



Carbon
Click
S.A. de C.V.

ECOPLANT

CAPTURA DE GASES ÁCIDOS DEL AIRE Y DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN

Resumen Ejecutivo

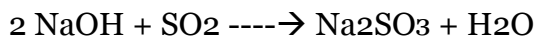
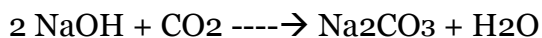
*Dr. Tomás Miklos
Noviembre 2012*

Introducción:

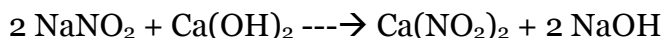
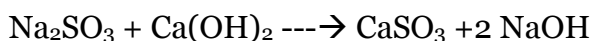
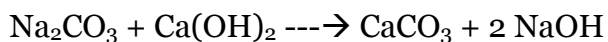
El aire atmosférico se ha visto, en las últimas décadas, alterado en su composición natural debido a las emisiones de gases de las fábricas y los gases de combustión de los quemadores y motores de combustión interna que queman combustibles fósiles. El gas que más se ha acumulado en el aire, como consecuencia de todo esto, es el Dióxido de Carbono, que tiene un efecto invernadero y que es el principal responsable del calentamiento global. También ocasionalmente se tienen presentes otros gases ácidos contaminantes, que tienen también efecto invernadero, como el dióxido de azufre y el dióxido de nitrógeno.

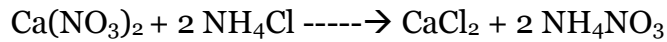
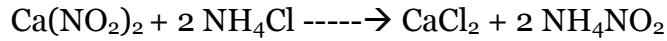
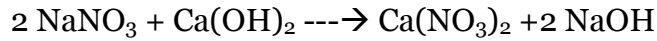
Con el objeto de eliminar los principales gases contaminantes con efecto invernadero que son los gases ácidos dióxidos de carbono, azufre y nitrógeno, se desarrolló el proyecto ECOPLANT siguiendo una vía química, consistente en “lavar” los gases de la atmósfera y los producidos durante la combustión en quemadores y motores de combustión interna, que utilizan combustibles fósiles, como la gasolina, el diesel, el gas natural, etc. y que producen estos gases ácidos (CO₂, SO₂ y NO₂), utilizando una solución diluida de hidróxido de sodio (NaOH), en un equipo de absorción con toberas de dispersión.

Para llevar a cabo este proceso, se requiere desviar los gases de las chimeneas hacia un absorbedor, donde los gases son rociados con la solución alcalina y que reaccionan los gases ácidos, formando soluciones salinas de carbonatos, nitritos, nitratos, sulfitos y sulfatos, de acuerdo a las siguientes reacciones:

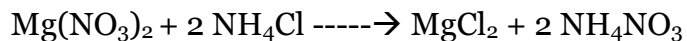
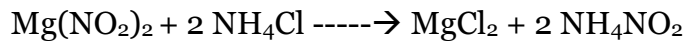
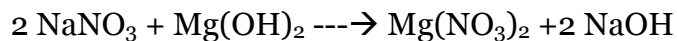
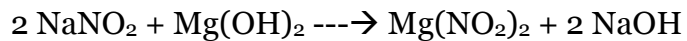
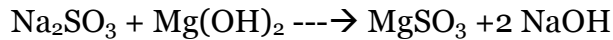
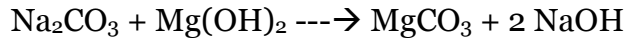


La solución alcalina con sales, se regenera con Hidróxido de Calcio o Hidróxido de Magnesio, formando las sales de Calcio o Magnesio correspondientes, de las cuales los Carbonatos de Calcio y Magnesio, son insolubles y se pueden separar por filtración; el Sulfito de Calcio, que es poco soluble, coprecipita con el Carbonato de Calcio; los nitratos y nitritos permanecen en solución para tratarse con Cloruro de Amonio cuando su concentración sea importante. Las reacciones que tienen lugar para el Hidróxido de Calcio, son las siguientes:

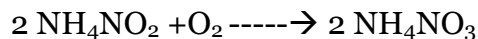




Las reacciones que tienen lugar para el Hidróxido de Magnesio, son las siguientes:



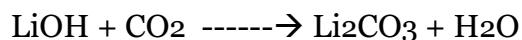
El nitrito de amonio con un agente oxidante se puede convertir en nitrato de amonio que tiene aplicación como fertilizante.



El CaCO_3 separado por filtración y secado, es un polvo muy fino de gran blancura y alta pureza, que utiliza en la fabricación del papel, de pinturas, como carga inerte en algunos productos farmacéuticos y en la fabricación de figuras artesanales.

El MgCO_3 separado por filtración y secado, es un polvo muy fino de gran blancura y alta pureza, es un retardante del fuego y utiliza en la fabricación telas para cortinas y en tapetes, en el papel para cigarrillos, y en pinturas para usarse en lugares cercanas al fuego; también se utiliza como carga inerte en algunos productos farmacéuticos y en la sal de mesa para que no se compacte al momento de captar la humedad del ambiente.

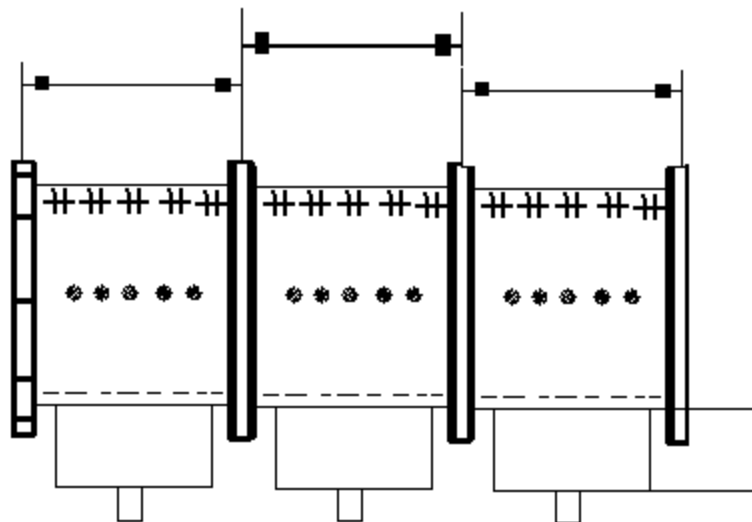
El mismo proceso se puede llevar a cabo reemplazando el Hidróxido de Sodio por Hidróxido de Litio obteniendo directamente Carbonato de litio que es insoluble y que tiene una aplicación en la fabricación de baterías ($\text{Li}_2\text{CO}_3\text{-Li}^+$) para los autos eléctricos, en los paneles solares y en aerogeneradores, así como en las pilas recargables de uso muy diverso (PC's, Lap Top's, relojes, etc.)



Para llevar a cabo este proyecto, se diseñó un absorbedor horizontal con secciones modulares, para darle flexibilidad al proceso, con toberas de dispersión para el líquido de absorción, en tres hileras, una en la parte superior del tubo de absorción

y las otras dos a cada lado, en la parte lateral haciendo un ángulo de 90° con la hilera de la parte superior. Las dimensiones óptimas del equipo diseñado son 85 cm de diámetro interior y longitud en módulos de un metro con 5 toberas de 1/4 plg por hilera haciendo un total de 15 toberas por sección modular del absorbedor. Los gases pasan de un extremo al otro del equipo, mientras que el líquido de absorción es alimentado perpendicular al flujo gaseoso. Las toberas “pulverizan” el líquido en pequeñas gotas, que aumentan el área de transferencia de masa, produciéndose la absorción de los gases que se quieren eliminar. Figura No. 1

Figura No. 1
Absorbedor horizontal modular



Condiciones de operación del equipo:

- 1) Velocidad media global de los gases, tanto para el aire atmosférico como para los gases de combustión, de 3 a 7 m/seg
- 2) Temperatura de los gases y de la solución absorbedora de 22°C, aun cuando los gases de combustión entren calientes al absorbedor, en muy corto tiempo tomarán la temperatura de la solución absorbedora.
- 3) Presión de los gases a la entrada del absorbedor de 20 mm de Hg manométricos. El absorbedor se conecta, por un extremo al aire atmosférico o a la salida de los gases de combustión, y por el otro a la atmósfera para la salida de los gases lavados; la presión atmosférica se considera la de la ciudad donde se instale el equipo, en este caso en el Distrito Federal 586 mm de Hg.

- 4) La solución absorbidora será de 80 g NaOH/lit (o sea 2 N).
- 5) La densidad de flujo líquido de operación estará comprendida de 2.7 a 3.4 $\frac{Kg}{m^2Seg}$, que son los valores de operación industrial óptimos.

Tabla No. 1

Densidades de gases calculadas a 0.771 atm y 22 °C y la del líquido obtenido de tablas

GAS/ LÍQUIDO	DENSIDAD EN Kg/m³
Dióxido de carbono {CO₂}	1.40
Dióxido de azufre {SO₂}	2.04
Dióxido de nitrógeno {NO₂}	1.46
Aire	0.922
Gases de combustión	0.983
Solución de NaOH 80 g/lit	1080

Tabla No. 2

Viscosidades de gases y líquidos

GAS O LÍQUIDO	VICOSIDAD EN Kg/m.seg
Aire	17.8 x 10 ⁻⁶
Gases de combustión	26.6 x 10 ⁻⁶
Solución de NaOH 80 g/lit	0.0136

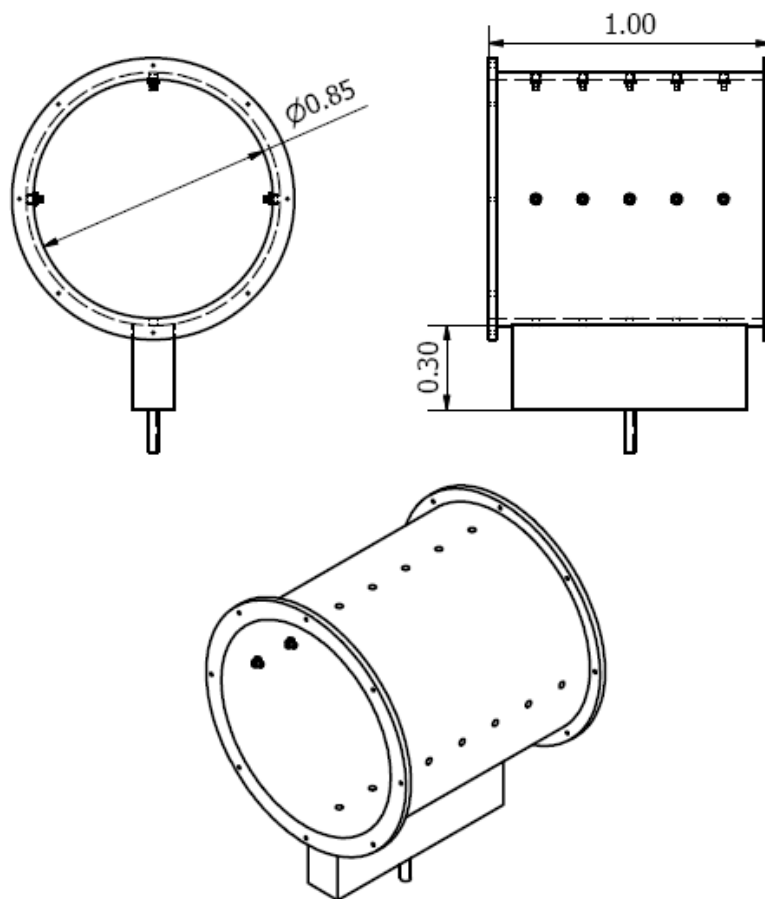
Tabla No. 3**Composición del Aire atmosférico urbano y Gases de combustión,
valores promedio y sus pesos moleculares**

Consti- tuyente	Composición del Aire atmosférico Valores promedio (%)	Composición de los Gases de Combustión Valores promedio (%)	Peso molecular	Peso molecular del Aire	Peso molecular de los Gases de Combustión
N₂	78.1	79,9	28	21.87	22.37
O₂	20.9	2.9	32	6.69	0.928
Gases Nobles	0.9	0.9	40	0.36	0.36
CO₂	0.044	16	44	0.019	7.04
SO₂	0.0045	0.2	64	0.0029	0.128
NO₂	0.0035	0.069	46	0.0016	0.0317
Otros gases (CH₄)	0.048	0.0931	16	0.0077	0.0149
Total	100.000	100.000		28.95	30.87

El flujo de gases óptimo que maneja el equipo es de $10.000 \text{ m}^3 / \text{h}$ y para el caso de gases de combustión con 16 % de CO_2 , se requiere el absorbedor con una longitud de 5.47 m lo que haría que se acoplaran 6 secciones de un metro cada una y por lo tanto se tendrían 90 toberas en uso para los $50.07 \text{ m}^3/\text{h}$ de la solución absorbedora que se requieren y el flujo por tobera será de $0.556 \text{ m}^3/\text{h}$.

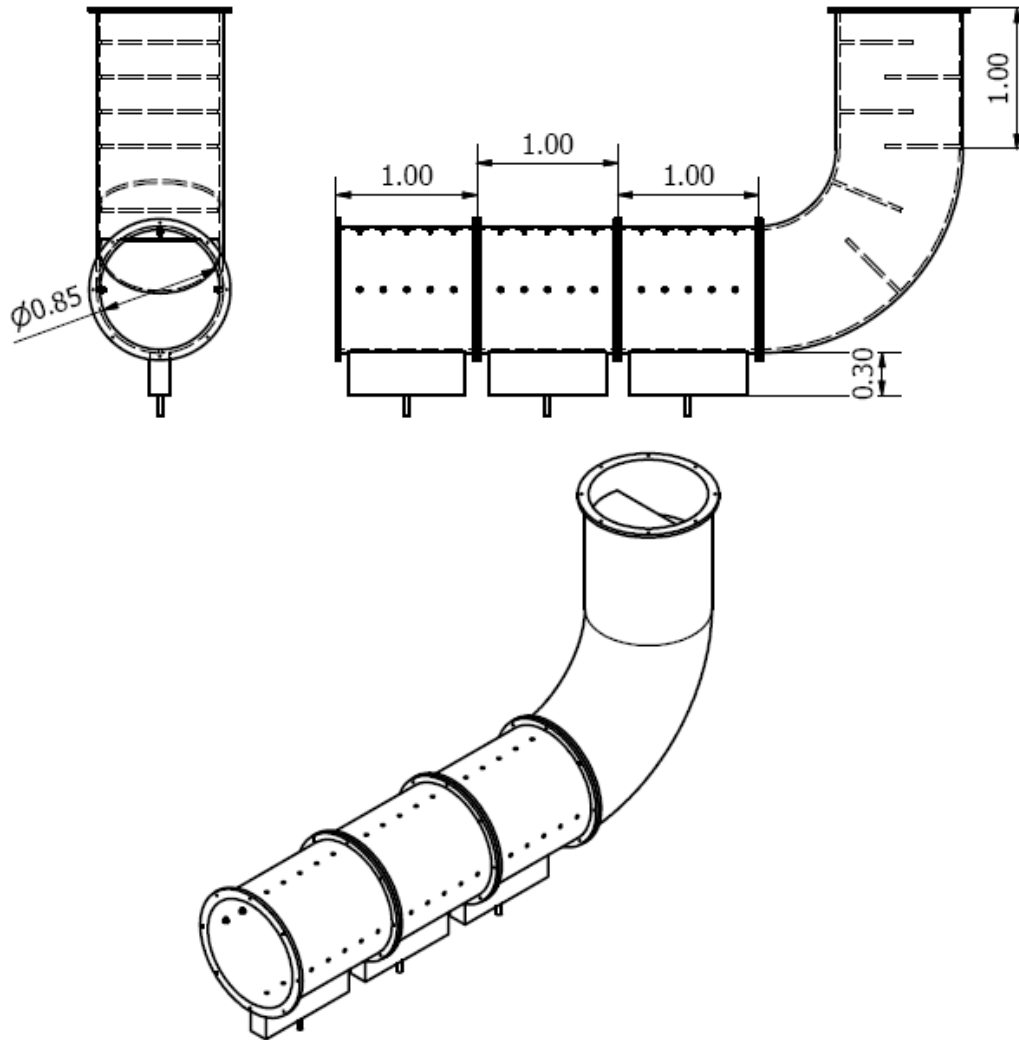
En la Figura No. 2 se puede observar la disposición de las secciones del absorbedor.

Figura No. 2
Secciones del absorbedor y detalles de construcción



Los gases a lavar entran por un extremo del absorbedor, impulsados por un ventilador sin cambio de dirección, y una vez que los gases ácidos y polvos y partículas suspendidas hayan sido capturados y/o retenidas por el líquido de absorción, salen los gases por el otro extremo del absorbedor a una chimenea haciendo cambio de dirección y con deflectores para retener el arrastre del líquido de absorción por los gases limpios que se mandan a la atmósfera. Figura No. 3.

Figura No. 3
Absorbedor horizontal con salida de gases



En la Figura No. 4 se tiene el diagrama de flujo del proceso completo, para producir CaCO_3 ; en la Figura No. 5 se tiene el diagrama de flujo del proceso completo, para producir MgCO_3 y en la Figura No. 6 se tiene el diagrama de flujo del proceso completo, para producir Li_2CO_3 .

Figura No. 4
Diagrama de Flujo

Absorción de CO₂ del aire o de gases de combustión produciendo CaCO₃

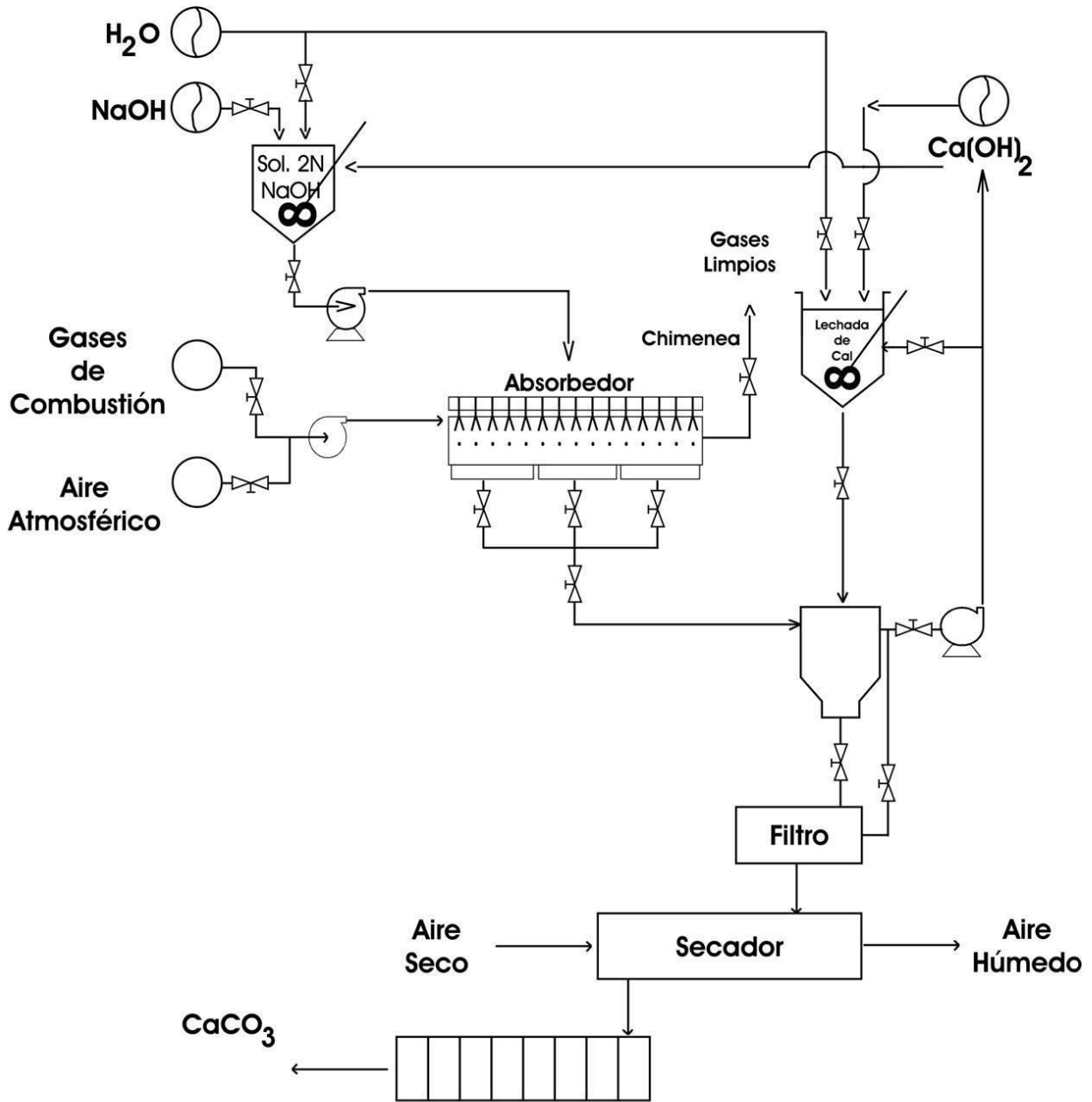


Figura No. 5
Diagrama de Flujo

Absorción de CO_2 del aire o de gases de combustión produciendo MgCO_3

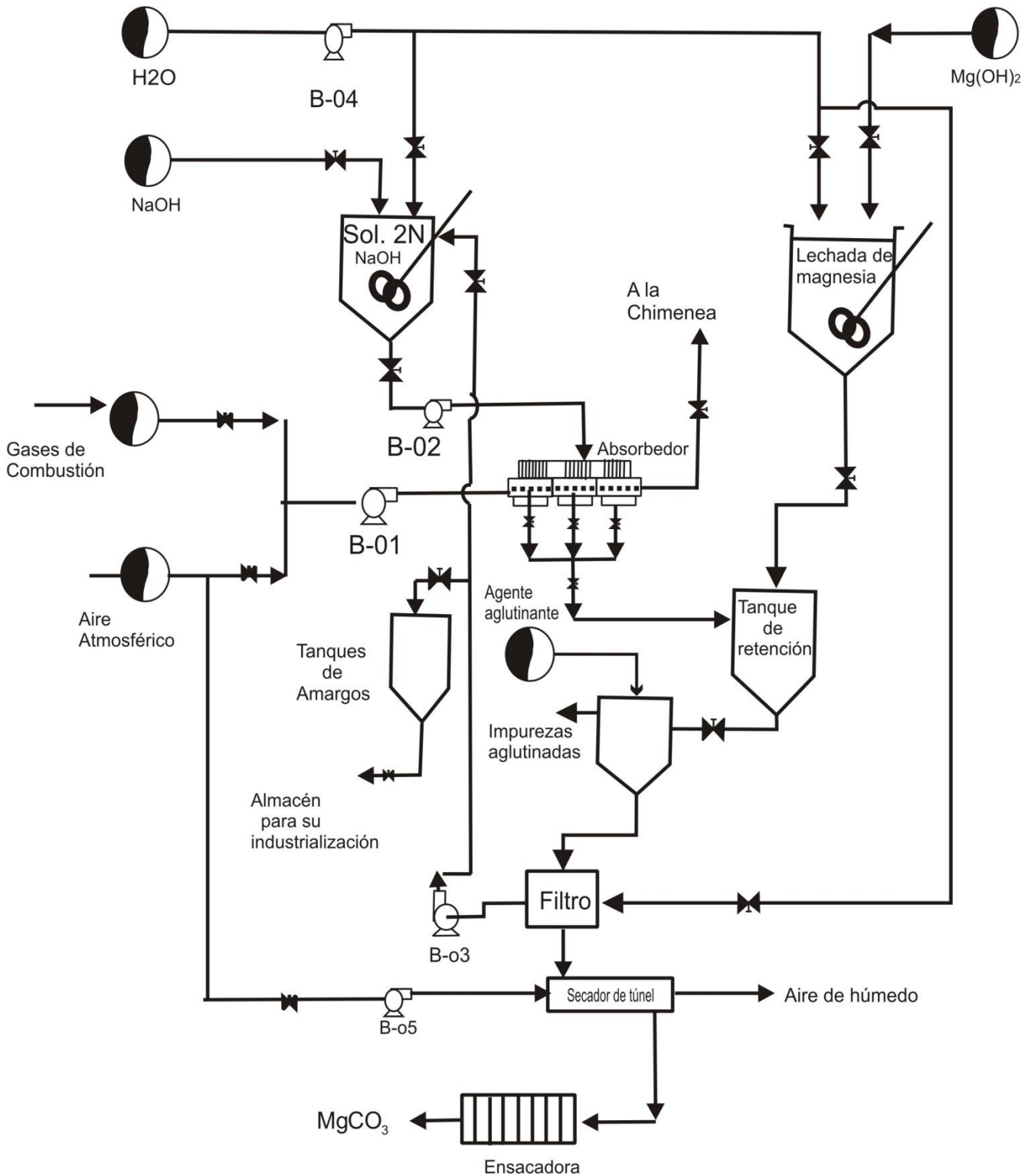
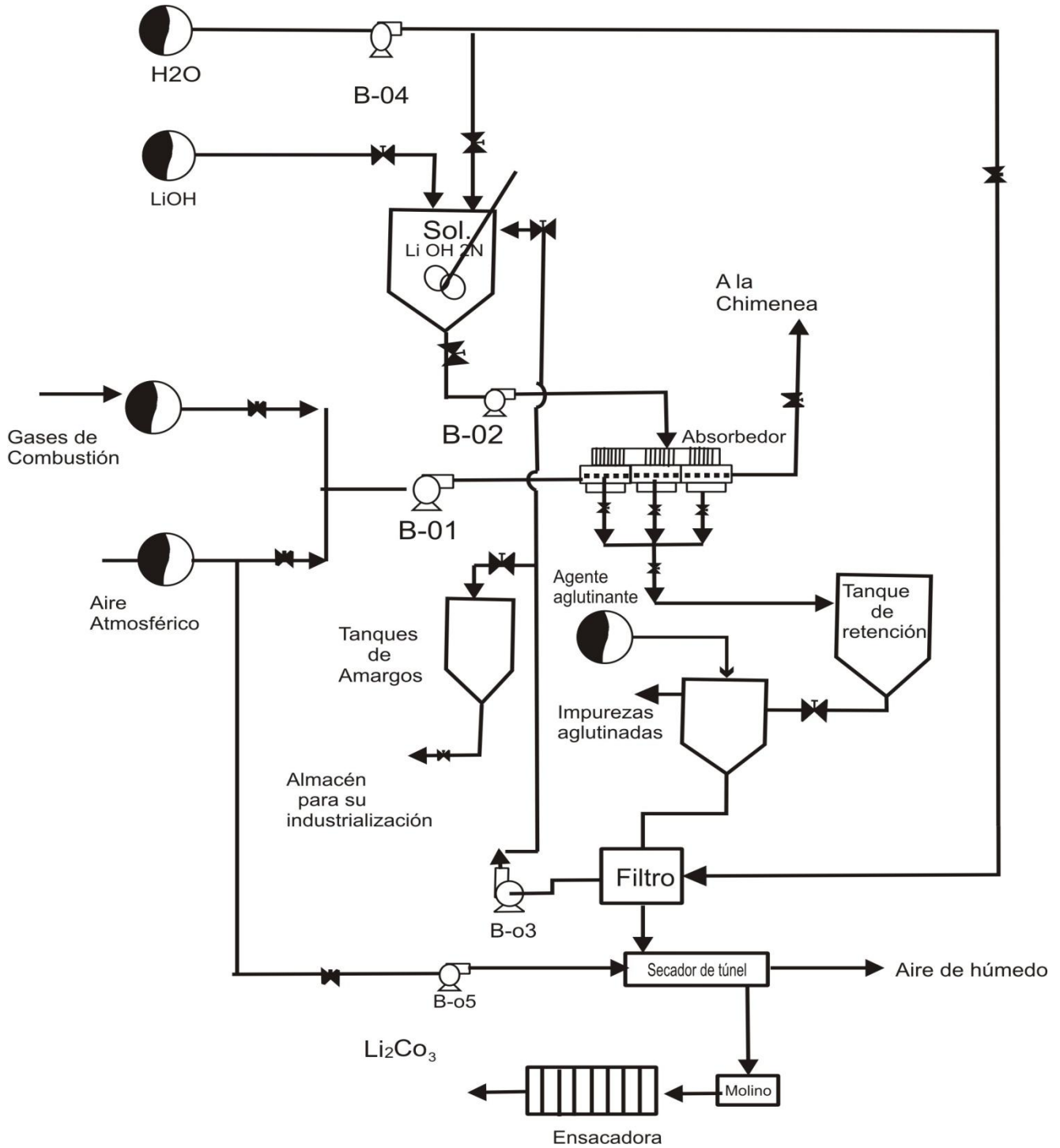


Figura No. 6
Diagrama de Flujo

Absorción de CO₂ del aire o de gases de combustión produciendo Li₂CO₃



Condiciones de operación en los procesos de captura de CO₂, SO₂ y NO₂ proveniente de gases de combustión.

Se tienen básicamente tres procesos bajo la misma tecnología, produciendo diferentes carbonatos: CaCO₃, MgCO₃ y Li₂CO₃. En la Figura No. 6 se han concentrado los reactivos, insumos y materiales que se requieren en cada uno de los procesos.

Tabla No. 6

Condiciones de operación en la instalación industrial para la captura de gases ácidos (CO₂, SO₂ NO₂), de gases de combustión

FLUJO DE REACTIVOS, INSUMOS Y MATERIALES	PROCESO CaCO ₃	PROCESO MgCO ₃	PROCESO Li ₂ CO ₃
Flujo volumétrico de gases de combustión a tratar	10,000 m ³ /h	10,000 m ³ /h	10,000 m ³ /h
Flujo volumétrico del líquido de absorción	50.08 (Sol. 80 NaOH g/lit) m ³ /h	50.08 (Sol. 80 NaOH g/lit) m ³ /h	51.71 (Sol. 48 LiOH g/lit) m ³ /h
Flujo másico del álcali de absorción	4.006 Ton NaOH /h	4.006 Ton NaOH/h	2.482Ton LiOH /h
Agua de proceso	1.5 m ³ /h	1.5 m ³ /h	1.5 m ³ /h
Flujo de lechada al 20 %	16.505 m ³ /h (lechada de cal)	12.936 m ³ /h (lechada de magnesia)	---
Flujo másico del alcalino terrio	3.706 ton Ca(OH) ₂ /h	2.905 ton Mg(OH) ₂ /h	---
Flujo de carbonto a la salida	4.944 ton CaCO ₃ /h	4.153 ton MgCO ₃ /h	3.659 ton Li ₂ CO ₃ / h
Temperatura media de los gases	22 °C	22 °C	22 °C
Presión media de los gases	0.771 atm	0.771 atm	0.771 atm
Potencia eléctrica requerida	15.0 Kw	15.0 Kw	10.25 Kw

Huella de carbono (Consumo de Bonos de Carbono) por la operación del proceso ECOPLANT, debido a los requerimientos energéticos cuando se procesan gases de combustión:

Para este cálculo se consideró la energía eléctrica para hacer funcionar la instalación y la gasolina del vehículo utilitario de la planta donde opere el equipo.

Requerimiento de gasolina anual: El consumo de gasolina se estima en 6,900 lt/año que corresponden a una emisión de **19.2 Ton CO₂ / año.**

Requerimiento de energía eléctrica: El total de energía eléctrica que se requiere por año es de: **88,077.6 Kw-h/año;** que corresponden a **30.33 Ton CO₂/año.**

La huella de carbono por la operación del proceso ECOPLANT es de: **49.53 Ton CO₂ / año.**

Costo de la instalación

Para el cálculo del costo de la instalación se consideró la capacidad óptima de la instalación de los tres diferentes procesos con la misma tecnología, para la absorción de gases ácidos de los gases de combustión de quemadores y motores de combustión interna que utilizan combustibles fósiles, para la acreditación de bonos de carbono y la organización requerida para realizar la operación. Los resultados se encuentran en la Figura No. 7

Tabla No. 7

Relación y costo estimado del equipo de la instalación óptima para procesar 10,000 m³ de gases de combustión.

CONCEPTO	PROCESO CaCO ₃	PROCESO MgCO ₃	PROCESO Li ₂ CO ₃
Costo de la instalación	M\$ 4,069.0	M\$ 4,158.5	M\$ 3,508.7
Costo de Instalación, Tuberías, Accesorios, Instrumentación y Equipo Auxiliar)	M\$ 1,627.6	M\$ 1,663.4	M\$ 1,403.4
Costo del Equipo Funcionando (CEF)	M\$ 5,696.6	M\$ 5,821.9	M\$ 4,912.1
Activo diferido	M\$ 1,880.0	M\$ 1,921.2	M\$ 1,621.0
Capital de trabajo (operando una semana)	M\$ 1,882.8	M\$ 13,646.1	M\$52,678.3
Imprevistos	M\$ 740.6	M\$ 756.8	M\$ 638.6
Inversión total	M\$ 10,200.0	M\$ 22,146.0	M\$59,850.0
Costos fijos (1er año)	M\$ 4,126.6	M\$ 7,012.5	M\$15,923.6
Costos variables (1er año)	M\$87,317.9	M\$ 628,433.4	M\$ 2'424,812.5
Egresos (1er año)	M\$ 91,444.5	M\$ 635,446.0	M\$ 2'440,736.1
Ingresos (1er año)	M\$ 100,676.1	M\$ 2'358,936.9	M\$ 3'025,080.8
Utilidad bruta (1er año)	M\$ 9,231.6	M\$ 1'723,490.9	M\$ 584,344.7
Utilidad neta (1er año)	M\$ 5,354.3	M\$ 999,624.7	M\$ 338,919.9
Tasa Interna de Retorno (TIR)	46.76 %	66.86 %	64.96 %
Punto de equilibrio (1er año)	30.89 %	0.41 %	2.65 %
Tiempo de recuperación del capital	22.86 meses	0.266 meses	2.12 meses
Producción anual de Carbonato	38,207.23 ton CaCO ₃	32,094.38 ton MgCO ₃	28,276.8 ton Li ₂ CO ₃
Precio de venta de los carbonatos L.O.B.	M\$ 2.635 / ton CaCO ₃	M\$ 73.5 / ton MgCO ₃	M\$ 106.8 / ton Li ₂ CO ₃
CO₂ absorbido total	16,800 / ton/año	16,800 / ton/año	16,800 / ton/año
Absorbido neto	16,750 / ton/año	16,750 / ton/año	16,750 / ton/año
Costo de Ventas	2.393 M\$/ton	19.799 M\$/ton	86.231 M\$/ton

- Nota: M\$= Miles de pesos mexicanos

Conclusiones:

Como se puede observar los tres procesos, uno produciendo CaCO_3 , el otro MgCO_3 y finalmente el Li_2CO_3 , con la misma tecnología de ECOPLANT, rentables y en poco tiempo se recupera la inversión.

De acuerdo a los indicadores se puede considerar que el proyecto en sus tres modalidades es muy rentable, y el tiempo de recuperación del capital invertido es muy corto.

Cabe concluir resaltando los excelentes resultados financieros esperables de los tres proyectos analizados, además de la eliminación prácticamente total de los gases ácidos de efecto invernadero y el sulfuro de hidrógeno.