entrada necesarios para la conversión del yodato a yoduro y yodo libre a yoduro, los parámetros de operación de entrada a la planta se detallan en la Tabla 5.15.

Tabla 5.15.  
Parámetros de operación de entrada para caso A.2.

Caso		A.2
Alimentación solución de yodato	m <sup>3</sup> /h	60
Conc. solución de yodato	gpl	1.309
Temperatura entrada	°C	25
Presión de entrada	atm	0.7896
Flujo de azufre de entrada	kg/h	43.2

Los resultados de los índices analizados se presentan en la Tabla 5.16.

Tabla 5.16.  
Resultados de índices de análisis para caso A.2.

Caso	A.2
Rendimiento de absorción de SO <sub>2</sub> en la etapa de pre-absorción	31,2%
Conversión de yodato en etapa de absorción	82,6%
Rendimiento de absorción de SO <sub>2</sub> en la etapa de absorción	90,0%
Conversión del yodato en el reactor	43,7%
Recuperación de yodo libre como yoduro en etapa de blow-out	90,0%
Recuperación total	73,3%

El rendimiento de absorción de SO<sub>2</sub> en la etapa de pre-absorción es de un 31,2%, esto se explica por el hecho que la altura de la torre de absorción de la etapa de pre-absorción está dada en 1,5 m, por lo tanto para lograr un mayor rendimiento se necesita aumentar la altura de la torre, se aprecia que el rendimiento corresponde al mismo obtenido para la simulación usando extracción líquido-líquido y stripper, la razón que explica esto corresponde al hecho que la simulación usando blow-out solo difiere de la simulación usando extracción líquido-líquido y stripper en la etapa de recuperación de yodo libre como yoduro, el resto de la simulación fue programada y se espera que responda de la misma forma.

En la etapa de absorción se producen dos fenómenos al igual que en la simulación de la planta de yodo usando extracción líquido-líquido y stripper;

- Se produce la reacción de formación de yoduro entre el yodato y el  $\text{SO}_2$ .
- El  $\text{SO}_2$  que no reaccionó es absorbido por la fase líquida.

El fenómeno de reacción del yodato con el  $\text{SO}_2$  se puede apreciar mediante la conversión del yodato a yoduro en la etapa de absorción donde asciende a un 82,6%, el comportamiento del  $\text{SO}_2$  que no reacciona con el yodato presenta un comportamiento similar al descrito en la etapa de pre-absorción, donde el rendimiento de absorción de esta etapa es de un 90%, tanto la conversión del yodato a yoduro y la absorción de  $\text{SO}_2$  en la fase líquida dependen de la altura de diseño de la torre, 6 m.

La conversión de yodato a yodo libre en la etapa de reactor de yodo es de un 43,7%, con este resultado se puede inferir que esta etapa corresponde a la etapa crítica dentro del proceso, ahora bien, razones por las cuales la conversión en esta etapa es relativamente baja al compararla con los otros índices, corresponde al largo de reactor, 25 m y velocidad de la fase líquida, 6 m/s generan un  $\tau$  en el reactor de solo 4,2 s, lo que es insuficiente, por lo tanto para lograr una mayor conversión del yodato se necesitaría aumentar el largo del reactor además del rendimiento de las etapas anteriores.

Para la etapa de blow-out la recuperación de yodo libre es de un 90%, el rendimiento de esta etapa depende al igual que las etapas de absorción y pre-absorción, de la altura dada para las torre de desorción y absorción, el cual corresponde a 1 m.

Se obtuvo un rendimiento total del proceso de 73,3%, este valor difiere al obtenido usando extracción líquido-líquido ya que esta etapa tiene un mayor rendimiento que el mostrado por la etapa de blow-out.

### 5.2.2 Análisis de resultados de simulación para el caso B, caso B.1.2

Para el caso B, caso B.1.2 corresponde al aumento de la cantidad de azufre que entra al sistema, el aumento corresponde a un 15%, desde 43,2 kg/h a 49,7 kg/h, los parámetros de operación de entrada a la planta se detallan en la Tabla 5.17.

Tabla 5.17.  
Parámetros de operación de entrada para caso B.1.2.

Caso		A.2	B.1.2
Alimentación solución de yodato	m <sup>3</sup> /h	60	60
Conc. solución de yodato	gpl	1.309	1.309
Temperatura entrada	°C	25	25
Presión de entrada	atm	0.7896	0.7896
Flujo de azufre de entrada	kg/h	43.2	49.7

Los resultados de los índices analizados se presentan en la Tabla 5.18.

Tabla 5.18.  
Resultados de índices de análisis para caso B.1.2.

Caso	A.2	B.1.2
Rendimiento de absorción de SO <sub>2</sub> en la etapa de pre-absorción	31,2%	27,7%
Conversión de yodato en etapa de absorción	82,6%	99,9%
Rendimiento de absorción de SO <sub>2</sub> en la etapa de absorción	90,0%	90,0%
Conversión del yodato en el reactor	43,7%	91,2%
Recuperación de yodo libre como yoduro en etapa de blow-out	90,0%	90,0%
Recuperación total	73,3%	82,4%

El rendimiento de absorción de SO<sub>2</sub> en la etapa de pre-absorción es de un 27,7%, esto se explica por el hecho que la altura de la torre de absorción de la etapa de pre-absorción está dada en 1,5 m, por lo tanto para lograr un mayor rendimiento se necesita aumentar la altura de la torre, se aprecia que el rendimiento corresponde al mismo obtenido para la simulación usando extracción líquido-líquido y stripper, la razón que explica esto corresponde al hecho que la simulación usando blow-out solo difiere de la simulación usando extracción líquido-líquido y stripper en la etapa de recuperación de yodo libre como yoduro, además se aprecia una disminución del rendimiento de absorción con respecto al caso base, caso A.2, la razón por la cual se experimenta esta disminución corresponde al igual que el caso B.1.1, por el aumento del azufre que entra al sistema, lo cual produce un aumento en el flujo de gas produciéndose un aumento del H<sub>tot</sub> lo cual produce una disminución en el número de etapas de absorción, lo cual para una altura de diseño dada, disminuye el rendimiento de la etapa.

El fenómeno de reacción del yodato con el  $\text{SO}_2$  se puede apreciar mediante la conversión del yodato a yoduro en la etapa de absorción donde asciende a un 99,9%, el rendimiento aumenta con respecto al caso base, caso A.2 esto es resultado del aumento de la concentración de  $\text{SO}_2$  producto del aumento del flujo de azufre que entra al sistema por lo tanto reacciona una mayor cantidad de yodato en la etapa de absorción produciéndose un aumento de la conversión de este, el comportamiento del  $\text{SO}_2$  que no reacciona con el yodato presenta un comportamiento similar al descrito en la etapa de pre-absorción, donde el rendimiento de absorción de esta etapa es de un 90%, tanto la conversión del yodato a yoduro y la absorción de  $\text{SO}_2$  en la fase líquida dependen de la altura de diseño de la torre, 6 m.

La conversión de yodato a yodo libre en la etapa de reactor de yodo es de un 91,2%, para este caso, se produjo un aumento de la conversión del yodato a yoduro, la razón por la cual se produce esto, corresponde al aumento de la concentración de yoduro en esta etapa, por lo tanto la conversión del reactor de yodo depende del largo de reactor, 25 m y velocidad de la fase líquida 6 m como se explicó anteriormente

Para la etapa de blow-out la recuperación de yodo libre es de un 90%, el rendimiento de esta etapa depende al igual que las etapas de absorción y pre-absorción, de la altura de diseño dada para las torre de desorción y absorción en 1 m, además de la cantidad de  $\text{SO}_2$  recirculado desde la etapa de pre-absorción.

Como se esperaba, el rendimiento global de la planta aumentó con respecto al caso base, caso A.2, esto se debe al aumento de la conversión en la etapa de reactor de yodo.

### 5.2.3 Análisis de resultados de simulación para el caso B, caso B.2.2

Para el caso B, caso B.2.2, el cual corresponde a la disminución del flujo de azufre que entra al sistema, la disminución es de un 15%, desde 43,2 kg/h a 36,7 kg/h, los parámetros de operación de entrada a la planta se detallan en la Tabla 5.19.

Tabla 5.19.  
Parámetros de operación de entrada para caso B.2.2.

Caso		A.2	B.1.2	B.2.2
Alimentación solución de yodato	m <sup>3</sup> /h	60	60	60
Conc. solución de yodato	gpl	1.309	1.309	1.309
Temperatura entrada	°C	25	25	25
Presión de entrada	atm	0.7896	0.7896	0.7896
Flujo de azufre de entrada	kg/h	43.2	49.7	36.7

Los resultados de los índices analizados se presentan en la Tabla 5.20.

Tabla 5.20.  
Resultados de índices de análisis para caso B.2.2.

Caso	A.2	B.1.2	B.2.2
Rendimiento de absorción de SO <sub>2</sub> en la etapa de pre-absorción	31,2%	27,7%	35,9%
Conversión de yodato en etapa de absorción	82,6%	99,9%	65,5%
Rendimiento de absorción de SO <sub>2</sub> en la etapa de absorción	90,0%	90,0%	90,0%
Conversión del yodato en el reactor	43,7%	91,2%	23,8%
Recuperación de yodo libre como yoduro en etapa de blow-out	90,0%	90,0%	90,0%
Recuperación total	73,3%	82,4%	58,4%

El rendimiento de absorción de SO<sub>2</sub> en la etapa de pre-absorción es de un 35,9%, esto se explica por el hecho que la altura de la torre de absorción de la etapa de pre-absorción está dada en 1,5 m, por lo tanto para lograr un mayor rendimiento se necesita aumentar la altura de la torre, se aprecia que el rendimiento corresponde al mismo obtenido para la simulación usando extracción líquido-líquido y stripper, la razón que explica esto corresponde al hecho que la simulación usando blow-out solo difiere de la simulación usando extracción líquido-líquido y stripper en la etapa de recuperación de yodo libre como yoduro, además se aprecia un aumento del rendimiento de absorción con respecto al caso base, caso A.2 y B.1.2, la razón por la cual se experimenta este aumento corresponde al igual que el caso B.2.2, por la disminución del azufre que entra al sistema, lo cual produce una disminución en el flujo de gas produciéndose una disminución del H<sub>tot</sub> lo cual produce un aumento en el número de etapas de absorción, lo cual para una altura de diseño dada, aumenta el rendimiento de la etapa.

En la etapa de absorción se producen dos fenómenos, al igual que en la simulación usando extracción líquido-líquido y stripper;

- Se produce la reacción de formación de yoduro entre el yodato y el  $\text{SO}_2$ .
- El  $\text{SO}_2$  que no reaccionó es absorbido por la fase líquida.

El fenómeno de reacción del yodato con el  $\text{SO}_2$  se puede apreciar mediante la conversión del yodato a yoduro en la etapa de absorción donde asciende a un 65,5%, el rendimiento disminuye con respecto al caso base, caso A.2 y el caso B.2.1, esto es resultado de la disminución de la concentración de  $\text{SO}_2$  producto de la disminución del flujo de azufre que entra al sistema por lo tanto reacciona una menor cantidad de yodato en la etapa de absorción produciéndose una disminución de la conversión de este, el comportamiento del  $\text{SO}_2$  que no reacciona con el yodato presenta un comportamiento similar al descrito en la etapa de pre-absorción, donde el rendimiento de absorción de esta etapa es de un 90%, tanto la conversión del yodato a yoduro y la absorción de  $\text{SO}_2$  en la fase líquida dependen de la altura de diseño de la torre, 6 m.

La conversión de yodato a yodo libre en la etapa de reactor de yodo es de un 23,8%, para este caso, se produjo una disminución de la conversión del yodato a yoduro, la razón por la cual se experimenta esta disminución, corresponde a la baja en la concentración de yoduro en esta etapa, por lo tanto la conversión del reactor de yodo depende del largo de reactor, 25 m y velocidad de la fase líquida, 6 m/s como se explicó anteriormente.

Para la etapa de blow-out la recuperación de yodo libre es de un 90%, el rendimiento de esta etapa depende al igual que las etapas de absorción y pre-absorción, de la altura dada para las torre de desorción y absorción, 1 m, además de la cantidad de  $\text{SO}_2$  recirculado desde la etapa de pre-absorción.

Al igual que para el caso B.2.1, este caso corresponde al de más bajo rendimiento global, esto es producto de la disminución de la conversión en la etapa de reactor de yodo el cual corresponde al más bajo de todos los casos.

### 5.2.4 Análisis de resultados de simulación para el caso C, caso C.1.2

Para el caso C, caso C.1.2, corresponde al aumento del flujo de yodato de entrada a la planta, el cual aumenta en un 15%, desde 60 m<sup>3</sup>/h a 69 m<sup>3</sup>/h, los parámetros de operación de entrada a la planta se detallan en la Tabla 5.21.

*Tabla 5.21.  
Parámetros de operación de entrada para caso C.1.2.*

Caso		A.2	B.1.2	B.2.2	C.1.2
Alimentación solución de yodato	m <sup>3</sup> /h	60	60	60	69
Conc. solución de yodato	gpl	1.309	1.309	1.309	1.309
Temperatura entrada	°C	25	25	25	25
Presión de entrada	atm	0.7896	0.7896	0.7896	0.7896
Flujo de azufre de entrada	kg/h	43.2	49.7	36.7	43.2

Los resultados de los índices analizados se presentan en la Tabla 5.22.

*Tabla 5.22.  
Resultados de índices de análisis para caso C.1.2.*

Caso	A.2	B.1.2	B.2.2	C.1.2
Rendimiento de absorción de SO <sub>2</sub> en la etapa de pre-absorción	31,2%	27,7%	35,9%	31,2%
Conversión de yodato en etapa de absorción	82,6%	99,9%	65,5%	71,9%
Rendimiento de absorción de SO <sub>2</sub> en la etapa de absorción	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%
Conversión del yodato en el reactor	43,7%	91,2%	23,8%	29,6%
Recuperación de yodo libre como yoduro en etapa de blow-out	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%
Recuperación total	73,3%	82,4%	58,4%	64,0%

El rendimiento de absorción de SO<sub>2</sub> en la etapa de pre-absorción es de un 31,2%, esto se explica por el hecho que la altura de la torre de absorción de la etapa de pre-absorción está dada en 1,5 m, por lo tanto para lograr un mayor rendimiento se necesita aumentar la altura de la torre, aunque en esta etapa solo se necesita absorber la cantidad de SO<sub>2</sub> necesaria para la etapa de recuperación de yodo libre como yoduro. A diferencia del rendimiento obtenido para el caso B.1.2 y B.2.2 se aumentó el flujo de solución de entrada al sistema lo cual produjo una eficiencia de absorción de la torre igual a la obtenida para el caso A.2, esto se debe al hecho que no ha cambiado el flujo de gas en el sistema, por lo tanto el único factor que influye en el rendimiento corresponde al flujo de líquido donde el coeficiente de transferencia de materia depende de éste, aunque para experimentar un cambio considerable se necesita disminuir el flujo de líquido que entra al sistema, este fenómeno tiene su razón en la dependencia del coeficiente de materia y el flujo de líquido para un relleno dado, por esta razón para una altura dada, 1,5 m, el porcentaje de rendimiento obtenido no cambia para el caso C.1.2 en comparación al caso A.2.

El fenómeno de reacción del yodato con el  $\text{SO}_2$  se puede estimar mediante la conversión del yodato a yoduro en la etapa de absorción, el cual asciende a un 71,9%, este comportamiento se debe al aumento de solución de yodato de alimentación en el sistema el cual produce una disminución en la conversión de yodato a yoduro con respecto al caso A.2, el  $\text{SO}_2$  que no reacciona con el yodato presenta un comportamiento similar al descrito en la etapa de pre-absorción, el rendimiento de absorción de  $\text{SO}_2$  para la etapa de absorción es de un 90%, se aprecia que el rendimiento de absorción no aumenta para esta etapa, esto se debe a que en la programación, primero reacciona el  $\text{SO}_2$  con el yodato proveniente de la alimentación y luego se produce la absorción de  $\text{SO}_2$  en la fase líquida, por lo tanto para una altura de diseño dada de la torre de 6 m, y un eficiencia máxima de 90% dada, se necesitaría un aumento considerable del flujo de gas para ver disminuida la eficiencia de absorción en esta etapa.

La conversión de yodato a yodo libre en la etapa de reactor de yodo es de un 29,6%, una razón por la cual la conversión en esta etapa disminuyó con respecto al caso base, caso A.2 corresponde al hecho que en esta etapa la cantidad de yodato aumenta en el sistema, resultado del aumento de flujo de yodato, por lo tanto la cantidad de  $\text{SO}_2$  es insuficiente para reaccionar con el yodato, como se aprecia en la eficiencia de conversión de yodato de la etapa de absorción, lo cual produce una disminución de la concentración de yoduro produciendo una menor conversión del yodato para un largo de reactor dado de 25 m. Si se desea aumentar la conversión de la etapa, se necesita aumentar el largo del reactor como se explicó anteriormente.

Para la etapa de blow-out la recuperación de yodo libre es de un 90%, el rendimiento de esta etapa depende al igual que las etapas de absorción y pre-absorción, de la altura dada para las torre de desorción y absorción de 1 m, además de la cantidad de  $\text{SO}_2$  recirculado desde la etapa de pre-absorción.

Al igual que la simulación de la planta usando extracción líquido-líquido y stripper, en este caso el rendimiento global disminuyó con respecto al caso base, caso A.2, la razón por la cual se produce este fenómeno corresponde al rendimiento obtenido en la etapa de reactor de yodo al igual que para el caso C.1.1

### 5.2.5 Análisis de resultados de simulación para el caso C, caso C.2.2

Para el caso C, caso C.2.2, el cual corresponde a la disminución del flujo de yodato de entrada a la planta, la disminución es de un 15%, desde 60 m<sup>3</sup>/h a 51 m<sup>3</sup>/h, los parámetros de operación de entrada a la planta se detalla en la Tabla 5.23.

Tabla 5.23.  
Parámetros de operación de entrada para caso C.2.2.

Caso		A.2	B.1.2	B.2.2	C.1.2	C.2.2
Alimentación solución de yodato	m <sup>3</sup> /h	60	60	60	69	51
Conc. solución de yodato	gpl	1.309	1.309	1.309	1.309	1.309
Temperatura entrada	°C	25	25	25	25	25
Presión de entrada	atm	0.7896	0.7896	0.7896	0.7896	0.7896
Flujo de azufre de entrada	kg/h	43.2	49.7	36.7	43.2	43.2

Los resultados de los índices analizados se presentan en la Tabla 5.24.

Tabla 5.24.  
Resultados de índices de análisis para caso C.2.2.

Caso	A.2	B.1.2	B.2.2	C.1.2	C.2.2
Rendimiento de absorción de SO <sub>2</sub> en la etapa de pre-absorción	31,2%	27,7%	35,9%	31,2%	31,2%
Conversión de yodato en etapa de absorción	82,6%	99,9%	65,5%	71,9%	97,3%
Rendimiento de absorción de SO <sub>2</sub> en la etapa de absorción	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%
Conversión del yodato en el reactor	43,7%	91,2%	23,8%	29,6%	81,4%
Recuperación de yodo libre como yoduro en etapa de blow-out	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%
Recuperación total	73,3%	82,4%	58,4%	64,0%	83,0%

El rendimiento de absorción de SO<sub>2</sub> en la etapa de pre-absorción es de un 31,2%, no experimentando cambios con respecto al caso C.1.2, esto se explica por el hecho que la altura de la torre de absorción de la etapa de pre-absorción está dada en 1,5 m, por lo tanto para lograr un mayor rendimiento se necesita aumentar la altura de la torre, aunque en esta etapa solo se necesita absorber la cantidad de SO<sub>2</sub> necesaria para la etapa de recuperación de yodo libre como yoduro. A diferencia del rendimiento obtenido para el caso B.1.2 y B.2.2 se disminuyó el flujo de solución de entrada al sistema lo cual produjo una eficiencia de absorción de la torre igual a la obtenida para el caso A.2 y C.1.2, esto se debe al hecho que no ha cambiado el flujo de gas en el sistema, por lo tanto el único factor que influye en el rendimiento corresponde al flujo de líquido donde el coeficiente de transferencia de materia depende de éste, aunque para experimentar un cambio considerable se necesita disminuir de mayor manera el flujo de líquido que entra al sistema, este fenómeno tiene su razón en la dependencia del coeficiente de materia y el flujo de líquido para un relleno dado, por esta razón para una altura dada, 1,5 m, el porcentaje de rendimiento obtenido no cambia para el caso C.2.2 en comparación al caso A.2 y C.1.2.

El fenómeno de reacción del yodato con el  $\text{SO}_2$  se puede estimar mediante la conversión del yodato a yoduro en la etapa de absorción, el cual asciende a un 97,3%, este comportamiento se debe a la disminución de la solución de yodato de alimentación en el sistema el cual produce un aumento en la conversión de yodato a yoduro con respecto al caso A.2 y C.1.2, esto sucede porque al disminuir el flujo de yodato en el sistema aumenta la cantidad de azufre en relación al yodato, por lo tanto se produce una mayor conversión del yodato a yoduro, el  $\text{SO}_2$  que no reacciona con el yodato presenta un comportamiento similar al descrito en la etapa de pre-absorción, el rendimiento de absorción de  $\text{SO}_2$  para la etapa de absorción es de un 90%, se aprecia que el rendimiento de absorción no aumenta para esta etapa, esto se debe a que en la programación, primero reacciona el  $\text{SO}_2$  con el yodato proveniente de la alimentación y luego se produce la absorción de  $\text{SO}_2$  en la fase líquida, por lo tanto para una altura de diseño dada de la torre de 6 m, y una eficiencia máxima de 90% dada, se necesitaría un aumento considerable del flujo de gas para ver disminuida la eficiencia de absorción en esta etapa.

La conversión de yodato a yodo libre en la etapa de reactor de yodo es de un 81,4%, una razón por la cual la conversión en esta etapa aumentó con respecto al caso base, caso A.2 corresponde al hecho que en esta etapa la cantidad de yodato disminuye en el sistema, resultado de la disminución de flujo de yodato, por lo tanto la cantidad de  $\text{SO}_2$  aumenta en relación al yodato, como se aprecia en la eficiencia de conversión de yodato de la etapa de absorción, lo cual produce un aumento de la concentración de yoduro produciendo una mayor conversión del yodato para un largo de reactor dado de 25 m, como en el caso B.1.2. Si se desea aumentar la conversión de la etapa, se necesita aumentar el largo del reactor como se explicó anteriormente.

Para la etapa de blow-out la recuperación de yodo libre es de un 90%, el rendimiento de esta etapa depende al igual que las etapas de absorción y pre-absorción, de la altura dada para las torres de desorción y absorción en 1 m, además de la cantidad de  $\text{SO}_2$  recirculado desde la etapa de pre-absorción.

Al igual que el caso C.2.1, el caso C.2.2 corresponde al caso de mayor rendimiento global, esto se explica por el aumento de la conversión de la etapa de reactor de yodo.

## 5.2.6 Análisis de resultados de simulación para el caso D, caso D.1.2

Para el caso D, caso D.1.2 corresponde al aumento del largo del reactor en 10 m, desde 25 m a 35 m, los datos de operación de las corrientes de entrada a la planta se detallan en la Tabla 5.25.

*Tabla 5.25.  
Datos de operación de las corrientes de entrada para caso D.1.1.*

Caso		A.2	B.1.2	B.2.2	C.1.2	C.2.2	D.1.2
Alimentación solución de yodato	m <sup>3</sup> /h	60	60	60	69	51	60
Conc. solución de yodato	gpl	1.309	1.309	1.309	1.309	1.309	1.309
Temperatura entrada	°C	25	25	25	25	25	25
Presión de entrada	atm	0.7896	0.7896	0.7896	0.7896	0.7896	0.7896
Flujo de azufre de entrada	kg/h	43.2	49.7	36.7	43.2	43.2	43.2

Los resultados de los índices analizados se presentan en la Tabla 5.26.

*Tabla 5.26.  
Resultados de índices de análisis para caso D.1.1.*

Caso	A.2	B.1.2	B.2.2	C.1.2	C.2.2	D.1.2
Rendimiento de absorción de SO <sub>2</sub> en la etapa de pre-absorción	31,2%	27,7%	35,9%	31,2%	31,2%	31,2%
Conversión de yodato en etapa de absorción	82,6%	99,9%	65,5%	71,9%	97,3%	82,6%
Rendimiento de absorción de SO <sub>2</sub> en la etapa de absorción	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%
Conversión del yodato en el reactor	43,7%	91,2%	23,8%	29,6%	81,4%	43,9%
Recuperación de yodo libre como yoduro en etapa de blow-out	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%
Recuperación total	73,3%	82,4%	58,4%	64,0%	83,0%	73,3%

Este caso corresponde al caso base A.2 salvo el cambio en el largo del reactor, el cual se aumentó en 10 m, desde 25 m a 35 m. No se aprecia un cambio relevante del rendimiento de este caso en comparación con el caso base, caso A.2, ya que la conversión de la etapa de reactor de yodo solo aumentó desde 43,7% a 43,9%, lo cual no afectó de mayor manera el rendimiento global, se debe aumentar aun más el largo del reactor para apreciar un cambio considerable.

### 5.2.7 Análisis de resultados de simulación para el caso D, caso D.2.2

Para el caso D, caso D.2.2, corresponde a la disminución del largo del reactor en 10 m, desde 25 m a 15 m, los datos de operación de las corrientes de entrada a la planta se detallan en la Tabla 5.27.

*Tabla 5.27.  
Datos de operación de las corrientes de entrada para caso D.2.1.*

Caso		A.2	B.1.2	B.2.2	C.1.2	C.2.2	D.1.2	D.2.2
Alimentación solución de yodato	m <sup>3</sup> /h	60	60	60	69	51	60	60
Conc. solución de yodato	gpl	1.309	1.309	1.309	1.309	1.309	1.309	1.309
Temperatura entrada	°C	25	25	25	25	25	25	25
Presión de entrada	atm	0.7896	0.7896	0.7896	0.7896	0.7896	0.7896	0.7896
Flujo de azufre de entrada	kg/h	43.2	49.7	36.7	43.2	43.2	43.2	43.2

Los resultados de los índices analizados se presentan en la Tabla 5.28.

*Tabla 5.28.  
Resultados de índices de análisis para caso D.2.1.*

Caso	A.2	B.1.2	B.2.2	C.1.2	C.2.2	D.1.2	D.2.2
Rendimiento de absorción de SO <sub>2</sub> en la etapa de pre-absorción	31,2%	27,7%	35,9%	31,2%	31,2%	31,2%	31,2%
Conversión de yodato en etapa de absorción	82,6%	99,9%	65,5%	71,9%	97,3%	82,6%	82,6%
Rendimiento de absorción de SO <sub>2</sub> en la etapa de absorción	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%
Conversión del yodato en el reactor	43,7%	91,2%	23,8%	29,6%	81,4%	43,9%	43,3%
Recuperación de yodo libre como yoduro en etapa de blow-out	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%
Recuperación total	73,3%	82,4%	58,4%	64,0%	83,0%	73,3%	72,6%

Este caso corresponde al caso base, caso A.2 salvo el cambio en el largo del reactor, el cual se disminuyó en 10 m, desde 25 m a 15 m. No se aprecia un cambio relevante del rendimiento global en este caso en comparación con el caso base, caso A.2, ya que la conversión de la etapa de reactor de yodo solo disminuyó desde 43,7% a 43,3%, lo cual no afectó de mayor manera el rendimiento global, se debe disminuir aun más el largo del reactor para apreciar un cambio considerable.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación se detallan las principales conclusiones y recomendaciones realizadas del simulador realizado.

#### 6.1 Conclusiones.

- ❖ Este trabajo demuestra la utilidad de la herramienta de simulación de procesos para optimizar la operación y/o diseño de plantas. Se demuestra por un análisis de sensibilidad como cambia la recuperación de yodo, estos valores van desde 65,2% hasta 92,2% de recuperación de yodo global para la simulación usando extracción líquido-líquido y 58,4% hasta 83% de recuperación de yodo global para la simulación usando blow-out.
- ❖ Para aumentar la eficiencia del sistema se concluye que es necesario aumentar el largo desde 25 m hasta 35 m del reactor, para aumentar la eficiencia de conversión del yodato y yoduro a yodo libre desde 43,7 % hasta 43,9 % usando extracción líquido-líquido y desde 43,6% hasta 43,8% usando blow-out.
- ❖ Como conclusión, de los resultados obtenidos para ambas simulaciones; la cantidad de azufre que entra al sistema debe estar en exceso con respecto a la cantidad estequiométrica requerida para las reacciones con el yodato que entra, ya que un porcentaje de exceso de  $\text{SO}_2$  en las distintas etapas, produce un aumento de la conversión y rendimiento de las distintas etapas y se debe aumentar el largo del reactor de mayor manera para apreciar un aumento en la eficiencia global del sistema.
- ❖ Con respecto a la operación de la planta, de los resultados obtenido se infiere que para aumentar la eficiencia global del sistema se debe alimentar azufre en una cantidad levemente mayor a la cantidad de azufre estequiométrico requerido.

## 6.2 Recomendaciones.

- ❖ Desarrollar un mejor algoritmo para el ciclo de iteración de la recirculación desde recuperación de yodo como yoduro a pre-absorción que permita optimizar el tiempo de simulación.
- ❖ Desarrollar una simulación no solo predictiva, sino que permita optimizar el proceso de obtención de yodo libre como solución de yoduro a partir de soluciones de yodato.
- ❖ Desarrollar un modelo de programación para cada etapa involucrada en el proceso que permita disminuir la cantidad de líneas de programación.
- ❖ Realizar la simulación para el caso usando extracción líquido-líquido y stripper, y blow-out, cambiando el flujo de aire de entrada a la etapa de generación de  $\text{SO}_2$  y la concentración de yodato de solución de entrada.

## REFERENCIAS

- [1] <http://www.cochilco.cl>
- [2] <http://www.soquimich.cl/asp/iodine.asp>
- [3] Tyler, P.M. and Clinton, A. B. Bromine and Iodine. BuMines IC 6387, 1930, p. 18.
- [4] Albott, J. F. and Titus, H. B. Production of Iodine in Japan from Seaweed. Dept. of Commerce, Spec. Circ. No. 155, 25 September 1926, 4 pp.
- [5] Armstrong, E. F. and Miall, L. M. Raw Materials from the Sea. Chemical Publishing Co. Inc. New Cork, 1946, pp. 110 – 130.
- [6] Albott, J. F. and Titus, H. B. Production of Iodine in Japan from Seaweed. Dept. of Commerce, Spec. Circ. No. 155, 25 September 1926, 4 pp.
- [7] US Embassy, Tokyo, Japan. Foreign Service Dispatch 1915, 23 March 1953, 10 pp.
- [8] Crozier, R. D. Iodine: Its Market and Availability. Min. Mag. (London) v. 146. No. 4 April 1982, pp. 282 -89.
- [10] Booth, E. The History of the Seaweed Industry – Part 3: The Iodine Industry. Chemistry and Industry. No. 2, 20 January 1979, pp. 52 – 55.
- [11] Sigit, Soetarjo. Minerals and Mining in Indonesia. Ministry of Mines, Djarkarta (Indonesia), 1069, pp. 107 – 108.
- [12] Work cited in footnote 2.
- [13] Turrentine, J. W. Method of Recovering Iodine. US Pat. 1,708,287, 9 April 1929.
- [14] Sawyer, F. G. Iodine from Oil Well Brines. Ind. And Eng. Chem. Fundam. v. 41, No. 8, August 1949, pp. 1547- 1552.
- [15] Robertson, G. R. New Iodine Industry. Indus. and Chem. Eng. v. 26, No. 4, April 1934, pp. 376 – 378.
- [16] Girvin, Charles W. and Witmer, E. B. Written documents. Available upon request from P. A. Lyday, BuMines, Washington, DC.
- [17] Assigned to Jones, C. W. Process of Extracting Iodine from Aqueous Solution. US Pat. 1,837,777, 22 December 1931.
- [18] Morris, Harold P. Iodine. The Enciclopedia of the Chemical Elements. Ed. by Clifford A. Hampel. Reinhold Book Corporation. New Cork. 1968, pp. 290 – 299.

- [19] Ohman, Maurel (assigned to the Dow Chemical Co.) Electrolysis process for the Production of Iodine. US Pat. 2,144,199, 17 January 1939.
- [20] Findlay, D. M. (assigned to US Rubber Co.) Recovery of Halogen from Fluids. US Pat. 2,261,021, 28 October 1941.
- [21] Work cited in footnote 6.
- [22] Gmelins Handbuch, Der Anorganischen Chemie, Jod, Pag 564.
- [23] Gmelins Handbuch, Der Anorganischen Chemie, Jod, Pag 556.
- [24] Gmelins Handbuch, Der Anorganischen Chemie, Jod, Pag 565.
- [25] [www.jaeger.com](http://www.jaeger.com)
- [26] Gmelins Handbuch, Der Anorganischen Chemie, Jod, Pag 564.
- [27] Gmelins Handbuch, Der Anorganischen Chemie, Jod, Pag 557.
- [28] Datos de producción SQM, Planta Maria Elena.
- [29] Gmelins Handbuch, Der Anorganischen Chemie, Jod, Pag 566.
- [30] International Critical Table – Solubility Gas in Water – Pag 258.
- [31] Gmelins Handbuch, Der Anorganischen Chemie, Jod, Pag 566.
- [32] Fuentes: Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions, Marcel Pourbaix, Pag 615.
- [33] Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions, Marcel Pourbaix, Pag 617.
- [34] Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions, Marcel Pourbaix, Pag 619.
- [35] Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions, Marcel Pourbaix, Pag 621.
- [36] Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions, Marcel Pourbaix, Pag 622.
- [37] Internacional Critical Tables, Pag 23.
- [38] Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions, Marcel Pourbaix, Pag 113.
- [39] Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions, Marcel Pourbaix, Pag 114.
- [40] Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions, Marcel Pourbaix, Pag 116.
- [41] Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions, Marcel Pourbaix, Pag 119.

- [42] Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions, Marcel Pourbaix, Pag 98.
- [43] Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions, Marcel Pourbaix, Pag 100.
- [44] Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions, Marcel Pourbaix, Pag 101.
- [45] Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions, Marcel Pourbaix, Pag 102.
- [46] Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions, Marcel Pourbaix, Pag 494.
- [47] Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions, Marcel Pourbaix, Pag 498.
- [48] Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions, Marcel Pourbaix, Pag 499.
- [49] Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions, Marcel Pourbaix, Pag 501.

## NOMENCLATURA

$A_{\text{manto}}$	Área de manto horno	$[m^2]$
$C_i$	Concentración en orgánico	$[kg_i/kg_{Org}]$
$C_{IO_3\text{-Inical}}$	Concentración inicial de yodato en reactor	$[M]$
$CMH$	Caudal mínimo de humectación	$[ft^3/h]$
$C_{pN_2}$	Calor específico del nitrógeno	$[kcal/kg\ K]$
$C_{pO_2}$	Calor específico del oxígeno	$[kcal/kg\ K]$
$C_{ps}$	Calor específico de azufre	$[kcal/kg\ K]$
$C_{pSO_2}$	Calor específico del $SO_2$	$[kcal/kg\ K]$
$D$	Diámetro	$[m]$
Error	Suma de los $Q_{\text{fusiónS}}$ , $Q_{\text{precalentamiento}}$ , $Q_{\text{perdida}}$ y $Q_{\text{gases}}$	$[kcal/h]$
$F_{\text{AcuosoIn}}$	Flujo acuoso de entrada	$[kg/h]$
$F_{\text{AcuosoOut}}$	Flujo acuoso de salida	$[kg/h]$
$F_{\text{AguaIn}}$	Flujo de agua de entrada	$[kg/h]$
$F_{\text{AguaOut}}$	Flujo de agua de salida	$[kg/h]$
$F_{\text{AireIn}}$	Flujo de aire de entrada	$[lbmol/h]$
$F_{\text{AireOut}}$	Flujo de aire de salida	$[lbmol/h]$
$F_{\text{GasIn}}$	Flujo de gas de entrada	$[kg/h]$
$F_{\text{GasOut}}$	Flujo de gas de salida	$[kg/h]$
$F_{\text{GasOutMol}}$	Flujo de gas de salida	$[kmol/h]$
$F_{\text{GasMol}}$	Flujo molar de gas	$[lbmol/h]$
$F_i$	Flujo recirculado inicial a Pre-abs	$[kg/h]$
$F_{i+1}$	Flujo recirculado a Pre-abs	$[kg/h]$
$F_{I\text{-MolOut}}$	Flujo molar de solución de yoduro	$[kmol/h]$
$F_{IO_3\text{-MolIn}}$	Flujo molar de solución de yodato	$[kmol/h]$
$F_{\text{OrgIn}}$	Flujo orgánico de entrada	$[kg/h]$
$F_{\text{OrgOut}}$	Flujo orgánico de salida	$[kg/h]$
$F_{SO_2\text{Mol}}$	Flujo molar de $SO_2$	$[kmol/h]$
$F_{SO_4\text{-Mol}}$	Flujo molar de $SO_4^-$	$[kmol/h]$
$F_{\text{solidIn}}$	Masa de sólido que entra (azufre)	$[kg/h]$
$\text{Flujo}_{\text{Gas}}$	Flujo de gas	$[lbmol/h]$

Flujo <sub>I-recirculado</sub>	Flujo de solución de yoduro recirculado	[kg/h]
Flujo <sub>ITeorico</sub>	Flujo de solución de yoduro producido	[kg/h]
Flujo <sub>I2Teorico</sub>	Flujo de producción teórica de yodo libre	[kg/h]
Flujo <sub>molSO2</sub>	Flujo mol de SO <sub>2</sub>	[kmol/h]
Flujo <sub>N2</sub>	Flujo de nitrógeno	[kg/h]
Flujo <sub>O2</sub>	Flujo de oxígeno	[kg/h]
Flujo <sub>s</sub>	Flujo de azufre	[kg/h]
Flujo <sub>SO2Entrada</sub>	Flujo de SO <sub>2</sub> de entrada	[kmol/h]
Flujo <sub>SO2Mol</sub>	Flujo mol de SO <sub>2</sub>	[kmol/h]
Flujo <sub>SO2Salida</sub>	Flujo de SO <sub>2</sub> de salida	[kmol/h]
H <sub>i</sub>	Entalpía del gas	[kcal/kg]
H <sub>tog</sub>	Altura de número de transferencia de materia	[ft]
h <sub>perdida</sub>	Coficiente de perdida	[kcal/h m <sup>2</sup> K]
K <sub>ga</sub>	Coficiente de transferencia de materia	[lbmol/hr ft <sup>3</sup> atm]
K <sub>ya</sub>	Coficiente de transferencia de materia	[lbmol/hr ft <sup>3</sup> atm]
K <sub>5</sub>	Constante de reacción ecuación (2-7)	
K <sub>9</sub>	Constante de reacción ecuación (2-9)	
K <sub>9a</sub>	Constante de reacción ecuación (2-5)	
L	Largo	[m]
L'	Flujo de líquido por unidad de área	[lbmol/ft <sup>2</sup> hr]
L <sub>reactor</sub>	Largo de reactor	[m]
matrixresum(i,j)	Matriz de almacenaje de datos	[-]
N <sub>tog</sub>	Número de unidades de transferencia de materia	[-]
P	Presión total	[kPa]
Q <sub>combustión</sub>	Calor de combustión	[kcal/h]
Q <sub>fusiónS</sub>	Calor de fusión del azufre	[kcal/h]
Q <sub>gases</sub>	Calor de consumido por gases de salida	[kcal/h]
Q <sub>perdida</sub>	Calor de perdida	[kcal/h]
Q <sub>precalentamiento</sub>	Calor de precalentamiento del azufre	[kcal/h]
r <sub>i</sub>	Velocidad de reacción	[gmol/l min]
r <sub>x</sub>	Velocidad de reacción yodato a yoduro	[gmol/l min]
T	Temperatura	[°C]
T <sub>adiabaticadecomb</sub>	Temperatura adiabática de combustión	[°C]

$T_{amb}$	Temperatura ambiente	[°C]
$T_{entradaHorno}$	Temperatura entrada a horno de combustión de azufre	[°C]
$T_{Horno}$	Temperatura del horno	[°C]
$T_{Llama}$	Temperatura de llama en horno de azufre	[°C]
$t_L$	Temperatura del líquido	[°C]
$t_r$	Tiempo de residencia	[s]
$Tot$	Factor de error con respecto al $Q_{combustión}$	[-]
$V$	Volumen	[m <sup>3</sup> ]
$V_{reactor}$	Volumen de reactor	[m <sup>3</sup> ]
$X_{IO_3^-}$	Conversión del yodato	[-]
$x_i$	Composición inicial acuosa	[kg <sub>i</sub> /kg <sub>Total</sub> ]
$x_f$	Composición final de la solución acuosa	[kg <sub>i</sub> /kg <sub>Total</sub> ]
$x_{iOrg}$	Concentración de orgánico	[kg <sub>i</sub> /kg <sub>Total</sub> ]
$Y_i$	Humedad de entrada	[kg a/kg a.s]
$y_i$	Composición del gas	[kmol <sub>i</sub> /kmol <sub>Total</sub> ]
$y_f$	Composición final del gas	[kmol <sub>i</sub> /kmol <sub>Total</sub> ]
$Z$	Altura de torre	[m]
$\emptyset$	Diámetro	[m]
$\tau$	Tiempo de residencia teórico	[s]
$\Delta H$	Delta entalpía del gas	[kcal/kg]
$\Delta H_{Combustión}$	Entalpía de combustión del azufre	[kcal/mol]
$\Delta H_{fusiónS}$	Entalpía de fusión del azufre	[kcal/kg]
$\Delta P$	Delta de presión	[kPa]
$\Delta T$	Delta de temperatura	[°C]
$\Delta y$	Delta de composición del gas	[kmol <sub>i</sub> /kmol <sub>Total</sub> ]
$[H^+]$	Concentración molar de H <sup>+</sup>	[M]
$[HSO_3^-]$	Concentración molar de HSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	[M]
$[I^-]$	Concentración molar de I <sup>-</sup>	[M]
$[IO_3^-]$	Concentración molar de yodato	[M]
$[SO_3^{2-}]$	Concentración molar de SO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	[M]
%absorción	Porcentaje de absorción	[-]

# APÉNDICES

## APÉNDICE A

### Exportación de sector minería no Metálica [1]

Tabla A1: Exportaciones chilenas valoradas de productos mineros no metálicos (Miles US\$ FOB).

PRODUCTOS	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	PRINCIPALES DESTINOS 2006
<b>YODO y derivados:</b>											
YODO	140,079	183,793	147,000	146,418	133,019	130,024	144,323	174,404	250,604	277,265	EE.UU., Bélgica, Brasil, China
YODUROS	7,064	6,147	6,800	4,044	4,021	8,689	16,018	18,171	22,716	30,286	Francia, Bélgica, Corea del Sur, Japón
YODATOS	2,876	5,761	4,400	3,575	4,462	5,360	5,146	5,255	5,818	7,430	Brasil, Bélgica, Francia, México
<b>NITRATOS :</b>											
NITRATO POTASIO	65,353	66,258	77,200	86,744	105,471	102,128	128,536	133,348	162,333	156,665	EE.UU., Bélgica, España, China
SALITRE POTASICO	32,425	34,089	25,300	29,340	32,436	41,827	35,498	47,539	41,355	48,713	Brasil, México, Indonesia, Bélgica
NITRATO SODIO	44,960	41,238	49,500	33,664	31,216	25,662	30,714	33,000	37,267	33,398	EE.UU., Bélgica, Japón, España
MEZCLAS ABONOS	8,401	8,339	8,500	13,360	15,634	13,388	16,783	22,725	37,482	29,201	México, Brasil, Japón, Bélgica
<b>LITIO:</b>											
CARBONATO LITIO	40,450	38,099	47,700	52,851	51,610	55,733	63,815	75,003	90,371	120,984	Japón, Bélgica, EE.UU., China
HIDRÓXIDO LITIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	658	EE.UU., Bélgica, India
CLORURO LITIO	0	1,800	1,400	0	0	0	0	0	2,455	3,022	EE.UU., Japón
<b>POTASIO:</b>											
SULFATO POTASIO	0	5,673	16,500	22,210	24,017	23,057	21,071	28,926	31,732	40,857	Perú, Sudáfrica, Argentina, Brasil
CLORURO POTASIO	6,611	11,378	20,100	17,379	9,439	5,760	7,424	2,184	3,842	5,201	Argentina, Perú, Colombia
CLORURO SODIO	28,146	20,607	25,500	22,623	37,869	29,105	45,084	41,031	54,040	39,538	EE.UU., Brasil, Holanda, México
<b>BORATOS :</b>											
ACIDO BORICO	13,194	15,883	16,700	15,534	17,422	18,776	24,455	25,928	25,215	32,206	China, EE.UU., Alemania, Brasil
ULEXITA	3,112	5,143	6,000	6,670	7,976	9,326	11,231	10,011	6,706	4,226	EE.UU., Brasil, Sudáfrica
BORAX REFINADO	363	615	500	1,668	305	211	242	209	166	112	Perú, Ecuador
SUB TOTAL GRUPO I	<b>393,034</b>	<b>444,823</b>	<b>453,100</b>	<b>456,080</b>	<b>474,897</b>	<b>469,044</b>	<b>550,341</b>	<b>617,733</b>	<b>772,761</b>	<b>846,355</b>	
CEMENTO	6	351	62	275	44	49	0	0	0	16	Bolivia
YESO	649	321	156	412	432	516	831	616	297	322	Ecuador
SUB TOTAL GRUPO II	<b>655</b>	<b>672</b>	<b>218</b>	<b>687</b>	<b>476</b>	<b>565</b>	<b>831</b>	<b>616</b>	<b>313</b>	<b>692</b>	
<b>MINERALES FILTRANTES:</b>											
DIATOMITA	3,173	3,586	4,356	4,002	4,422	5,960	5,243	4,530	4,955	7,222	Brasil, Argentina, Perú, Colombia
PERLITA	0	0	47	46	78	103	0	137	172	256	Argentina, Perú
CUARZO Y SÍLICE	8	0	0	189	622	790	1,011	1,185	925	726	EE.UU.,
SULFATO SODIO	3,834	4,933	3,800	2,642	3,542	2,931	1,525	83	471	66	Bolivia
ARCILLAS	68	62	147	106	11	9	16	202	219	384	Argentina
ROCAS ORNAMENTALES	0	0	0	108	758	88	74	118	137	293	EE.UU.,
CAL VIVA	0	221	1,622	1,240	2,431	542	496	812	704	198	Perú
AZUFRE	118	110	82	101	81	99	85	102	123	123	Argentina
APATITA	315	198	50	229	267	113	117	162	181	86	Bolivia, Argentina
OTROS (1)	276	315	56	64	195	0	37	30	12	25	-----
SUB TOTAL GRUPO III	<b>7,792</b>	<b>9,425</b>	<b>10,160</b>	<b>8,727</b>	<b>12,407</b>	<b>10,633</b>	<b>8,604</b>	<b>7,343</b>	<b>7,877</b>	<b>9,379</b>	
<b>TOTAL MUSS FOB</b>	<b>401,481</b>	<b>454,920</b>	<b>463,478</b>	<b>465,494</b>	<b>487,780</b>	<b>480,242</b>	<b>559,777</b>	<b>625,691</b>	<b>780,952</b>	<b>856,426</b>	

Fuente : Elaborado en la Comisión Chilena del Cobre en base a información del Servicio Nacional de Aduanas

Nota (1): Bajo el concepto de OTROS se incluyen exportaciones ocasionales de Talco, Sulfato de Aluminio, Creta, Sílice,

Tabla A2: Exportaciones físicas chilenas de productos mineros no metálicos (Toneladas métricas).

PRODUCTOS	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	PRINCIPALES DESTINOS 2006
<b>GRUPO I</b>											
<b>YODO y derivados:</b>											
YODO	8,833	9,852	8,637	9,839	9,448	10,160	11,905	12,898	13,974	13,285	EE.UU., Bélgica, Brasil, China
YODUROS	450	317	392	251	260	703	1,312	1,437	1,398	1,500	Francia, Bélgica, Corea del Sur, Japón
YODATOS	202	347	291	264	356	440	458	450	426	455	Brasil, Bélgica, Francia, México
<b>NITRATOS :</b>											
NITRATO POTASIO	224,555	226,770	275,955	347,171	441,450	462,466	532,404	446,643	453,896	394,697	EE.UU., Bélgica, España, China
SALITRE POTASICO	164,257	169,181	130,248	155,919	172,546	226,403	198,452	243,653	191,321	185,087	Brasil, México, Indonesia, Bélgica
NITRATO SODIO	257,689	252,493	279,799	201,484	193,892	158,339	173,059	149,053	153,676	122,078	EE.UU., Bélgica, Japón, España
MEZCLAS ABONOS	21,753	22,740	24,013	57,973	60,833	57,919	71,076	79,851	102,220	71,885	México, Brasil, Japón, Bélgica
<b>LITIO:</b>											
CARBONATO LITIO	21,598	24,699	32,011	34,912	33,412	35,755	40,846	44,627	41,832	38,682	Japón, Bélgica, EE.UU., China
HIDRÓXIDO LITIO	0	0	0	0	0	0	0	0	149	3,517	EE.UU., Bélgica, India
CLORURO LITIO	0	3,172	3,172	0	0	0	0	0	767	947	EE.UU., Japón
<b>POTASIO:</b>											
SULFATO POTASIO	0	32,221	97,006	153,323	157,438	151,006	136,303	149,058	124,609	146,143	Perú, Sudáfrica, Argentina, Brasil
CLORURO POTASIO	72,684	112,259	202,830	177,502	92,605	58,823	71,480	19,815	21,900	25,843	Argentina, Perú, Colombia
CLORURO SODIO	3,037,461	2,058,796	2,828,000	2,560,135	4,195,698	2,793,204	6,063,597	4,001,883	4,865,212	3,640,070	EE.UU., Brasil, Holanda, México
<b>BORATOS :</b>											
ACIDO BORICO	28,443	35,498	37,712	37,130	44,398	49,485	65,035	65,501	61,895	76,910	China, EE.UU., Alemania, Brasil
ULEXITA	16,015	33,934	38,823	47,216	59,057	68,431	84,801	68,869	39,877	21,275	EE.UU., Brasil, Sudáfrica
BORAX REFINADO	1,397	1,786	1,500	4,476	880	585	681	543	414	157	Perú, Ecuador
<b>GRUPO II</b>											
CEMENTO	38	5,073	66	5,816	76	106	0	0	39	8,144	Bolivia
YESO	3,714	1,947	1,126	3,610	3,815	4,737	8,610	5,757	2,279	2,612	Ecuador
<b>GRUPO III</b>											
<b>MINERALES FILTRANTES:</b>											
DIATOMITA	8,713	9,244	11,327	10,440	11,860	13,837	14,799	12,729	13,797	19,452	Brasil, Argentina, Perú, Colombia
PERLITA	0	0	189	169	330	457	0	583	688	1,108	Argentina, Perú
CUARZO Y SÍLICE	31	0	0	1,767	4,441	5,487	6,850	8,440	6,764	4,583	EE.UU.
SULFATO SODIO	23,720	36,011	30,881	28,792	46,660	35,622	17,733	710	4,635	379	Bolivia
ARCILLAS	120	122	251	180	17	14	28	14,129	15,388	9,030	Argentina
ROCAS ORNAMENTALES	0	0	0	932	4,025	778	551	488	611	683	EE.UU.
CAL VIVA	0	3,390	24,865	19,800	41,002	9,700	9,820	15,800	13,101	3,300	Perú
AZUFRE	486	461	416	545	473	435	426	376	439	560	Argentina
APATITA	2,010	1,484	336	2,113	1,393	541	761	1,229	1,490	386	Bolivia, Argentina
OTROS (1)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

Fuente : Elaborado en la Comisión Chilena del Cobre en base a información del Servicio Nacional de Aduanas

Nota (1): No se indica la cantidad de otros minerales por corresponder a diversos productos no homogéneos.

Tabla A3: Valor unitario de los productos mineros no metálicos exportados (US\$/Tonelada FOB).

PRODUCTOS	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	PRINCIPALES DESTINOS 2006
<b>GRUPO I</b>											
YODO y derivados:											
YODO	15.859.5	18.655.4	17.019.8	14.880.9	14.079.8	12.797.4	12.122.5	13.522.3	17.933.9	20.870.6	EE.UU., Bélgica, Brasil, China
YODUROS	15.687.3	19.391.2	17.346.9	16.105.1	15.471.3	12.359.9	12.211.8	12.644.8	16.249.4	20.194.1	Francia, Bélgica, Corea del Sur, Japón
YODATOS	14.265.9	16.602.3	15.120.3	13.567.4	12.537.2	12.181.4	11.241.0	11.673.9	13.653.5	16.335.0	Brasil, Bélgica, Francia, México
NITRATOS :											
NITRATO POTASIO	291.0	292.2	279.8	249.9	238.9	220.8	241.4	298.6	357.6	396.9	EE.UU., Bélgica, España, China
SALITRE POTASICO	197.4	201.5	194.2	188.2	188.0	184.7	178.9	195.1	216.2	263.2	Brasil, México, Indonesia, Bélgica
NITRATO SODIO	174.5	163.3	176.9	167.1	161.0	162.1	177.5	221.4	242.5	273.6	EE.UU., Bélgica, Japón, España
MEZCLAS ABONOS	386.2	366.7	354.0	230.5	257.0	231.1	236.1	284.6	366.7	406.2	México, Brasil, Japón, Bélgica
LITIO:											
CARBONATO LITIO	1.872.9	1.542.5	1.490.1	1.513.9	1.544.6	1.558.8	1.562.3	1.680.7	2.160.4	3.127.6	Japón, Bélgica, EE.UU., China
HIDRÓXIDO LITIO	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	4.420.7	EE.UU., Bélgica, India
CLORURO LITIO	-----	567.5	441.4	-----	-----	-----	-----	-----	-----	3.193.0	EE.UU., Japón
POTASIO:											
SULFATO POTASIO	-----	176.1	170.1	144.9	152.5	152.7	154.6	194.1	254.7	279.6	Perú, Sudáfrica, Argentina, Brasil
CLORURO POTASIO	91.0	101.4	99.1	97.9	101.9	97.9	103.9	110.2	175.4	201.3	Argentina, Perú, Colombia
CLORURO SODIO	9.3	10.0	9.0	8.8	9.0	10.4	7.4	10.3	11.1	10.9	EE.UU., Brasil, Holanda, México
BORATOS :											
ACIDO BORICO	463.9	447.4	442.8	418.4	392.4	379.4	376.0	395.8	407.4	418.8	China, EE.UU., Alemania, Brasil
ULEXITA	194.3	151.6	154.5	141.3	135.1	136.3	132.4	145.4	168.2	198.6	EE.UU., Brasil, Sudáfrica
BORAX REFINADO	259.8	344.3	333.3	372.7	346.4	360.8	355.2	384.3	401.0	709.5	Perú, Ecuador
<b>GRUPO II</b>											
CEMENTO	157.9	69.2	939.4	47.3	578.9	461.8	-----	-----	416.7	45.4	Bolivia
YESO	174.7	164.9	138.5	114.1	113.2	108.9	96.6	107.0	130.5	123.3	Ecuador
<b>GRUPO III</b>											
MINERALES FILTRANTES:											
DIATOMITA	364.2	387.9	384.6	383.3	372.8	430.7	354.3	355.9	359.1	371.3	Brasil, Argentina, Perú, Colombia
PERLITA	-----	-----	249.6	271.7	236.7	225.5	-----	235.4	249.9	231.4	Argentina, Perú
CUARZO Y SÍLICE	258.1	-----	-----	107.0	140.1	143.9	147.6	140.5	136.7	158.4	EE.UU.
SULFATO SODIO	161.6	137.0	123.1	91.8	75.9	82.3	86.0	117.2	101.7	174.7	Bolivia
ARCILLAS	566.7	508.2	585.7	588.9	647.1	630.4	571.6	14.3	14.2	42.5	Argentina
ROCAS ORNAMENTALES	-----	-----	-----	115.9	188.3	113.2	134.7	242.2	224.0	428.2	EE.UU.
CAL VIVA	-----	65.2	65.2	62.6	59.3	55.9	50.5	51.4	53.8	60.0	Perú
AZUFRE	242.8	238.6	197.1	185.3	171.2	226.8	200.6	219.9	231.8	220.3	Argentina
APATITA	156.7	133.4	148.8	108.4	191.7	208.5	153.3	132.1	121.4	222.2	Bolivia, Argentina

Fuente : Elaborado en la Comisión Chilena del Cobre en base a información del Servicio Nacional de Aduanas

Tabla A4: Producción minera no metálica chilena (Toneladas métricas).

PRODUCTOS	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
<b>Regiones Productoras</b>										
<b>GRUPO I:</b>										
<b>CLORURO SODIO</b>	5.488.135	6.207.266	6.074.426	5.082.911	5.989.416	3.502.613	6.213.473	4.938.928	6.067.583	4.580.471
Tarapacá	5.488.135	6.207.266	6.074.426	5.082.911	5.989.416	3.502.613	6.213.473	4.938.928	6.067.583	4.580.471
<b>NITRATOS</b>	847.000	881.682	916.200	988.410	1.072.273	1.174.232	1.133.921	1.402.366	1.282.815	1.111.771
Tarapacá	847.000	881.682	916.200	988.410	1.072.273	1.174.232	1.133.921	1.402.366	1.282.815	1.111.771
<b>SALES DE POTASIO</b>	0	0	0	0	0	0	0	94.587	131.180	157.099
<b>Cloruro de Potasio</b>	434.096	504.326	610.500	641.885	747.839	665.261	764.065	742.709	733.814	647.449
Antofagasta	434.096	504.326	610.500	641.885	747.839	665.261	764.065	742.709	733.814	647.449
<b>Sulfato de Potasio</b>	0	89.400	134.608	148.702	170.418	173.209	157.174	177.325	162.102	170.406
Antofagasta	0	89.400	134.608	148.702	170.418	173.209	157.174	177.325	162.102	170.406
<b>BORATOS</b>										
<b>Ulexita</b>	170.605	280.140	324.691	337.966	327.743	431.293	400.603	594.191	460.683	459.645
Arica y Parinacota	149.826	257.483	298.425	311.549	292.319	407.968	363.071	560.958	432.912	449.160
Antofagasta	20.779	22.657	26.266	26.417	35.424	23.325	37.532	33.233	27.771	10.485
<b>Ácido Bórico</b>	0	8.166	4.164	9.831	9.644	9.000	8.690	8.545	8.774	8.446
Antofagasta	0	8.166	4.164	9.831	9.644	9.000	8.690	8.545	8.774	8.446
<b>SALES DE LITIO</b>										
<b>Carbonato de Litio</b>	24.246	28.313	30.231	35.869	31.320	35.242	41.667	43.971	43.595	50.635
Antofagasta	24.246	28.313	30.231	35.869	31.320	35.242	41.667	43.971	43.595	50.635
<b>Cloruro de Litio</b>	0	807	161	0	0	0	0	494	681	1.166
Antofagasta	0	807	161	0	0	0	0	494	681	1.166
<b>YODO</b>	7.154	9.722	9.317	10.474	11.355	11.648	15.580	14.931	15.346	16.494
Tarapacá	3.582	5.845	4.102	4.450	5.186	7.200	7.373	8.118	9.047	10.493
Antofagasta	3.572	3.877	5.215	6.024	6.169	4.448	8.207	6.813	6.299	6.001
<b>GRUPO II:</b>										
<b>CALIZA</b>	5.618.378	5.998.601	5.617.612	5.395.215	5.170.330	5.540.732	5.706.173	6.206.089	6.526.417	6.799.150
Metropolitana	2.292.847	2.537.594	2.280.773	1.655.908	1.915.178	2.175.440	2.177.070	2.210.803	2.223.896	2.445.788
Antofagasta	606.034	718.755	856.129	883.543	962.614	825.400	949.732	1.249.533	1.432.207	1.390.401
Valparaíso	885.430	838.979	798.385	756.427	702.902	874.513	874.607	854.122	804.785	754.764
Atacama	699.281	656.697	550.772	674.122	447.636	482.913	587.096	648.044	523.692	740.723
Magallanes	726.165	793.225	707.942	723.980	676.626	682.289	714.926	620.429	745.065	720.867
Maule	0	0	0	0	0	0	0	427.527	499.423	680.320
Coquimbo	408.621	453.351	423.611	488.022	247.026	263.706	284.336	285.631	297.259	266.287
O'Higgins	0	0	0	0	213.213	218.340	236.471	118.406	0	0
<b>PUMICITA</b>	490.836	911.913	957.536	829.563	784.911	826.407	1.242.094	1.535.228	1.620.099	1.423.144
Metropolitana	391.702	826.295	876.785	664.217	631.404	622.586	1.018.413	1.317.088	1.385.975	1.201.043
O'Higgins	0	0	0	84.206	69.108	110.276	141.835	141.887	141.228	142.555
Antofagasta	99.134	85.618	80.751	81.140	57.971	86.621	81.846	76.253	92.896	79.546
Maule	0	0	0	0	26.428	6.924	0	0	0	0
<b>YESO</b>	398.354	780.676	886.294	375.847	516.876	609.550	662.259	630.444	660.753	845.331
Metropolitana	391.314	685.892	794.009	277.429	422.924	515.865	614.175	615.241	640.599	839.060
Antofagasta	7.040	10.244	8.285	11.818	2.208	7.290	11.641	13.496	15.204	16.271
Coquimbo	0	84.540	84.000	86.600	92.607	84.075	36.443	1.707	4.950	0
<b>OXIDO DE HIERRO</b>	10.676	10.449	9.992	8.000	0	0	0	0	0	0
Coquimbo	10.676	10.449	9.992	8.000	0	0	0	0	0	0
<b>GRUPO III:</b>										
<b>RECURSOS SILÍCEOS</b>										
<b>Arenas Silíceas</b>	0	0	0	0	49.528	459.097	487.454	631.933	562.451	637.620
Valparaíso	0	0	0	0	49.528	459.097	487.454	631.933	562.451	637.620
Bio Bio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maule	0	0	0	0	0	67.985	97.181	77.571	44.416	36.367
O'Higgins	0	0	0	0	0	1.952	0	0	0	0
<b>Cuarzo</b>	554.527	641.115	576.645	575.957	474.325	403.834	359.605	435.278	588.992	443.732
Maule	7.632	8.852	8.707	41.455	21.957	0	0	0	154.723	213.538
Atacama	83.628	89.530	86.579	83.376	102.818	74.084	92.730	197.466	108.578	116.739
Antofagasta	193.265	201.203	216.852	157.264	118.929	147.862	131.021	72.760	106.851	98.553
Valparaíso	14.965	16.610	301	28.884	11.425	713	1.615	10.517	10.783	8.312
Coquimbo	42.668	41.402	15.004	13.598	6.133	13.405	9.174	9.543	6.453	6.590
O'Higgins	141.638	205.115	187.777	167.556	181.265	136.938	100.000	81.113	138.988	0
Metropolitana	25.944	23.896	14.460	22.096	18.429	26.310	25.065	63.870	62.616	0
Bio Bio	33.557	43.389	35.190	47.155	0	0	0	0	0	0
Araucanía	11.230	11.118	11.775	14.573	13.370	4.524	0	0	0	0
<b>CARBONATO DE CALCIO</b>	0	0	0	0	336.321	323.964	179.430	195.263	214.940	329.851
Coquimbo	0	0	0	0	300.726	287.914	167.978	191.937	207.364	309.748
Atacama	0	0	0	0	35.595	36.050	11.452	3.326	7.576	20.103
<b>Carb. de Calcio Blanco</b>	0	0	0	0	19.809	22.999	19.598	24.866	41.329	16.279
Coquimbo	0	0	0	0	15.005	16.552	14.151	16.571	9.724	8.512
Atacama	0	0	0	0	0	0	0	0	31.428	7.767
Valparaíso	0	0	0	0	4.804	6.447	5.447	8.295	177	0
<b>ARCILLAS</b>										
<b>Arc. Plást., Refr. y Otras</b>	14.537	5.040	58.721	23.387	28.330	35.091	51.622	94.886	89.572	119.440
O'Higgins	0	0	58.721	16.757	24.200	24.161	37.457	39.260	41.251	73.516
Metropolitana	11.442	5.007	0	0	0	0	0	44.636	35.271	34.594
Maule	0	33	0	6.630	4.130	7.730	9.000	10.990	7.850	9.130
Araucanía	0	0	0	0	0	3.200	5.165	0	5.200	2.200
Bio Bio	3.095	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Caolín</b>	14.238	11.530	4.361	6.445	5.300	6.164	9.000	7.133	15.183	44.642
Metropolitana	8.712	6.071	75	86	135	16	0	0	0	28.000
O'Higgins	3.983	4.830	4.106	6.261	4.200	5.377	8.597	5.190	14.805	16.056
Coquimbo	1.335	557	74	0	831	567	294	484	293	586
Valparaíso	0	27	106	98	17	0	109	59	85	0
Bio Bio	0	0	0	0	0	0	0	700	0	0
Araucanía	0	0	0	0	0	0	0	700	0	0
Atacama	0	45	0	0	117	204	0	0	0	0
Maule	208	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Bentonita</b>	717	721	1.104	1.314	1.695	632	748	101	0	0
Arica y Parinacota	717	721	1.104	1.314	1.695	632	748	101	0	0
<b>DIATOMITA</b>	11.825	14.868	14.477	13.384	22.705	30.274	23.594	30.015	27.091	28.900
Arica y Parinacota	11.825	14.868	14.477	13.384	22.705	30.274	23.594	30.015	27.091	28.900
<b>DOLOMITA</b>	11.840	16.473	20.016	12.506	29.940	31.439	17.308	27.436	24.903	24.006
Atacama	11.840	16.473	20.016	12.506	29.940	31.439	17.308	27.436	24.903	24.006
<b>FOSFATOS</b>	12.605	31.405	20.408	18.524	18.977	19.541	21.300	21.465	20.363	13.836
Antofagasta	8.252	10.339	9.349	9.945	9.122	8.209	6.596	7.885	5.841	6.886
Coquimbo	4.353	4.726	2.725	2.529	2.389	2.857	2.793	3.810	4.470	3.550
Atacama	0	16.340	8.334	6.050	7.466	8.475	11.911	9.770	10.052	1.600
<b>ROCAS ORNAMENTALES</b>										
<b>Antofagasta</b>	1.366	1.485	828	812	782	633	957	888	4.841	12.589
Coquimbo	118	58	0	0	0	0	129	43	4.680	12.020
Atacama	1.248	1.427	828	812	782	633	828	845	31	169
<b>FELDESPATO</b>	3.808	1.460	1.346	2.311	2.867	3.069	6.690	4.838	5.820	5.847
Valparaíso	3.808	1.460	1.346	2.311	2.867	3.069	6.690	4.838	5.820	5.847
<b>PIROFILITA</b>	3.276	2.930	1.606	1.845	3.385	2.974	3.534	2.271	3.315	1.257
Coquimbo	864	700	41							

## APÉNDICE B

### Yodo

Los números de oxidación y  $\mu^\circ$ , para los compuestos de yodo que intervienen el proceso se encuentran en la Tabla B1 [32]:

*Tabla B1: Números de oxidación y  $\mu^\circ$  para distintos compuestos de yodo.*

	N° de oxidación (Z)	$\mu^\circ$ (cal)
<b>Substancias Sólidas</b>		
I <sub>2</sub>	0	0
I <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	+4	-
I <sub>2</sub> O <sub>9</sub>	+4.5	-
I <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	+5	-
HIO <sub>3</sub>	-	-
HIO <sub>4</sub>	+7	-
<b>Substancias Disueltas</b>		
I-	-1	-12330
I <sup>3-</sup>	-0.33	-12310
I <sup>5-</sup>	-0.2	-6900
I+	+1	31290
I <sub>2</sub>	0	3926
HIO	-	-23500
IO-	-	-8500
HIO <sub>2</sub>	+3	-
HIO <sub>3</sub>	+5	-33340
IO <sub>3</sub> -	-	-32250
HIO <sub>4</sub>	+7	-15020
IO <sub>4</sub> - anh	-	-
IO <sub>4</sub> - hydr	-	-10520
HIO <sub>5</sub> --	-	-58110
IO <sub>5</sub> ---	-	-43110
I <sub>2</sub> O <sub>9</sub> ----	-	-
<b>Substancias Gaseosas</b>		
HI	-1	310
I <sub>2</sub>	0	4630

- Las reacciones y equilibrios, para dos substancias disueltas son las siguientes [32]:

Z = +1



Z = +5



Z = +7



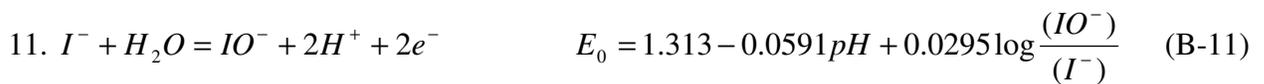
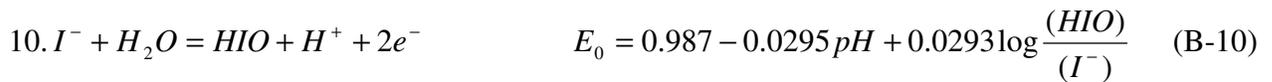
-1 → 0.33



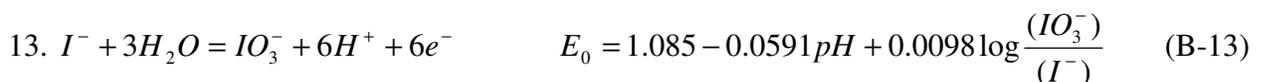
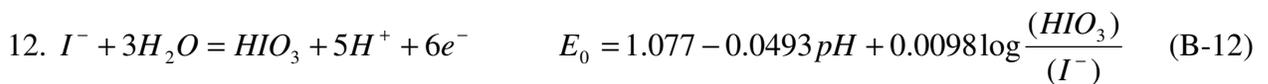
-1 → 0



-1 → +1



-1 → +5



-1 → +7

$$14. I^- + 4H_2O = HIO_4 + 7H^+ + 8e^- \quad E_0 = 1.215 - 0.0517 pH + 0.0074 \log \frac{(HIO_4)}{(I^-)} \quad (B-14)$$

$$15. I^- + 4H_2O = IO_4^- + 8H^+ + 8e^- \quad E_0 = 1.227 - 0.0591 pH + 0.0074 \log \frac{(IO_4^-)}{(I^-)} \quad (B-15)$$

$$16. I^- + 5H_2O = HIO_5^{--} + 9H^+ + 8e^- \quad E_0 = 1.288 - 0.0663 pH + 0.0074 \log \frac{(HIO_5^{--})}{(I^-)} \quad (B-16)$$

$$17. I^- + 5H_2O = IO_3^{---} + 10H^+ + 8e^- \quad E_0 = 1.370 - 0.0739 pH + 0.0074 \log \frac{(IO_3^{---})}{(I^-)} \quad (B-17)$$

-0.33 → 0

$$18. 2I_3^- = 3I_2 + 2e^- \quad E_0 = 0.789 + 0.0295 \log \frac{(I_2)^3}{(I_3^-)^2} \quad (B-18)$$

-0.33 → +1

$$19. I_3^- = 3I^- + 4e^- \quad E_0 = 1.151 + 0.0148 \log \frac{(I^-)^3}{(I_3^-)} \quad (B-19)$$

$$20. I_3^- + 3H_2O = 3HIO + 3H^+ + 4e^- \quad E_0 = 1.213 - 0.0443 pH + 0.0148 \log \frac{(HIO)^3}{(I_3^-)} \quad (B-20)$$

$$21. I_3^- + 3H_2O = 3IO^- + 6H^+ + 4e^- \quad E_0 = 1.701 - 0.0886 pH + 0.0148 \log \frac{(IO^-)^3}{(I_3^-)} \quad (B-21)$$

-0.33 → +5

$$22. I_3^- + 9H_2O = 3HIO_3 + 15H^+ + 16e^- \quad E_0 = 1.145 - 0.0554 pH + 0.0037 \log \frac{(HIO_3)^3}{(I_3^-)} \quad (B-22)$$

$$23. I_3^- + 9H_2O = 3IO_3^- + 18H^+ + 16e^- \quad E_0 = 1.154 - 0.0665 pH + 0.0037 \log \frac{(IO_3^-)^3}{(I_3^-)} \quad (B-23)$$

-0.33 → +7

$$24. I_3^- + 12H_2O = 3HIO_4 + 21H^+ + 22e^- \quad E_0 = 1.276 - 0.0564 pH + 0.0027 \log \frac{(HIO_4)^3}{(I_3^-)} \quad (B-24)$$

$$25. I_3^- + 12H_2O = 3IO_4^- + 24H^+ + 22e^- \quad E_0 = 1.290 - 0.0645 pH + 0.0027 \log \frac{(IO_4^-)^3}{(I_3^-)} \quad (B-25)$$

$$26. I_3^- + 15H_2O = 3HIO_5^{--} + 27H^+ + 22e^- \quad E_0 = 1.357 - 0.0725pH + 0.0027 \log \frac{(HIO_5^{--})^3}{(I_3^-)} \quad (B-26)$$

$$27. I_3^- + 15H_2O = 3IO_5^{---} + 30H^+ + 22e^- \quad E_0 = 1.445 - 0.0806pH + 0.0027 \log \frac{(IO_5^{---})^3}{(I_3^-)} \quad (B-27)$$

0 → +1

$$28. I_2 = 2I^+ + 2e^- \quad E_0 = 1.272 + 0.0295 \log \frac{(I^+)^2}{(I_2)} \quad (B-28)$$

$$29. I_2 + 2H_2O = 2HIO + 2H^+ + 2e^- \quad E_0 = 1.354 - 0.0591pH + 0.0295 \log \frac{(HIO)^2}{(I_2)} \quad (B-29)$$

$$30. I_2 + 2H_2O = 2IO^- + 4H^+ + 2e^- \quad E_0 = 2.005 - 0.1182pH + 0.0295 \log \frac{(IO^-)^2}{(I_2)} \quad (B-30)$$

0 → +5

$$31. I_2 + 6H_2O = 2HIO_3 + 10H^+ + 10e^- \quad E_0 = 1.169 - 0.0591pH + 0.0059 \log \frac{(HIO_3)^2}{(I_2)} \quad (B-31)$$

$$32. I_2 + 6H_2O = 2IO_3^- + 12H^+ + 10e^- \quad E_0 = 1.178 - 0.0709pH + 0.0059 \log \frac{(IO_3^-)^2}{(I_2)} \quad (B-32)$$

0 → +7

$$33. I_2 + 8H_2O = 2HIO_4 + 14H^+ + 14e^- \quad E_0 = 1.300 - 0.0591pH + 0.0042 \log \frac{(HIO_4)^2}{(I_2)} \quad (B-33)$$

$$34. I_2 + 8H_2O = 2IO_4^- + 16H^+ + 14e^- \quad E_0 = 1.314 - 0.0676pH + 0.0042 \log \frac{(IO_4^-)^2}{(I_2)} \quad (B-34)$$

$$35. I_2 + 10H_2O = 2HIO_5^{--} + 18H^+ + 14e^- \quad E_0 = 1.384 - 0.0760pH + 0.0042 \log \frac{(HIO_5^{--})^2}{(I_2)} \quad (B-35)$$

$$36. I_2 + 10H_2O = 2IO_5^{-3} + 20H^+ + 14e^- \quad E_0 = 1.477 - 0.0844pH + 0.0042 \log \frac{(IO_5^{-3})^2}{(I_2)} \quad (B-36)$$

+1 → +5

$$37. I^+ + 3H_2O = HIO_3 + 5H^+ + 4e^- \quad E_0 = 1.143 - 0.0739pH + 0.0148 \log \frac{(HIO_3)}{(I^+)} \quad (B-37)$$

$$38. I^+ + 3H_2O = IO_3^- + 6H^+ + 4e^- \quad E_0 = 1.155 - 0.0886pH + 0.0148 \log \frac{(IO_3^-)}{(I^+)} \quad (B-38)$$

$$39. HIO + 2H_2O = IO_3^- + 5H^+ + 4e^- \quad E_0 = 1.134 - 0.0739pH + 0.0148 \log \frac{(IO_3^-)}{(HIO)} \quad (B-39)$$

$$40. IO^- + 2H_2O = IO_3^- + 4H^+ + 4e^- \quad E_0 = 0.972 - 0.0591pH + 0.0148 \log \frac{(IO_3^-)}{(IO^-)} \quad (B-40)$$

+1 → +7

$$41. I^+ + 4H_2O = HIO_4 + 7H^+ + 6e^- \quad E_0 = 1.304 - 0.0689pH + 0.0098 \log \frac{(HIO_4)}{(I^+)} \quad (B-41)$$

$$42. HIO + 3H_2O = HIO_4 + 6H^+ + 6e^- \quad E_0 = 1.290 - 0.0591pH + 0.0098 \log \frac{(HIO_4)}{(HIO)} \quad (B-42)$$

$$43. HIO + 3H_2O = IO_4^- + 7H^+ + 6e^- \quad E_0 = 1.235 - 0.0689pH + 0.0098 \log \frac{(IO_4^-)}{(HIO)} \quad (B-43)$$

$$44. HIO + 4H_2O = HIO_5^{-2} + 8H^+ + 6e^- \quad E_0 = 1.389 - 0.0788pH + 0.0098 \log \frac{(HIO_5^{-2})}{(HIO)} \quad (B-44)$$

$$45. IO^- + 4H_2O = IO_5^{-3} + 8H^+ + 6e^- \quad E_0 = 1.389 - 0.0788pH + 0.0098 \log \frac{(IO_5^{-3})}{(IO^-)} \quad (B-45)$$

+5 → +7

$$46. HIO_3 + H_2O = HIO_4 + 2H^+ + 2e^- \quad E_0 = 1.626 - 0.0591pH + 0.0295 \log \frac{(HIO_4)}{(HIO_3)} \quad (B-46)$$

$$47. IO_3^- + H_2O = HIO_4 + H^+ + 2e^- \quad E_0 = 1.603 - 0.0293pH + 0.0295 \log \frac{(HIO_4)}{(IO_3^-)} \quad (B-47)$$

$$48. IO_3^- + H_2O = IO_4^- + 2H^+ + 2e^- \quad E_0 = 1.653 - 0.0591pH + 0.0295 \log \frac{(IO_4^-)}{(IO_3^-)} \quad (B-48)$$

$$49. IO_3^- + 2H_2O = HIO_5^{-2} + 3H^+ + 2e^- \quad E_0 = 1.898 - 0.0886pH + 0.0295 \log \frac{(HIO_5^{-2})}{(IO_3^-)} \quad (B-49)$$

$$50. IO_3^- + 2H_2O = IO_5^{-3} + 4H^+ + 2e^- \quad E_0 = 2.223 - 0.1182pH + 0.0295 \log \frac{(IO_5^{-3})}{(IO_3^-)} \quad (B-50)$$

Límites de los dominios del predominio relativo de las sustancias disueltas [33]:

- 1'.  $I^+ / HIO$   $pH = 1.39$  (B-51)
- 2'.  $HIO / IO^-$   $pH = 11.00$  (B-52)
- 3'.  $HIO_3 / IO_3^-$   $pH = 0.80$  (B-53)
- 4'.  $HIO_4 / IO_4^-$   $pH = 1.70$  (B-54)
- 5'.  $IO_4^- / HIO_5^{-2}$   $pH = 8.30$  (B-55)
- 6'.  $HIO_5^{-2} / IO_5^{-3}$   $pH = 11.00$  (B-56)
- 7'.  $I^- / I_3^-$   $E_0 = 0.532 - 0.0591 \log C$  (B-57)
- 8'.  $I^- / I_2$   $E_0 = 0.621 - 0.0295 \log C$  (B-58)
- 9'.  $I^- / I^+$   $E_0 = 0.946$  (B-59)
- 10'.  $I^- / HIO$   $E_0 = 0.987 - 0.0295 pH$  (B-60)
- 11'.  $I^- / IO^-$   $E_0 = 1.313 - 0.0591 pH$  (B-61)
- 12'.  $I^- / HIO_3$   $E_0 = 1.077 - 0.0493 pH$  (B-62)
- 13'.  $I^- / IO_3^-$   $E_0 = 1.085 - 0.0591 pH$  (B-63)
- 14'.  $I^- / HIO_4$   $E_0 = 1.215 - 0.0517 pH$  (B-64)
- 15'.  $I^- / IO_4^-$   $E_0 = 1.227 - 0.0591 pH$  (B-65)
- 16'.  $I^- / HIO_5^{-2}$   $E_0 = 1.288 - 0.0665 pH$  (B-66)
- 17'.  $I^- / IO_5^{-3}$   $E_0 = 1.370 - 0.0739 pH$  (B-67)
- 18'.  $I_3^- / I_2$   $E_0 = 0.782 + 0.0295 \log C$  (B-68)
- 19'.  $I_3^- / I^+$   $E_0 = 1.149 + 0.0295 \log C$  (B-69)
- 20'.  $I_3^- / HIO$   $E_0 = 1.211 - 0.0443 pH + 0.0295 \log C$  (B-70)
- 21'.  $I_3^- / IO^-$   $E_0 = 1.699 - 0.0886 pH + 0.0295 \log C$  (B-71)
- 22'.  $I_3^- / HIO_3$   $E_0 = 1.145 - 0.0554 pH + 0.0074 \log C$  (B-72)
- 23'.  $I_3^- / IO_3^-$   $E_0 = 1.154 - 0.0665 pH + 0.0074 \log C$  (B-73)
- 24'.  $I_3^- / HIO_4$   $E_0 = 1.276 - 0.0564 pH + 0.0054 \log C$  (B-74)
- 25'.  $I_3^- / IO_4^-$   $E_0 = 1.290 - 0.0645 pH + 0.0054 \log C$  (B-75)

26'. $I_3^- / HIO_5^{-2}$	$E_0 = 1.357 - 0.0725pH + 0.0054 \log C$	(B-76)
27'. $I_3^- / IO_5^{-3}$	$E_0 = 1.445 - 0.0806pH + 0.0054 \log C$	(B-77)
28'. $I_2 / I^+$	$E_0 = 1.272 + 0.0295 \log C$	(B-78)
29'. $I_2 / HIO$	$E_0 = 1.354 - 0.0591pH + 0.0295 \log C$	(B-79)
30'. $I_2 / IO^-$	$E_0 = 2.005 - 0.1182pH + 0.0295 \log C$	(B-80)
31'. $I_2 / HIO_3$	$E_0 = 1.169 - 0.0591pH + 0.0050 \log C$	(B-81)
32'. $I_2 / IO_3^-$	$E_0 = 1.178 - 0.0709pH + 0.0059 \log C$	(B-82)
33'. $I_2 / HIO_4$	$E_0 = 1.300 - 0.0591pH + 0.0042 \log C$	(B-83)
34'. $I_2 / IO_4^-$	$E_0 = 1.314 - 0.0676pH + 0.0042 \log C$	(B-84)
35'. $I_2 / HIO_5^{-2}$	$E_0 = 1.384 - 0.0760pH + 0.0042 \log C$	(B-85)
36'. $I_2 / IO_5^{-3}$	$E_0 = 1.477 - 0.0844pH + 0.0042 \log C$	(B-86)
37'. $I^+ / HIO_3$	$E_0 = 1.143 - 0.0739pH$	(B-87)
38'. $I^+ / IO_3^-$	$E_0 = 1.155 - 0.0886pH$	(B-88)
39'. $HIO / IO_3^-$	$E_0 = 1.134 - 0.0739pH$	(B-89)
40'. $IO^- / IO_3^-$	$E_0 = 0.972 - 0.0591pH$	(B-90)
41'. $I^+ / HIO_4$	$E_0 = 1.304 - 0.0689pH$	(B-91)
42'. $HIO / HIO_4$	$E_0 = 1.290 - 0.0591pH$	(B-92)
43'. $HIO / IO_4^-$	$E_0 = 1.235 - 0.0689pH$	(B-93)
44'. $HIO / HIO_5^{-2}$	$E_0 = 1.389 - 0.0788pH$	(B-94)
45'. $IO^- / IO_5^{-3}$	$E_0 = 1.389 - 0.0788pH$	(B-95)
46'. $HIO_3 / HIO_4$	$E_0 = 1.626 - 0.0591pH$	(B-96)
47'. $IO_3^- / HIO_4$	$E_0 = 1.603 - 0.0295pH$	(B-97)
48'. $IO_3^- / IO_4^-$	$E_0 = 1.653 - 0.0591pH$	(B-98)
49'. $IO_3^- / HIO_5^{-2}$	$E_0 = 1.898 - 0.0886pH$	(B-99)
50'. $IO_3^- / IO_5^{-3}$	$E_0 = 2.223 - 0.1182pH$	(B-100)
3''. $HIO_3 / IO_3^-$ and $I_2$	$pH = 0.8$	(B-101)

$$18''. I_3^- / I_2 \text{ and } I_2 \quad E_0 = 0.714 \quad (\text{B-102})$$

$$23''. I_3^- / IO_3^- \text{ and } I_2 \quad E_0 = 1.090 - 0.0591pH \quad (\text{B-103})$$

$$28''. I_2 / I^+ \text{ and } I_2 \quad E_0 = 1.205 \quad (\text{B-104})$$

$$31''. I_2 / HIO_3 \text{ and } I_2 \quad E_0 = 1.154 - 0.0591pH \quad (\text{B-105})$$

$$32''. I_2 / IO_3^- \text{ and } I_2 \quad E_0 = 1.165 - 0.0709pH \quad (\text{B-106})$$

$$37''. I^+ / HIO_3 \text{ and } I_2 \quad E_0 = 1.143 - 0.0739pH \quad (\text{B-107})$$

- Una sustancia sólida y una sustancia disuelta [34].

Solubilidad del yodo sólido.

a. Solubilidad en gram-iones o gram-moléculas por litro.

$Z = 0$

$$51. I_2 = I_2 \quad \log(I_2) = -2.87 \quad (\text{B-108})$$

$-1 \rightarrow 0$

$$52. 2I^- = I_2 + 2e^- \quad E_0 = 0.5355 - 0.0591\log(I^-) \quad (\text{B-109})$$

$-0.33 \rightarrow 0$

$$53. 2I_3^- = 3I_2 + 2e^- \quad E_0 = 0.534 - 0.0591\log(I_3^-) \quad (\text{B-110})$$

$0 \rightarrow +1$

$$54. I_2 = 2I^+ + 2e^- \quad E_0 = 1.357 + 0.0591\log(I^+) \quad (\text{B-111})$$

$$55. I_2 + 2H_2O = 2HIO + 2H^+ + 2e^- \quad E_0 = 1.439 - 0.0591pH + 0.0591\log(HIO) \quad (\text{B-112})$$

$$56. I_2 + 2H_2O = 2IO^- + 4H^+ + 2e^- \quad E_0 = 2.090 - 0.1182pH + 0.0591\log(IO^-) \quad (\text{B-113})$$

$0 \rightarrow +5$

$$57. I_2 + 6H_2O = 2HIO_3 + 10H^+ + 10e^- \quad E_0 = 1.186 - 0.0591pH + 0.0118\log(HIO_3) \quad (\text{B-114})$$

$$58. I_2 + 6H_2O = 2IO_3^- + 12H^+ + 10e^- \quad E_0 = 1.195 - 0.0709pH + 0.0118\log(IO_3^-) \quad (\text{B-115})$$

b. Solubilidad en gram-átomos de yodo por litro.

$$51'. I_2 / I_2 \quad \log C = -2.57 \quad (\text{B-116})$$

$$52'. I^- / I_2 \quad E_0 = 0.5355 - 0.0591 \log C \quad (\text{B-117})$$

$$53'. I_3^- / I_2 \quad E_0 = 0.562 - 0.0591 \log C \quad (\text{B-118})$$

$$54'. I_2 / I^+ \quad E_0 = 1.357 + 0.0591 \log C \quad (\text{B-119})$$

$$55'. I_2 / HIO \quad E_0 = 1.439 - 0.0591 pH + 0.0591 \log C \quad (\text{B-120})$$

$$56'. I_2 / IO^- \quad E_0 = 2.090 - 0.1182 pH + 0.0591 \log C \quad (\text{B-121})$$

$$57'. I_2 / HIO_3 \quad E_0 = 1.186 - 0.0591 pH + 0.0118 \log C \quad (\text{B-122})$$

$$58'. I_2 / IO_3^- \quad E_0 = 1.195 - 0.0709 pH + 0.0118 \log C \quad (\text{B-123})$$

- Dos sustancias gaseosas [34].

Estabilidad relativa del yodo gaseoso y yoduro de hidrógeno.

$$-1 \rightarrow 0$$

$$59. 2HI = I_2 + 2H^+ + 2e^- \quad E_0 = 0.087 - 0.0591 pH + 0.0295 \log \frac{P_{I_2}}{P_{HI}^2} \quad (\text{B-124})$$

Límites de los dominios del predominio relativo del yodo gaseoso y yoduro de hidrógeno.

$$59'. HI / I_2 \quad E_0 = 0.097 - 0.0591 pH - 0.0293 \log P \quad (\text{B-125})$$

- Una sustancia gaseosa y una sustancia disuelta [36].

Solubilidad del yoduro de hidrógeno y yodo gaseoso.

a. Solubilidad en gram-iones por litro

$$Z = -1$$

$$60. HI = I^- + H^+ \quad \log \frac{(I^-)}{P_{HI}} = 9.29 + pH \quad (\text{B-126})$$

Z = 0

$$61. I_2 = I_2 \quad \log \frac{P_{I_2}}{(I_2)} = -0.52 \quad (\text{B-127})$$

-1 → 0

$$62. 2I^- = I_2 + 2e^- \quad E_0 = 0.636 + 0.0295 \log \frac{P_{I_2}}{(I^-)^2} \quad (\text{B-128})$$

0 → +1

$$63. I_2 = 2I^+ + 2e^- \quad E_0 = 1.256 + 0.0295 \log \frac{(I^+)^2}{P_{I_2}} \quad (\text{B-129})$$

0 → +5

$$64. I_2 + 6H_2O = 2HIO_3 + 10H^+ + 10e^- \quad E_0 = 1.166 - 0.0591 pH + 0.0059 \log \frac{(HIO_3)^2}{P_{I_2}} \quad (\text{B-130})$$

$$65. I_2 + 6H_2O = 2IO_3^- + 12H^+ + 10e^- \quad E_0 = 1.175 - 0.0709 pH + 0.0059 \log \frac{(IO_3^-)^2}{P_{I_2}} \quad (\text{B-131})$$

b. Solubilidad en gram-átomos de yodo por litro

$$60'. HI / I^- \quad pH = -9.29 + \log C - \log P \quad (\text{B-132})$$

$$61'. I_2 / I_2 \quad \log C = 0.82 + \log P \quad (\text{B-133})$$

$$62'. I^- / I_2 \quad E_0 = 0.636 - 0.0591 \log C + 0.0295 \log P \quad (\text{B-134})$$

$$63'. I_2 / I^+ \quad E_0 = 1.256 + 0.0591 \log C - 0.0295 \log P \quad (\text{B-135})$$

$$64'. I_2 / HIO_3 \quad E_0 = 1.166 - 0.0591 pH + 0.0118 \log C - 0.0059 \log P \quad (\text{B-136})$$

$$65'. I_2 / IO_3^- \quad E_0 = 1.175 - 0.0709 pH + 0.0118 \log C - 0.0059 \log P \quad (\text{B-137})$$

- Diagramas de equilibrio

Usando las ecuaciones presentadas anteriormente, se construyeron las Figuras B1 y B2 [35], que corresponde a diagramas de potencial – pH representando equilibrio termodinámico estable para sistemas yodo – agua a 25°C, para 4 diferentes concentraciones de yodo;  $10^{-6}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-2}$  y 1 g-at I/l, o, 0.127, 12.69, 1269, 126920 mgI/l.

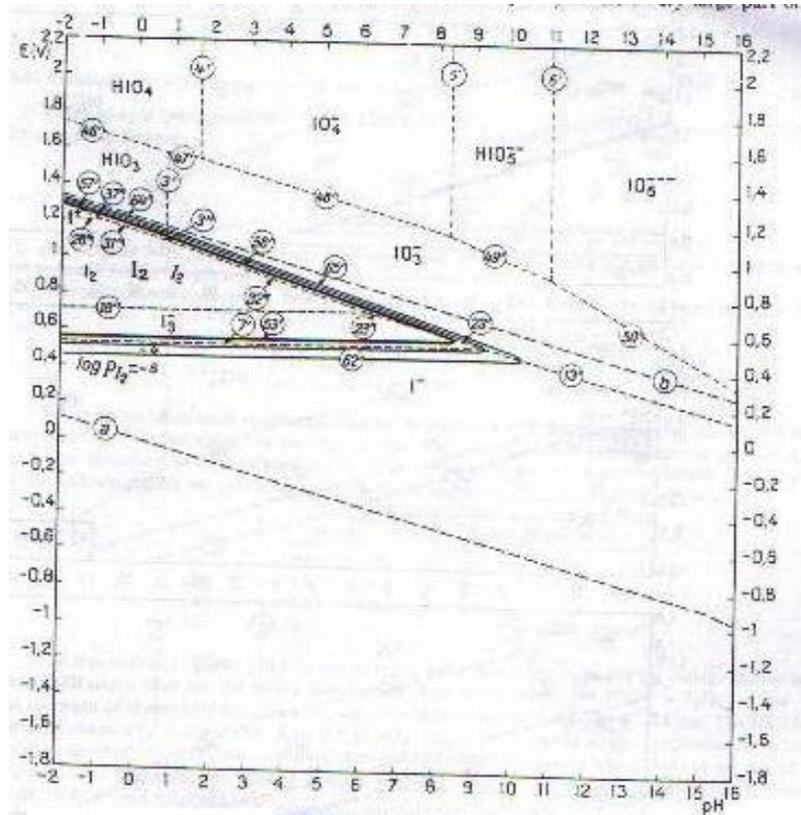


Figura B1: Potencial-pH, diagrama de equilibrio sistema yodo-agua a 25°C para 1g-at I/l

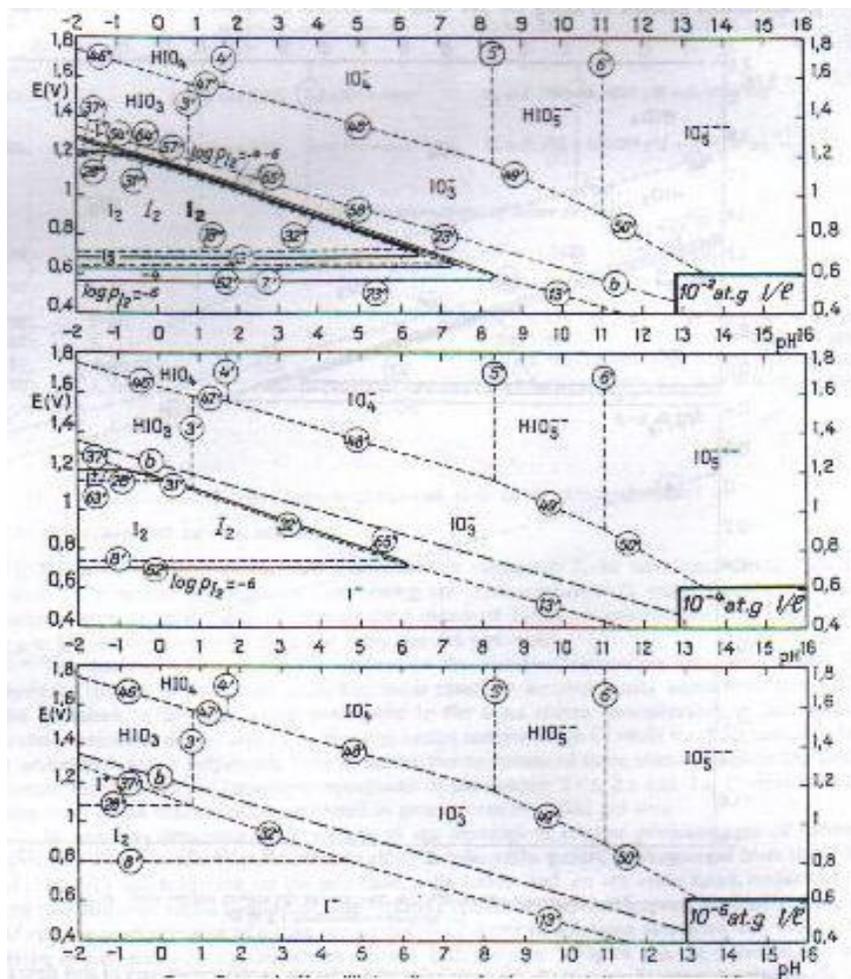


Figura B2: Potencial-pH, diagrama de equilibrio sistema yodo-agua a 25°C para,  $10^6$ ,  $10^4$ ,  $10^2$  g-at I/l

La Figura B3 [36], muestra las zonas de estabilidad del yodo para pH = 0.

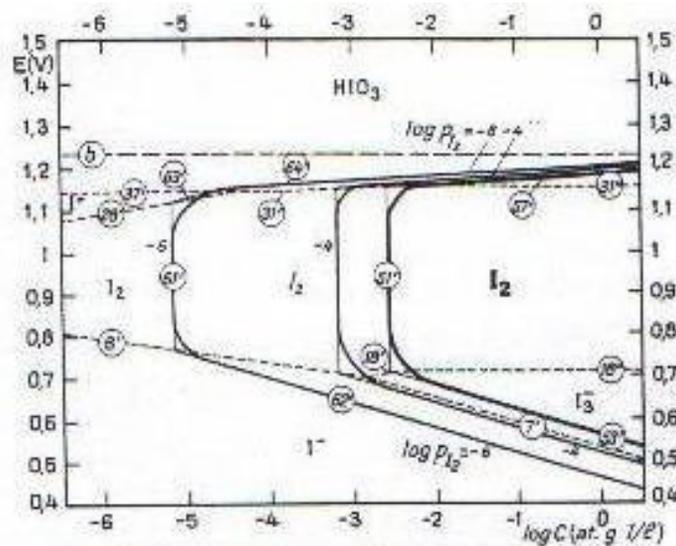


Figura B3: Potencial/Concentración para sistema yodo-agua a 25°C (pH=0)

La Figura B4 [36], muestra la influencia del pH en la solubilidad del HI

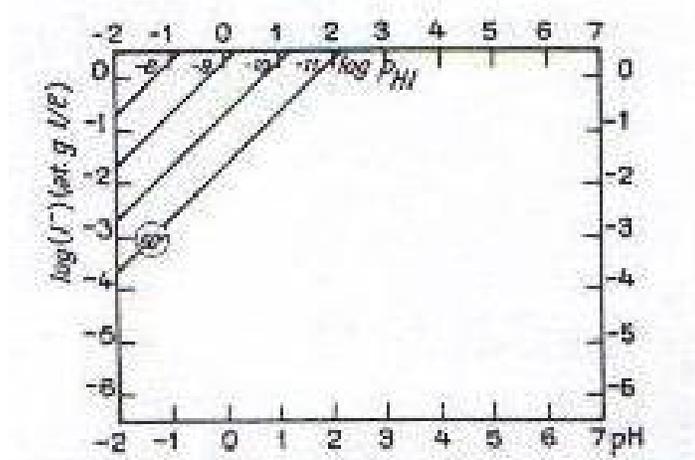


Figura B4: Influencia del pH en la solubilidad del HI para varias presiones parciales

Las Tablas B2, B3, B4, B5 y B6, corresponden a tablas resumen de la solubilidad del yodo en distintos componentes [37]:

Tabla B2: Solubilidad del Yodo en distintos componentes.

Cl B = I (159,160)			Br B = I (161)			I B = S (28,51,120,157)		
°C ± 1	B	M % A	°C	M % B ± 1.0		°C ± 1	A	M % B
114.5	B	0	-7.3	A	0	114	A	0
99.5		10		Mix1		111.2		10
77		20	-6.1		10	5	108	20
45		30	-2.8		18	10	104.7	30
4m		41	+2.5		(24)	15	101.5	40
	B + BA(α)		13.8		(33)	25	96	50
8E		40	31.0		43	40	89.4	60
	B+BA(β)			AB			79.5	70
1mE		42	41.0	Mix2	50.0		A+B*	
	BA(α)					65.7E	B*	80.5
18.5		45	46.0		58	55		
27.5		50	52		(66)	60	71.5	85
	BA(β)		83.7		85	80	81.5	90
6m		45	99.0		93	90	96	95
14m		50		B			119	100
	BA(α) + BA <sub>3</sub>		110.6	Mix.	100		*Monocíclico	
22E		54.4					B = Se(17,137)	
	BA(β) + BA <sub>3</sub>		19		32.5		°C ± 2	M % B
12mE		52.5	36		47.1		A	
	BA <sub>3</sub>		40.4		50			0
20.5m		54	49		60.4		100	10
55		60	100		92.9		89	20
83		65					80	30
95		70					70	40
101		75					A+B	
96		90						50
+30		99.9					B	
	BA <sub>3</sub> + A							60
-102E		(?)						70
	A							80
-101.5		100						90
								90
								100

Tabla B3: Solubilidad del Yodo en distintos componentes.

<b>I</b> <b>B = Te(46)</b>		
°C ± 1	M % B	
	A	
114.2	0	
	A+A <sub>4</sub> B	
113.5E	0.5	
	A <sub>4</sub> B	
280	20	
235	30	
188	37.5	
	A <sub>4</sub> B+Mix.	
176.3E	45	41
	Mix.	
177.5	45.5	42
182	47	45
	Mix.+B	
183.5U	47.5	45.3
	B	
191	50	
203	54	
235	57.5	
256	60	
279	65	
298	70	
355	77.5	
453	100	
<b>B = As(48,142,143)</b>		
°C*	M % B	
	A	
113.5	0	
103.5	5	
88.5	10	
	A+A <sub>3</sub> B	
72.0E	14	
	A <sub>3</sub> B	
106	20	
121	22.5	
140.5	25	
129	27.5	
	A <sub>3</sub> B+A <sub>4</sub> B <sub>2</sub>	
121.5E	28.5	
	A <sub>4</sub> B <sub>2</sub>	
131	30	
135	30.1	
135	70	
128	78	
	A <sub>4</sub> B <sub>2</sub> +B	
119E	81	
	B	
(500)	100	

\*±1 (0-14 M % B); ±4 (14-81 M % B).

<b>I</b> <b>B = Sb(48,142)</b>		
°C*	M % B	
	A	
114	0	
103	5	
88	10	
	A+BA <sub>3</sub>	
80.0E	11.7	
	BA <sub>3</sub>	
96	15	
132	20	
171	25	
169	25-30	
169	71.6	
168.2	80	
167.5	90	
	BA <sub>3</sub> +B	
(?)E	(?)	
	B	
632	100	

\*±0.5 (0-12 M%B); ±2 (12-25 M%B); ±1 (25-90 M%B).

<b>B = Bi(98,110)</b>		
°C±5	M % B	
	A	
113.5	0	
	A+A <sub>3</sub> B	
113E	6	
	A <sub>3</sub> B	
300	7	
400	20	
410	25	
385	30	
340	39	
340	96.5	
	A <sub>3</sub> B+AB	
281U	98	
	AB+B	
270E	99	
	B	
272	100	

<b>I</b> <b>B = Sn(98,145,146,169)</b>		
°C±1	M % B	
	A	
113.2	0	
103	5	
87.5	10	
	A+BA <sub>4</sub>	
79.0E	12	
	BA <sub>4</sub>	
89.8	12	
108.5	16	
127	18	
	BA <sub>4</sub> +BA <sub>2</sub>	
143U	20	
<b>B = In(162)</b>		
°C±2	M % A	
	BA	
350	50	
340	55	
304	60	
224	65	
	BA+BA <sub>2</sub>	
204E	65.8	
	BA <sub>2</sub>	
207	66	
211	66.4	
212	66.7	
196	68	
174	69	
	BA <sub>2</sub> +BA <sub>3</sub>	
142E	70	
	BA <sub>3</sub>	
162	72	
190	74	
200	75	

Tabla B4: Solubilidad del Yodo en distintos componentes.

<b>I<sub>2</sub></b>		
<b>B = H<sub>2</sub>O(56,77,79,92,93,118,155.5,156)</b>		
°C	10 <sup>5</sup> M % A	
	±2	
	A	
0		116
15		180
18		196
20		207
25		241
35		331
45		459
55		655
<b>B = HgI<sub>2</sub>(121)</b>		
°C	M % B	
	A	
112		0
103.6		10
	A+B	
100.8E		13.2
	B	
112.5		20
134.5		32.5
<b>B = CaI<sub>2</sub>(121)</b>		
°C	M % B	
	A	
112		0
99		7.9
82.6		15
72.7		20
	A+(?)	
71.0E		21
	(?)	
73.4		23
74.7		25
74.8		27.3
74.8		30.8
74.5		43.4
77.2		54.9
<b>B = C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>Cl<sub>4</sub>(80)</b>		
1,1,2,2-Tetracloruro de etano		
°C	s*	
25		0.244

<b>I<sub>2</sub></b>		
<b>B = KI(1,104,127)</b>		
°C±1*	M % B	
	A	
112		0
108.5		5
102		10
92.5		15
81.5		20
	A+A <sub>3</sub> B <sub>2</sub> (?)	
77.5E		22
	A <sub>3</sub> B <sub>2</sub> (?)	
79		30
80		40
79		45
	A <sub>3</sub> B <sub>2</sub> (?)+B(?)	
75E		50
*From 0-20 M % B		
<b>B = CCl<sub>4</sub>(83,85)</b>		
°C	M % A	
	A	
		±0.02
0		0.418
10		0.631
20		0.92
25*		1.1
40		1.69
50		2.68
*At 25°, 0.237 g-mol de A en 1 l de soluc (A+B)(80)		
<b>B = CHBr<sub>3</sub>(166)</b>		
°C	M % A	
	A	
25		6.6
<b>B = C<sub>2</sub>Cl<sub>4</sub>(80)</b>		
Tetracloro de etileno		
°C	s*	
25		0.241
<b>B = C<sub>2</sub>HCl<sub>5</sub>(80)</b>		
Pentacloruro de etano		
25		0.272
<b>B = C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>(80)</b>		
Dicloruro de acetileno		
25		0.312
s* = solubilidad de A en g-mol por 1 de soluc (A+B)		

<b>I<sub>2</sub></b>		
<b>B = CS<sub>2</sub>(7,85,88)</b>		
°C	M % A	
	±0.5	
	A	
-110		0.046
-100		0.049
-90		0.060
-80		0.085
-70		0.140
-60		0.220
-50		0.335
-40		0.495
-30		0.740
-20		1.12
-10		1.68
0		2.4
10		3.40
20		4.90
30		6.68
40		9.20
50		12.7
At 18°, 177 g A por 1 soluc		
<b>B = CHCl<sub>3</sub>(8,49,74,88,109)</b>		
°C	M % A	
	±0.02	
	A	
-75		0.037
-70		0.041 (88)
-60		0.058 0.040
-50		0.085 0.070
-40		0.122 0.107
-30		0.175 0.167
-25		0.210
-20		0.251
-15		0.305
-10		0.39
-5		0.48 (85)
0		0.58 0.93
10		0.84 1.40
20		1.21 1.95
30		1.775 2.70
40		3.80
50		5.30
At 25°C, 0.352 g-mol de A en 1 l de soluc (A+B) (80)		

Tabla B5: Solubilidad del Yodo en distintos componentes.

<b>I<sub>2</sub></b> <b>B = CHI<sub>3</sub>(124)</b>		
°C ± 0.5	M % A	
Mix.(?)		
119.7	0	
114.3	10	
108.7	20	
102.8	30	
96.8	40	
90.7	50	
84.7	60	
Mix.(?)+Mix.(?)		
82.5E	63	
84.3	65	
88.8	70	
93	75	
97.5	80	
101.7	85	
105.7	90	
109.3	95	
113	100	
Mix1+Mix2(168)		
66.1E	24.9	53.2
	73.3	53.2
<b>B = C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O(88)</b>		
Acetona		
°C	M % A ± 0.02	
B(?)*		
-84	0.62	
-80	1.05	
-70	2.02	
-60	2.90	
(?)+(?)		
-54.75U	3.33	
°C	M % A ± 0.08	
A(?)*		
-52.5	2.85	
-50	2.50	
-45	2.05	
-40	1.73	
-35	1.49	
-30	1.28	
-25	1.11	
-20	0.96	
-15	0.84	
-10	0.72	
-5	0.63	
0	0.54	
<b>B = C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>Br<sub>2</sub>(124)</b>		
p-Dicromobenceno		
°C±0.5	M % A	
B*		
88.5	0	
86.3	5	
84.4	10	
82.7	15	
79.5	20	
77	25	
B*+A*		
76.0E	26.2	
A*		
78.2	30	
84.5	40	
88.5	45	
92.5	50	
97.5	60	
100.7	70	
103.5	80	
106	90	
113	100	

\*Mezcla cristalina (?)

<b>I<sub>2</sub></b> <b>B = C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>O(8,88,109)</b>		
°C	M % A ± 0.08	
Etil eter		
A		
-108	4.22	
-100	4.26	
-90	4.30	
-80	4.35	
-70	4.43	
-60	4.54	
-50	4.70	
-40	4.92	
-30	5.23	
-25	5.43	
-20	5.66	
-15	5.96	
-10	6.31	
-5	6.68	
0	7.07	
25	9.29	
<b>B = C<sub>4</sub>H<sub>12</sub>IN(121)</b>		
Yoduro de tetrametilamina		
°C±0.2	M % B	
A		
112	0	
105	5	
98	10	
A+A4B(?)		
91E	14.75	
A4B(?)		
92	15	
98	16	
103.5	17	
106	18	
106.5	19	
106.4	20	
105	21	
102.5	22	
A4B(?) + A3B(?)		
98.5E	22.75	
A3B(?)		
98.5	23	
98.4	24	
98.3	25	
98.2	26	
A3B(?) + A2B		
98.2E	26.5	
A2B		
105	27	
114.5	28	
122	29	
124.5	30	
125.5	31	
126	32	
126	33	
124.2	35	
119.5	37	
111	40	
A2B+AB		
99.0E	42.5	
AB		
110.5	45	
117	47.5	
118.5	50	
117.5	52	
(?)		
117.6	55	

<b>I<sub>2</sub></b> <b>B = C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>(124)</b>		
°C ± 0.5	M % A	
p-Dinitrobenceno		
B*		
90.5	0	
85	15	
B*+A*		
83.5E	19	
A*		
87	20	
93.5	22.5	
98.5	25	
103	27.5	
107.5	30	
109.2	31	
109.2	>94	
113.5	100	
*Mezcla cristalina(?)		
<b>B = C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>(5,8,85)</b>		
Benceno		
°C	M % A ± 0.1	
B*		
5.4	0	
5.2	0.4	
B*+A*		
4.6E	2.55	
A*		
10	3.07	
15	3.6	
20	4.2	
25	4.82	
30	5.5	
35	6.8	
40	7.18	
45	8.2	
50	9.5	
51.6	10	
*Puede ser mezcla cristalina		
<b>B = C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>(83,85)</b>		
Hexano		
°C	M % A	
A		
25	4.5±0.02	
<b>B = C<sub>7</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub>(124)</b>		
Ácido benzoico		
°C±0.5	M % A	
B*		
122.8	0	
111.8	20	
B*+A*		
107.5E	28	
A*		
108.1	30	
109	35	
110	40	
110.8	45	
111.5	50	
111.5	>95	
113	100	
*Mezcla cristalina(?)		

Tabla B6: Solubilidad del Yodo en distintos componentes.

<b>I<sub>2</sub></b> <b>B = C<sub>7</sub>H<sub>16</sub>(83,85)</b> Heptano		
°C	M % A ± 0.02	
	A	
0	0.245	
10	0.376	
20	0.565	
25	0.679	
40	1.19	
50	1.7	
<b>B = C<sub>9</sub>H<sub>14</sub>N(121)</b> Yoduro de trimetilfenilamonio		
°C±0.2	M % B	
	A	
112	0	
101.5	2.5	
90.2	5	
78.3	7.5	
65.6	10	
51.7	12.5	
	A+A <sub>4</sub> B	
45.0E	13.7	
	A <sub>4</sub> B	
47.8	15	
52.5	17.5	
54.5	19	
55.3	20	
55.2	20.5	
	A <sub>4</sub> B+A <sub>3</sub> B	
55.1E	21.2	
	A <sub>3</sub> B	
58.2	22	
61.3	23	
62.7	24	
63.2	25	
	A <sub>3</sub> B+A <sub>2</sub> B	
63.0E	26	
	A <sub>2</sub> B	
69.5	27	
73.8	28	
77	29	
79.5	30	
81.5	31	
83	32	
83.5	33.3	
83.2	34	
83	35	
82.2	36	
80.7	37	
	A <sub>2</sub> B+AB	
79.5E	37.8	
	AB	
89.5	40	
98.8	42.5	
106.2	45	
111.2	47.5	
112.6	50	
111.6	52.5	
109.2	55	
104.9	58.7	

<b>I<sub>2</sub></b> <b>B = C<sub>10</sub>H<sub>8</sub>(170)</b> Naftalina		
°C	M % A	
	B+A	
65.5E	24.72	
<b>B = C<sub>12</sub>H<sub>10</sub>N<sub>2</sub>(124)</b> Azobenceno		
°C±0.5	M % A	
	B*	
68.2	0	
65.3	10	
61.6	20	
	B*+A*	
57.2E	30	
	A*	
64	32.5	
72.5	35	
80	37.5	
85.5	40	
89	42.5	
91.5	45	
94.5	50	
96.7	55	
98.2	60	
100.3	70	
102.3	80	
105.5	90	
113	100	
*Mezcla cristalina(?)		
<b>B = C<sub>14</sub>H<sub>10</sub>O<sub>3</sub>(124)</b> Anhídrido benzoico		
°C±0.5	M % A	
	B*	
40.3	0	
37	5	
	B*+A*	
36.7E	5.3	
	A*	
42.5	7.5	
50	10	
62.5	15	
73	20	
81.5	25	
88.3	30	
94.3	35	
99.5	40	
104.2	45	
108.2	50	
110.2	52.5	
110.2	>90	
113	100	
*Mezcla cristalina(?)		
<b>S<sub>8</sub></b> <b>B = SnI<sub>4</sub>(48.5)</b>		
°C	Wt. % B	
130	90.8	
104	76.2	
<b>B = CH<sub>2</sub>I<sub>2</sub>(147)</b> Yoduro de metileno		
°C	M % A	
	A	
10	9.46	

## Hidrógeno

Los números de oxidación y  $\mu^\circ$ , para los compuestos de hidrógeno que intervienen el proceso se encuentran en la Tabla B7 [38]:

	N° de Oxidación (Z)	$\mu^\circ(\text{cal.})$
<b>Substancias líquida</b> H <sub>2</sub> O	+1	-56690
<b>Substancias disuelta</b> H <sup>-</sup> H <sub>2</sub> H <sup>+</sup> OH <sup>-</sup>	-1 0 +1 -	51900 4230 0 -37595
<b>Substancias gaseosas</b> H <sub>1</sub> H <sub>2</sub>	0 -	48375 0

Tabla B7: Números de oxidación y  $\mu^\circ$  para distintos compuestos de hidrógeno.

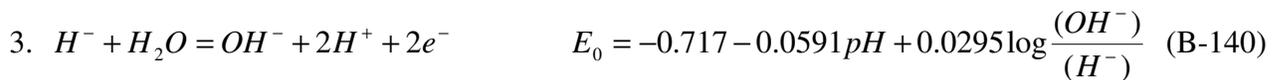
- Las reacciones y equilibrios, para dos sustancias disueltas son las siguientes [38]:

Estabilidad relativa de iones H<sup>+</sup>, OH<sup>-</sup> y H<sup>-</sup>

$$Z = +1$$



$$-1 \rightarrow +1$$



Límites de los dominios del predominio relativo de los iones H<sup>+</sup>, OH<sup>-</sup> y H<sup>-</sup>

[referencia por establecer]:



- Dos sustancias gaseosas

Estabilidad relativa de  $H_1$  y  $H_2$

$$4. H_2 = H_1 + H^+ + e^- \quad E_0 = 2.106 - 0.0591pH + 0.0591 \log \frac{P_{H_1}}{P_{H_2}} \quad (\text{B-144})$$

Límites de los dominios del predominio relativo de  $H_1$  y  $H_2$

$$4'. H_1 / H_2 \quad E_0 = 2.106 - 0.0591pH \quad (\text{B-145})$$

- Una sustancia disuelta y una sustancia gaseosa

Solubilidad del hidrógeno

$0 \rightarrow +1$

$$5. H_1 = H^+ + e^- \quad E_0 = -2.106 - 0.0591pH - 0.0591 \log p_{H_1} \quad (\text{B-146})$$

$$6. H_2 = 2H^+ + 2e^- \quad E_0 = 0.000 - 0.0591pH - 0.0295 \log p_{H_2} \quad (\text{B-147})$$

$-1 \rightarrow 0$

$$7. 2H^- = H_2 + 2e^- \quad E_0 = -2.257 + 0.0295 \log \frac{P_{H_2}}{(H^-)^2} \quad (\text{B-148})$$

- Diagramas de equilibrio

Usando las ecuaciones presentadas anteriormente, se construyó la Figuras B5 [39], que corresponde a diagramas de potencial – pH representando equilibrio termodinámico estable para sistemas hidrógeno – agua a 25°C:

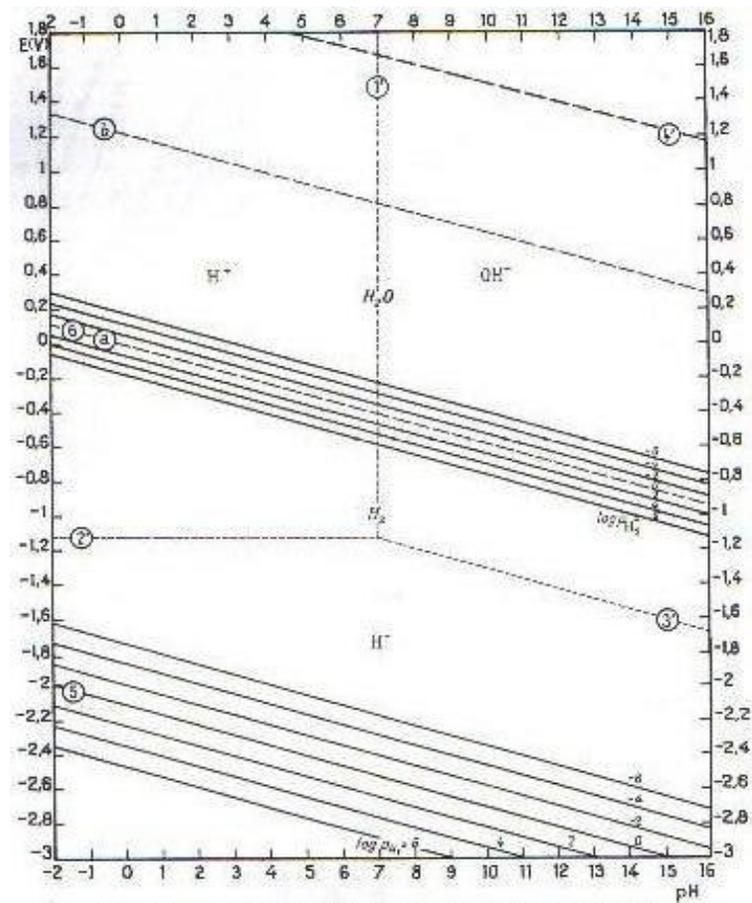


Figura B5: Diagrama de equilibrio Potencial-pH para sistema hidrógeno-agua a 25°C.

El overpotencial, corresponde al grado de irreversibilidad de la reacción de formación de hidrógeno



La Figura B6 y Figura B7, corresponde a valores de overpotencial para distintos metales y corrosión de metales [40], [41]:

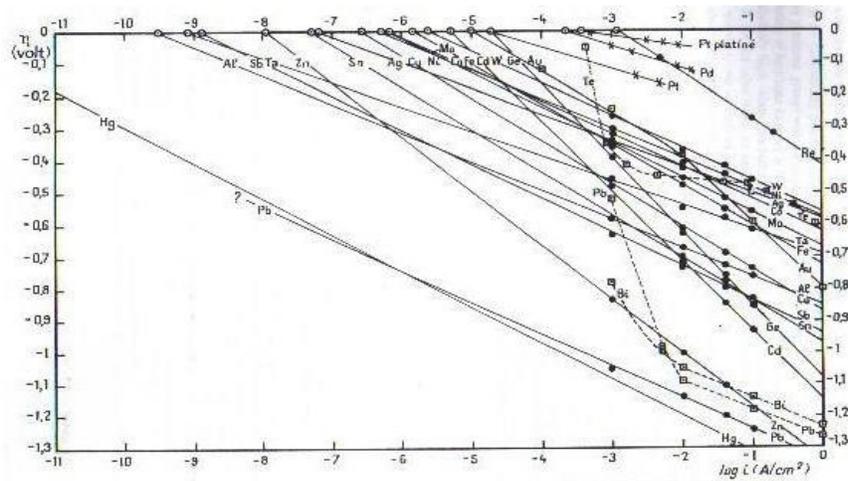


Figura B6: Overpotentials del hidrógeno y cambio de corrientes para distintos metales ( en una soluc de 1M  $H_2SO_4$  a  $25^\circ C$ ).

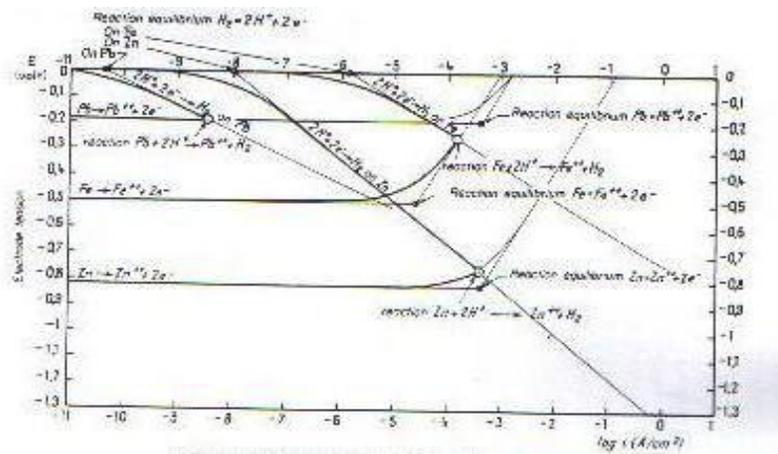


Figura B7: Corrosión de metales (Fe, Zn, Pb) en presencia de una solución de  $pH=0$  conteniendo 0.01 g-at de metal disuelto por litro.

## Agua

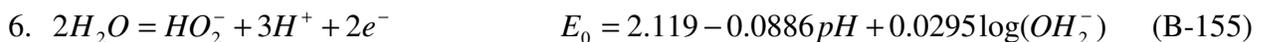
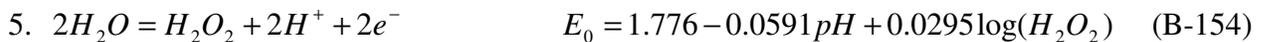
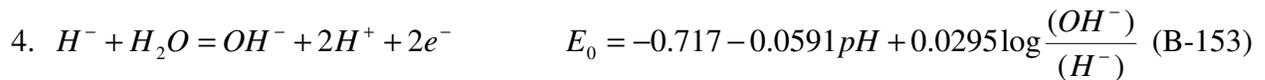
Los números  $\mu^\circ$  para el agua que intervienen el proceso se encuentran en la Tabla B7 [42]:

		$\mu^\circ(\text{cal.})$
<b>Substancias líquidas</b>		
	H <sub>2</sub> O	-56690
<b>Substancias disueltas</b>		
	H <sup>+</sup>	0
	OH <sup>-</sup>	-37595
	H <sup>-</sup>	51900
	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	-31470
	HO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	-15610
	OH	8530
	HO <sub>2</sub>	3000
	O <sub>2</sub> <sup>-</sup>	13000
	H <sub>2</sub>	4230
	O <sub>2</sub>	3950
<b>Substancias gaseosas</b>		
	H <sub>1</sub>	48575
	H <sub>2</sub>	0
	O <sub>1</sub>	54994
	O <sub>2</sub>	0
	O <sub>3</sub>	39060
	H <sub>2</sub> O	-54635

Tabla B7:  $\mu^\circ$  para distintos compuestos de hidrógeno.

- Las reacciones y equilibrios para dos sustancias disueltas son las siguientes [42]:

Estabilidad relativa de H<sup>+</sup>, OH<sup>-</sup>, H<sup>-</sup>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y HO<sub>2</sub><sup>-</sup>



$$7. \text{OH}^- + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}^+ + 2e^- \quad E_0 = 1.362 - 0.0295\text{pH} + 0.0295 \log \frac{(\text{H}_2\text{O}_2)}{(\text{OH}^-)} \quad (\text{B-156})$$

$$8. \text{OH}^- + \text{H}_2\text{O} = \text{HO}_2^- + 2\text{H}^+ + 2e^- \quad E_0 = 1.706 - 0.0591\text{pH} + 0.0295 \log \frac{(\text{HO}_2^-)}{(\text{OH}^-)} \quad (\text{B-157})$$

Límites de los dominios del predominio relativo de los iones  $\text{H}^+$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{H}^-$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$  y  $\text{HO}_2^-$

[referencia por establecer]:

$$1'. \text{H}^+ / \text{OH}^- \quad \text{pH} = 7.00 \quad (\text{B-158})$$

$$2'. \text{H}_2\text{O}_2 / \text{HO}_2^- \quad \text{pH} = 11.63 \quad (\text{B-159})$$

$$3'. \text{H}^- / \text{H}^+ \quad E_0 = -1.125 \quad (\text{B-160})$$

$$4'. \text{H}^- / \text{OH}^- \quad E_0 = -0.717 - 0.0591\text{pH} \quad (\text{B-161})$$

$$5'. \text{H}^+ / \text{H}_2\text{O}_2 \quad E_0 = 1.776 - 0.0886\text{pH} \quad (\text{B-162})$$

$$6'. \text{H}^+ / \text{HO}_2^- \quad E_0 = 2.119 - 0.1181\text{pH} \quad (\text{B-163})$$

$$7'. \text{OH}^- / \text{H}_2\text{O}_2 \quad E_0 = 1.362 - 0.0295\text{pH} \quad (\text{B-164})$$

$$8'. \text{OH}^- / \text{HO}_2^- \quad E_0 = 1.706 - 0.0591\text{pH} \quad (\text{B-165})$$

- Dos sustancias gaseosas

Estabilidad relativa de  $\text{H}_1$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$  y  $\text{O}_3$

$$9. \text{H}_2 = \text{H}_1 + \text{H}^+ + e^- \quad E_0 = 2.106 - 0.0591\text{pH} + 0.0591 \log \frac{P_{\text{H}_1}}{P_{\text{H}_2}} \quad (\text{B-166})$$

$$10. \text{H}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{O}_2 + 6\text{H}^+ + 6e^- \quad E_0 = 0.819 - 0.0591\text{pH} + 0.0098 \log \frac{P_{\text{O}_2}}{P_{\text{H}_2}} \quad (\text{B-167})$$

$$11. \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{O}_3 + 2\text{H}^+ + 2e^- \quad E_0 = 2.076 - 0.0591\text{pH} + 0.0293 \log \frac{P_{\text{O}_3}}{P_{\text{O}_2}} \quad (\text{B-168})$$

- Límites de los dominios del predominio relativo de  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $O_2$  y  $O_3$

[referencia por establecer]:

$$9'. H_2 / H_1 \quad E_0 = 2.106 - 0.0591pH \quad (\text{B-169})$$

$$10'. H_2 / O_2 \quad E_0 = 0.819 - 0.0591pH \quad (\text{B-170})$$

$$11'. O_2 / O_3 \quad E_0 = 2.076 - 0.0591pH \quad (\text{B-171})$$

- Una sustancia disuelta y una sustancia gaseosa

$$12. H_2O = H_2O \quad \log p_{H_2O} = -1.505 \quad (\text{B-172})$$

$$13. H_1 = H^+ + e^- \quad E_0 = -2.106 - 0.0591 - 0.0591 \log p_{H_1} \quad (\text{B-173})$$

$$14. H_2 = 2H^+ + 2e^- \quad E_0 = 0.000 - 0.0591pH - 0.0295 \log p_{H_2} \quad (\text{B-174})$$

$$15. 2H_2O = O_2 + 4H^+ + 4e^- \quad E_0 = 1.228 - 0.0591pH + 0.0147 \log p_{O_2} \quad (\text{B-175})$$

$$16. 3H_2O = O_3 + 6H^+ + 6e^- \quad E_0 = 1.501 - 0.0591pH + 0.0098 \log p_{O_3} \quad (\text{B-176})$$

- Diagramas de equilibrio

Las ecuaciones (1')-(8') están representadas de la Figura B8, las ecuaciones (10') y (11') están representadas en la Figura B9 [43], las formulas (14) y (15) se encuentran representadas en la Figuras B10, B11 [43] y Figura B12 [44]. Finalmente las ecuaciones (1)-(16) se encuentran representadas en la Figura B13 [45].

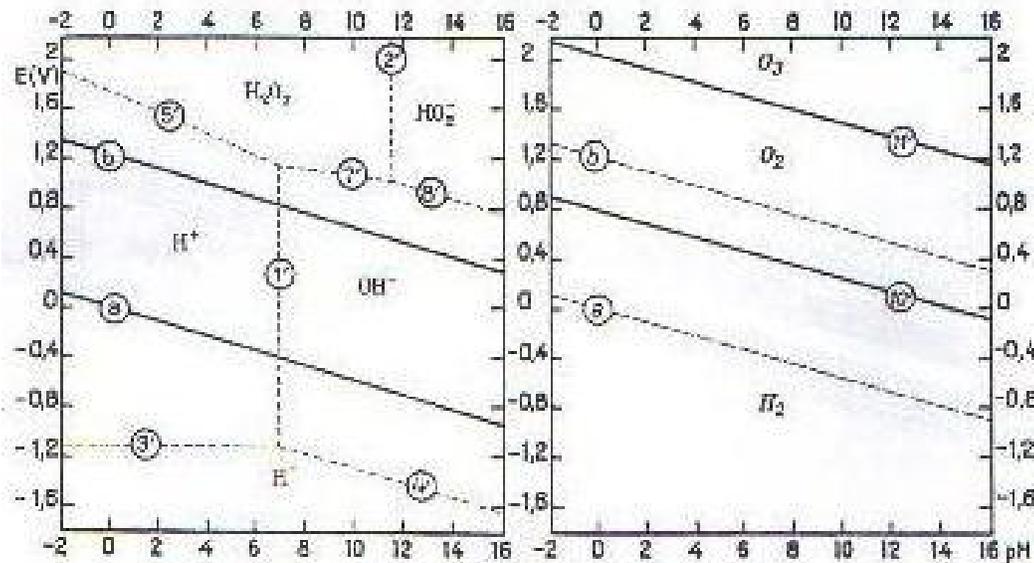


Figura B8: Dominio del predominio relativo de sustancias disueltas;  $H$ ,  $H^+$ ,  $OH^-$ ,  $H_2O_2$  y  $HO_2^-$

Figura B9: Dominio del predominio relativo de sustancias gaseosas;  $H_2$ ,  $O_2$  y  $O_3$

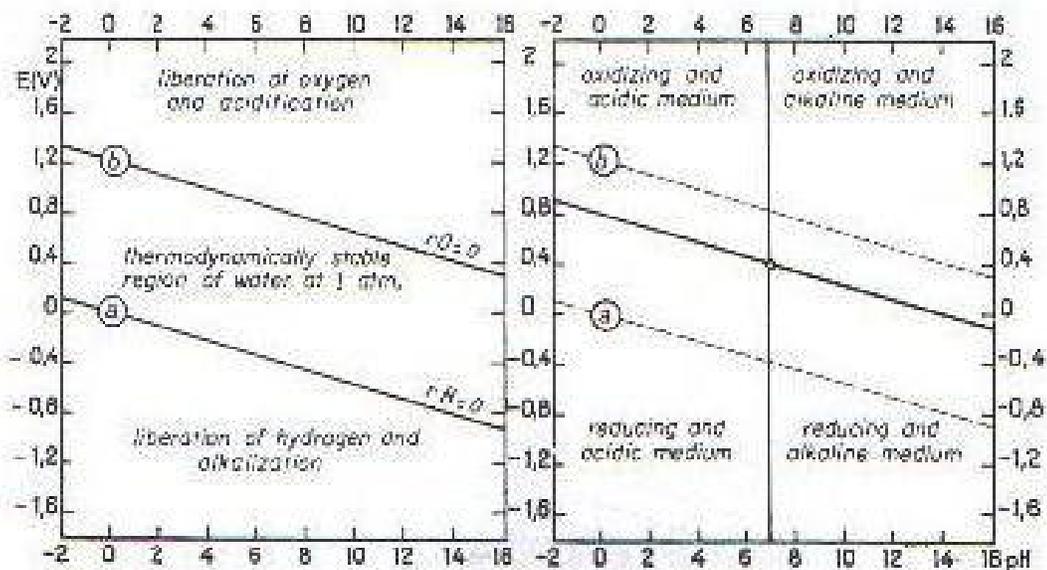
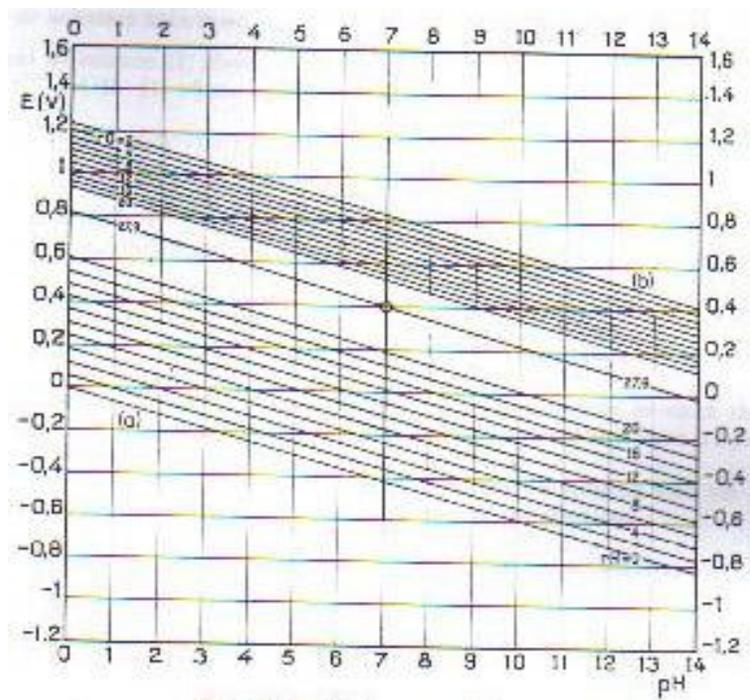
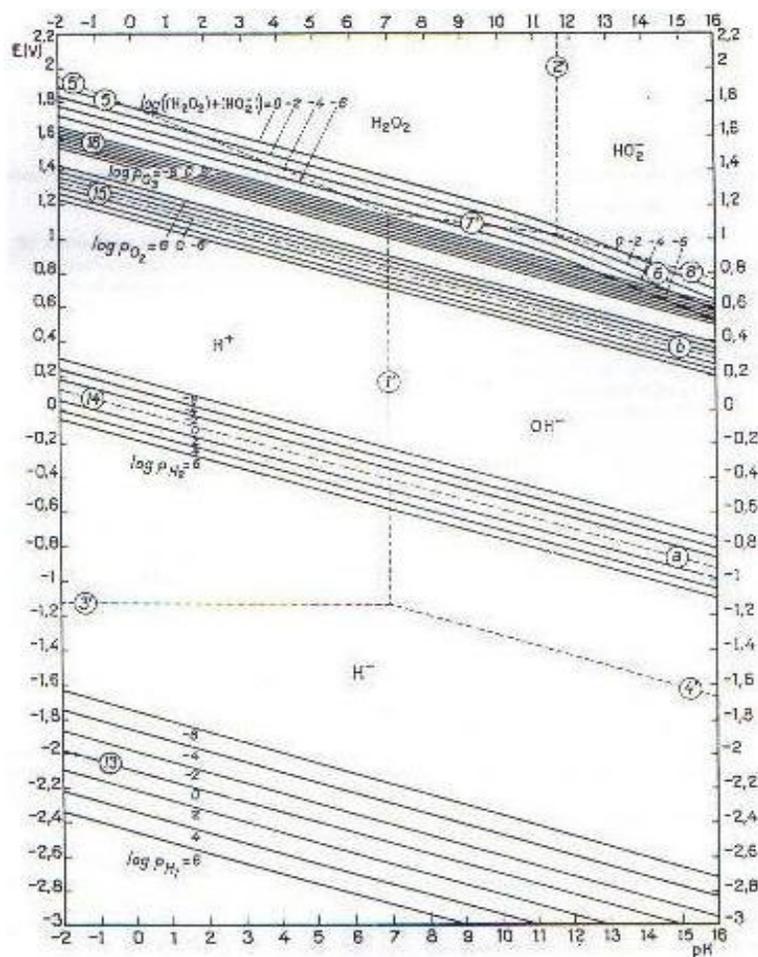


Figura B10: Dominio de estabilidad termodinámica del agua a 1 atm de presión.

Figura B11: Reducción y oxidación ácida, alcalina.



FiguraB12: rH y rO para soluciones acuosas.



FiguraB13: Equilibrio de reducción y oxidación, con la formación de  $H^+$ ,  $H_2$ ,  $O_2$ ,  $O_3$ ,  $H_2O_2$  y  $HO_2^-$ .

## Nitrógeno

Los números de oxidación y  $\mu^\circ$ , para los compuestos de nitrógeno que intervienen el proceso se encuentran en la Tabla B8 [46]:

	N° Oxidación (Z)	$\mu^\circ$ (cal.)
<b>Substancias sólidas</b>		
NH <sub>2</sub> OH	-1	-
N <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	+3	-
<b>Substancias líquidas</b>		
N <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	+5	32000
N <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	-2	-
<b>Substancias disueltas</b>		
HNO <sub>3</sub>	+5	-19100
NH <sub>4</sub> OH	-3	-63050
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-	-19000
N <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	-2	30560
N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> H <sub>2</sub> <sup>++</sup>	-	22500
NH <sub>2</sub> OH	-1	-5600
NH <sub>2</sub> OH.H <sup>+</sup>	-	-13540
HN <sub>3</sub>	-0.33	71300
N <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-	77700
N <sub>2</sub>	0	2994
H <sub>2</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	+1	8600
N <sub>2</sub> O <sub>2</sub> <sup>--</sup>	-	33200
NH <sub>2</sub> O <sub>2</sub> <sup>-</sup>	-	18200
HNO <sub>2</sub>	+3	-12820
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	-	-8250
HNO <sub>3</sub>	+5	-26430
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-	-26430
<b>Substancias gaseosas</b>		
HNO <sub>4</sub>	+7	-
NH <sub>3</sub>	-3	-3976
NH	-1	-
HN <sub>3</sub>	-0.33	78500
N	0	81476
N <sub>2</sub>	-	0
N <sub>2</sub> O	+1	24760
NO	+2	20719
N <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	+3	-
NO <sub>2</sub>	+4	12390
N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	-	23491
HNO <sub>3</sub>	+5	-
NO <sub>3</sub>	+6	-

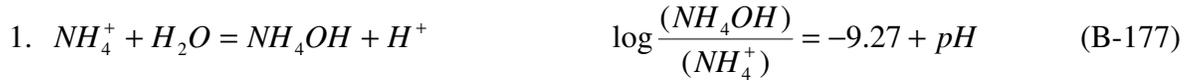
Tabla B8: Números de oxidación y  $\mu^\circ$  para distintos compuestos de nitrógeno.

Reacciones y equilibrio [46].

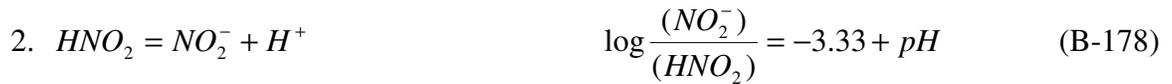
- Dos sustancias disueltas

Estabilidad relativa de sustancias disueltas

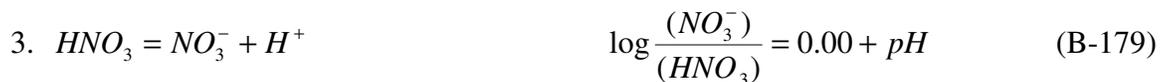
$Z = -3$



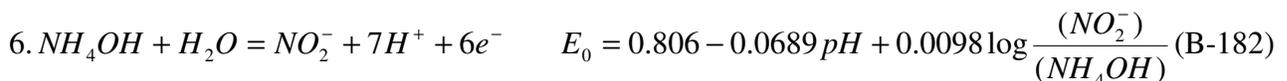
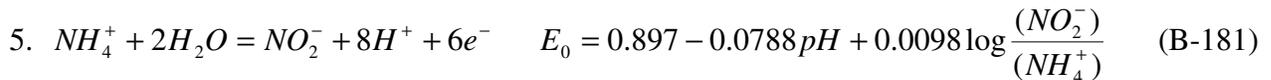
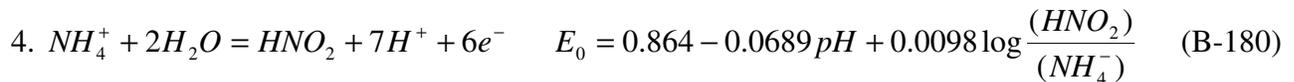
$Z = +3$



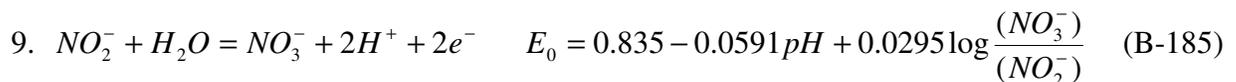
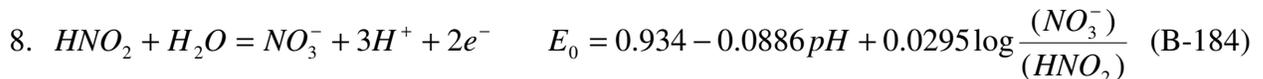
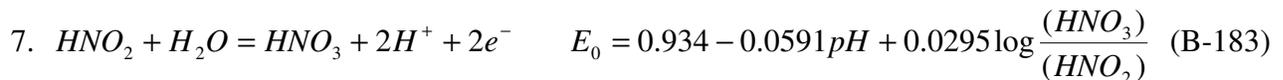
$Z = +5$



$-3 \rightarrow +3$



$+3 \rightarrow +5$



- Límites de los dominios del predominio relativo de sustancias disueltas

$$1'. \text{NH}_4^- / \text{NH}_4\text{OH} \quad \text{pH} = 9.27 \quad (\text{B-186})$$

$$2'. \text{HNO}_2 / \text{NO}_2^- \quad \text{pH} = 3.35 \quad (\text{B-187})$$

$$3'. \text{HNO}_3 / \text{NO}_3^- \quad \text{pH} = 0.00 \quad (\text{B-188})$$

$$4'. \text{NH}_4^- / \text{HNO}_2 \quad E_0 = 0.864 - 0.0689 \text{pH} \quad (\text{B-189})$$

$$5'. \text{NH}_4^- / \text{NO}_2^- \quad E_0 = 0.897 - 0.0788 \text{pH} \quad (\text{B-190})$$

$$6'. \text{NH}_4\text{OH} / \text{NO}_2^- \quad E_0 = 0.806 - 0.0689 \text{pH} \quad (\text{B-191})$$

$$7'. \text{HNO}_2 / \text{HNO}_3 \quad E_0 = 0.934 - 0.0591 \text{pH} \quad (\text{B-192})$$

$$8'. \text{HNO}_2 / \text{NO}_3^- \quad E_0 = 0.934 - 0.0886 \text{pH} \quad (\text{B-193})$$

$$9'. \text{NO}_2^- / \text{NO}_3^- \quad E_0 = 0.835 - 0.0591 \text{pH} \quad (\text{B-194})$$

- Dos sustancias gaseosas

Estabilidad relativa de sustancias gaseosas

$Z = +4$

$$10. 2\text{NO}_2 = \text{N}_2\text{O}_4 \quad \log \frac{P_{\text{N}_2\text{O}_4}}{(P_{\text{NO}_2})^2} = 0.95 \quad (\text{B-195})$$

$-3 \rightarrow 0$

$$11. 2\text{NH}_3 = \text{N}_2 + 6\text{H}^+ + 6e^- \quad E_0 = 0.057 - 0.0591 \text{pH} + 0.0098 \log \frac{P_{\text{N}_2}}{(P_{\text{NH}_3})^2} \quad (\text{B-196})$$

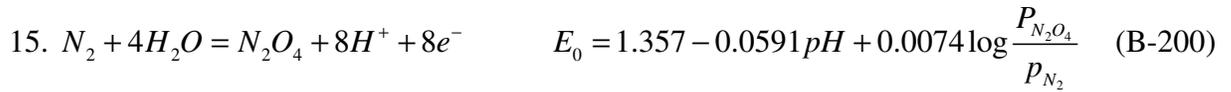
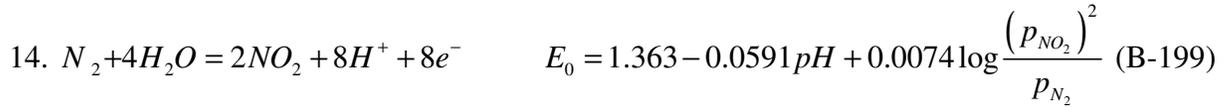
$0 \rightarrow +1$

$$12. \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{N}_2\text{O} + 2\text{H}^+ + 2e^- \quad E_0 = 1.766 - 0.0591 \text{pH} + 0.0295 \log \frac{P_{\text{N}_2\text{O}}}{P_{\text{N}_2}} \quad (\text{B-197})$$

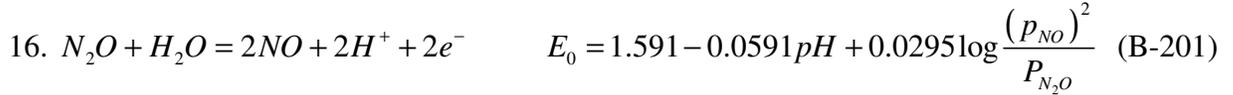
$0 \rightarrow +2$

$$13. \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{NO} + 4\text{H}^+ + 4e^- \quad E_0 = 1.678 - 0.0591 \text{pH} + 0.0148 \log \frac{(P_{\text{NO}})^2}{P_{\text{N}_2}} \quad (\text{B-198})$$

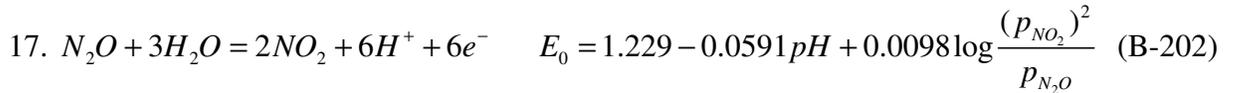
0 → +4



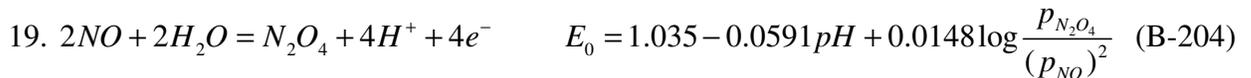
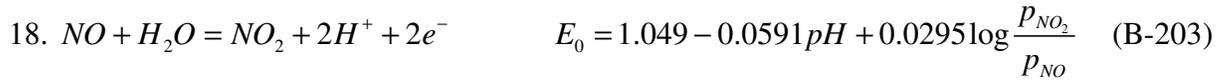
+1 → +2



+1 → +4



+2 → +4



• Límites de los dominios del predominio relativo de sustancias gaseosas

$$10'. NO_2 / N_2O_4 \quad \log P = -0.65 \quad (\text{B-205})$$

$$11'. NH_3 / N_2 \quad E_0 = 0.060 - 0.0591pH - 0.0098 \log P \quad (\text{B-206})$$

$$12'. N_2 / N_2O \quad E_0 = 1.766 - 0.0591pH \quad (\text{B-207})$$

$$13'. N_2 / NO \quad E_0 = 1.674 - 0.0591pH + 0.0148 \log P \quad (\text{B-208})$$

$$14'. N_2 / NO_2 \quad E_0 = 1.361 - 0.0591pH + 0.0074 \log P \quad (\text{B-209})$$

$$15'. N_2 / N_2O_4 \quad E_0 = 1.357 - 0.0591pH \quad (\text{B-210})$$

$$16'. N_2O / NO \quad E_0 = 1.582 - 0.0591pH + 0.0295 \log P \quad (\text{B-211})$$

$$17'. N_2O / NO_2 \quad E_0 = 1.226 - 0.0591pH + 0.0098 \log P \quad (\text{B-212})$$

$$18'. NO / NO_2 \quad E_0 = 1.049 - 0.0591pH \quad (\text{B-213})$$

$$19'. NO / N_2O_4 \quad E_0 = 1.039 - 0.0591pH - 0.0148 \log P \quad (\text{B-214})$$

- Una sustancia gaseosa y una sustancia disuelta

Solubilidad de substancias gaseosas

$Z = -3$

$$20. \text{NH}_4^+ = \text{NH}_3 + \text{H}^+ \quad \log \frac{P_{\text{NH}_3}}{(\text{NH}_4^+)} = -11.02 + pH \quad (\text{B-215})$$

$$21. \text{NH}_4\text{OH} = \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \quad \log \frac{P_{\text{NH}_3}}{(\text{NH}_4\text{OH})} = -1.75 \quad (\text{B-216})$$

$-3 \rightarrow 0$

$$22. 2\text{NH}_4^+ = \text{N}_2 + 8\text{H}^+ + 6e^- \quad E_0 = 0.275 - 0.0788pH + 0.0098 \log \frac{P_{\text{N}_2}}{(\text{NH}_4^+)^2} \quad (\text{B-217})$$

$$23. 2\text{NH}_4\text{OH} = \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 6\text{H}^+ + 6e^- \quad E_0 = 0.092 - 0.0591pH + 0.0098 \log \frac{P_{\text{N}_2}}{(\text{NH}_4\text{OH})^2} \quad (\text{B-218})$$

$-3 \rightarrow +1$

$$24. 2\text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{O} = \text{N}_2\text{O} + 10\text{H}^+ + 8e^- \quad E_0 = 0.647 - 0.0739pH + 0.0074 \log \frac{P_{\text{N}_2\text{O}}}{(\text{NH}_4^+)^2} \quad (\text{B-219})$$

$$25. 2\text{NH}_4\text{OH} = \text{N}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} + 8\text{H}^+ + 8e^- \quad E_0 = 0.510 - 0.0591pH + 0.0074 \log \frac{P_{\text{N}_2\text{O}}}{(\text{NH}_4\text{OH})^2} \quad (\text{B-220})$$

$-3 \rightarrow +2$

$$26. \text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{O} = \text{NO} + 6\text{H}^+ + 5e^- \quad E_0 = 0.836 - 0.0709pH + 0.0118 \log \frac{P_{\text{NO}}}{(\text{NH}_4^+)} \quad (\text{B-221})$$

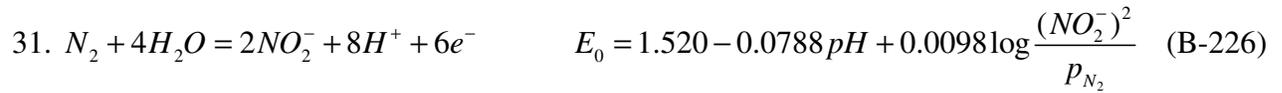
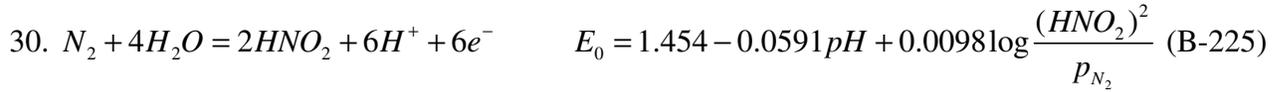
$$27. \text{NH}_4\text{OH} = \text{NO} + 5\text{H}^+ + 5e^- \quad E_0 = 0.727 - 0.0591pH + 0.0118 \log \frac{P_{\text{NO}}}{(\text{NH}_4\text{OH})} \quad (\text{B-222})$$

$-3 \rightarrow +3$

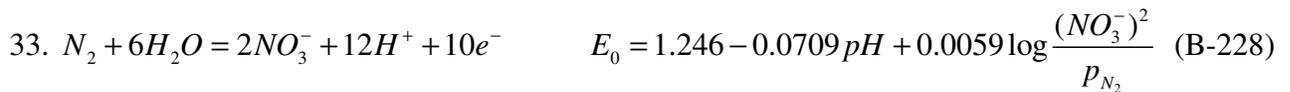
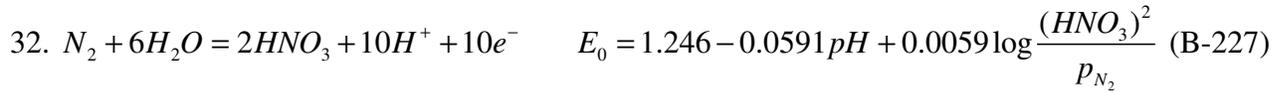
$$28. \text{NH}_3 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{HNO}_2 + 6\text{H}^+ + 6e^- \quad E_0 = 0.755 - 0.0591pH + 0.0098 \log \frac{(P_{\text{HNO}_2})}{P_{\text{NH}_3}} \quad (\text{B-223})$$

$$29. \text{NH}_3 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{NO}_2^- + 7\text{H}^+ + 6e^- \quad E_0 = 0.789 - 0.0689pH + 0.0098 \log \frac{(P_{\text{NO}_2^-})}{P_{\text{NH}_3}} \quad (\text{B-224})$$

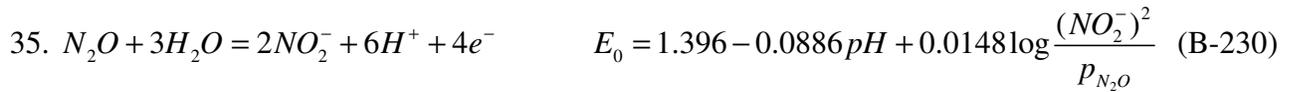
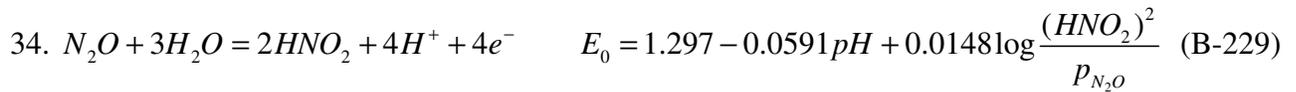
0 → +3



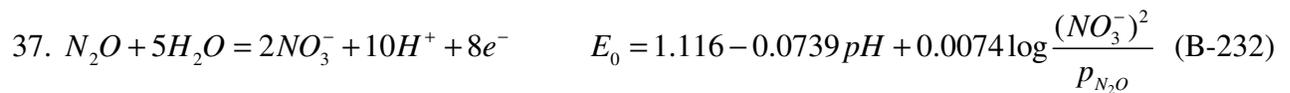
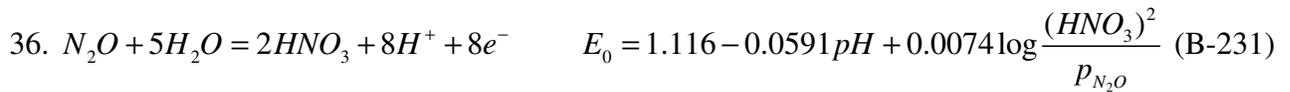
0 → +5



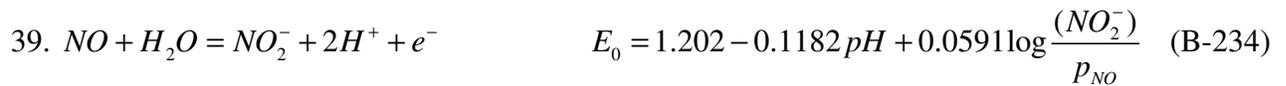
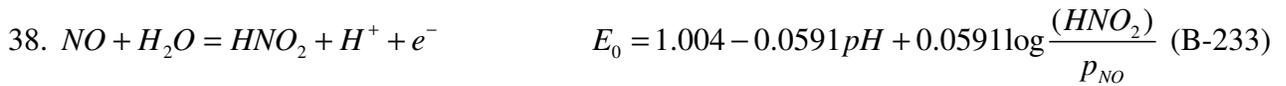
+1 → +3



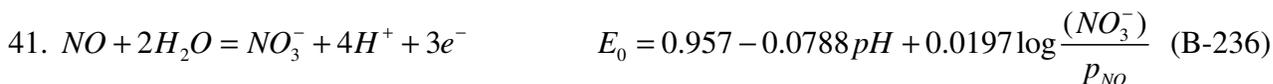
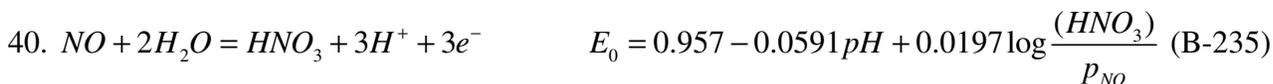
+1 → +5



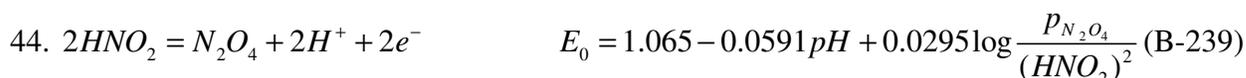
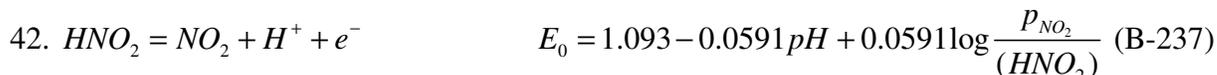
+2 → +3



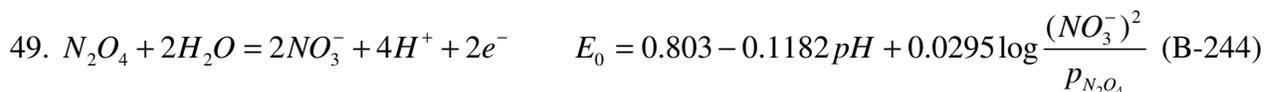
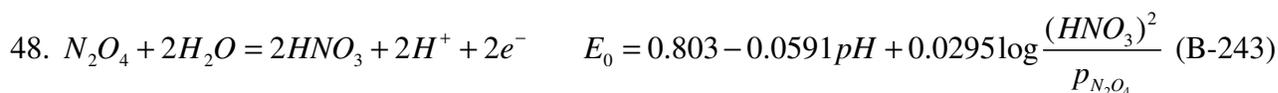
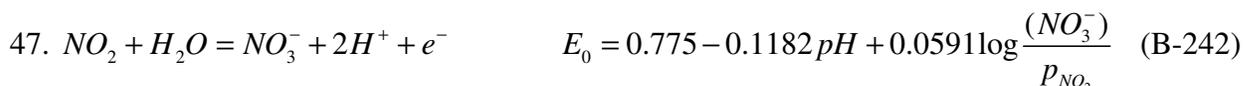
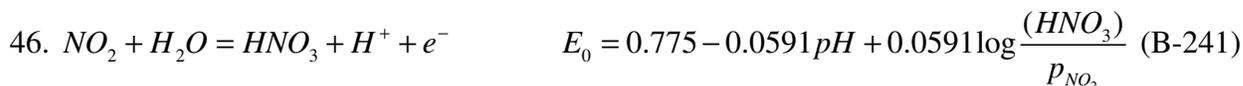
+2 → +5



+3 → +4



+4 → +5



- Diagramas de equilibrios

Las ecuaciones (1')-(9') están representadas de la Figura B14 [47], las ecuaciones (10') y (19') están representadas en la Figura B15 [47]. La Figura B16 esquematiza la influencia de pH en la solubilidad de  $\text{NH}_3$  gaseoso a  $25^\circ\text{C}$  [49].

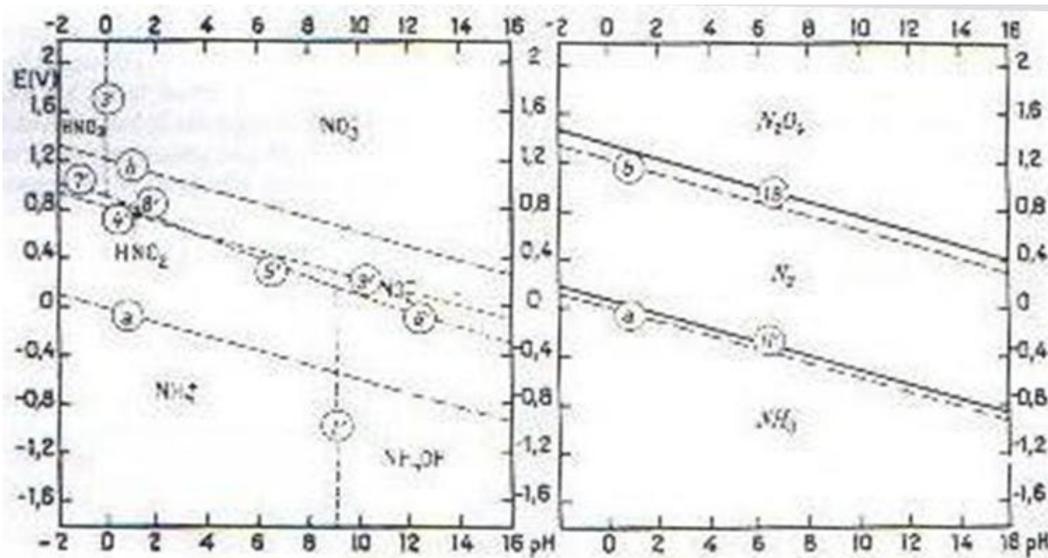


Figura B14. Dominio de la predominancia relativa de compuestos disueltos de nitrógeno a  $25^\circ\text{C}$       Figura B15. Dominios de la predominancia relativa de compuestos gaseosos de nitrógeno a 1 atm y  $25^\circ\text{C}$

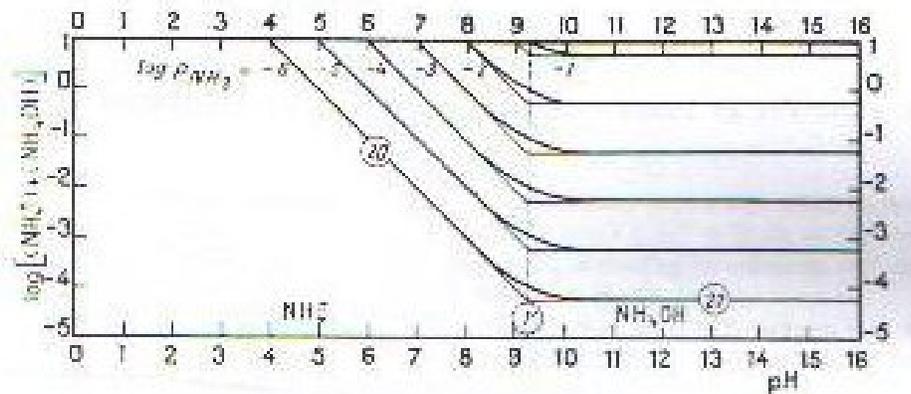


Figura B16. Influencia del pH en la solubilidad del  $\text{NH}_3$  gaseoso a  $25^\circ\text{C}$

La Figura B17 esquematiza el diagrama de equilibrio para un sistema nitrógeno-agua [48].

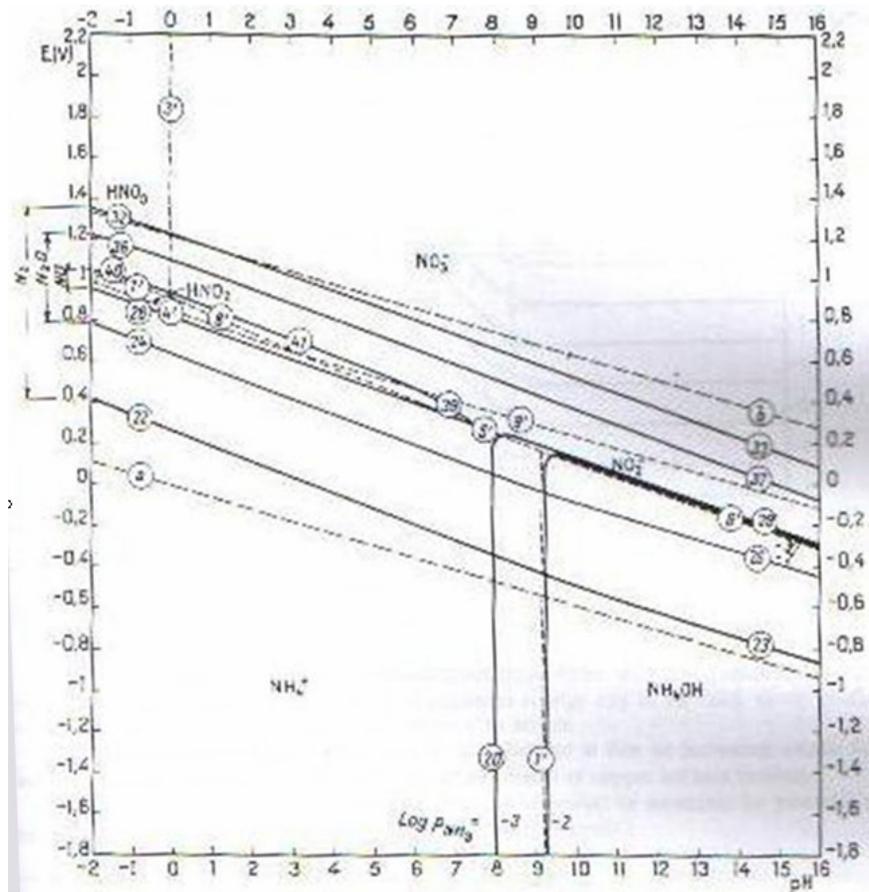


Figura B17. Diagrama de equilibrio Potencial-pH para sistema nitrógeno-agua a 25°C.

## Azufre

En la Tabla B9 se encuentran las propiedades del azufre, la viscosidad y densidad del azufre se encuentran en la Figura B18 y Figura 19:

Tabla B9: Propiedades del Azufre

<b>Apariencia</b>	Cristales o líquido amarillo
<b>Formas de los cristales</b>	Romboide y monoclínico
<b>Punto de fusión</b>	110 a 121 °C, depende de la forma de los cristales
<b>Punto de ebullición</b>	444.6°C
<b>Temperatura de auto-ignición</b>	Polvo: 190°C Hojuelas: 221°C Líquido: 248 a 261°C
<b>Punto de inflamación</b>	168 a 188°C
<b>Presión de vapor</b>	< 0.1 mm Hg @ 20°C
<b>Límite explosivo de polvo en el aire</b>	LEL: 35 g/m <sup>3</sup> UEL: 1400 g/m <sup>3</sup>
<b>Gravedad específica</b>	1.92 a 2.07 dependiendo de la forma de los cristales
<b>Azufre Líquido</b>	
<b>Densidad</b>	1786.5 kg/m <sup>3</sup> a 140°C
<b>Tensión superficial</b>	60.83 mN/m a 120°C
<b>Viscosidad</b>	Ver gráficos
<b>Azufre Molar</b>	
<b>Ángulo de reposo</b>	35° (Aprox)
<b>Densidad Molar</b>	770 kg/m <sup>3</sup>

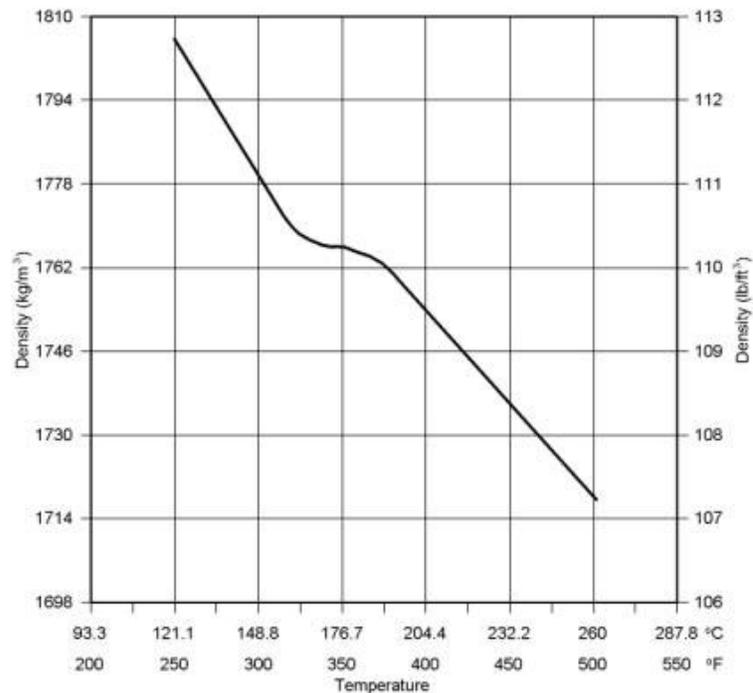


Figura B18: Densidad del Azufre con respecto a la T°.

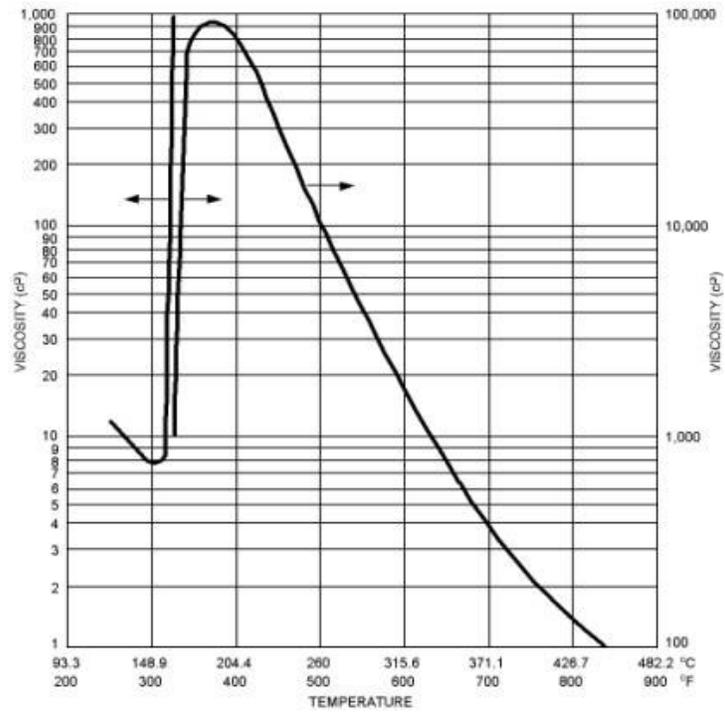


Figura B19: Viscosidad del Azufre con respecto a la  $T^{\circ}$ .

## APÉNDICE C

### Generación de SO<sub>2</sub>.

Esta reacción corresponde a un reacción exotérmica; donde la temperatura de fusión del azufre es 393 [K] [29] , el delta entalpía de combustión es 4636025 [J/kg] [30], delta entalpía de fusión del azufre es 43.54 [J/g] [31], calor específico del dióxido del azufre  $7.70+0.00530*T-0.000000830*T$  [cal/°C mol] [32], oxígeno 920 [J/kg K] y nitrógeno 1040 [J/kg K] [33].

Para el cálculo de la pérdida de calor del horno rotatorio se considera como valor de referencia para el  $h_{pérdida}$  360000 [J/h m<sup>2</sup> K], además por concepto de diseño, el diámetro del horno es de 0.5 [m], largo 1 [m] y temperatura ambiente de 25 [°C].

### Torre Pre-absorción.

La difusividad del dióxido de azufre en agua es 170000 [cm<sup>2</sup>/s] para el dióxido de carbono en agua es 196000 [cm<sup>2</sup>/s] [34].

El coeficiente de transferencia de materia del dióxido de carbono en agua es 1.25 [lbmol/hft<sup>3</sup>atm] [35].

La ecuación de corrección para el coeficiente de transferencia es la siguiente:

$$k_{gax} = \left[ \frac{D_x}{D_{CO_2}} \right]^n \quad [36] \quad (C-1)$$

$$\text{Si } \frac{D_x}{D_{CO_2}} < 1 \text{ entonces } n = 0.667 \quad [36] \quad (C-2)$$

$$\text{Si } \frac{D_x}{D_{CO_2}} > 1 \text{ entonces } n = 0.5 \quad [36] \quad (C-3)$$

La relación de kg de azufre necesarios por kg de I<sub>2</sub> producidos es de 1.26 kg S/kg I<sub>2</sub>.

## Torre de Absorción de SO<sub>2</sub>.

La difusividad del dióxido de azufre en agua es 170000 [cm<sup>2</sup>/s] para el dióxido de carbono en agua es 196000 [cm<sup>2</sup>/s] [34].

El coeficiente de transferencia de materia de dióxido de carbono en agua para esta etapa es 1.66 [lbmol/hft<sup>3</sup>atm] [35].

La ecuación de corrección para el coeficiente de transferencia es la siguiente:

$$k_{gax} = \left[ \frac{D_x}{D_{CO_2}} \right]^n \quad [36] \quad (C-4)$$

$$\text{Si } \frac{D_x}{D_{CO_2}} < 1 \text{ entonces } n = 0.667 \quad [36] \quad (C-5)$$

$$\text{Si } \frac{D_x}{D_{CO_2}} > 1 \text{ entonces } n = 0.5 \quad [36] \quad (C-6)$$

## Condiciones de entrada del proceso.

- Alcalinidad alimentación Planta: 0.9 [gpl]
- Calor específico S: 0.16958 [kcal/kg K]
- Calor específico N<sub>2</sub>: 0.2484 [kcal/kg K]
- Calor específico O<sub>2</sub>: 0.2197 [kcal/kg K]
- Difusividad CO<sub>2</sub>-Agua: 196000 [cm<sup>2</sup>/s]
- Difusividad SO<sub>2</sub>-Agua: 170000 [cm<sup>2</sup>/s]
- Densidad H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 98% p/p: 1841.1 [kg/m<sup>3</sup>]
- Realación Kero – Solución acuosa en extractor liq-liq: 4:1

## APÉNDICE D

### Programa