



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
FACULTAD DE METALURGIA Y ELECTROMECAÁNICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA

Influencia de las características del carbonato de níquel de la empresa “René Ramos Latour” sobre las propiedades de filtración

Tesis presentada en opción al título de Ingeniero en Metalurgia

Jorge Rafael Gutiérrez Olmos

MOA

2013



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
FACULTAD DE METALURGIA Y ELECTROMECAÁNICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA

Influencia de las características del carbonato de níquel de la empresa “René Ramos Latour” sobre las propiedades de filtración

Tesis presentada en opción al título de Ingeniero en Metalurgia

Autor: Jorge Rafael Gutiérrez Olmos

Tutores: Prof. Asist. Ing. Armando Rojas Vargas, Ms.C.

Prof. Titular, Ing. Pedro Enrique Beyris Mazar, Dr. C.

MOA

2013

Yo: Jorge Rafael Gutiérrez Olmos, autor de este trabajo de diploma, que tiene como título: **“Influencia de las características del carbonato de níquel de la empresa “René Ramos Latour” sobre las propiedades de filtración”** y los tutores, Prof. Asist. Ing. Armando Rojas Vargas, Ms. C y El Prof. Aux. Ing. Pedro Enrique Beyris Mazar, Dr. C., declaramos la propiedad intelectual de este al servicio del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa para que disponga de su uso cuando estime conveniente, considerando que forma parte de la tesis del tutor.

Diplomante: Jorge Rafael Gutiérrez Olmos

Prof. Asist. Ing. Armando Rojas Vargas, Ms.C.

Prof. Titular. Ing. Pedro Enrique Beyris Mazar, Dr. C.

PENSAMIENTO

Los hombres crecen, crecen físicamente, de una manera visible crecen, cuando aprenden algo, cuando encuentran algo, cuando entran a poseer algo, y cuando han hecho algún bien.

José Martí

AGRADECIMIENTOS

Agradezco francamente la colaboración de todas las personas que han contribuido a la realización de este trabajo y en especial:

A Fidel Castro Ruz, quien ha sido guía de este genuino proceso revolucionario y a la Revolución Cubana por permitirme la oportunidad de cursar mis estudios y alcanzar el título de Ingeniero.

A mis queridos hermanos, a mi familia por la voluntad y el apoyo que me han brindado.

A mi esposa por cuidarme y brindarme todo el apoyo en la realización de este trabajo.

A mis tutores Ms.C. Armando Rojas Vargas y Dr.C. Pedro Enrique Beyris Mazar, quienes han guiado y puesto su dedicación en la realización de este proyecto.

A las compañeras que han laborado en la biblioteca de la empresa RRL, especialmente Ana Roque, por la dedicación que han puesto en cuidar los archivos técnicos.

A todos los profesores del aula cautiva, quienes me crearon conocimientos para formarme como ingeniero y a los organizadores de este programa.

A José Matos Panaderos, por sus aportes decisivos al diseño y la fabricación de la probeta de filtración de laboratorio.

Al departamento de ensayos químicos de la empresa René Ramos Latour.

Al Centro de Investigación y Desarrollo del Níquel Capitan “Alberto Fernández Montes de Oca”

A todos muchas gracias.

DEDICATORIA

A mi pequeño hijo San Jorge, quien es mi fuente de luz, mis ojos, mi sentir, mi TODO.

A mi madre, quien con tanto valor y sacrificio supo llevarme adelante en la vida, que a pesar de sus limitaciones, siguió dándome su apoyo en mi educación y en mi vida.

A mi Padre, quien estaría muy orgulloso del triunfo logrado.

A mis abuelos y hermanos cuya educación, valor y ejemplo, me han permitido alcanzar esta meta.

A mi esposa, Maite Almaguer Pérez que con su constancia y abnegación ha logrado que mis sueños sean realizados.

A toda mi familia en general.

A Santiago Abel Ricardo quien considero como un padre.

A dos personas que ha significado mucho para nuestro pueblo, América latina y el mundo, hombres que han dado luz, esperanza y amor, a los pobres, Fidel Castro Ruz y Hugo Rafael Chávez Frías.

Resumen

En el presente estudio se muestran los resultados de la influencia de las características del carbonato de níquel sobre las resistencias y humedad del filtrado. La investigación se realizó en la empresa “René Ramos Latour” con el objetivo de determinar el efecto de la composición química, la fineza y el pH de la pulpa destilada sobre la resistencia de la membrana, la resistencia de la torta y la humedad del filtrado, ya que estas se desconocen. Para desarrollar el experimento, se realizó la filtración del carbonato de níquel a una caída de presión de $3,758 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$, temperatura de $80 \text{ }^\circ\text{C}$ y 16 % en peso de sólidos, aplicando como membrana el papel Kraft, para ello se diseñó y fabricó una probeta de filtración a escala de laboratorio. El método de filtración fue a presión constante. Se obtuvo que un incremento de la concentración de dióxido de carbono aumenta el diámetro promedio de las partículas, disminuye el contenido de azufre en el sólido, la resistencia específica de la torta y la humedad del filtrado. Se propuso un modelo estadístico para predecir la resistencia específica de la torta en función del contenido de dióxido de carbono y el diámetro promedio de partículas del carbonato de níquel; esta última variable se requiere también para calcular la resistencia de la membrana. Los incrementos de pH en la pulpa de carbonato, aumentan la turbiedad del licor filtrado y no ejerce influencia sobre las resistencias de la filtración.

Summary

In the present study, the characteristics of the nickel carbonate influence on the resistances and humidity of the filtrate are shown. The investigation was carried out in the company “René Ramos Latour” with the objective of determining the effect of the chemical composition, the fineness and the pH of the pulp distilled, on the resistance of the membrane, the resistance of the cake and the humidity of the filtrate, since these are not known. To develop the experiment, the filtration of nickel carbonate to a fall of pressure of $3,758 \cdot 10^4$ N/m, temperature 80 °C and 16 % in weight of solids was realized, applying as membrane the paper Kraft. A test tube of filtration laboratory scale was designed and manufactured. The filtration method was at constant pressure. An increment of the concentration of dioxide of carbon increases the diameter average of the particles, diminishes the content of sulphur in the solid, the specific resistance of the cake and the humidity of the filtrate. A statistical model was proposed to predict the specific resistance of the cake depending on the content of dioxide of carbon and the diameter average of the particles; this last variable is required also to calculate the resistance of the membrane. The increments of pH in the carbonate pulp, increase the turbidity of the filtered liquor and it doesn't exercise influence on the resistances of the filtration.

INTRODUCCIÓN	- 1 -
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO.....	- 5 -
Conclusiones parciales.....	- 5 -
CAPITULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	- 21 -
2.1 Muestreo.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2 Análisis químicos.	¡Error! Marcador no definido.
2.3 Materiales y equipos.....	¡Error! Marcador no definido.
2.4 Diseño de experimentos	¡Error! Marcador no definido.
2.5 Análiisi estadístico	¡Error! Marcador no definido.
2.6 Conclusiones parciales.....	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO 3. DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	- 35 -
3.1 Descripción de la operación de las columnas de destilación	¡Error! Marcador no definido.
3.2 Caracterización de los licores alimentados a las columnas de destilación	¡Error! Marcador no definido.
3.3 Caracterización de las pulpas de carbonato de níquel procedentes de la destilación	¡Error! Marcador no definido.
3.4 Resultados de la filtración	¡Error! Marcador no definido.
3.5 Efecto de la composición química sobre las propiedades de filtración del carbonato de níquel de la empresa “René Ramos Latour”.....	¡Error! Marcador no definido.
3.6 Efecto del pH.....	¡Error! Marcador no definido.
3.7 Efecto del tamaño de partícula sobre las propiedades de filtración.....	¡Error! Marcador no definido.
3.8 Modelo multivariable para el estimado de la torta.....	¡Error! Marcador no definido.
3.9Conclusiones parciales.....	- 44 -

CONCLUSIONES.....	¡Error! Marcador no definido.
RECOMENDACIONES.....	- 48 -
NOTACIÓN.....	- 48 -
BIBLIOGRAFÍA.....	- 49 -

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

El níquel es un elemento químico muy valioso, aproximadamente el 65 % de su producción se emplea en la fabricación de acero inoxidable austenítico, un 12 % en superaleaciones de níquel y el resto, en otras aleaciones, baterías, catálisis, acuñación de monedas, recubrimientos metálicos y la fundición. Para su obtención a partir de minerales lateríticos, se aplican la Tecnología de Lixiviación Carbonato Amoniacal (TCA) y la Tecnología de Lixiviación Ácida a Presión (LA).

Los mayores productores de níquel en el mundo en la actualidad son Rusia, Filipinas, Indonesia, Canadá; Cuba ocupa el puesto 9 con volúmenes que superan las 73 000 t anuales. Asimismo, por sus reservas, Australia con más de 20 millones de toneladas ocupa el primer lugar en cuanto a volumen disponible, seguido por Cuba, Rusia y Canadá (Barrios, 2013).

En Cuba, a partir del año 1943, empezaron las primeras producciones al fundarse en Nicaro, la primera industria del mundo con TCA que tras su nacionalización con el Triunfo de la Revolución en 1959, adoptó el nombre de empresa “René Ramos Latour” (RRL). En Moa operan otras dos empresas productoras: “Pedro Soto Alba” (PSA) con tecnología ácida, puesta en operación en 1959 y “Ernesto Che Guevara” (ECG), proceso CARON, operando desde 1986 (Oramas, 2003).

Dentro de los procesos más notables de operaciones unitarias en el proceso CARON, se encuentra la filtración, en especial la del carbonato de níquel, con el objetivo de separar todo el sólido posible de la suspensión carbonatada obteniendo hasta un 65% de humedad en la torta. Para que esta operación ocurra con eficiencia es necesario garantizar una serie de factores que influyen decisivamente en las propiedades de filtración del carbonato de níquel.

Los últimos períodos de producción en la empresa RRL, se han visto afectados por la baja eficiencia en la obtención del óxido de níquel, aparejadas con la disminución del precio de níquel (figura 1A del anexo) en el mercado internacional,

el incremento del precio de los insumos elevando el costo de producción y estado de las instalaciones tras casi 60 años de explotación.

En proyecto de investigación (Trujillo, M. y Rojas, A., 2011) realizaron un balance de masa de componentes amoníaco y dióxido de carbono, global y en las plantas de Lixiviación y Recuperación de Amoníaco de la empresa RRL. Determinaron que las mayores pérdidas determinadas ocurren por la pulpa destilada de carbonato de níquel, representando el 47,45 % de las pérdidas determinadas totales y recomendaron implantar el control de la operación por pH.

Tabla 1. Jerarquización de las Pérdidas de NH₃ en la RRL. Balance Global

Fuente: Trujillo, M. y Rojas, A., 2011

No.	Corrientes	(%)	Acumulado (%)
1	NH ₃ contenido en el licor de la pulpa destilada de carbonato de níquel.	47,45	47,45
2	NH ₃ contenido en el licor que acompaña la cola destilada.	26,94	74,39
3	NH ₃ contenido en los gases de la Torre Final Absorción de la Planta de Lixiviación.	16,82	91,21
4	NH ₃ en los gases efluentes de la torre final del Sistema de absorción de la Planta de Recuperación de NH ₃	8,79	100,00
Pérdidas:		100	-

El control de la destilación por pH consiste en aplicar una “carta de control” en la que se recomienda operar en el intervalo de (8,1 < pH < 8,5) y de esta forma, disminuir los gastos de operación por consumo de reactivo de precipitación de níquel y pérdidas de amoníaco. El estudio lo realizaron en una minicolumna de destilación (MCD) y en las columnas de destilación industrial.

Alimentaron por un plato lateral de la MCD licor de alto dióxido de carbono, (NH₃/CO₂=1,6) y obtuvieron un incremento en el contenido de dióxido de carbono en el carbonato de níquel de 6,7 % a 9,4 % y el azufre disminuyó de 4,4 % a 2,3 %, el carbonato se enriqueció en fracciones más gruesas. Las pruebas de filtración y secado preliminares reflejaron que la resistencia específica de la torta

disminuyó con valores en el orden de 10^6 y 10^7 m/kg y la humedad del filtrado fue menor. (Rojas, 2006, 2007b, 2007c; Magaña, et. al., 2011).

Situación problemática Teniendo en cuenta el efecto de la calidad del Licor Producto de Lixiviación alimentado a destilación y las normas de operación en las columnas de destilación modificadas por el método de control por pH, sobre las características físicas y composición química del carbonato de níquel, se hace necesario determinar cómo inciden sobre las propiedades de filtración: resistencia de la torta y resistencia de la membrana, de tal forma que permitan tomar acciones correctivas para favorecer la filtración y disminuir la humedad del filtrado.

El **problema científico** de esta investigación es el insuficiente conocimiento de la influencia de los factores: composición química y fineza del carbonato; pH de la pulpa destilada y sus interacciones, sobre la resistencia específica de la torta y la resistencia de la membrana durante la filtración del carbonato de níquel procedente de la empresa “René Ramos Latour”.

El **Objeto de investigación** es el método aplicado en la filtración del carbonato de níquel para favorecer las propiedades de filtración: resistencia de la torta y resistencia de la membrana y disminuir la humedad del filtrado.

El **Objetivo General de la investigación** es evaluar el efecto de la composición química y fineza del carbonato; el pH de la pulpa y sus interacciones, sobre la resistencia específica de la torta, la resistencia de la membrana y la humedad de filtrado durante la filtración del carbonato de níquel procedente de la empresa “René Ramos Latour”.

Campo de acción: destilación del licor producto de las plantas de níquel con tecnología de Lixiviación Carbonato Amoniacal.

Objetivos Específicos

1. Seleccionar y caracterizar las muestras de pulpa de carbonato de níquel del proceso de destilación y las condiciones de operación que la originaron.

2. Identificar los factores que inciden sobre la resistencia específica de la torta y resistencia de la membrana durante la filtración del carbonato de níquel.
3. Estudiar la naturaleza de la influencia de los factores identificados, sobre las resistencias de filtración.
4. Obtener un modelo estadístico para estimar las resistencias de la filtración.

Hipótesis si se determina la influencia del pH de la pulpa destilada, la composición química y características físicas del carbonato de níquel sobre las resistencias de la filtración y humedad del filtrado, entonces se podrá mejorar el método de filtración para disminuir la humedad del filtrado, los gastos energéticos durante la obtención del óxido de níquel o sínter y el impacto negativo sobre el medio ambiente.

Metodología de la Investigación.

- Método lógico-histórico para analizar el efecto de las variables de operación sobre la filtración del carbonato de níquel.
- Método empírico, basado en la medición de los parámetros de operación y la observación de las tendencias.
- El análisis estadístico de la base de datos, aplicando los programas MS Excel y StatGraphics, para la obtención de los modelos y su calidad de ajuste.

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTO TEÓRICO

En el presente estudio bibliográfico se exponen los resultados de un conjunto de estudios precedentes en las investigaciones en el campo de la filtración y específicamente, en la filtración a presión constante del carbonato de níquel obtenido en el proceso de recuperación de níquel por la Tecnología de Lixiviación Carbonato Amoniaca. Todo ello tributa a una mejor comprensión de los aspectos teóricos y resultados experimentales que son objeto de análisis y de referencia para emprender el trabajo experimental.

1.1 La Filtración

La filtración es una Operación Unitaria de Transporte de la Cantidad de Movimiento. Es la separación de partículas sólidas existentes en una suspensión, haciéndolas pasar a través de un medio filtrante, el cual permite el paso del líquido, reteniendo las partículas sólidas que van depositándose sobre el medio filtrante, como se aprecia en la Figura 1, siendo la expresión para el balance de masa expresado por la ecuación (1).

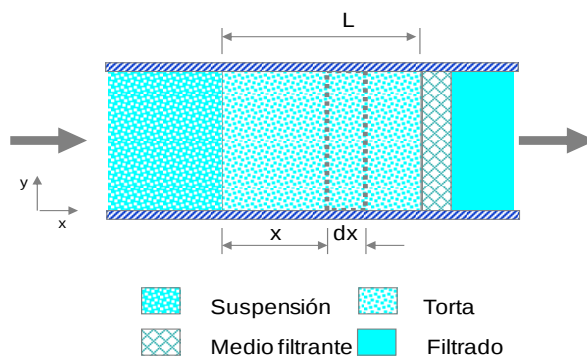


Figura 1 Distribución de masas en el proceso de filtración

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{masa que ingresa} \\ \text{al volumen de control} \\ \text{por unidad de tiempo} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{masa que se genera} \\ \text{en el volumen de control} \\ \text{por unidad de tiempo} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{masa que sale} \\ \text{del volumen de control} \\ \text{por unidad de tiempo} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{masa que se acumula} \\ \text{en el volumen de control} \\ \text{por unidad de tiempo} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \frac{dM}{dt} \right\} + \{0\} - \{\rho \cdot dV\} = \{r \cdot dM\} \quad (1)$$

1.2 Regímenes de operación de filtración

Los regímenes de operación son: (Brawn, Mc Cabe y Smith, 1987)

1. Presión constante.
2. Presión variable o velocidad de filtrado constante.
3. Mixto (presión y velocidad de filtrado variable).

Filtración a presión constante. A presión constante, la presión de impulsión de la suspensión se mantiene constante durante todo el ciclo de filtración, por lo que el comportamiento del caudal de filtrado varía y decrece. El período de filtración termina cuando el caudal de filtrado se comporta por debajo de valores determinados en las operación. Esta operación se utiliza con gran frecuencia en la industria siendo su expresión matemática (2):

$$\frac{dt}{dV} = \frac{Ct \cdot \alpha \cdot \mu}{S^2 \cdot (-\Delta P)} \cdot V + \frac{Rm \cdot \mu}{S \cdot (-\Delta P)} \quad (2)$$

Donde:

dt : Diferencial tiempo (s)

dV : Diferencial volumen (m^3)

Ct : Kg de sólido / m^3 de líquido filtrado

α : Resistencia específica de la torta (m/kg)

Rm : Resistencia específica de la membrana (1/m)

μ : Viscosidad del licor (Pa·s)

S : Área de filtración (m^2)

$(-\Delta P)$: caída de presión de operación (Pa)

Filtración a presión variable. La filtración a presión variable solo es necesaria cuando se necesita mantener en el proceso una velocidad de caudal de filtrado constante, la cual exige que el comportamiento de las presiones sea de una forma creciente en todo momento, permitiendo así la compensación de los aumentos progresivos que impone la resistencia de la torta. La operación de filtrado será concluida cuando el sistema de operación alcance los valores máximos para los cuales se diseñó la instalación. Este tipo de filtración se da cuando se alimenta el filtro con una bomba de desplazamiento positivo, siendo su expresión matemática (3):

$$-\Delta P = \frac{Ct \cdot \alpha \cdot \mu}{S^2} \cdot \frac{dV}{dt} \cdot V + \frac{Rm \cdot \mu}{S} \cdot \frac{dV}{dt} \quad (3)$$

Régimen de operación Mixto. El régimen mixto es el responsable de establecer cierto equilibrio entre las ventajas de los dos métodos estudiados a continuación, buscando que los precipitados que son sensibles a las altas presiones mantengan un comportamiento de filtrado rápido y seguro. A menudo el método más común de operar un filtro en presencia de este régimen es comenzando a una velocidad constante, a poca presión, hasta que exista cierto espesor de la torta sobre el material filtrante, después se eleva la presión hasta un valor dado y se mantiene hasta lograr una presión constante y un comportamiento decreciente en la velocidad, siendo su expresión matemática (4):

$$\frac{-\Delta P}{Q} = \frac{\alpha \cdot \mu \cdot \rho \cdot S}{1 - \frac{1}{C_T} \cdot S} \cdot \frac{1}{S^2} \cdot V + \frac{Rm \cdot \mu}{S} \quad (4)$$

1.3 Propiedades de Filtración

Las propiedades de filtración son: (Brawn, Mc Cabe y Smith, 1987)

- a) Resistencia de la membrana (R_m).
- b) Resistencia específica de la torta (α)
- c) Porosidad (ϵ).

d) Permeabilidad (K).

Resistencia de la membrana (R_m). Es la resistencia que ofrece el medio o membrana porosa al paso de un fluido. Esta resistencia es constante, pero puede ir variando con el tiempo como resultado de la penetración de sólidos en la membrana. Puede también cambiar con la presión aplicada debido a la compresión del material fibroso que constituye el medio.

Resistencia Específica de la torta (α). La torta que se forma durante el proceso de filtración presenta una fuerza que se opone a la salida del líquido filtrado. La resistencia de la torta es cero al iniciar la filtración, a causa de la deposición continua de sólidos sobre el medio, esta resistencia aumenta continuamente con el tiempo de filtración, por lo general es la capa de sólidos la que permite el filtrado denominándose este hecho como filtración por torta.

En la Tabla 1.1, se muestran algunos valores de las propiedades de filtración, para varias suspensiones.

Tabla 1.1. Propiedades de filtración de algunas suspensiones

Materiales	ΔP (N/m ²)	T (°C)	C(x)	α (m/kg)	R_m (m ⁻¹)	Fuente
CaCO ₃	$4,6 \cdot 10^4$	25	23,5 ⁽¹⁾	$1,11 \cdot 10^{11}$	$6,53 \cdot 10^{10}$	Mc Cabe y Smith, 1987
NiCO ₃	$1,96 \cdot 10^4$	56	-	$4,14 \cdot 10^6$	$4,65 \cdot 10^7$	Enrich S. A., 1977
	$2,94 \cdot 10^4$	56	-	$4,43 \cdot 10^6$	$4,02 \cdot 10^8$	
	$3,93 \cdot 10^4$	56	-	$6,00 \cdot 10^7$	$2,50 \cdot 10^8$	
Pasta de cerámicas	$3,92 \cdot 10^5$	-	-	$35,13 \cdot 10^{12}$	$86,45 \cdot 10^{12}$	Seco, 1996.

⁽¹⁾: (g de sólido / Líquido filtrado)

El estudio de las pulpas de carbonato de níquel se realizó a presión constante en un intervalo de presión de $1,96 \cdot 10^4$, $2,94 \cdot 10^4$, $3,93 \cdot 10^4$ N/m², con una temperatura

de 56 °C en un equipo preparado por la universidad de oriente. Para el análisis se tomó una muestra de pulpa de carbonato de níquel del sedimentador y se utilizó el material filtrante empleado en la industria en ese momento, no especificado, arrojando los siguientes valores que a continuación se muestra en la tabla 1.2. (Enrich S. A., 1977)

Tabla 1.2. Resultados de la (α) y (R_m)

Fuente: Enrich S. A., 1977

Caída de presión ΔP (N/m²)	Resistencia específica de la torta (α) (m/Kg)	Resistencia del medio filtrante (R_m) (m⁻¹)
$1,96 \cdot 10^4$	$4,14 \cdot 10^6$	$4,65 \cdot 10^7$
$2,94 \cdot 10^4$	$4,43 \cdot 10^6$	$4,02 \cdot 10^8$
$3,93 \cdot 10^4$	$6,00 \cdot 10^7$	$2,50 \cdot 10^8$

Porosidad (ε). Durante el proceso de filtración, el fluido no dispone de todo el espacio para circular en el medio poroso, porque una parte del mismo se encuentra ocupada por el sólido. Por consiguiente, se define el término de porosidad como la relación existente entre el volumen vacío de la torta o volumen de poros y el volumen total de la misma. Se puede determinar por la ecuación (5): (Mc Cabe y Smith, 1987)

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_r} \quad (5)$$

Donde: ρ_r es la densidad real y ρ_a la densidad aparente, en kg/m³.

La porosidad de la torta depende del gradiente de presión existente en el sistema, reportándose la función (6). Para pulpas de barbotina feldespática, se determinó que la porosidad de la torta varía con la presión en intervalos de $3,04 \cdot 10^5$ a $1,32 \cdot 10^6$ (N/m²). (Seco, 1996)

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \exp(n \cdot \Delta P) \quad (6)$$

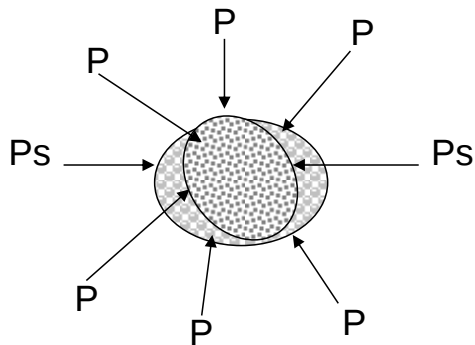


Figura 3 Distorsión de una partícula causada por la presión de compresión
Fuente: McCabe, 1987

Permeabilidad. La permeabilidad (K) de un medio poroso, es la facilidad con que un fluido fluye a través de la red de poros que lo conforman, por lo tanto, depende de la estructura de dicho medio poroso. Se relaciona con la resistencia específica de la torta (α) mediante ecuación (7):

$$K = \frac{1}{\alpha} \quad (7)$$

1.4 Análisis de los factores que inciden sobre la filtración

En la eficiencia de los procesos de filtración intervienen varias variables que deciden el comportamiento de la operación, entre las que se relacionan:

- El medio filtrante.
- Presión de filtración.
- Temperatura de la pulpa.
- Espesor de la torta.
- Características químico – físicas del sólido: Densidad real, aparente, tipo y tamaño de partícula, composición química.
- Características químico – físicas de la suspensión: pH, Potencial Z, concentración de sólidos.

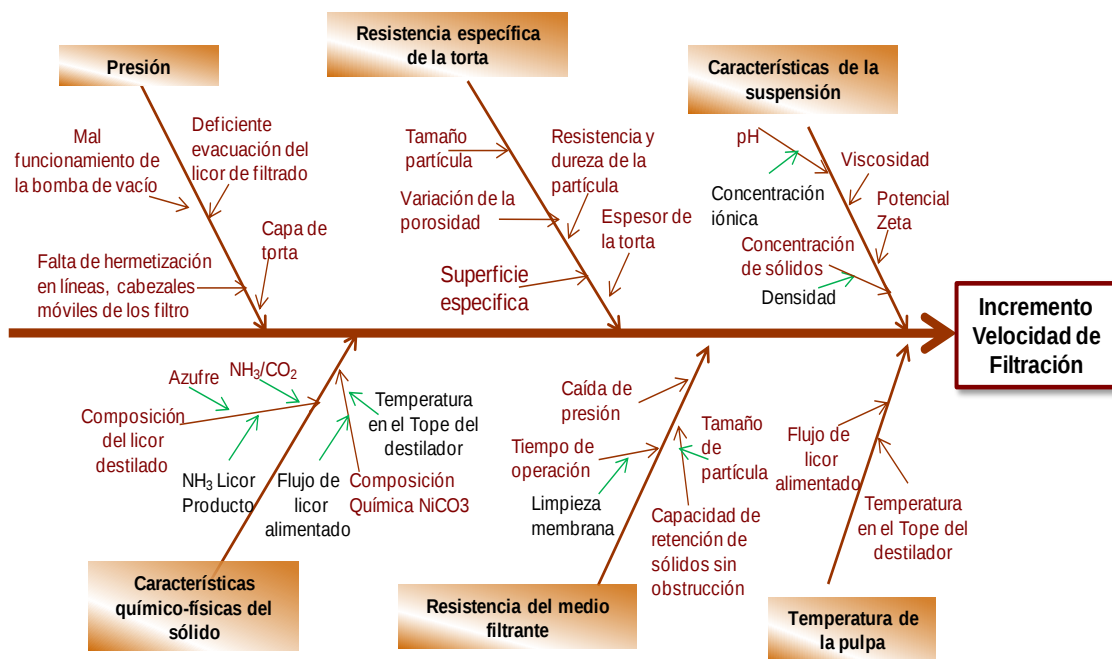


Figura 4 Diagrama de factores que influyen en la velocidad de filtración.

1.4.1 El medio filtrante.

El medio filtrante es un material poroso que funciona como barrera que retiene los sólidos dejando pasar libremente el líquido. En la elección del medio filtrante hay que tener en cuenta la capacidad para retener los sólidos sin obstrucción, evitando el derrame de partículas. La textura del material debe alcanzar un equilibrio perfecto entre un tejido más abierto evitando el atascamiento y tan apretado como fuera necesario, el medio filtrante ofrece a su vez una resistencia (R_m) que varía con la caída de presión, con el tiempo y limpieza del mismo, esta resistencia es importante solamente al principio de la filtración por lo que en varias ocasiones es tomada por valores experimentales que la evidencian como una constante.

Todo medio filtrante debe cumplir con las siguientes normas.

- Máxima retención de sólidos y como resultado un filtrado clarificado.
- No debe obstruirse o cegarse con gran facilidad.

- Estos deben ser resistentes a la acción mecánica y la acción corrosiva del fluido.
- Debe ser inactivo químicamente a la suspensión que se filtrará.
- Ha de permitir un desprendimiento de la torta completo y fácil.
- Costo mínimo.
- Larga duración.
- Capacidad para conformarse mecánicamente al tipo de filtro con el cual se utilizará.

Tabla 1.3. Medios filtrantes aplicados en la filtración.

Suspensiones	Medio filtrante	Referencia
Agua natural	Arena, sílice, antracita, granate	Arboleda, 1972.
Carbonato de Níquel	Fibra de algodón (227-T)	Works Victor. N.Y., 1956
Aceites (mineral y vegetal)	Tela filtrante Vincel	Vinel Filter Media, 1955
Solución de NaCl 10%	Tela filtrante Saran	National Filter, Media Corp. 1956

1.4.2 Presión de filtración.

La presión es otra herramienta por lo cual se puede aumentar la velocidad de filtrado de un proceso cualquiera. La ecuación que relaciona la caída de presión con la resistencia específica de la torta se refleja en (8), siendo a y b, constantes. (Mc Cabe y Smith, 1987)

$$\alpha = a \cdot (-\Delta P)^b \quad (8)$$

Según estudios realizados por el departamento de química técnica en la facultad de químicas Valencia, analizaron la variación de la resistencia específica y porosidad de la torta con la presión, para la barbotina feldespática. Se obtuvo que la resistencia específica como la porosidad de la torta no dependen del volumen

de barbotina introducido en el filtro, ni de la concentración inicial en sólidos, en los intervalos de valores cubiertos en trabajo, no especificados por los autores; por lo contrario, la presión de trabajo y la granulometría del sólido empleado ejercieron una marcada influencia sobre la resistencia específica de la torta y la porosidad. (Seco, 1984)

Tabla 1.4. Variación de la resistencia específica y porosidad de la torta con la presión, Barbotina feldespática.

Fuente: Seco, 1984

$\Delta P \cdot 10^5$ (N/m ²)	$\alpha \cdot 10^{12}$ (m/Kg)	$R_m \cdot 10^{12}$ (m ⁻¹)	ε
3,924	35,134	86,455	0,4407
5,886	41,660	105,054	0,4282
6,867	44,860	137,897	0,4291
7,848	49,819	81,540	0,4270
8,829	54,008	84,215	0,4241
9,810	58,533	7,969	0,4213
11,772	64,743	67,276	0,4098

1.4.3 Espesor de la torta.

El espesor de la torta se comporta de una forma inversamente proporcional a la velocidad de filtrado, la cual aumenta proporcionalmente con el aumento de la superficie de filtración.

Es un factor importante en la capacidad y en el proyecto de un filtro, de él depende el ciclo de funcionamiento. Está demostrado teóricamente que despreciando la resistencia ofrecida por el medio filtrante, el gasto medio durante una filtración es inversamente proporcional a la cantidad de torta depositada. Como es proporcional al volumen filtrado, puede expresarse en función de éste por la ecuación (9). (MC Cabe, 1987)

$$L = \frac{W}{A} \quad (9)$$

1.4.4 Temperatura de la suspensión

La temperatura del agua afecta tanto los mecanismos físicos como los químicos que intervienen en la filtración. La velocidad de filtración aumenta proporcionalmente a medida que aumenta la temperatura. En las soluciones acuosas el incremento de la temperatura de 20 a 60 °C duplica la velocidad de filtrado, en el caso de los lodos también son afectados con el aumento de la temperatura, aunque la velocidad que se desarrolla es menor en comparación con el caso anterior. (Arboleda, 1972)

Cambios en la temperatura producen cambios continuos en el equilibrio electroquímico que gobierna el grado de floculación y agregación, lo que afecta directamente la permeabilidad de una torta. Una temperatura elevada puede causar, además, la degradación química de los componentes del lodo, principalmente los de carácter orgánico. (Fernández, 2001)

1.4.5 Características químico – físicas del sólido.

Entre las características del sólido se encuentran: tipo y tamaño de la partícula, densidad (real y aparente), dureza, composición química.

Existe un tamaño crítico de las partículas para la filtración, en dependencia del tamaño de los poros del medio filtrante. Una disminución del tamaño medio de los flóculos (suponiendo constante la distribución de tamaños), resultaría un estrechamiento de los poros de la membrana por los que atraviesa el líquido y por lo tanto, un aumento de la resistencia a la filtración. Un sólido con una gran homogeneidad en el tamaño de la partícula mostrará peor empaquetamiento que otra con una distribución más amplia, suponiendo un mismo tamaño medio, a mayor homogeneidad le corresponderá menor resistencia a la torta. (Seco, 1984, Arboleda, 1972)

Los sólidos muy finos o en forma de lodos forman una torta densa e impenetrable y obturan rápidamente cualquier medio filtrante que sea capaz de retenerlos, para

lograr una filtración más acelerada es necesario el uso de coadyuvantes. (MC Cabe, 1987)

Hay que distinguir dos aspectos fundamentales en el acondicionamiento del lodo: (Arboleda, 1972)

- a) La desestabilización de las partículas, o sea la disminución de las fuerzas que las mantienen separadas.
- b) El transporte de las partículas desestabilizadas para llevar a cabo un contacto, generalmente estableciendo puentes entre sí y formando una malla tridimensional de flóculos porosos.

El primer aspecto se refiere a la coagulación y el segundo a la floculación. La coagulación consiste en reacciones físicas y químicas, entre el coagulante y la superficie de las partículas del lodo. La floculación es la etapa de transporte provocando el crecimiento de las partículas aglomeradas.

Cuanto mayor es la densidad de las partículas suspendidas, mayor será la eficiencia de remoción de las partículas de tamaño superior al crítico. (Cristóbal, 2005)

En estudio realizado de la destilación del licor producto de Lixiviación carbonato amoniacal de la empresa René Ramos Latour, en una minicolumna de destilación (MCD), se obtuvo que una variación en las condiciones de flujo y temperatura en el tope durante la destilación, inciden sobre el contenido de dióxido de carbono en el carbonato de níquel y se alcanzó el máximo a la menor temperatura en el tope y mayor flujo de licor, poseyendo la temperatura el efecto preponderante. Operó a un licor (Q) de 12,0 y 20,0 l/h y temperatura en el tope (T) de 80, 85, y 90 °C, mediante el diseño experimental, obteniendo la ecuación (10) de pronóstico del dióxido de carbono (%). (Rojas, et. al., 2006)

$$X_{(CO_2)} = 7,486 - 1,6 \cdot T + 0,81 \cdot Q - 0,1975 \cdot T \cdot Q \quad (10)$$

En la medida que se incrementó el dióxido de carbono en el carbonato, disminuyó el contenido de azufre. Esta tendencia no se apreció entre el porcentaje de dióxido de carbono versus el níquel o el magnesio.

La fineza del carbonato de níquel se muestra en la Tabla 1.5, esta se determinó por el método Andreasen.

Tabla 1.5. Fineza del carbonato de níquel.

Fuente: Rojas, et. al., 2006.

Flujo de licor (L/min)	20		12		16
Temperatura en el tope (°C)	80	90	80	90	85
Malla -40+30	2,50	61,80	69,35	2,69	68,57
-30+20	38,75	6,85	4,93	75,03	4,98
-20+10	52,32	5,32	4,35	7,44	5,83
-10	6,44	26,04	21,37	14,85	20,63

Se procedió a realizar la alimentación lateral de licor de alto dióxido de carbono a la MCD y se obtuvo que al añadir licor de alto dióxido de carbono ($NH_3/CO_2=1,6$), incrementó el contenido de dióxido de carbono en el carbonato de níquel de 6,7 % a 9,4 %, el contenido de azufre disminuyó de 4,4 % a 2,4 % y el carbonato se enriqueció en fracciones más gruesas.

Se realizaron pruebas de filtración y secado, obteniéndose que la resistencia específica de la torta disminuyó alcanzando valores en el orden de 10^6 y 10^7 m/kg al alimentar licor enriquecido en dióxido de carbono por un lateral de la MCD, y la humedad del filtrado fue inferior. En la Tabla 1.6 se muestran las características del carbonato de níquel obtenido a las condiciones más favorables de filtración y secado.

Tabla 1.6. Características del carbonato de níquel con condiciones de filtración y secado favorables.

Fuente: Rojas, et. al., 2006.

Criterio	Componentes (%)					ρ (g/cm ³)		ε
	Ni	Co	MgO	CO ₂	S	real	aparente	
$\bar{x}$	47,8	0,531	0,093	9,37	2,38	3,060	0,46	0,85
$\sigma(x)$	0,002	0,006	0,003	0,382	0,035	0,057	0,014	0,002

$\bar{x}$: Promedio, $\sigma(x)$: desviación estándar, ρ : densidad, ε : porosidad.

1.4.6 Características de la suspensión.

Las características de la suspensión de interés para la filtración son: viscosidad, pH y Potencial Zeta de la suspensión, concentración de sólidos.

La viscosidad se desempeña como una variable inversamente proporcional a la velocidad de filtrado, por lo que al aumentar sus valores provoca una disminución de la velocidad. Para atenuar estos efectos suele utilizarse en algunas ocasiones disolventes, evaluando siempre la rentabilidad. (Arboleda, 1972)

El Potencial Zeta, es una medida de la estabilidad de una partícula e indica el potencial que se requiere para penetrar la capa de iones circundante en la partícula y desestabilizarla.

En la filtración del agua natural, se reporta que a medida que el potencial Zeta se hace más electronegativo y por tanto el pH del agua aumenta, la turbiedad del efluente va disminuyendo progresivamente hasta alcanzar un valor óptimo, a partir del cual la turbiedad del filtrado es definitivamente mayor a medida que el pH se hace mayor, como se muestra en la Figura 5. Existe por tanto un valor óptimo de pH para filtrar el agua que no es necesariamente igual al que se encuentra para desestabilizarla y sedimentarla. En el caso de las partículas de arcillas en el agua, no se obtuvo variación de su potencial zeta a pesar de que exista cualquier valor de pH en su paso por la membrana. (Arboleda, 1972)

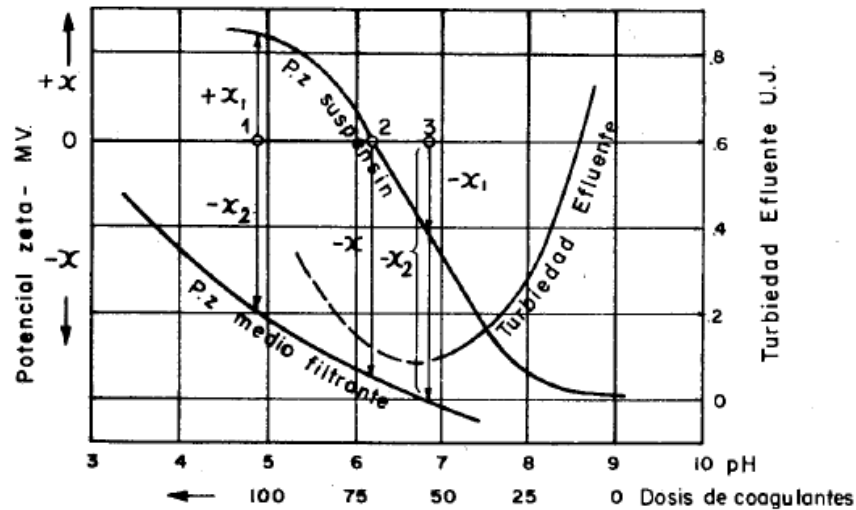


Figura 5 Relación entre el potencial Z, pH y eficiencia del filtro.
Fuente: Arboleda, 1972

Cuando el medio filtrante se encuentra limpio la eficiencia de remoción depende de la concentración de partículas suspendidas en el afluente. Después de algún tiempo de filtración, la eficiencia de remoción aumenta con el aumento de concentración de las partículas suspendidas en el afluente, pues las partículas retenidas hacen de colectoras con otras partículas suspendidas.

Evidentemente, al existir una eficiencia de remoción mayor con el aumento de concentración, la curva de pérdida de carga en función del tiempo será más acentuada. (Cristóbal, 2005)

En estudios realizados de filtración de pastas cerámicas, se determinó que la concentración inicial de sólidos sobre la resistencia y la porosidad es despreciable dentro del intervalo de concentración estudiado, mayor que el utilizado en la industria; sin embargo, al estudiar la influencia de esta variable en un filtro prensa industrial, se encontró un mayor contenido de humedad en las tortas formadas utilizando pasta cerámicas más concentradas, para una misma variación de la presión con el tiempo. Este comportamiento se debió a la formación de la torta más rápido, a presiones más bajas que con pastas más diluidas, presentando menor compactación. Para lograr los mismos resultados de humedad final con la

pasta concentrada a escala de laboratorio e industrial, plantearon que habría que aumentar la variación de la presión con el tiempo, lo cual traería como consecuencia un mayor riesgo de ruptura de platos del filtro y una disminución de platos en el filtrado. (Seco, 1984)

1.5 Conclusiones parciales

De acuerdo con el análisis realizado en los acápites del presente capítulo, se pueden identificar los problemas científicos siguientes, relacionados con el perfeccionamiento del método de destilación del Licor Producto de lixiviación de la Tecnología Carbonato Amoniaco, para obtener un carbonato de níquel que favorezca la filtración disminuyendo los gastos energéticos en los hornos de calcinación:

- 1 Si se opera la destilación mediante el control por pH, se pueden disminuir las pérdidas de amoníaco y el consumo de reactivo de precipitación de níquel en magnitud que depende de la composición química del licor alimentado y parámetros de operación de los destiladores; pero no se ha precisado la incidencia que ejerce sobre las propiedades de filtración y humedad del filtrado de carbonato de níquel.
- 2 Si el pH de algunas suspensiones acuosas influye en la turbidez del filtrado reportándose el rango óptimo de operación, es posible que esta variable también incida en la turbidez del filtrado del carbonato de níquel, disminuyendo o no, las pérdidas de las partículas más finas.
- 3 Si la temperatura de la pulpa aumenta la velocidad de filtrado y adicionalmente, produce cambios en el equilibrio electroquímico que rige el grado de floculación, agregación, composición química del sólido, es posible que los valores de temperatura en la descarga del destilador puedan favorecer algunas de estas propiedades para el carbonato de níquel y su filtración, disminuyendo la humedad y turbiedad del filtrado.

- 4 Si la concentración de sólidos es una variable que incide sobre el contenido de humedad en el filtrado, es probable que una variación de densidad en el cono del sedimentador de carbonato, produzca una variación estadísticamente significativa en las propiedades de filtración y humedad del filtrado del carbonato de níquel.

CAPITULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Este capítulo tiene como objetivo principal exponer la metodología para la realización experimental de la filtración a presión constante de la pulpa carbonatada obtenida mediante la destilación del licor producto en la Tecnología Carbonato Amoniacal de la empresa “René Ramos Latour” para determinar la influencia de los factores: composición química y fineza del carbonato; pH de la pulpa y sus interacciones, sobre la resistencia específica de la torta, la resistencia de la membrana y la humedad del filtrado.

A continuación se exponen y explican los materiales, reactivos y equipos a utilizar durante la experimentación.

2.1 Muestreo

Se tomaron muestras de licor de alimentación a las columnas de destilación, en la línea de descarga y muestreo del tanque de alimentación de licor producto a dichas columnas. Se tuvo en cuenta que se obtuvieran muestras de licor con relación NH_3/CO_2 y Ni/S en un intervalo amplio que correspondiera a las condiciones de operación obtenidas en la empresa.

En la Figura 6, se muestra un histograma de frecuencia, donde se observan licores con relación NH_3/CO_2 entre 1,5-1,9 predominando entre 1,7-1,8.

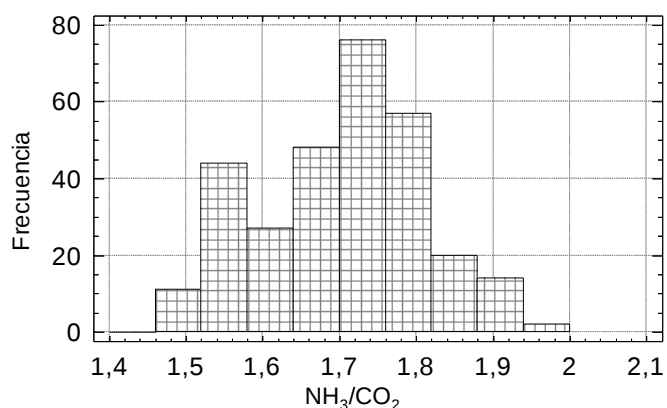


Figura 6 Histograma de frecuencia Relación NH_3/CO_2
 Licor alimentado a las columnas de destilación empresa RRL
Fuente: Rojas, et. al., 2006

En cuanto a la relación Ni/S, en la Figura 7, se muestran licores con relación Ni/S entre 1,0-2,9 predominando entre 1,7-2,0.

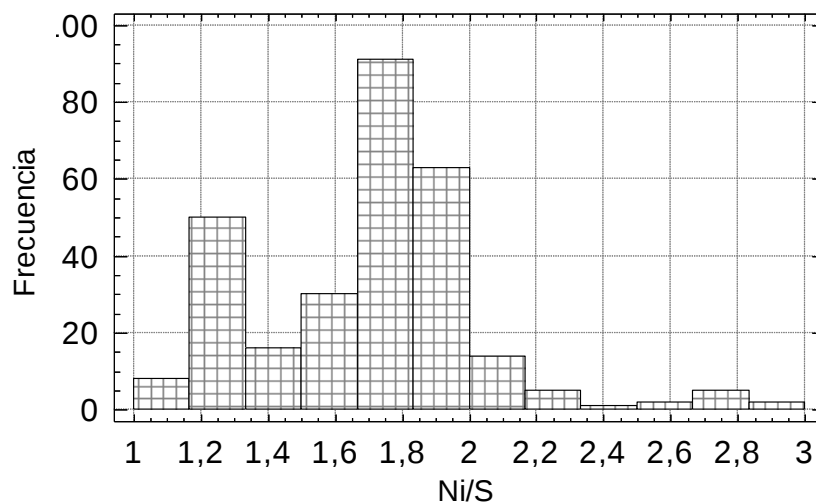


Figura 7 Histograma de frecuencia Relación NH_3/CO_2
 Licor alimentado a las columnas de destilación empresa RRL
Fuente: Rojas, et. al., 2006

Las muestras de pulpa de Carbonato de Níquel, se tomaron en la línea general de descarga de las columnas de destilación. Esta muestra es correspondiente a la de licor alimentado.

2.2 Análisis Químicos

Para los análisis químicos se empleó un equipo de absorción atómica GBC Avanta ver. 2.02. Ver figura 8.



Figura 8 Equipo de Absorción GBC Avanta ver. 2.02

Para la determinación del pH, un pHmetro-mV de la marca Philips de precisión 0,001pH/ °C, como se refleja en la figura 9.



Figura 9 pHmetro-mV Philips

En la Tabla 2.1, se reflejan los análisis químicos, los métodos aplicados y el error admisible.

Tabla 2.1. Análisis químicos aplicados y error de análisis.

Análisis	Rango ()	Error absoluto	Título del Procedimiento
NH ₃	>50 <100 (g/l)	0,80	UEBT-LC-MPO-5 Determinación de amoníaco en licores amoniacales. Método Volumétrico.
CO ₂	>10 <45	0,70	NRIB 649 Determinación de Dióxido de Carbono en

	(g/l)		licores amoniacales. Método Volumétrico.
S	>0,1 <1,0 (g/l)	0,3	UEBT-LC-MPQ-7 Determinación de Azufre en licores amoniacales. Método Gravimétrico.
Ni	>5 <10 (g/l)	0,30	UEBT-LC-MPO-5 Determinación de Níquel en licores amoniacales. Método Volumétrico.
Co	<0,25 (g/l)	0,04	UEBT-LC-MPO-5 Determinación de Cobalto en licores amoniacales. Espectrofotometría de Absorción Atómica.
[S ₂ O ₃] ⁻	>0,50 <5,00 (g/l)	0,3	UPN-PT-LA-01 Determinación de Tiosulfato en licores amoniacales. Método Volumétrico.
[SO ₄] ²⁻	>0,1 <5,00 (g/l)	0,3	UPN-PT-LA-04 Determinación de Sulfato en licores amoniacales. Método Gravimétrico.
CO ₂	2,5> <4,5%	0,30	NS 01-38-01 Determinación de Dióxido de Carbono en Carbonato de Níquel. Método Gasométrico
S	≤0,03%	0,3	UEBT-LC-MPQ-7 Determinación de Azufre en Carbonato de Níquel. Método Gravimétrico.
Ni	≤76%	0,05	NRIB 803 Determinación de Níquel en Carbonato de Níquel. Por electrólisis
% H ₂ O	>65%	1,00	NRIB 803 Determinación de humedad en el Carbonato de Níquel.
Co	≤1,30%	0,04	UEBT-LC-MPO-5 Determinación de Cobalto en Carbonato de Níquel. Espectrofotometría de Absorción Atómica.
Mg O	>0,15 <0,50 %	0,02	UEBT-LC-MPO-5 Determinación de Óxido de Magnesio en Carbonato de Níquel. Espectrofotometría de Absorción Atómica.
(SSP)	>0,0 <500	1	UPN-PT-LA-11 Determinación de sólidos en suspensión.

	ppm		Método Gravimétrico.
ρ_r	-	-	UPN-PT- CBN-7 Determinación de la densidad real del carbonato de níquel. Método Gravimétrico.
ρ_a	-	-	UPN-PT- CBN-7 Determinación de la densidad aparente del carbonato de níquel. Método Gravimétrico.
Fineza	>0,3 <300 μ	-	NC: 861:2011: Minerales__Óxido de níquel en polvo__Determinación de la distribución del tamaño de la partícula

S/s: Sólidos en suspensión.

ρ_r : Densidad real

ρ_a : Densidad aparente

(-) : No determinadas

2.3 Materiales y equipos

2.3.1 Caracterización de la Probeta de filtración

La probeta de filtración se diseñó y fabricó para el desarrollo de la Tesis. Las dimensiones fundamentales se muestran en la Figura 10.

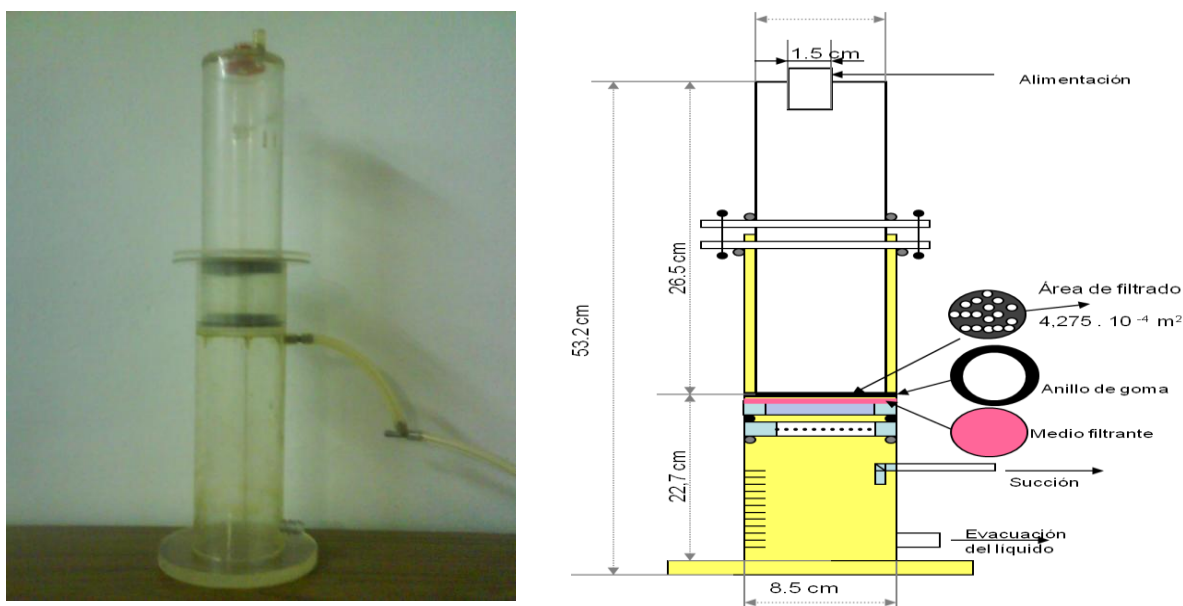


Figura 10 Probeta de filtración

2.3.2 Procedimiento de Filtración del Carbonato de Níquel

El procedimiento para la operación de la probeta de filtración, se describe a continuación:

Título: Filtración del Carbonato de Níquel de la Tecnología Carbonato Amoniacal		09/04/2013
Objetivo: Establecer las normativas para el análisis y evaluación de las propiedades de la filtración de una torta de Carbonato de Níquel		
Alcance: 1. Pulpas de Carbonato de Níquel de la tecnología Carbonato Amoniacal 2. Otras pulpas		
Definiciones: Filtración: Separación de una mezcla sólido-fluido por medio de un lecho poroso. Medio filtrante: Es la barrera que permite que pase el líquido, mientras retiene la mayor parte de los sólidos. Filtrado: Líquido que pasa a través del medio filtrante. Resistencia específica de la torta (α , m/kg) Es la resistencia que ofrecen los sólidos al paso del líquido, y aumenta continuamente con la deposición de partículas. Resistencia del medio filtrante (R_m , 1/m). Es la resistencia que ofrece la membrana al paso de un fluido. Caída de Presión Total: (ΔP) Es la diferencia de las caídas de presión en el medio filtrante y en la torta.		
Materiales y equipos necesarios (Cantidad/prueba)		
Materiales	Unidad	Total
Sistema de agitación	u	1

Probeta de filtración	u	1
Manómetro presión	Kgf/cm ²	-0,1-1,5
Mangueras consistente	m	2
Sifón de vacío o bomba de vacío	u	1
Tanques de almacenamiento de pulpa de carbonato	l	20
Papel de filtro	u	3
Embudo	u	1
Erlenmeyer	l	2
Baño María (máx. operatoria de 80°C)	u	1
Estufa de secado a vacío (máx. operatoria de 60°C)	u	1
Vidrio Reloj	u	12
Probeta graduada	u	1
Balanza	u	1
Densímetro	u	1
Cronómetro	u	1
Termómetro	°C	1
Beaker	l	1

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

1. Preparación de la Pulpa.

- Preparar en varios erlenmeyer volumen de pulpa de 100, 150, 200, 250 y 300 ml, con densidad entre 1118-1120 kg/m³ simulando el carbonato densificado alimentado al sistema de filtración industrial. Anotar densidad de la pulpa y del licor (kg/m³) Calentar la pulpa en baño María hasta la temperatura especificada en el diseño de experimentos, generalmente 80 °C, en erlenmeyer enrasados al volumen que se va a filtrar.

2. Operación de la instalación.

- Colocar el lecho filtrante. Determinar el área de filtración. Anotar.
- Hacer vacío a la probeta de filtración hasta presión prefijada, así se garantiza cuando se alimenta el fluido, mantener la presión final (Pf) de filtración (presión de succión) deseada. Anotar la caída de presión.
- Anotar presión de trabajo (presión manométrica marcada por el instrumento) y sumar la presión atmosférica, para convertir en atmósferas absolutas ($P_0=101325$ Pa).
- Verter la pulpa correspondiente en la probeta, cuidando de mantener la probeta con la presión final (Pf) constante indicada por el manómetro según el diseño de experimentos. Para esto se puede presionar la manguera de succión de vacío, en el extremo de la succión, o realizar la regulación automática.
- Anotar el volumen y el tiempo de filtrado, cuando se observe el cuarteo del cake.
- Determinar la humedad del filtrado.

INFORMACIÓN A TOMAR

1. Caída de presión de operación.
2. Pulpa alimentada: densidad y temperatura.
3. Carbonato de Níquel: Ni, Co, S, CO₂, MgO, densidad real, densidad aparente, fineza.
4. Licor inicial: Ni, Co, S, NH₃, CO₂, [SO₄]²⁻, [S₂O₃]⁻, pH, densidad y viscosidad a la temperatura de filtración.
5. Área de Filtración.
6. Humedad del filtrado.
7. Tiempo de Filtración.
8. Volumen de filtrado.

9. Sólidos en suspensión en licor filtrado.
RESULTADO ESPERADO
Resistencia específica de la torta. Resistencia de la membrana. Relación polinomial del volumen de filtrado (m³) en función del tiempo de filtrado (s), con elevada calidad de ajuste (R²). Relación lineal entre $\Delta t/\Delta V$ (s/m³) en función del Volumen medio (m³) de filtrado, con elevada calidad de ajuste.
PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN
1. Calcular la relación Sólido / líquido. $\frac{S}{L} = \frac{\rho_L}{\rho_s} \cdot \left(\frac{\rho_s - \rho_p}{\rho_p - \rho_l} \right) \quad (11)$ Donde: $\frac{S}{L}$: Relación sólido – líquido de la pulpa. ρ_L : Densidad del licor (kg/m³) ρ_s : Densidad del sólido. ρ_p : Densidad de la pulpa 2. Calcular la concentración de sólido $Cs = \frac{S}{L} \cdot \rho_l \quad (12)$ Donde: Cs: kg sólido / m³ de líquido puro S/L: relación sólido Líquido

3. Calcular Kg de torta / kg de líq en la torta

$$X_t = \frac{1-Y}{1-(1-Y)} \quad (13)$$

Donde:

Y: Humedad (kg de agua / kg de torta húmeda)

4. Calcular kg de sólido / m³ de líquido filtrado

$$C_t = \frac{C_s}{1 - \frac{C_s}{X_t \cdot \rho_L}} \quad (14)$$

5. Calcular la densidad de la torta

$$\rho_t = \frac{1}{\frac{1-Y}{\rho_s} + \frac{Y}{\rho_L}} \quad (15)$$

Donde:

ρ_t : densidad de la torta (kg/m³)

6. Calcular kg de sólido / m³ de torta

$$C'_t = \frac{1-Y}{\rho_t} \quad (16)$$

7. Algoritmo para determinar las resistencias

Partiendo del modelo General de filtración a Presión Constante:

$$\frac{dt}{dV} = \frac{\mu}{A \cdot \Delta P} \cdot \left(\frac{\alpha \cdot C'_t \cdot V}{A} + R_m \right) \quad (17)$$

Integrando:

$$\int_{t=0}^t dt = \frac{\mu}{A \cdot \Delta P} \left[\frac{\alpha \cdot C'_t}{A} \cdot \int_{V=0}^V V \cdot dV + R_m \cdot \int_{V=0}^V dV \right]$$
$$t = \frac{\mu}{A \cdot \Delta P} \left[\frac{\alpha \cdot C'_t}{A} \cdot \frac{V^2}{2} + R_m \cdot V \right] \quad (18)$$

Arreglando:

$$t = \frac{\mu}{A \cdot \Delta P} \cdot \frac{\alpha \cdot C' t}{A} \cdot \frac{V^2}{2} + \frac{\mu}{A \cdot \Delta P} \cdot R_m \cdot V \left| \cdot \frac{1}{V} \right.$$

$$\frac{t}{V} = \frac{\mu \cdot \alpha \cdot C' t}{2 \cdot A^2 \cdot \Delta P} \cdot V + \frac{\mu}{A \cdot \Delta P} \cdot R_m \quad (18)$$

Resultando la ecuación de una recta:

$$\frac{t}{V} = m \cdot V + n$$

Siendo:

$$\alpha = \frac{2 \cdot m \cdot A^2 \cdot \Delta P}{\mu \cdot C' t} \quad (19)$$

$$R_m = \frac{n \cdot A \cdot \Delta P}{\mu} \quad (20)$$

Donde:

α : Resistencia específica de la torta (m/kg).

R_m : Resistencia de la membrana (1/m).

A : Área del filtro (m²).

ΔP : Variación de la presión (Pa).

m : Pendiente

n : Intercepto

c_t : Concentración (kg sólidos / m³ líquido filtrado.)

μ : Viscosidad del licor (Pa.s).

PRECAUCIONES

- Lograr la temperatura de la pulpa requerida en el diseño experimental.
- Agitar adecuadamente el carbonato antes de alimentar a la probeta.
- Verter la pulpa de una vez, en el centro de la probeta, luego se libera el

vacío. - Tomar el tiempo preciso cuando se cuarteo el cake de carbonato.
BIBLIOGRAFÍA
- ROJAS-VARGAS. A.; TRUJILLO, M. A.; Martínez, L. G; Chapman, L. G. "Destilación del licor producto en una columna de destilación a escala de banco". Informe de proyecto de investigación. Centro de Investigaciones del Níquel, Unidad de Proyecto, Nicaro, 2006, 43 p. - Perry's Chemical Engineer's handbook. - A.G. Kasatking. "Operaciones básicas y aparatos de la tecnología química". Tomo I. Primera parte.

2.4 Diseño de los experimentos

Variables Fijas:

Presión de Filtración $\Delta P = 3,758 \cdot 10^4$ N/m

Área de Filtración: $A = 4,275 \cdot 10^{-4}$ m²

Temperatura de filtración: 80 °C

Densidad de la pulpa: 1120 kg/m³ (16,4 % en peso de sólidos)

Variables dependientes:

Resistencia específica de la torta (α)

Resistencia específica de la membrana (Rm)

Humedad del filtrado (Y)

Variables independientes:

pH de la pulpa destilada

Composición química del carbonato de níquel

Diámetro de partícula promedio del carbonato de níquel

Se aplicó como membrana papel Kraft.

2.5 Análisis Estadístico

Se aplicó el Microsoft Excel para la representación gráfica, obtención de líneas de tendencia y el StatGraphics

El StatGraphics es un software de estadística, el cual brinda bondades tales como:

R-Cuadrado (R^2): Denominado coeficiente de determinación, es una medida del grado de asociación lineal entre la variable respuesta o dependiente (Y) y las variables predictoras o independientes. El R^2 ajustado por los grados de libertad (g.l.) tiene en cuenta el tamaño del conjunto de datos y su valor es ligeramente inferior al de su correspondiente R^2 . El rango del R-cuadrado es entre 0 % y 100 % y mide que tan bien el modelo estimado explica los datos observados de la respuesta.

Error Estándar de la Estimación: El error estándar de estimación mide la variabilidad o dispersión de los valores observados alrededor de la recta de regresión. Es la desviación estándar del error experimental.

Error absoluto de la Media: Es el intervalo de confianza con el cual probablemente encontraremos la medición ($\pm \delta x$). Se estima con el mismo orden numérico (décimas, centésimas, etc.) de la cifra dudosa de la medición. Es el error promedio de la predicción.

Estadístico Durbin-Watson (DW): Es una herramienta estadística que detecta si los residuales de una regresión están auto correlacionado. La auto correlación es un problema estadístico donde los residuales de una regresión de un período de tiempo no son al azar, sino que tienen algún tipo de patrón. Este problema no afecta los coeficientes del estimado, pero tiene un impacto en errores estándar. Si la regresión tiene problemas de auto correlación, puede ser que haya resultados que parezcan ser estadísticamente significativos, pero que no sea así. Cuando

DW es mayor que 1.4, indica que el estadígrafo F garantiza buenos resultados en la hipótesis, justifica un buen ajuste y demuestra que el proceso que se estudia es completamente independiente y representativo de la data.

Auto correlación residual Lag 1: Una medición de la correlación serial en los residuales, basada sobre el orden en que aparecen las corridas en la base de datos. Valores cercano a cero corresponden a residuales.

2.6 Conclusiones parciales

Con el desarrollo del capítulo 2, se llegaron a las siguientes conclusiones:

1. Se diseñó y fabricó una probeta de filtración que puede ser aplicada para el estudio de esta operación unitaria a escala de laboratorio, en pulpas de diversas características; aunque posee la limitación de que el trabajo con la misma se realiza de forma manual, al no disponer de equipamiento para la regulación automática de la caída de presión y los flujos de alimentación.
2. La metodología aplicada para evaluar la filtración se basa en una sistematización de las ecuaciones básicas de las suspensiones y de la teoría de la filtración a presión constante, la cual puede ser aplicada para diversos estudios de filtración; posee la limitación de que el diseño de experimentos estuvo sujeto a las condiciones de la muestra de pulpa tomadas del proceso industrial, no se pudo ajustar la operación de los licores y de las columnas de destilación, a un diseño experimental previo.

CAPÍTULO 3. DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se muestran los resultados de la investigación, del análisis del efecto de la composición química y fineza del carbonato; el pH de la pulpa y sus interacciones, sobre la resistencia específica de la torta, la resistencia de la membrana y la humedad del filtrado del carbonato de níquel.

3.1 Descripción de la operación de las columnas de destilación.

Los principales parámetros de operación de las columnas de destilación de licor producto se reflejan en la Tabla 3.1, el promedio de las variables 20 minutos antes y durante el tiempo de toma de la muestra. Se observa que la muestra 1, se corresponde al período de mayor flujo de licor alimentado a la columna de destilación y la muestra 3, a la mayor temperatura en el tope.

Tabla 3.1. Operación de las columnas de Destilación.

Muestra	Flujo		Temperatura tope (°C)	Presión Fondo (kgf/cm ²)
	Licor (m ³ /h)	Vapor (t/h)		
1	78,36	17,44	82,50	0,10
2	73,03	14,89	82,30	0,30
3	73,21	14,42	84,30	0,06
4	74,03	15,34	82,40	0,09
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
Promedio	74,658	15,523	82,875	0,138
Desvest.	2,506	1,332	0,954	0,110

(-) No fue registrada por los equipos de medición.

Desvest: desviación estándar.

3.2 Caracterización de los licores alimentados a las columnas de destilación.

En la Tabla 3.2, se refleja la caracterización de los licores de alimentación a las columnas de destilación. Pueden observarse período de relación (NH_3/CO_2) en un rango de 1,74 – 1,86 y relación (Ni/S) entre 1,3 – 2,45 en correspondencia con la variabilidad del proceso industrial representado en la Figura 7 y Figura 8; sin embargo, la concentración de amoníaco muy baja, inferior a lo obtenido a la empresa entre 57-66 g/l.

Tabla 3.2. Caracterización de los licores de alimentación a las columnas de destilación.

Muestras	NH_3	CO_2	NH_3/CO_2	Ni	Co	Ni/S	$[\text{S}_2\text{O}_3]^-$	$[\text{SO}_4]^{2-}$	pH
1	50,00	26,85	1,86	5,76	0,037	2,23	2,45	4,75	9,91
2	50,00	27,80	1,80	5,66	0,037	2,14	2,16	5,09	9,91
3	47,60	27,30	1,74	6,43	0,087	2,59	2,06	7,47	9,95
4	40,00	23,00	1,74	7,77	0,034	3,04	1,72	5,26	9,87
5	45,10	28,05	1,61	5,40	0,041	2,16	1,31	5,02	10,25
6	39,30	22,39	1,76	4,50	0,020	1,83	2,28	5,16	10,30
Prom.	45,33	25,90	1,75	5,92	0,04	2,33	1,80	5,09	10,03
Devest.	4,77	2,52	0,08	1,10	0,02	0,42	0,69	0,10	0,19

Prom: promedio Desvest: desviación estándar

3.3 Caracterización de las pulpas de carbonato de níquel procedentes de las columnas de destilación.

Para la caracterización de la pulpa se realizaron análisis al licor y a los sólidos, los cuales se muestran en la Tabla 3.3 y Tabla 3.4.

Tabla 3.3. Caracterización del licor efluente procedente de la destilación.

Muestras	Concentración (g/l)			pH
	NH_3	Ni	S	
1	1,41	0,38	2,12	8,24
2	1,91	0,55	2,31	8,76
3	1,19	0,75	2,05	7,82
4	1,22	0,65	2,03	7,81
5	1,14	0,48	2,27	7,52
6	1,30	0,37	2,19	7,40
Prom.	1,36	0,58	2,16	8,16
Devest.	0,28	0,16	0,11	0,45

Tabla 3.4. Caracterización del carbonato de níquel

Muestras	Concentración (%)					Densidad (g/l)		ε
	Ni	Co	S	MgO	CO ₂	ρ_r	ρ_a	
1	48,79	0,354	2,23	0,375	3,99	2,96	0,640	0,784
2	47,20	0,348	3,09	0,369	1,90	2,85	0,567	0,801
3	45,58	0,258	1,84	0,650	4,42	2,82	0,533	0,811
4	47,19	0,317	2,92	0,305	2,09	2,62	0,670	0,744
5	48,37	0,386	2,75	0,210	2,88	3,20	0,566	0,823
6	48,39	0,278	2,58	0,280	3,24	2,79	0,521	0,813
Prom.	47,59	0,32	2,57	0,36	3,09	2,87	0,58	0,796
Devest.	1,19	0,05	0,46	0,15	1,01	0,19	0,06	0,03

ρ_r : Densidad real ρ_a : Densidad aparente ε : Porosidad.

Puede observarse en la Tabla 3.3, que solo la muestra 1 se correspondió a una operación al mínimo costo de pérdidas de amoníaco y de consumo de reactivo de precipitación del níquel, reportado por Rojas (2007c) y Magaña (2011) en el rango de pH entre 8,1y 8,5.

En la Tabla 3.4, se muestra un carbonato con contenidos promedios de níquel y azufre semejante a los reportados en la Tabla 1.6; pero el contenido de dióxido de carbono fue inferior (3,09 % vs. 9,37 %), el magnesio mayor expresado en forma de oxido (3,09 % vs. 0,093 %), lo que afecta la calidad del óxido y sinter de níquel, porque constituye una impureza.

En la figura 11 se muestra la fineza del carbonato y en la figura 12, su relación con el dióxido de carbono.

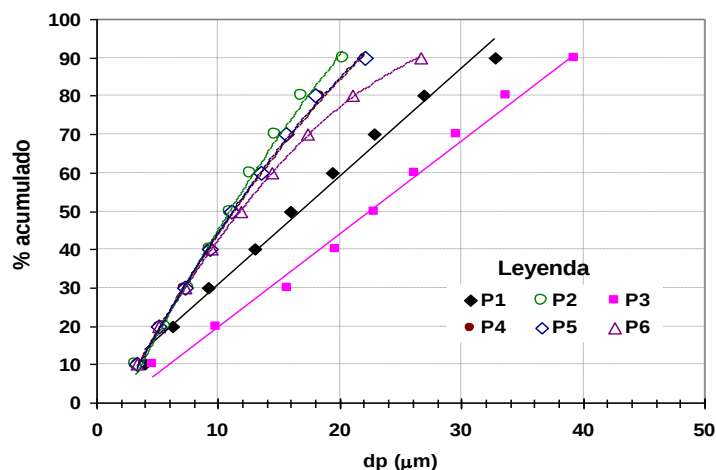


Figura 11. Fineza del carbonato de níquel.

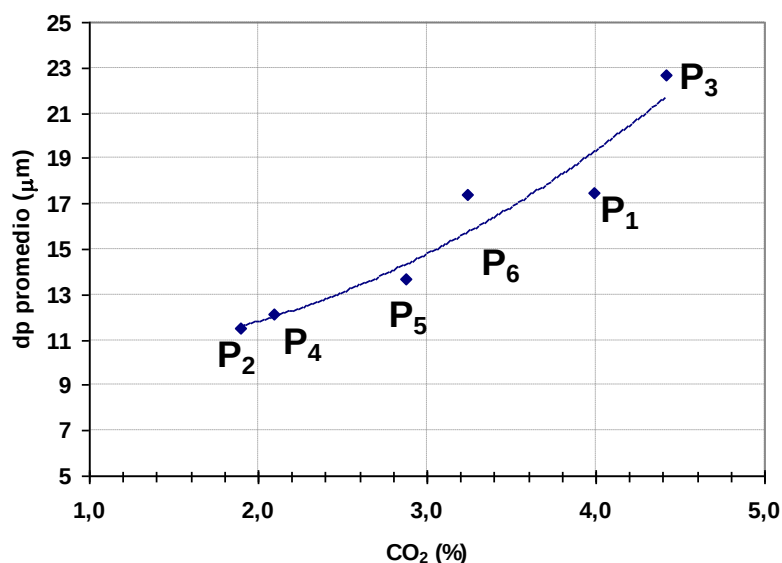


Figura 12. Influencia del contenido de dióxido de carbono sobre la diámetro de la partícula.

En la figura 12 se muestra que a mayor contenido de dióxido de carbono, mayor es el diámetro promedio de las partículas de carbonato de níquel, este resultado está en correspondencia con los resultados obtenidos por Rojas (2007c).

3.4 Resultados de la Filtración

En la Tabla 3.5 se muestran los valores obtenidos de la resistencia específica de la torta y la resistencia de la membrana, para cada una de las muestras de carbonato de níquel. Puede observarse que la resistencia específica de la torta es despreciable comparada con los valores que presenta la resistencia de la membrana.

Tabla 3.5. Filtración del carbonato de níquel

Muestras	$\alpha \cdot 10^7$ (m/kg)	$Rm \cdot 10^7$ (1/m)	Humedad Y (%)
1	6,821	421,6	74,6
2	32,39	718,0	78,8
3	3,119	386,4	74,6
4	26,50	681,1	76,4
5	20,06	515,5	75,0
6	10,74	409,7	74,8

En la figura 13 se muestra la relación entre la humedad la torta filtrada y la resistencia específica de la torta. En la medida que aumenta la resistencia de la torta incrementan los valores de humedad del filtrado, al haber un menor paso del fluido por los poros eintersticios de la torta formada durante la filtración.

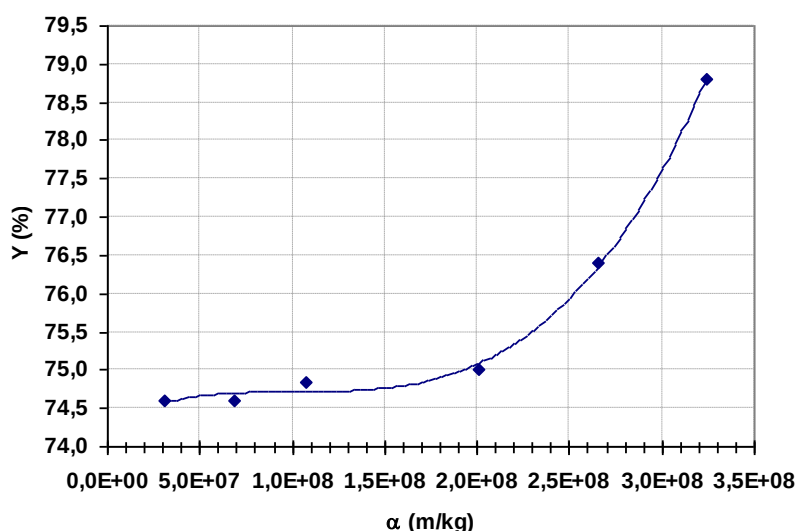


Figura 13. Relación entre la resistencia específica de la torta y la humedad.

3.5 Efecto de la composición química sobre las propiedades de filtración del carbonato de níquel de la empresa René Ramos Latour.

La concentración de dióxido de carbono y de azufre ejercen una influencia sobre las resistencia específica de la torta, en la Figura 14 se puede observar la relación que existe entre la concentración de dióxido de carbono en el carbonato de níquel y la resistencia específica de la torta, con un comportamiento inversamente proporcional, tal como una función logarítmica, a medida que la concentración de dióxido de carbono aumenta, la resistencia específica disminuye, lo que favorece la velocidad del filtrado. Este resultado corrobora los obtenidos por Rojas (2006, 2007c) en una minicolumna de destilación.

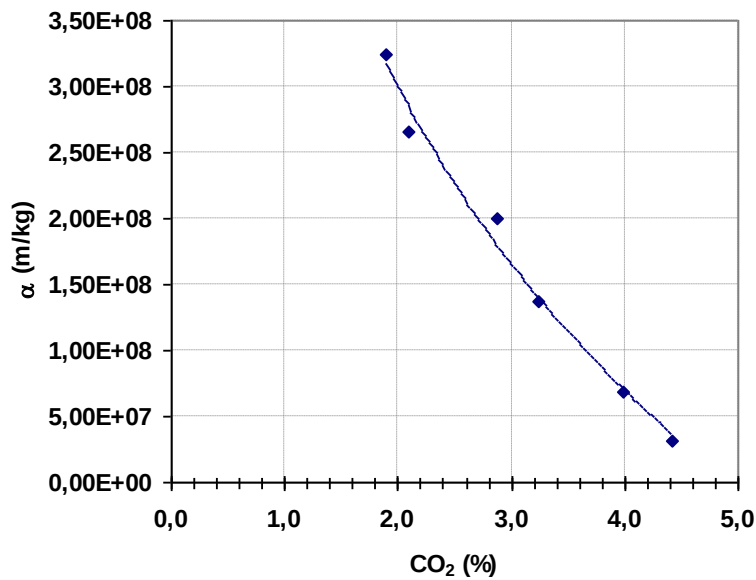


Figura 14. Relación entre la concentración de dióxido de carbono y resistencia específica de la torta.

Aplicando el StaGraphic se obtuvo la ecuación (21).

$$\alpha = 5,28924 \cdot 10^8 - 3,31072 \cdot 10^8 \cdot \ln(\text{CO}_2) \quad (21)$$

Coefficiente de Correlación = -0,992

R-cuadrado = 98,493 porcentaje

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 98,116 porcentaje

Error absoluto medio = 0,2982

Estadístico de Durbin-Watson = 1,036 (P=0,0021)

Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,394

Un aumento de la concentración de azufre en el carbonato de níquel incrementa la resistencia específica de la torta, teniendo un comportamiento directamente proporcional, tal como una función potencial, como se muestra en la Figura 15 y la ecuación (22).

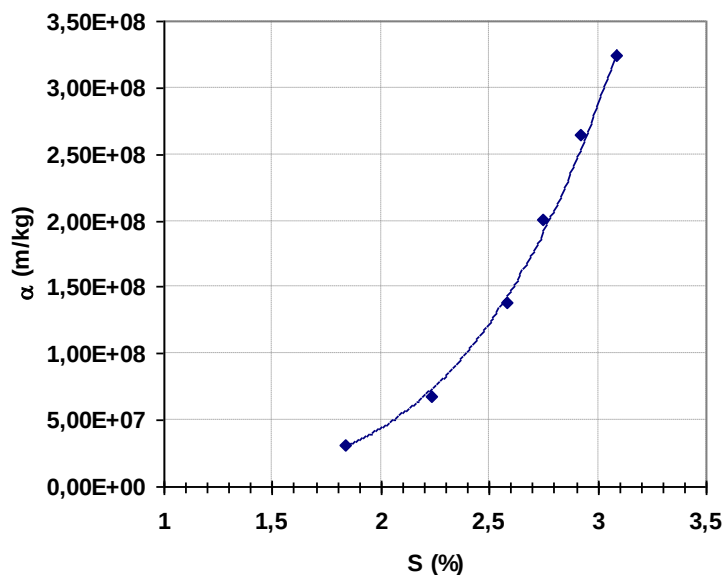


Figura 15 Relación de la concentración de azufre y la resistencia específica de la torta.

$$\alpha = 1775537,4 [S]^{4,63209} \quad (22)$$

Coefficiente de Correlación = 0,99771

R-cuadrado = 99,5426 porcentaje

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 99,4282 porcentaje

Error estándar de est. = 0,0675091

Error absoluto medio = 0,0446675

Estadístico de Durbin-Watson = 1,1942 (P=0,2406)

Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,381622

De las figuras 14 y 15 se puede plantear que un carbonato de níquel enriquecido en dióxido de carbono, favorece la reducción del contenido de azufre, resultado que está en consonancia con los obtenidos en una minicolumna de destilación por Rojas (2006, 2007c).

3.6 Efecto del pH

Puede observarse en la figura 16 que el pH de la pulpa de carbonato no tiene relación estrecha con la resistencia específica de la torta, ni con la resistencia de la membrana. Para un mismo valor de pH muestra valores de resistencias diferentes, los cuales no tienen una tendencia lógica por regresión lineal

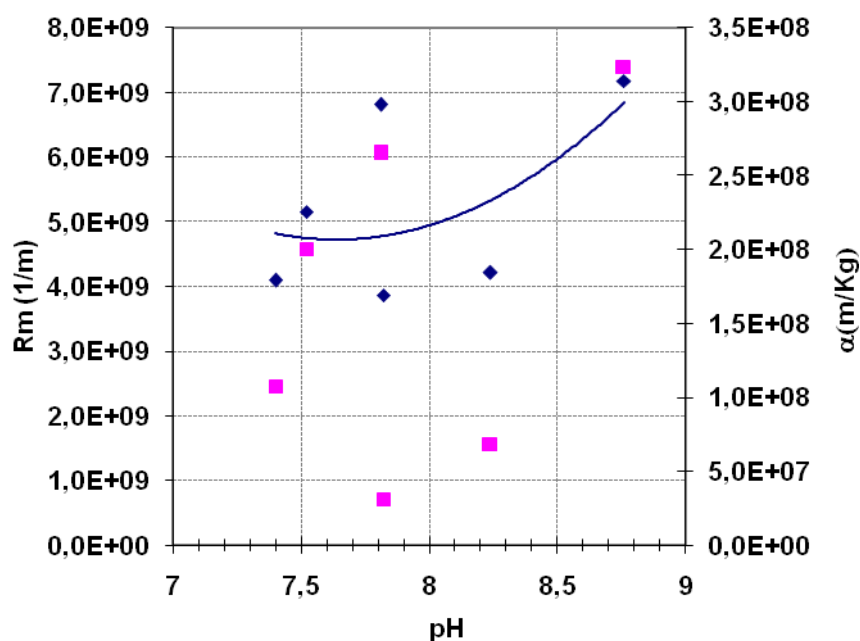


Figura 16. Relación entre el pH de la pulpa, la resistencia de la torta y la membrana.

Estudiando la influencia del pH se pudo determinar que al incrementar el pH de la pulpa de carbonato de níquel destilada, incrementan los sólidos suspendidos (SSP) en el licor filtrado, reportando un valor máximo de 115 mg/l a un pH de 8,76. Este resultado está en correspondencia con los obtenidos por Arboleda (1972) para la filtración del agua natural.

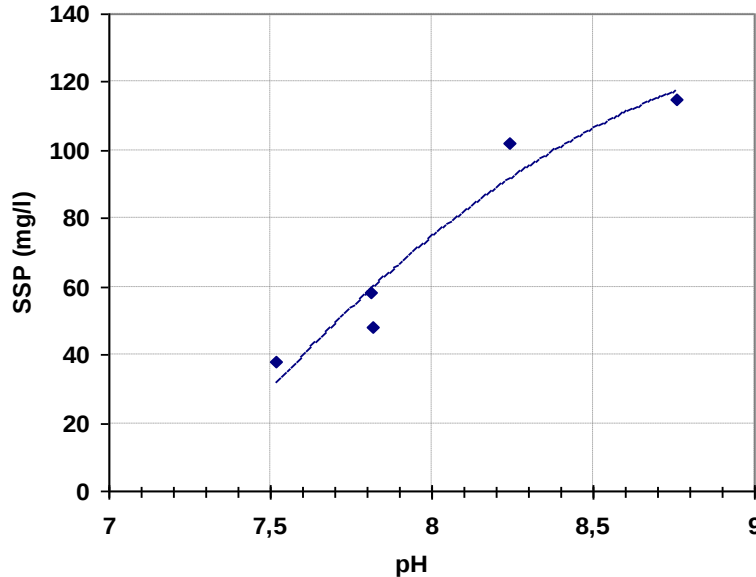


Figura 16. Relación entre el pH de la pulpa y lo sólidos suspendidos

$$SSP = -26,813 \cdot pH^2 + 505,64 \cdot pH - 2254,1 \quad (23)$$

$$R^2 = 0,9357$$

Es aquí la necesidad de operar en un rango de pH propuesto en la descarga de los destiladores de carbonato, de tal forma que disminuya las pérdidas de amoníaco, el consumo de reactivo de precipitación de níquel y además, los sólidos finos que se pierden con el filtrado, variable que habría que adicionar para construir un nuevo intervalo óptimo de pH, propuesto por Rojas (2006, 2007c) y Magaña et. al., (2011).

3.7 Efecto del tamaño de partícula sobre las propiedades de filtración

En la Figura 17 se aprecia que el diámetro de partícula y la resistencia de la torta tienen una relación inversamente proporcional considerable ya que al aumentar el diámetro promedio de partícula, disminuye la resistencia específica de la torta y la resistencia de la membrana con una dependencia logarítmica.

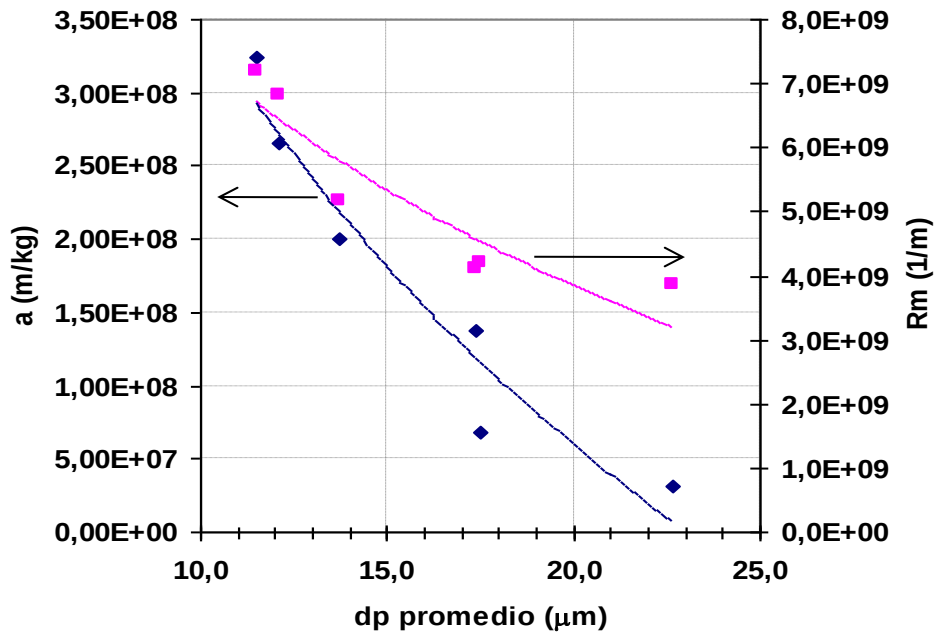


Figura 17. Relación entre el tamaño promedio de partícula, la resistencia de la torta y la resistencia de la membrana.

Una disminución en el tamaño medio de las partículas supone un estrechamiento de los canales por los que circula el líquido y, por lo tanto, un aumento de la resistencia a la filtración, tal como lo reflejado por Seco (1984) y MC Cabe, (1987).

$$R_m = -5,155 \cdot 10^9 \cdot \ln(dp_{\text{promedio}}) + 1,930 \cdot 10^{10} \quad (24)$$

$$R^2 = 0,853$$

$$\alpha = -4,215 \cdot 10^8 \cdot \ln(dp_{\text{promedio}}) + 1,322 \cdot 10^9 \quad (25)$$

$$R^2 = 0.93$$

3.8 Modelo multivariable para el estimado de la resistencia de la torta

Aplicando el StatGraphics, en la opción regresión lineal múltiple, se obtuvo la ecuación (26). Las variables analizadas fueron: composición química del carbonato como se refleja en la tabla 3.4 y el diámetro de partícula promedio. No

se consideraron los valores de pH y las condiciones de operación de los destiladores, al no disponer de la data completa, para todas las muestras.

$$\ln(\alpha) = 19,0558 + 0,13979 \cdot dp_{promedio} - 0,0494 \cdot [CO_2] \cdot dp_{promedio} \quad (26)$$

R-cuadrado = 99,457 porcentaje

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 99,095 porcentaje

Error estándar de est. = 0,085

Error absoluto medio = 0,0464

Estadístico de Durbin-Watson = 2,331 (P=0,4378)

Autocorrelación residual en Lag 1 = -0,1947

En la Figura 19 se muestran los valores observados y predichos de la resistencia de la torta, sobre la línea diagonal, reflejando la calidad del ajuste.

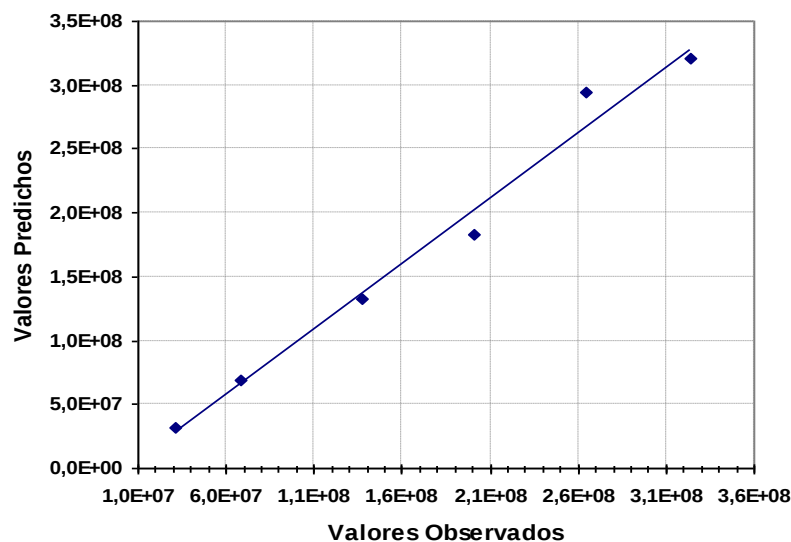


Figura 18. Valores observados y predichos de la resistencia de la torta

Aplicando la ecuación (26), si se incrementa el tamaño de partícula promedio y la concentración de dióxido de carbono, disminuye la resistencia de la torta, como se muestra en la tabla 3.6.

Tabla 3.6. Estimado de la resistencia de la torta por el modelo (26)

Carbonato de Níquel		$\alpha \cdot 10^{-7} \text{ (m/kg)}$
CO ₂ (%)	Dp _{promedio} (μm)	
4,0	17,0	7,084
4,0	19,0	6,313
4,0	21,0	5,626
3,5	17,0	10,78
3,5	19,0	10,09
3,5	21,0	9,446

3.9 Conclusiones Parciales

Con el desarrollo del capítulo se llegaron a las siguientes conclusiones:

1. Tras caracterizar las muestras de carbonato de níquel empleadas en los experimentos, se obtuvo que a mayor contenido de dióxido de carbono, mayor el diámetro promedio de las partículas y menor el contenido de azufre.
2. En la medida que incrementa la concentración de dióxido de carbono en el carbonato, disminuye la resistencia específica de la torta y la humedad del filtrado.
3. Al aumentar el tamaño promedio de las partículas, disminuyen las resistencias a la filtración.
4. El pH de la pulpa destilada no ejerció efecto sobre la resistencia específica de la torta; pero en la medida que incrementa el pH, incrementan los sólidos suspendidos en el licor filtrado.
5. Se obtuvo un modelo para estimar la resistencia de la torta, en función del diámetro de partícula promedio y de la concentración de dióxido de carbono en el carbonato de níquel.
6. Se propuso un modelo para estimar la resistencia de la membrana, en función del diámetro de partícula promedio de carbonato de níquel.

CONCLUSIONES

Con el desarrollo del Trabajo de Tesis, se llega a las siguientes conclusiones:

El incremento de la concentración de dióxido de carbono en el carbonato de níquel y el diámetro de partícula promedio, disminuye las resistencias de la filtración del carbonato de níquel y su humedad; en cambio, el pH de la pulpa destilada incide sobre la turbiedad del licor filtrado y no sobre las resistencias.

Se propusieron dos modelos para predecir las resistencias de la filtración.

RECOMENDACIONES

1. Operar las columnas de destilación industrial, aplicando el control de la operación por pH, incorporando la variable turbiedad del filtrado para calcular el nuevo intervalo de operación.
2. Desarrollar investigaciones para enriquecer el carbonato de níquel en contenido de dióxido de carbono, lo cual favorece la filtración del carbonato.
3. Considerar para investigaciones del tema las variables: concentración de sólidos y temperatura de filtración para el diseño experimental.

NOTACIÓN

μ : Viscosidad del licor (Pa.s)

S : Área de filtración (m^2)

T : Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

dt : Diferencial tiempo (s)

dV : Diferencial volumen (m^3)

C_t : Kg de sólido / m^3 de líquido filtrado

R_m : Resistencia específica de la membrana (1/m)

$(-\Delta P)$: Caída de presión de operación (Pa)

$C(x)$: Concentración de la sustancia x

$\bar{x}$: Promedio

α : Resistencia específica de la torta (m/kg)

$\sigma(x)$: Desviación estándar

ρ : Densidad (kg/m^3)

ε : Porosidad

$\frac{S}{L}$: relación sólido – líquido de la pulpa.

ρ_L : densidad del licor (kg/m^3)

ρ_s : densidad del sólido.

ρ_p : densidad de la pulpa

C_s : kg sólido / m^3 de líquido puro

Y : Humedad (kg de agua / kg de torta húmeda)

ρ_t : densidad de la torta (kg/m^3)

A : Área del filtro.

m : Pendiente.

n : Intercepto

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

Brawn, G. G. Operaciones básicas de Ingeniería Química. Instituto Cubano del Libro. La Habana, (1984) 269p.

CHANG-CARDONA, .A.R. “Una visión sobre las reservas estratégicas de Eficiencia Metalúrgica en la Tecnología carbonato – amoniaca”, en Revista Minería y Geología, Vol. XVI, N1, pp76- 82, 1999.

CHANG C.A.R.: “Conferencia Internacional de aprovechamiento de recursos minerales: CINAREM 2000”, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, en archivo de CEDINIQ, Nicaro.

ENRICH, A. S. “Estudio de la filtración del carbonato de níquel”. Informe Técnico. Archivo de la empresa René Ramos Latourt (DT-267/77), 1977, 5 p.

Kasatkin, A. G. “Operaciones Básicas y Aparatos de la Tecnología Química”. Editorial Pueblo y Educación, La Habana, 1983, 226p.

McCabe, w. I., Smith, J. C. “Operaciones Básicas de Ingeniería Química”. Edición revolucionaria, Vol. II, 1987.

MAGAÑA, M. E.; ROJAS-VARGAS. A. “Control de la operación de destilación del licor producto mediante determinación de pH”. Proyecto 600131, CEDINIQ, 2011.

Rodríguez, M. C.; Rodríguez, C. R. “Disminución del gasto energético y de las pérdidas de níquel en la operación de los alambiques de licor”. Informe técnico. Nicaro. 1985, 76 p.

ROJAS-VARGAS. A.; TRUJILLO, M. A.; Martínez, L. G; Chapman, L. G. “Destilación del licor producto en una columna de destilación a escala de banco”.

Informe de proyecto de investigación. Centro de Investigaciones del Níquel, Unidad de Proyecto, Nicaro, 2006, 43 p.

ROJAS-VARGAS. A.: “Metodología perfeccionada para determinar el Extractable de Ni y Co en la lixiviación carbonato-amoniaca”. [Universidad de Oriente], Santiago de Cuba. (Tesis de Máster en Ingeniería Química), 2007a, 108 p.

ROJAS-VARGAS. A.; TRUJILLO, M. A. “Medición del pH durante la destilación del licor producto del proceso de lixiviación amoniaca”. En Tecnología Química, Vol. XXVII No. 1, 2007b, Págs. 34-40.

ROJAS-VARGAS. A.; TRUJILLO, M. A. “Medición del pH durante la destilación del licor producto del proceso de lixiviación amoniaca (II)”. En Tecnología Química, Vol. XXVII, No. 3, 2007c, Págs. 56-60.

TRUJILLO, M.E.N; ROJAS-VARGAS. A.; GAINZA, Y. D.: “Estudio de la absorción de sistemas $\text{NH}_3\text{-CO}_2\text{-SO}_2\text{-H}_2\text{O}$ ”. Etapa 02. Balance de masa de CO_2 y NH_3 en la RRL. Proyecto de Investigación, Centro de Investigaciones del Níquel, Unidad de Proyecto Nicaro, 2011, 20 p.

SECO, A. T.; AUCEJO, A. P.; SANCHO-TELLO, M. C. “Filtración a presión de pastas cerámicas II. Estudio de la influencia de la presión y la granulometría sobre la resistencia específica de la torta”, en Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, Vol. 20, N4, pp 235-240, 1984.

FERNANDEZ, P. O.J.; NUÑEZ, B.A.O. Trabajo especial de grado, “Caracterización de revoques formados utilizando intercab (grado 1015 y 3035) con adición de finos y gruesos”. Universidad Central de Venezuela, Caracas, Noviembre 2001. [En línea]

(<http://saber.ucv.ve/jspui/handle/123456789/39>)

Works V. N. Y., 1956. VINEI FILTER MEDIA, 1956. NATIONAL FILTER, Media Corp. 1956. Archivo. F A / 00006-17 Evaluación de distintas ofertas sobre materiales de filtración.

Willard, H. H.; Furman, N. H; Bricker, C. E., “Análisis químico cuantitativo”. Editorial pueblo y Educación. La Habana, 1974. 89p.

ARBOLEDA, J. A. V. “Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua”. Lima; 1972. 558 p. Ilus. [En línea]
<http://www.google.com.cu/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CC8QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.bvsde.ops-oms.org%2Fbvsacd%2Fscan%2F002320%2F002320-00.pdf&ei=5sw3UdGHE4fotQbRlOGgDA&usq=AFQjCNErpRb6fQKqL2plgyp3mWpcdcXDiw&bvm=bv.43287494,d.Yms>
[Consulta: 26/02/2013]

BARRIOS, J. L. “Minerales más importantes de Cuba”. IPS, 10 de agosto del 2011. [En línea]
http://www.ipscuba.net/index.php?option=com_k2&view=item&id=1386:de-las-piedras-al-acero&Itemid=10
[Consulta: 15/02/2013]

Cristóbal, F. W. E. 2005. Descripción Hidráulica de la Batería de Filtros de Planta No. 1 de La Atarjea. Tesis de Ingeniero Mecánico. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas. [En línea]
http://www.google.com.cu/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&ved=0CD0QFjAB&url=http%3A%2F%2Fsisbib.unmsm.edu.pe%2Fbibvirtualdata%2Ftesis%2Fingenieria%2Fcrisobal_ef%2Fcap02.pdf&ei=TptAUZWWFsrdsWaBi4DlDw&usq=AFQjCNGVako3FabbGfRtdlii9yzpXiXNCw&bvm=bv.43287494,d.Yms
[Consulta: 13/03/2013]

FILTRACIÓN. Víctor Maldonado Yactayo. [En línea]
<http://www.google.com.cu/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CCwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fcdam.minam.gob.pe%3A8080%2Fbitstream%2F123456789%2F109%2F11%2FCDAM0000012-10.pdf&ei=ppgvUZLbCYfCtAaTkoCIBg&usq=AFQjCNHSHSmJ-9vl-mmR5OiyphITB8VHjw&bvm=bv.42965579,d.Yms>
[Consulta: 28/02/2013]

ORAMAS J. “El níquel a 8 495 dólares la tonelada”. Granma Internacional, 4 de febrero del 2003. [En línea]
<http://www.granma.cu/espanol/feb03/mar4/5niquel.html>

[Consulta: 15/02/2013]

Operaciones Unitarias I: [En línea]

http://www.fcai.uncu.edu.ar/upload/Operaciones_Unitarias_I.pdf

[Consulta: 15/02/2013]

ANEXO A.

Figura 1A, comportamiento del precio del níquel en el 2008 hasta 2012.



Fuente: http://www.kitcometals.com/charts/nickel_historical_large.html
Consultado (27/05/2013)

Determinación del tamaño promedio de partícula.

%	P1	P2	P3	P4	P5	P6
10	4,12	3,25	4,55	3,27	3,28	3,95
20	6,87	5,57	9,81	5,09	5,13	6,26
30	10,11	7,50	15,73	7,17	7,23	9,21
40	13,78	9,25	19,59	9,31	9,48	12,96
50	16,76	10,93	22,89	11,38	11,82	15,97
60	20,14	12,65	26,13	13,48	14,36	19,34
70	23,99	14,66	29,6	15,74	17,31	22,85
80	27,75	16,9	33,67	18,41	21,02	26,93
90	33,97	20,26	39,23	22,03	26,62	32,75
Prom.	17,50	11,49	22,64	12,11	13,70	17,37

ANEXO B

Caracterización de las muestras

Muestra N. 1.

Fecha: 30 de Septiembre del 2012.

Hora: 2:00 - 4:00 pm.

Columna de destilación: No. 3

Tabla de licor

Muestra	NH ₃	CO ₂	NH ₃ /CO ₂	Ni	Co	Ni/S	[S ₂ O ₃] ⁻	[SO ₄] ²⁻	pH
1	50,00	26,85	1,86	5,76	0,037	2,23	2,45	4,75	9,91

Tabla del licor efluente de la destilación.

Muestra	Concentración (g/l)			pH
	NH ₃	Ni	S	
1	1,41	0,38	2,12	8.24

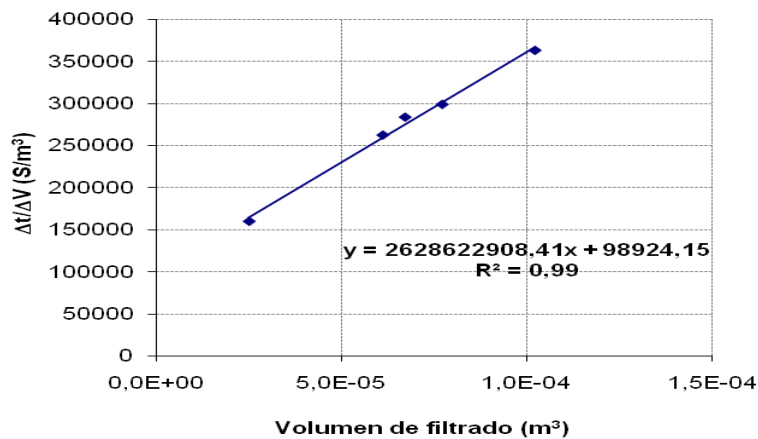
Tabla de carbonato de níquel.

Muestra	Concentración (%)					Densidad (g/l)		ε
	Ni	Co	S	MgO	CO ₂	ρ_r	ρ_a	
1	48,79	0,354	2,23	0,375	3,99	2.96	0,640	

Procesamiento de los datos obtenidos en la experimentación.

Presión inicial (Pa)	101325
Presión final (Pa)	63743,3
kgf/cm ²	0,65
lbf/pie ²	1331,43
lb/pulg ²	9,25
Caída de Presión ΔP (Pa)	37581,75
lbf/pie ²	784,99
lb/pulg ²	5,45
Temperatura (°C)	80,0
Dens pulpa (Kg/m3)	1122,2
Dens sólido (Kg/m3)	3060
Dens licor (Kg/m3)	955,0
Humedad del filtrado (%)	74,6
Viscosidad del licor (Pa. S)	0,000377
(lb. pie. s)	2,533E-04
S/L (kg sól / kg de líq suspendido)	0,276
Cs = (kg sól / m3 de líq puro)	264,0
Xt = Kg de torta / kg de líq en la torta	0,340
CT = Kg de sól / m3 de líq filtrado	1404,3
(lb/pie3)	87,57
dens de la torta (Kg/m3)	1157
C't= kg de sólido / m3 de torta	294
S (área de filtración) (cm2)	4,275
pie ²	0,005

V pulpa (ml)	V filtrado (ml)	T (seg)	V filtrado (m³)	Δt	ΔV (m³)	Δt/ΔV (S/m³)	V media	t/V	V/A (m³/m²)
0	0	0,0	0						
100	25	4,0	2,500E-05	4,0	2,5E-05	160000	1,25E-05	160000	0,058478
150	61	16,0	6,100E-05	12,0	3,6E-05	333333	4,30E-05	262295	0,142687
200	67	19,0	6,700E-05	3,0	6,0E-06	500000	6,40E-05	283582	0,156721
250	77	23,0	7,700E-05	4,0	1,0E-05	400000	7,20E-05	298701	0,180113
300	102	37,0	1,020E-04	14,0	2,5E-05	560000	8,95E-05	362745	0,238591



m	s/m ⁶	2628622908,4
n	s/m ³	98924,2

α	m/kg	6,821E+07
Rm	1/m	4,216E+09

5,11

98,55

Caracterización de Los parámetros de operación de las columnas de destilación.

Tabla de comportamiento de los parámetros de destilación

ALAMBIQUE 3 DIA 30 Septiembre

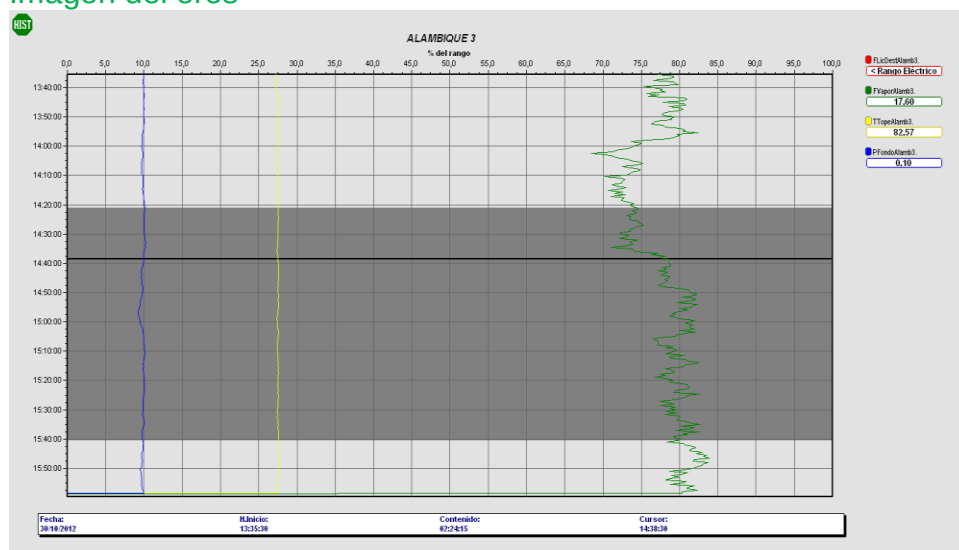
Tiempo	FVaporAlam	TTopeAlamb	PFondoAlam	FlujoGraID	f AI 5	F AI. 3
14:00:00	16,574358	82,4175797	0,0973749	157,488251	78,8888855	78,5993652
14:00:30	16,5128212	82,2649536	0,0979854	158,709259	81,0317459	77,6775131
14:01:00	16,3623924	82,2649536	0,0979854	159,319763	81,5873032	77,73246
14:01:30	16,0410252	82,4175797	0,0979854	158,342957	80,0396805	78,303276
14:02:00	15,9794865	82,2649536	0,0982906	154,069458	80,1190491	73,9504089
14:02:30	15,3299141	82,2649536	0,0982906	156,511444	82,2222214	74,2892227
14:03:00	15,7538462	82,1123352	0,0985959	151,139038	81,5873032	69,5517349
14:03:30	16,0068378	82,1123352	0,0982906	151,38324	82,5396805	68,8435592
14:04:00	16,0341873	81,9597092	0,0982906	153,092651	84,2460327	68,8466187
14:04:30	16,3897438	82,1123352	0,0979854	152,115845	85,3571472	66,7586975
14:05:00	16,478632	82,1123352	0,0976801	148,819153	82,7380981	66,0810547
14:05:30	16,7521362	81,9597092	0,0973749	150,894836	84,920639	65,9741974
14:06:00	16,8478622	82,2649536	0,0970696	149,91806	84,2857132	65,6323471
14:06:30	16,6905975	82,1123352	0,0967644	150,894836	84,7619019	66,1329345
14:07:00	16,239315	82,4175797	0,0973749	152,482147	84,2460327	68,2361145
14:07:30	16,4854698	82,4175797	0,0973749	151,993744	84,8809509	67,112793
14:08:00	16,7589741	82,4175797	0,0973749	150,284363	82,420639	67,8637238
14:08:30	16,7384605	82,4175797	0,0970696	152,237946	82,5396805	69,6982651
14:09:00	16,5196571	82,4175797	0,0973749	152,115845	85,5952377	66,520607

14:09:30	16,4717941	82,5702057	0,0973749	150,162262	84,4841309	65,6781311
14:10:00	16,3555546	82,5702057	0,0982906	153,703156	83,650795	70,0523605
14:10:30	15,7333336	82,5702057	0,0985959	151,505341	86,0317459	65,4735947
14:11:00	16,1846161	82,4175797	0,0985959	149,673859	84,4047623	65,2690963
14:11:30	16,3213673	82,5702057	0,0989011	152,115845	83,0158691	69,0999756
14:12:00	16,2324791	82,4175797	0,0989011	151,871643	83,7698441	68,101799
14:12:30	16,2119656	82,4175797	0,0989011	153,336853	82,8571472	70,4797058
14:13:00	15,9384613	82,5702057	0,0985959	151,627441	84,3650818	67,2623596
14:13:30	16,0752144	82,4175797	0,0982906	149,429657	82,1428528	67,2868042
14:14:00	16,3623924	82,4175797	0,0982906	151,016937	84,7222214	66,2947159
14:14:30	16,1572647	82,2649536	0,0979854	148,33075	86,2301559	62,1005936
14:15:00	15,8358974	82,5702057	0,0985959	152,237946	84,0079346	68,230011
14:15:30	16,2666664	82,4175797	0,0985959	151,016937	85,8730164	65,1439209
14:16:00	16,0273495	82,4175797	0,0985959	149,185455	85,3174591	63,8679962
14:16:30	16,3282051	82,4175797	0,0992064	149,91806	85,1190491	64,7990112
14:17:00	15,8974361	82,4175797	0,0995116	149,063355	85,5555573	63,5077972
14:17:30	16,2871799	82,5702057	0,0995116	151,627441	85,2777786	66,3496628
14:18:00	16,2324791	82,7228317	0,0992064	148,697052	85,2777786	63,4192734
14:18:30	16,2119656	82,5702057	0,1004274	150,406464	84,5238113	65,8826523
14:19:00	16,4102554	82,5702057	0,1004274	151,627441	86,7063446	64,9210968
14:19:30	16,5811958	82,4175797	0,1004274	152,237946	85,8333359	66,4046097
14:20:00	16,4581184	82,8754578	0,1004274	150,406464	85,19841	65,2080536
14:20:30	16,5333328	82,5702057	0,1010379	152,360046	85,6746063	66,6854401
14:21:00	16,7111111	82,5702057	0,1010379	151,38324	84,1666641	67,2165756
14:21:30	16,7111111	82,7228317	0,1016484	153,703156	85,0396805	68,663475
14:22:00	16,526495	82,7228317	0,1010379	152,604248	83,5317459	69,0725021
14:22:30	16,6564102	82,5702057	0,1007326	155,290466	84,5634918	70,7269745
14:23:00	16,6290588	82,7228317	0,1007326	156,511444	82,6190491	73,892395
14:23:30	16,3760681	82,5702057	0,1001221	154,679962	81,2698441	73,4101181
14:24:00	16,4923077	82,7228317	0,1004274	153,336853	82,9761887	70,3606643
14:24:30	16,478632	82,7228317	0,1004274	153,947357	81,7063446	72,2410126
14:25:00	16,4512825	82,7228317	0,1007326	151,749542	80,4365082	71,313034
14:25:30	16,7179489	82,5702057	0,1004274	156,145142	83,0952377	73,0499039
14:26:00	16,7042732	82,7228317	0,1007326	153,825256	81,1111145	72,7141418
14:26:30	16,8341885	82,5702057	0,1004274	155,168366	80	75,1683655
14:27:00	16,8547001	82,7228317	0,1001221	156,999847	82,9365082	74,0633392
14:27:30	16,6358967	82,5702057	0,1004274	154,313366	81,7460327	72,567627
14:28:00	16,5880337	82,4175797	0,1004274	154,924164	82,1031723	72,8209915
14:28:30	16,4581184	82,5702057	0,1007326	153,214752	80,9523773	72,2623749
14:29:00	16,4854698	82,5702057	0,1004274	155,77887	82,6587296	73,12014
14:29:30	16,1504269	82,4175797	0,1007326	156,145142	82,0238113	74,1213303
14:30:00	16,2461529	82,4175797	0,1007326	155,900971	82,3809509	73,5200196
14:30:30	16,4376068	82,4175797	0,1010379	152,970551	83,4523773	69,5181732
14:31:00	16,3555546	82,4175797	0,1016484	153,092651	81,6666641	71,4259873
14:31:30	16,1641026	82,4175797	0,1013431	152,84845	85,0396805	67,8087692
14:32:00	16,6974354	82,2649536	0,1016484	140,027954	82,3412704	57,6866837
14:32:30	16,4923077	82,4175797	0,1019536	140,760529	65,5555573	75,2049713
14:33:00	16,478632	82,2649536	0,1019536	141,981537	66,9444427	75,0370942
14:33:30	16,5606842	82,4175797	0,1016484	141,493134	66,5079346	74,9851989
14:34:00	16,3282051	82,2649536	0,1022589	142,46994	65,9523773	76,5175629
14:34:30	15,8974361	82,4175797	0,1019536	138,929047	66,5873032	72,3417434
14:35:00	16,5059834	82,2649536	0,1010379	137,463837	67,69841	69,7654267
14:35:30	16,5948715	82,1123352	0,1004274	138,074341	66,7460327	71,3283081
14:36:00	16,5880337	82,2649536	0,1001221	135,876526	64,6428528	71,2336731
14:36:30	17,2991447	82,2649536	0,0998169	137,830139	67,2222214	70,6079178
14:37:00	17,0871792	82,4175797	0,0995116	134,533447	65,5952377	68,9382096
14:37:30	17,5179482	82,4175797	0,0998169	137,95224	66,4682541	71,4839859
14:38:00	17,3059826	82,4175797	0,0995116	141,126831	66,150795	74,9760361
14:38:30	17,6000004	82,5702057	0,0998169	136,242828	62,9365082	73,3063202
14:39:00	17,6068382	82,5702057	0,0998169	145,766632	66,4682541	79,298378
14:39:30	17,6136742	82,5702057	0,0998169	144,911957	75,1190491	69,7929077
14:40:00	17,6068382	82,7228317	0,0992064	147,476044	74,80159	72,6744537
14:40:30	17,668375	82,8754578	0,0989011	147,476044	72,4603195	75,0157242
14:41:00	17,6478634	82,8754578	0,0982906	149,551758	74,2857132	75,2660446
14:41:30	17,4358978	82,7228317	0,0973749	151,016937	73,2936554	77,7232819
14:42:00	17,5452995	82,8754578	0,0967644	149,063355	73,2142868	75,8490677
14:42:30	17,2717953	82,8754578	0,0964591	150,284363	74,1269836	76,1573792
14:43:00	17,5589733	82,8754578	0,0964591	148,941254	71,8650818	77,0761719
14:43:30	17,476923	82,7228317	0,0967644	150,772736	72,5396805	78,2330551
14:44:00	17,381197	83,0280838	0,0967644	153,947357	70,9523773	82,9949799
14:44:30	17,6341877	82,8754578	0,0967644	153,947357	73,650795	80,2965622
14:45:00	17,6136742	82,8754578	0,0964591	154,069458	72,9761887	81,0932693
14:45:30	17,4974365	82,8754578	0,0967644	155,412567	69,7619019	85,6506652
14:46:00	17,572649	82,8754578	0,0970696	155,534668	71,7857132	83,7489548
14:46:30	17,4905987	82,5702057	0,0970696	154,069458	70,8730164	83,1964416

14:47:00	17,4222221	82,5702057	0,0976801	155,290466	72,6587296	82,6317367
14:47:30	17,2923069	82,7228317	0,0976801	154,924164	70,4365082	84,4876556
14:48:00	17,4085464	82,4175797	0,0982906	154,679962	72,0238113	82,6561509
14:48:30	17,8735046	82,5702057	0,0985959	153,825256	72,420639	81,4046173
14:49:00	18,1401711	82,5702057	0,0985959	152,604248	70,1587296	82,4455184
14:49:30	18,2153835	82,5702057	0,0985959	152,115845	71,6269836	80,4888611
14:50:00	18,2358971	82,5702057	0,0979854	155,77887	69,2460327	86,5328369
14:50:30	18,4205132	82,7228317	0,0976801	153,092651	72,0634918	81,0291596
14:51:00	18,3658123	82,7228317	0,0976801	156,389343	69,5634918	86,8258515
14:51:30	17,9965801	82,7228317	0,0973749	153,825256	70,2777786	83,5474777
14:52:00	18,3658123	82,7228317	0,0970696	156,511444	70	86,5114441
14:52:30	18,3931618	82,5702057	0,0952381	156,389343	68,0555573	88,333786
14:53:00	18,1470089	82,7228317	0,0955434	155,534668	68,5714264	86,9632416
14:53:30	17,8393154	82,7228317	0,0952381	155,77887	69,7619019	86,0169677
14:54:00	18,4547005	82,7228317	0,0949329	156,511444	68,7301559	87,7812882
14:54:30	18,2974358	82,7228317	0,0949329	154,924164	67,6190491	87,3051147
14:55:00	18,2632484	82,7228317	0,0946276	153,825256	69,7222214	84,1030349
14:55:30	17,9350433	82,7228317	0,0937119	158,220856	66,8253937	91,395462
14:56:00	18,1811962	82,5702057	0,0931014	156,755646	69,920639	86,8350068
14:56:30	17,8940163	82,4175797	0,0921856	156,145142	70,19841	85,9467316
14:57:00	17,7299137	82,5702057	0,0924909	157,610352	70,079361	87,5309906
14:57:30	17,7777767	82,4175797	0,0927961	154,557861	69,920639	84,6372223
14:58:00	17,6273499	82,2649536	0,0934066	155,77887	70,1587296	85,62014
14:58:30	17,8051281	82,2649536	0,0940171	152,604248	67,9761887	84,6280593
14:59:00	17,9282055	82,1123352	0,0943224	151,871643	68,5317459	83,3398972
14:59:30	18,3521366	82,2649536	0,0949329	153,581055	71,9444427	81,636612
15:00:00	18,2222214	82,2649536	0,0952381	151,749542	71,5079346	80,2416076
15:00:30	18,0717945	82,2649536	0,0955434	153,336853	69,8809509	83,4559021
15:01:00	18,3042736	82,2649536	0,0964591	151,749542	69,920639	81,8289032
15:01:30	18,2085457	82,2649536	0,0973749	153,703156	72,69841	81,0047455
15:02:00	18,2153835	82,4175797	0,0979854	155,534668	77,9365082	77,5981598
15:02:30	18,3589745	82,5702057	0,0982906	155,290466	77,1825409	78,1079254
15:03:00	17,9213676	82,7228317	0,0985959	157,732452	76,2301559	81,5022965
15:03:30	18,3931618	82,7228317	0,0989011	159,319763	78,0555573	81,2642059
15:04:00	18,099144	82,7228317	0,0989011	156,023041	76,3095245	79,7135163
15:04:30	17,8256416	82,7228317	0,0995116	156,511444	74,3650818	82,1463623
15:05:00	17,8051281	82,5702057	0,0992064	158,953461	76,3888855	82,5645752
15:05:30	17,2923069	82,7228317	0,0992064	158,953461	77,0238113	81,9296494
15:06:00	17,1282043	82,4175797	0,0995116	157,121948	75,9920654	81,1298828
15:06:30	17,2649574	82,4175797	0,0998169	157,244049	77,5	79,7440491
15:07:00	17,2991447	82,2649536	0,0995116	156,023041	76,4682541	79,5547867
15:07:30	17,2854691	82,2649536	0,1007326	157,488251	78,1349182	79,3533325
15:08:00	17,2786331	82,2649536	0,1007326	157,121948	75,4365082	81,68544
15:08:30	17,7230759	82,4175797	0,1013431	155,77887	79,3253937	76,4534759
15:09:00	17,5042725	82,2649536	0,1007326	156,389343	76,5079346	79,8814087
15:09:30	17,8188038	82,2649536	0,1007326	155,046265	78,0158691	77,0303955
15:10:00	17,8188038	82,2649536	0,1013431	157,854553	79,2063446	78,6482086
15:10:30	17,6752129	82,2649536	0,1016484	154,191559	78,2936554	75,8979034
15:11:00	17,5042725	82,4175797	0,1013431	154,802063	76,3095245	78,4925385
15:11:30	18,051281	82,4175797	0,1010379	155,168366	78,849205	76,3191605
15:12:00	17,6273499	82,4175797	0,1007326	153,581055	76,2301559	77,3508988
15:12:30	17,6547012	82,4175797	0,1004274	154,557861	79,7222214	74,8356399
15:13:00	18,1059818	82,5702057	0,1001221	156,145142	77,1031723	79,0419693
15:13:30	18,1743584	82,5702057	0,0995116	157,732452	77,8174591	79,9149933
15:14:00	18,4957256	82,7228317	0,0992064	154,557861	76,9444427	77,6134186
15:14:30	18,2769222	82,5702057	0,0985959	154,924164	77,9365082	76,9876556
15:15:00	18,0376072	82,5702057	0,0992064	158,098755	75,079361	83,0193939
15:15:30	18,0102558	82,7228317	0,0992064	157,610352	76,349205	81,2611466
15:16:00	17,5111103	82,7228317	0,0989011	158,953461	76,6269836	82,3264771
15:16:30	17,668375	82,5702057	0,0989011	157,121948	77,8571472	79,264801
15:17:00	17,7641029	82,7228317	0,0992064	157,610352	76,6666641	80,9436875
15:17:30	17,7641029	82,7228317	0,0992064	161,88385	79,2063446	82,6775055
15:18:00	17,3470078	82,7228317	0,1001221	161,88385	81,4285736	80,4552765
15:18:30	17,5042725	82,5702057	0,0995116	161,395447	80,6349182	80,7605286
15:19:00	17,1760674	82,5702057	0,1001221	163,593262	81,349205	82,2440567
15:19:30	17,5316238	82,4175797	0,1004274	160,662872	79,1269836	81,5358887
15:20:00	17,7367516	82,5702057	0,1001221	162,005951	81,4682541	80,5376968
15:20:30	17,6068382	82,7228317	0,1001221	161,029175	80,3571472	80,6720276
15:21:00	17,8188038	82,4175797	0,1007326	161,639648	80,6349182	81,0047302
15:21:30	18,1264954	82,5702057	0,1010379	161,395447	79,6428528	81,752594
15:22:00	18,1606827	82,4175797	0,1007326	159,686066	80,7936554	78,8924103
15:22:30	18,2222214	82,4175797	0,1007326	161,395447	81,150795	80,2446518
15:23:00	18,1538467	82,5702057	0,1004274	161,395447	77,8174591	83,5779877
15:23:30	17,8119659	82,7228317	0,1007326	162,250153	80,6349182	81,6152344
15:24:00	17,7504272	82,5702057	0,1004274	162,128052	78,6111145	83,5169373

15:24:30	18,5025635	82,5702057	0,1001221	160,540772	80	80,5407715
15:25:00	18,1333332	82,7228317	0,0995116	162,128052	80,3174591	81,8105927
15:25:30	18,1059818	82,7228317	0,0992064	161,639648	77,8968277	83,7428207
15:26:00	17,9692307	82,7228317	0,0989011	163,471161	80,1190491	83,3521118
15:26:30	17,7846146	82,5702057	0,0992064	164,081665	78,5317459	85,5499191
15:27:00	17,3401699	82,5702057	0,0985959	164,203766	79,0873032	85,1164627
15:27:30	17,5658112	82,4175797	0,0989011	162,494354	80,6349182	81,859436
15:28:00	17,7572651	82,5702057	0,0989011	164,570068	80,2380981	84,3319703
15:28:30	17,3606834	82,4175797	0,0989011	163,104858	79,5238113	83,5810471
15:29:00	17,8119659	82,4175797	0,0982906	163,593262	78,7698441	84,8234176
15:29:30	17,6410255	82,2649536	0,0985959	162,372253	81,1904755	81,1817779
15:30:00	17,8461533	82,2649536	0,0982906	163,104858	78,2539673	84,8508911
15:30:30	17,5316238	82,2649536	0,0985959	162,372253	83,7698441	78,6024093
15:31:00	17,8529911	82,2649536	0,0982906	162,005951	82,6587296	79,3472213
15:31:30	17,5111103	82,4175797	0,0979854	162,250153	83,7301559	78,5199967
15:32:00	17,8666668	82,4175797	0,0989011	161,517548	84,2063446	77,311203
15:32:30	17,9487171	82,1123352	0,0992064	162,860657	82,6190491	80,2416076
15:33:00	17,8598289	82,4175797	0,0992064	162,005951	83,7301559	78,275795
15:33:30	17,8324776	82,4175797	0,1001221	162,128052	83,6111145	78,5169373
15:34:00	18,1333332	82,5702057	0,1004274	166,645752	82,8174591	83,8282929
15:34:30	18,2564106	82,5702057	0,1004274	163,593262	83,3730164	80,2202453
15:35:00	18,523077	82,7228317	0,1001221	162,372253	82,1825409	80,1897125
15:35:30	17,9350433	82,5702057	0,0995116	163,104858	82,3412704	80,763588
15:36:00	18,3521366	82,5702057	0,0989011	163,959564	81,3095245	82,6500397
15:36:30	18,2222214	82,5702057	0,0989011	163,959564	83,3333359	80,6262283
15:37:00	17,8256416	82,7228317	0,0979854	163,34906	80,5158691	82,833191
15:37:30	18,523077	82,7228317	0,0979854	164,81427	81,5476227	83,2666473
15:38:00	18,0170937	82,7228317	0,0979854	165,180573	81,5873032	83,5932693
15:38:30	18,1470089	82,7228317	0,0976801	166,889954	82,2222214	84,6677322
15:39:00	17,7435894	82,8754578	0,0976801	166,035278	80,6349182	85,4003601
15:39:30	17,7641029	82,7228317	0,0976801	167,378357	81,1904755	86,1878814
15:40:00	17,955555	82,7228317	0,0976801	167,134155	81,3888855	85,7452698
15:40:30	17,8529911	82,7228317	0,0982906	167,134155	81,6666641	85,4674912
15:41:00	17,5452995	82,4175797	0,0985959	164,81427	81,8253937	82,9888763
15:41:30	18,0307693	82,7228317	0,0992064	164,936371	80,1190491	84,8173217
15:42:00	18,0854702	82,7228317	0,0985959	167,012054	79,6825409	87,3295135
15:42:30	18,3111115	82,4175797	0,0989011	165,546875	81,1904755	84,3563995
15:43:00	18,3931618	82,4175797	0,0989011	163,959564	79,5634918	84,3960724
15:43:30	18,2358971	82,5702057	0,0985959	163,837463	80,9126968	82,9247666
15:44:00	18,2153835	82,5702057	0,0985959	163,959564	79,4841309	84,4754333
15:44:30	18,5914536	82,4175797	0,0976801	163,715363	80,7539673	82,9613952
15:45:00	18,4136753	82,7228317	0,0973749	165,668976	80,5158691	85,1531067
15:45:30	18,6940174	82,7228317	0,0973749	163,104858	79,9603195	83,1445389
15:46:00	18,6256409	82,8754578	0,0973749	166,401581	80,5555573	85,8460235
15:46:30	18,7965813	82,7228317	0,0973749	165,791077	78,2936554	87,4974213
15:47:00	18,3521366	82,7228317	0,0976801	163,471161	80,2380981	83,2330628
15:47:30	18,3111115	82,7228317	0,0976801	164,081665	77,6587296	86,4229354
15:48:00	18,7555542	82,7228317	0,0976801	165,424774	79,7619019	85,6628723
15:48:30	18,6119652	82,8754578	0,0973749	164,936371	78,0158691	86,9205017
15:49:00	18,5914536	82,8754578	0,0967644	164,081665	79,5238113	84,5578537
15:49:30	18,4341869	83,0280838	0,0967644	165,913178	77,3809509	88,5322266
15:50:00	18,3179474	82,8754578	0,0964591	164,692169	78,8095245	85,8826447
15:50:30	18,0717945	83,0280838	0,0955434	166,401581	78,2142868	88,187294
15:51:00	17,6341877	82,7228317	0,0961539	163,471161	79,6031723	83,8679886
15:51:30	18,1538467	82,7228317	0,0961539	165,791077	78,1746063	87,6164704
15:52:00	17,9760685	82,7228317	0,0967644	167,500458	79,5634918	87,936966
15:52:30	17,6888885	82,5702057	0,0964591	167,744659	79,5238113	88,2208481
15:53:00	17,9145298	82,4175797	0,0967644	166,645752	80,0396805	86,6060715
15:53:30	17,6410255	82,4175797	0,0967644	165,058472	79,8809509	85,1775208
15:54:00	17,5042725	82,2649536	0,0970696	166,523651	78,0158691	88,507782
15:54:30	18,1059818	82,2649536	0,0970696	165,546875	80,6349182	84,9119568
15:55:00	18,0307693	82,4175797	0,0970696	166,523651	78,7301559	87,7934952
15:55:30	17,6547012	82,4175797	0,0967644	167,378357	80,9126968	86,4656601
15:56:00	18,3521366	82,2649536	0,0967644	164,325867	80,2777786	84,0480881
15:56:30	18,1470089	82,2649536	0,0976801	165,913178	78,2539673	87,6592102
15:57:00	18,1264954	82,2649536	0,0979854	165,668976	80,8333359	84,8356399
15:57:30	18,4410248	82,2649536	0,0989011	166,27948	79,4047623	86,8747177
15:58:00	17,9965801	82,2649536	0,0995116	166,27948	78,650795	87,628685
15:58:30	17,9965801	82,2649536	0,0995116	166,27948	78,650795	87,628685
15:59:00	No Exportada	No Exportada	No Exportada	No Exportada	No Exportada	#¡VALOR!
15:59:30	No Exportada	No Exportada	No Exportada	No Exportada	No Exportada	#¡VALOR!
16:00:00	18,475214	82,4175797	0,0995116	165,424774	79,2857132	86,139061

Imagen del eros



Muestra N. 2.

Fecha: 21 de Octubre del 2012.

Hora: 9:30 – 9:51 am.

Columna de destilación: No. 7

Tabla de licor

Muestra	NH ₃	CO ₂	NH ₃ /CO ₂	Ni	Co	Ni/S	[S ₂ O ₃] ⁻	[SO ₄] ²⁻	pH
2	50,00	27,80	1,80	5,66	0,037	2,14	2,16	5,09	9,91

Tabla de carbonato de níquel.

Muestra	Concentración (%)					Densidad (g/l)		ε
	Ni	Co	S	MgO	CO ₂	ρ_r	ρ_a	
2	47,20	0,348	3,09	0,369	1,90	2,85	0,567	

Tabla del licor de efluente.

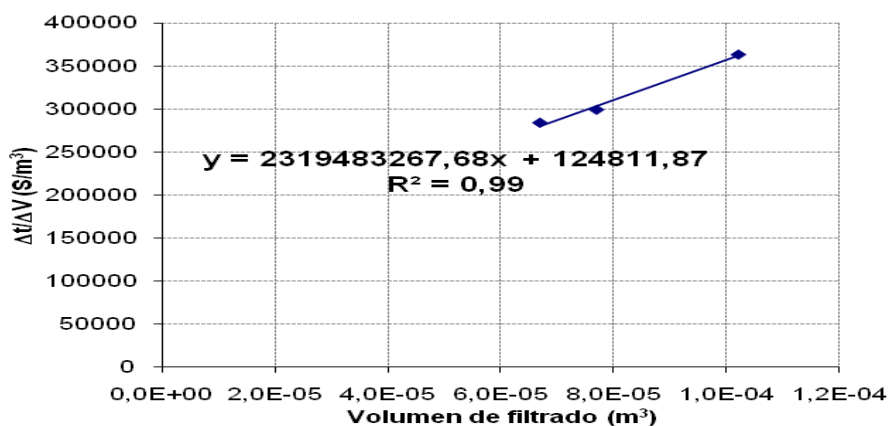
Muestra	Concentración (g/l)			pH
	NH ₃	Ni	S	
2	1,91	0,55	2,31	8,76

Procesamiento de los datos obtenidos en la experimentación.

Presión inicial (Pa)	101325
Presión final (Pa)	63743,3
kgf/cm ²	0,65
lbf/pie ²	1331,43
lb/pulg ²	9,25
Caída de Presión ΔP (Pa)	37581,75
lbf/pie ²	784,99
lb/pulg ²	5,45
Temperatura (°C)	80,0

Dens pulpa (Kg/m3)	1122,2
Dens sólido (Kg/m3)	3060
Dens licor (Kg/m3)	955,0
Humedad del filtrado (%)	78.8
Viscosidad del licor (Pa. S)	0,000377
(lb. pie. s)	2,533E-04
S/L (kg sól / kg de líq suspendido)	0,276
Cs = (kg sól / m3 de líq puro)	264,0
Xt = Kg de torta / kg de líq en la torta	0,587
CT = Kg de sól / m3 de líq filtrado	498,9
(lb/pie3)	31,11
dens de la torta (Kg/m3)	1281
C't= kg de sólido / m3 de torta	474
S (área de filtración) (cm2)	4,275
pie ²	0,005

V pulpa (ml)	V filtrado (ml)	T (seg)	V filtrado (m ³)	Δt	ΔV (m ³)	Δt/ΔV (S/m ³)	V media	t/V	V/A (m ³ /m ²)
0	0	0,0	0						
100	29	9,0	2,900E-05	9,0	2,9E-05	310345	1,45E-05	310345	0,067835
150	41	14,0	4,100E-05	5,0	1,2E-05	416667	3,50E-05	341463	0,095904
200	54	21,0	5,400E-05	7,0	1,3E-05	538462	4,75E-05	388889	0,126313
250	65	30,0	6,500E-05	9,0	1,1E-05	818182	5,95E-05	461538	0,152043
300	71	35,0	7,100E-05	5,0	6,0E-06	833333	6,80E-05	492958	0,166078



m	s/m ⁶	4434076322,1
n	s/m ³	168466,7

α	m/kg	3,239E+08
Rm	1/m	7,180E+09

Tabla de comportamiento de los parámetros de destilación.

ALAMBIQUE 7 DIA 21OCTUBRE

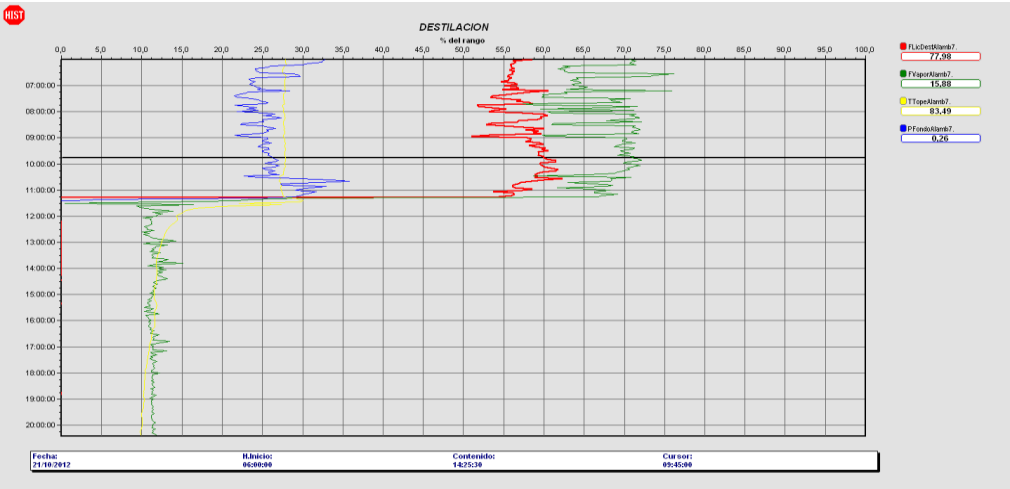
Tiempo	FLicDestAl	FVaporAlam	TTopeAlamb	PFondoAlam
9:30:00	0	2,7487178	31,5934067	< Rango Eléctrico
9:30:10	0	2,728205	31,5934067	< Rango Eléctrico

9:30:20	0	2,728205	31,5934067	< Rango Eléctrico
9:30:30	0	2,8102565	31,5934067	< Rango Eléctrico
9:30:40	0	2,8102565	31,5934067	< Rango Eléctrico
9:30:50	0	2,8102565	31,5934067	< Rango Eléctrico
9:31:00	< Rango Eléctrico	2,8649573	31,5934067	< Rango Eléctrico
9:31:10	0,0793648	2,8649573	31,5934067	< Rango Eléctrico
9:31:20	0,0793648	2,8307693	31,5934067	< Rango Eléctrico
9:31:30	0,0793648	2,8307693	31,5934067	< Rango Eléctrico
9:31:40	0,0793648	2,8307693	31,5934067	< Rango Eléctrico
9:31:50	< Rango Eléctrico	2,7760682	31,5934067	< Rango Eléctrico
9:32:00	0,0396824	2,7760682	31,5934067	< Rango Eléctrico
9:32:10	0,0396824	2,6393161	31,5934067	< Rango Eléctrico
9:32:20	0,0396824	2,6393161	31,5934067	< Rango Eléctrico
9:32:30	0,0396824	2,6393161	31,5934067	< Rango Eléctrico
9:32:40	0,0793648	2,5299144	31,5934067	< Rango Eléctrico
9:32:50	0,0793648	2,5299144	31,5934067	< Rango Eléctrico
9:33:00	0,5555553	2,3521366	31,5934067	< Rango Eléctrico
9:33:10	0,5555553	2,3521366	31,5934067	< Rango Eléctrico
9:33:20	0,5555553	2,3521366	31,5934067	< Rango Eléctrico
9:33:30	0,1984119	2,5230768	31,5934067	< Rango Eléctrico
9:33:40	0,1984119	2,5230768	31,5934067	< Rango Eléctrico
9:33:50	0,5952377	2,6256409	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:34:00	0,5952377	2,6256409	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:34:10	0,5952377	2,6256409	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:34:20	0,0793648	2,6598289	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:34:30	0,0793648	2,6598289	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:34:40	< Rango Eléctrico	2,57094	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:34:50	< Rango Eléctrico	2,57094	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:35:00	< Rango Eléctrico	2,57094	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:35:10	< Rango Eléctrico	2,6393161	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:35:20	0	2,6393161	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:35:30	0	2,502564	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:35:40	0	2,502564	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:35:50	0	2,502564	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:36:00	< Rango Eléctrico	2,4683759	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:36:10	< Rango Eléctrico	2,4683759	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:36:20	< Rango Eléctrico	2,5162392	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:36:30	0,0793648	2,5162392	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:36:40	0,0793648	2,6871793	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:36:50	0,0793648	2,6871793	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:37:00	0,0793648	2,6871793	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:37:10	< Rango Eléctrico	2,7213674	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:37:20	< Rango Eléctrico	2,7213674	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:37:30	< Rango Eléctrico	2,9606838	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:37:40	< Rango Eléctrico	2,9606838	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:37:50	< Rango Eléctrico	2,9606838	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:38:00	< Rango Eléctrico	3,3846154	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:38:10	0,1587296	3,3846154	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:38:20	0,1587296	3,3846154	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:38:30	0,1587296	3,3846154	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:38:40	0,1587296	3,3846154	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:38:50	0,0396824	3,2957265	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:39:00	0,0396824	3,2957265	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:39:10	< Rango Eléctrico	3,1931624	31,8986568	< Rango Eléctrico

9:39:20	< Rango Eléctrico	3,1931624	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:39:30	0,1190472	3,1931624	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:39:40	0,1190472	2,9333334	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:39:50	0,1190472	2,9333334	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:40:00	0,5555553	2,9948719	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:40:10	0,5555553	2,9948719	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:40:20	0,5555553	2,9948719	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:40:30	< Rango Eléctrico	3,1247864	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:40:40	< Rango Eléctrico	3,1247864	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:40:50	< Rango Eléctrico	3,1863248	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:41:00	< Rango Eléctrico	3,1863248	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:41:10	< Rango Eléctrico	3,1042736	31,7460308	< Rango Eléctrico
9:41:20	< Rango Eléctrico	3,1042736	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:41:30	< Rango Eléctrico	3,1042736	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:41:40	< Rango Eléctrico	3,0085471	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:41:50	< Rango Eléctrico	3,0085471	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:42:00	< Rango Eléctrico	3,0153847	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:42:10	< Rango Eléctrico	3,0153847	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:42:20	0,5555553	3,0153847	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:42:30	0,5555553	3,2478633	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:42:40	0,5555553	3,2478633	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:42:50	< Rango Eléctrico	3,3025641	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:43:00	< Rango Eléctrico	3,3025641	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:43:10	< Rango Eléctrico	3,1794872	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:43:20	< Rango Eléctrico	3,1794872	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:43:30	< Rango Eléctrico	3,1794872	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:43:40	< Rango Eléctrico	3,0427351	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:43:50	< Rango Eléctrico	3,0427351	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:44:00	< Rango Eléctrico	3,0017095	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:44:10	< Rango Eléctrico	3,0017095	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:44:20	< Rango Eléctrico	3,0017095	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:44:30	< Rango Eléctrico	2,7418802	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:44:40	< Rango Eléctrico	2,7418802	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:44:50	< Rango Eléctrico	2,7897434	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:45:00	< Rango Eléctrico	2,7897434	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:45:10	< Rango Eléctrico	2,8923078	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:45:20	< Rango Eléctrico	2,8923078	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:45:30	< Rango Eléctrico	2,8923078	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:45:40	< Rango Eléctrico	3,0358975	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:45:50	< Rango Eléctrico	3,0358975	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:46:00	< Rango Eléctrico	3,1111112	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:46:10	< Rango Eléctrico	3,1111112	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:46:20	< Rango Eléctrico	3,3641026	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:46:30	< Rango Eléctrico	3,3641026	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:46:40	< Rango Eléctrico	3,3641026	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:46:50	< Rango Eléctrico	3,6444445	32,0512848	< Rango Eléctrico
9:47:00	< Rango Eléctrico	3,6444445	32,0512848	< Rango Eléctrico
9:47:10	< Rango Eléctrico	3,5145299	32,0512848	< Rango Eléctrico
9:47:20	< Rango Eléctrico	3,5145299	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:47:30	0,0396824	3,5145299	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:47:40	0,0396824	3,4803419	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:47:50	0,0396824	3,4803419	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:48:00	< Rango Eléctrico	3,5418804	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:48:10	< Rango Eléctrico	3,5418804	31,8986568	< Rango Eléctrico

9:48:20	0,3571434	3,5418804	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:48:30	0,3571434	3,4666667	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:48:40	0,3571434	3,4666667	31,8986568	< Rango Eléctrico
9:48:50	< Rango Eléctrico	3,5282052	32,0512848	< Rango Eléctrico
9:49:00	< Rango Eléctrico	3,5282052	32,0512848	< Rango Eléctrico
9:49:10	< Rango Eléctrico	3,5418804	32,0512848	< Rango Eléctrico
9:49:20	< Rango Eléctrico	3,5418804	32,0512848	< Rango Eléctrico
9:49:30	< Rango Eléctrico	3,5418804	32,0512848	< Rango Eléctrico
9:49:40	< Rango Eléctrico	3,4871795	32,0512848	< Rango Eléctrico
9:49:50	< Rango Eléctrico	3,4871795	32,0512848	< Rango Eléctrico
9:50:00	< Rango Eléctrico	3,2683761	32,0512848	< Rango Eléctrico
9:50:10	< Rango Eléctrico	3,2683761	32,0512848	< Rango Eléctrico
9:50:20	< Rango Eléctrico	3,2683761	32,0512848	< Rango Eléctrico
9:50:30	< Rango Eléctrico	3,5897436	32,0512848	< Rango Eléctrico
9:50:40	< Rango Eléctrico	3,5897436	32,0512848	< Rango Eléctrico
9:50:50	< Rango Eléctrico	3,617094	32,0512848	< Rango Eléctrico
9:51:00	< Rango Eléctrico	3,617094	32,0512848	< Rango Eléctrico
9:51:10	< Rango Eléctrico	3,5076923	32,0512848	< Rango Eléctrico

Imagen del eros



Muestra N. 3

Fecha: 21 de Octubre del 2012.

Hora: 10:51 – 11:18 am.

Columna de destilación: No. 7

Tabla de licor

Muestra	NH ₃	CO ₂	NH ₃ /CO ₂	Ni	Co	Ni/S	[S ₂ O ₃] ⁻	[SO ₄] ²⁻	pH
3	47,60	27,30	1,74	6,43	0,087	2,59	2,06	7,47	9,95

Tabla de carbonato de níquel.

Muestra	Concentración (%)					Densidad (g/l)		ε
	Ni	Co	S	MgO	CO ₂	ρ_r	ρ_a	
3	45,58	0,258	1,84	0,650	4,42	2.82	0,533	

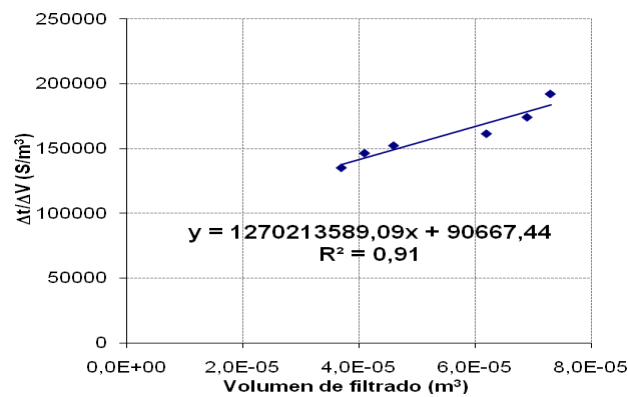
Tabla del licor de efluente.

Muestra	Concentración (g/l)			pH
	NH ₃	Ni	S	
3	1,19	0,75	2,05	7,82

Procesamiento de los datos obtenidos en la experimentación.

Presión inicial (Pa)	101325
Presión final (Pa)	63743,3
kgf/cm ²	0,65
lbf/pie ²	1331,43
lb/pulg ²	9,25
Caída de Presión ΔP (Pa)	37581,75
lbf/pie ²	784,99
lb/pulg ²	5,45
Temperatura (°C)	80,0
Dens pulpa (Kg/m3)	1122,2
Dens sólido (Kg/m3)	3060
Dens licor (Kg/m3)	955,0
Humedad del filtrado (%)	74,6
Viscosidad del licor (Pa. S)	0,000377
(lb. pie. s)	2,533E-04
S/L (kg sól / kg de líq suspendido)	0,276
Cs = (kg sól / m3 de líq puro)	264,0
Xt = Kg de torta / kg de líq en la torta	0,336
CT = Kg de sól / m3 de líq filtrado	1484,0
(lb/pie3)	92,54
dens de la torta (Kg/m3)	1155
C't= kg de sólido / m3 de torta	291
S (área de filtración) (cm2)	4,275
pie ²	0,005

V pulpa (ml)	V filtrado (ml)	T (seg)	V filtrado (m ³)	Δt	ΔV (m ³)	$\Delta t/\Delta V$ (S/m ³)	V media	t/V	V/A (m ³ /m ²)
0	0	0,0	0						
100	37	5,0	3,700E-05	5,0	3,7E-05	135135	1,85E-05	135135	0,086548
150	41	6,0	4,100E-05	1,0	4,0E-06	250000	3,90E-05	146341	0,095904
200	46	7,0	4,600E-05	1,0	5,0E-06	200000	4,35E-05	152174	0,107600
250	62	10,0	6,200E-05	3,0	1,6E-05	187500	5,40E-05	161290	0,145026
300	69	12,0	6,900E-05	2,0	7,0E-06	285714	6,55E-05	173913	0,161400



m	s/m ⁶	1270213589,1
n	s/m ³	90667,4

α	m/kg	3,119E+07
Rm	1/m	3,864E+09

Tabla de comportamiento de los parámetros de destilación.

ALAMBIQUE 7 DIA 21OCTUBRE

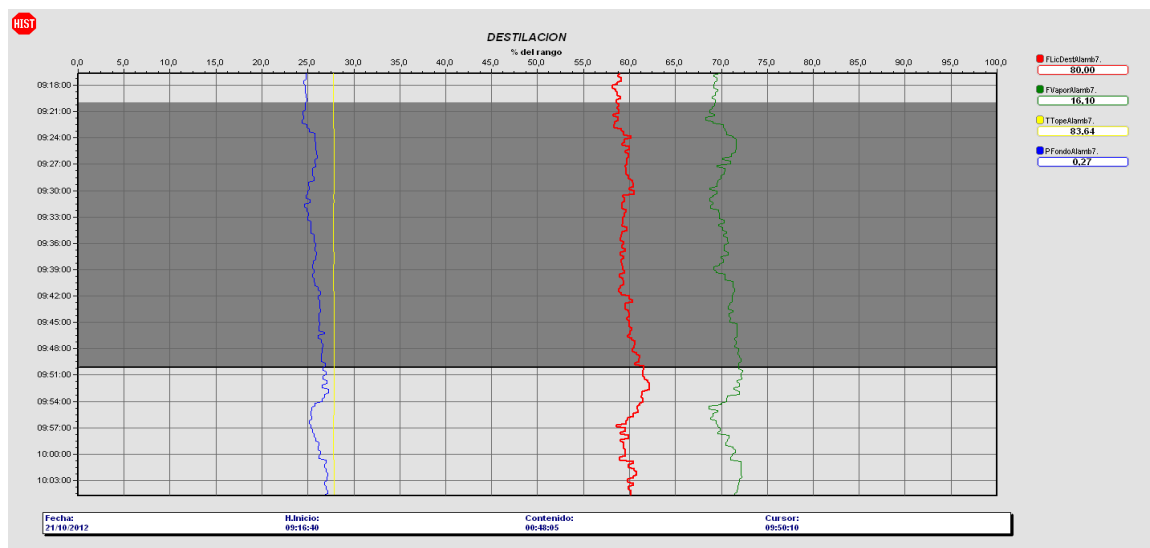
Tiempo	FLicDestAl	FVaporAlam	TTopeAlamb	PFondoAlam
10:51:00	72,8571472	15,1863251	81,9597092	0,3290598
10:51:10	72,8571472	15,1863251	81,9597092	0,3290598
10:51:20	73,4523773	15,0632477	81,9597092	0,3290598
10:51:30	73,4523773	15,0632477	81,9597092	0,3290598
10:51:40	74,6031723	14,7829056	81,9597092	0,3290598
10:51:50	74,6031723	14,7829056	81,9597092	0,329365
10:52:00	74,6031723	14,7829056	81,9597092	0,329365
10:52:10	74,8809509	14,3521366	81,9597092	0,3272283
10:52:20	74,8809509	14,3521366	81,9597092	0,3272283
10:52:30	72,9761887	14,0102558	81,9597092	0,3272283
10:52:40	72,9761887	14,0102558	81,9597092	0,3272283
10:52:50	73,3730164	13,7709398	81,9597092	0,3199024
10:53:00	73,3730164	13,7709398	81,9597092	0,3199024
10:53:10	73,3730164	13,7709398	81,9597092	0,3199024
10:53:20	72,6190491	13,7777777	81,8070831	0,3186812
10:53:30	72,6190491	13,7777777	81,8070831	0,3186812
10:53:40	73,3333359	13,8119659	81,8070831	0,3186812
10:53:50	73,3333359	13,8119659	81,8070831	0,3101344
10:54:00	73,3333359	13,8119659	81,8070831	0,3101344
10:54:10	70,7936554	13,8188028	81,8070831	0,3101344
10:54:20	70,7936554	13,8188028	81,8070831	0,319597
10:54:30	71,7460327	14,0717945	81,8070831	0,319597
10:54:40	71,7460327	14,0717945	81,8070831	0,319597
10:54:50	72,69841	14,2564106	81,8070831	0,3031135
10:55:00	72,69841	14,2564106	81,8070831	0,3031135
10:55:10	72,69841	14,2564106	81,8070831	0,3031135
10:55:20	72,2222214	14,5572643	81,9597092	0,2970085
10:55:30	72,2222214	14,5572643	81,9597092	0,2970085
10:55:40	74,0476227	14,618803	81,9597092	0,2970085

10:55:50	74,0476227	14,618803	81,9597092	0,2918193
10:56:00	74,8412704	14,7487183	81,9597092	0,2918193
10:56:10	74,8412704	14,7487183	81,9597092	0,2918193
10:56:20	74,8412704	14,7487183	82,1123352	0,2976191
10:56:30	76,4682541	14,7076921	82,1123352	0,2976191
10:56:40	76,4682541	14,7076921	82,1123352	0,2976191
10:56:50	76,0714264	14,762393	82,1123352	0,2982295
10:57:00	76,0714264	14,762393	82,1123352	0,2982295
10:57:10	76,0714264	14,762393	82,1123352	0,2982295
10:57:20	75,6349182	14,7418804	82,1123352	0,2851038
10:57:30	75,6349182	14,7418804	82,1123352	0,2851038
10:57:40	76,150795	14,8786325	82,1123352	0,2851038
10:57:50	76,150795	14,8786325	82,1123352	0,2878511
10:58:00	76,150795	14,8786325	82,1123352	0,2878511
10:58:10	75,1190491	14,8512821	82,1123352	0,2878511
10:58:20	75,1190491	14,8512821	82,1123352	0,290293
10:58:30	74,3650818	15,001709	82,1123352	0,290293
10:58:40	74,3650818	15,001709	82,1123352	0,290293
10:58:50	74,3650818	15,1589737	82,1123352	0,2893772
10:59:00	74,3650818	15,1589737	82,1123352	0,2893772
10:59:10	74,3650818	15,1589737	82,1123352	0,2893772
10:59:20	74,6825409	15,0769234	82,2649536	0,289072
10:59:30	74,6825409	15,0769234	82,2649536	0,289072
10:59:40	74,6428528	15,193162	82,2649536	0,289072
10:59:50	74,6428528	15,193162	82,1123352	0,2905984
11:00:00	74,4841309	15,2752132	82,1123352	0,2905984
11:00:10	74,4841309	15,2752132	82,1123352	0,2905984
11:00:20	74,4841309	15,2752132	82,1123352	0,2936509
11:00:30	74,2460327	15,2547007	82,1123352	0,2936509
11:00:40	74,2460327	15,2547007	82,1123352	0,2936509
11:00:50	73,9682541	15,0837603	82,1123352	0,29884
11:01:00	73,9682541	15,0837603	82,1123352	0,29884
11:01:10	73,9682541	15,0837603	82,1123352	0,29884
11:01:20	72,9761887	15,1042728	81,9597092	0,3028083
11:01:30	72,9761887	15,1042728	81,9597092	0,3028083
11:01:40	68,2142868	15,1863251	81,9597092	0,3028083
11:01:50	68,2142868	15,1863251	82,1123352	0,3070817
11:02:00	70,079361	14,9743586	82,1123352	0,3070817
11:02:10	70,079361	14,9743586	82,1123352	0,3070817
11:02:20	70,079361	14,9743586	82,1123352	0,3131869
11:02:30	69,9603195	14,7897434	82,1123352	0,3131869
11:02:40	69,9603195	14,7897434	82,1123352	0,3131869
11:02:50	69,80159	14,85812	82,2649536	0,3171551
11:03:00	69,80159	14,85812	82,2649536	0,3171551
11:03:10	69,80159	14,85812	82,2649536	0,3171551
11:03:20	73,1349182	14,8854694	82,2649536	0,3122711
11:03:30	73,1349182	14,8854694	82,2649536	0,3122711
11:03:40	72,8968277	14,6803417	82,2649536	0,3122711
11:03:50	72,8968277	14,6803417	82,2649536	0,3101344
11:04:00	72,8968277	14,6803417	82,2649536	0,3101344
11:04:10	72,6587296	14,762393	82,2649536	0,3101344
11:04:20	72,6587296	14,762393	82,2649536	0,3110502
11:04:30	72,420639	14,7829056	82,2649536	0,3110502
11:04:40	72,420639	14,7829056	82,2649536	0,3110502

11:04:50	72,4603195	14,7897434	82,2649536	0,3058608
11:05:00	72,4603195	14,7897434	82,2649536	0,3058608
11:05:10	72,4603195	14,7897434	82,2649536	0,3058608
11:05:20	72,3412704	14,8170938	82,2649536	0,3128815
11:05:30	72,3412704	14,8170938	82,2649536	0,3128815
11:05:40	73,0555573	14,8444443	82,2649536	0,3128815
11:05:50	73,0555573	14,8444443	82,4175797	0,3104396
11:06:00	73,0555573	14,8444443	82,4175797	0,3104396
11:06:10	74,3650818	14,9606838	82,4175797	0,3104396
11:06:20	74,3650818	14,9606838	82,4175797	0,3015873
11:06:30	74,0476227	14,8239317	82,4175797	0,3015873
11:06:40	74,0476227	14,8239317	82,4175797	0,3015873
11:06:50	74,0476227	14,8239317	82,4175797	0,3028083
11:07:00	72,8571472	15,0358973	82,4175797	0,3028083
11:07:10	72,8571472	15,0358973	82,4175797	0,3028083
11:07:20	72,69841	15,1179485	82,5702057	0,2973137
11:07:30	72,69841	15,1179485	82,5702057	0,2973137
11:07:40	72,69841	15,1179485	82,5702057	0,2973137
11:07:50	73,2936554	15,3846149	82,5702057	0,293956
11:08:00	73,2936554	15,3846149	82,5702057	0,293956
11:08:10	74,2857132	15,4735041	82,5702057	0,293956
11:08:20	74,2857132	15,4735041	82,5702057	0,2954824
11:08:30	74,2857132	15,4735041	82,5702057	0,2954824
11:08:40	74,1269836	15,4461536	82,5702057	0,2954824
11:08:50	74,1269836	15,4461536	82,5702057	0,3009768
11:09:00	73,2142868	15,4940166	82,5702057	0,3009768
11:09:10	73,2142868	15,4940166	82,5702057	0,3009768
11:09:20	73,2142868	15,4940166	82,7228317	0,3012822
11:09:30	72,7777786	15,569231	82,7228317	0,3012822
11:09:40	72,7777786	15,569231	82,7228317	0,3012822
11:09:50	73,6111145	15,4598293	82,7228317	0,3043346
11:10:00	73,6111145	15,4598293	82,7228317	0,3043346
11:10:10	73,6111145	15,4598293	82,7228317	0,3043346
11:10:20	72,69841	15,5076923	82,7228317	0,3031135
11:10:30	72,69841	15,5076923	82,7228317	0,3031135
11:10:40	72,8174591	15,4666662	82,7228317	0,3031135
11:10:50	72,8174591	15,4666662	82,7228317	0,3031135
11:11:00	72,8174591	15,4666662	82,7228317	0,3031135
11:11:10	72,579361	15,2820511	82,7228317	0,3031135
11:11:20	72,579361	15,2820511	82,7228317	0,300061
11:11:30	73,2142868	15,3094015	82,7228317	0,300061
11:11:40	73,2142868	15,3094015	82,7228317	0,300061
11:11:50	73,2142868	15,3094015	82,7228317	0,2979243
11:12:00	72,7380981	15,0564098	82,7228317	0,2979243
11:12:10	72,7380981	15,0564098	82,7228317	0,2979243
11:12:20	72,2619019	14,7076921	82,7228317	0,2963982
11:12:30	72,2619019	14,7076921	82,7228317	0,2963982
11:12:40	72,2619019	14,7076921	82,7228317	0,2963982
11:12:50	71,4285736	14,6871796	82,5702057	0,2893772
11:13:00	71,4285736	14,6871796	82,5702057	0,2893772
11:13:10	71,4682541	14,8786325	82,5702057	0,2893772
11:13:20	71,4682541	14,8786325	82,7228317	0,2905984
11:13:30	71,4682541	14,8786325	82,7228317	0,2905984
11:13:40	71,5873032	14,953846	82,7228317	0,2905984

11:13:50	71,5873032	14,953846	82,7228317	0,2878511
11:14:00	69,6031723	15,0085468	82,7228317	0,2878511
11:14:10	69,6031723	15,0085468	82,7228317	0,2878511
11:14:20	69,6031723	15,0085468	82,7228317	0,2921245
11:14:30	71,5476227	15,1247864	82,7228317	0,2921245
11:14:40	71,5476227	15,1247864	82,7228317	0,2921245
11:14:50	70,7539673	14,9470081	82,7228317	0,2912087
11:15:00	70,7539673	14,9470081	82,7228317	0,2912087
11:15:10	71,0714264	14,9743586	82,7228317	0,2912087
11:15:20	71,0714264	14,9743586	82,7228317	0,290293
11:15:30	71,0714264	14,9743586	82,7228317	0,290293
11:15:40	< Rango Eléctrico	14,6598291	82,7228317	0,290293
11:15:50	< Rango Eléctrico	14,6598291	83,7912064	0,3119657
11:16:00	< Rango Eléctrico	14,6803417	83,7912064	0,3119657
11:16:10	< Rango Eléctrico	14,6803417	83,7912064	0,3119657
11:16:20	< Rango Eléctrico	14,6803417	84,8595886	0,3192918
11:16:30	< Rango Eléctrico	14,4615383	84,8595886	0,3192918
11:16:40	< Rango Eléctrico	14,4615383	84,8595886	0,3192918
11:16:50	< Rango Eléctrico	14,5982904	85,7753372	0,3220391
11:17:00	< Rango Eléctrico	14,5982904	85,7753372	0,3220391
11:17:10	< Rango Eléctrico	14,5982904	85,7753372	0,3220391
11:17:20	< Rango Eléctrico	14,523077	86,6910858	0,3168497
11:17:30	< Rango Eléctrico	14,523077	86,6910858	0,3168497
11:17:40	< Rango Eléctrico	6,6051283	86,6910858	0,3168497
11:17:50	< Rango Eléctrico	6,6051283	87,30159	0,2445054
11:18:00	< Rango Eléctrico	6,6051283	87,30159	0,2445054
11:18:10	< Rango Eléctrico	4,8410254	87,30159	0,2445054

Imagen del eros



Muestra 4

Fecha: 29 de Octubre del 2012.

Hora: 2:00– 4:00 pm.

Columna de destilación: No. 3

Tabla de licor

Muestra	NH ₃	CO ₂	NH ₃ /CO ₂	Ni	Co	Ni/S	[S ₂ O ₃] ⁻	[SO ₄] ²⁻	pH
4	40,00	23,00	1,74	7,77	0,034	3,04	1,72	5,26	9,87

Tabla de carbonato de níquel.

Muestra	Concentración (%)					Densidad (g/l)		ε
	Ni	Co	S	MgO	CO ₂	ρ_r	ρ_a	
4	47,19	0,317	2,92	0,305	2,09	2.62	0,670	

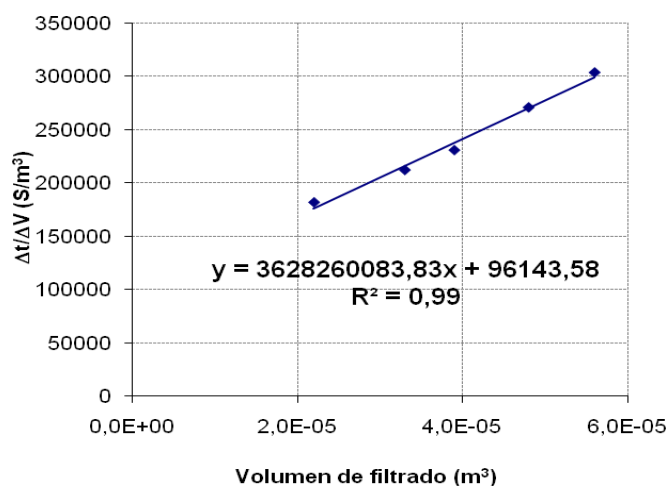
Tabla del licor efluente.

Muestra	Concentración (g/l)			pH
	NH ₃	Ni	S	
4	1,22	0,65	2,03	7,81

Procesamiento de los datos obtenidos en el experimento

Presión inicial (Pa)	101325
Presión final (Pa)	63743,3
kgf/cm ²	0,65
lbf/pie ²	1331,43
lb/pulg ²	9,25
Caída de Presión ΔP (Pa)	37581,75
lbf/pie ²	784,99
lb/pulg ²	5,45
Temperatura (°C)	80,0
Dens pulpa (Kg/m ³)	1122,2
Dens sólido (Kg/m ³)	3060
Dens licor (Kg/m ³)	955,0
Humedad del filtrado (%)	76,4
Viscosidad del licor (Pa. S)	0,000377
(lb. pie. s)	2,533E-04
S/L (kg sól / kg de líq suspendido)	0,276
Cs = (kg sól / m ³ de líq puro)	264,0
Xt = Kg de torta / kg de líq en la torta	0,587
CT = Kg de sól / m ³ de líq filtrado	498,9
(lb/pie ³)	31,11
dens de la torta (Kg/m ³)	1281
C't= kg de sólido / m ³ de torta	474
S (área de filtración) (cm ²)	4,275
pie ²	0,005

V pulpa (ml)	V filtrado (ml)	T (seg)	V filtrado (m ³)	Δt	ΔV (m ³)	$\Delta t/\Delta V$ (S/m ³)	V media	t/V	V/A (m ³ /m ²)
0	0	0,0	0						
100	22	4,0	2,200E-05	4,0	2,2E-05	181818	1,10E-05	181818	0,051461
150	33	7,0	3,300E-05	3,0	1,1E-05	272727	2,75E-05	212121	0,077191
200	39	9,0	3,900E-05	2,0	6,0E-06	333333	3,60E-05	230769	0,091226
250	48	13,0	4,800E-05	4,0	9,0E-06	444444	4,35E-05	270833	0,112278
300	56	17,0	5,600E-05	4,0	8,0E-06	500000	5,20E-05	303571	0,130991



m	s/m⁶	3628260083,8
n	s/m³	96143,6

α	m/kg	2,650E+08
Rm	1/m	4,097E+09

Tabla de comportamiento de los parámetros de destilación

ALAMBIQUE 3 DIA 29 OCTUBRE

Tiempo	FVaporAlam	TTopeAlamb	PFondoAlam	FlujoGralD	FLicDestAl 5	FLicDestAl 3
14:00:00	14,2427349	87,4542084	0,0579976	132,824036	74,80159	58,0224456
14:00:30	14,2290592	87,1489639	0,0583028	107,915619	43,4523811	64,4632378
14:01:00	13,7982903	86,8437119	0,0583028	77,7568665	20,5952377	57,1616288
14:01:30	14,7008543	86,5384598	0,0583028	67,6225586	1,0317459	66,5908127
14:02:00	14,7487183	86,2332153	0,0586081	61,2733459	0,1190472	61,1542987
14:02:30	14,3179483	85,7753372	0,0586081	58,9534607	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:03:00	14,8991451	84,8595886	0,0589133	61,0291748	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:03:30	14,7555552	84,706955	0,0598291	63,8374634	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:04:00	14,7760677	84,4017105	0,0595238	61,7617493	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:04:30	14,3111115	84,4017105	0,0595238	61,0291748	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:05:00	15,1658115	84,5543365	0,0598291	Disp. no Responde	0,3571434	#¡VALOR!
14:05:30	14,85812	85,7753372	0,0598291	Disp. no Responde	0,3571434	#¡VALOR!
14:06:00	14,7213669	87,1489639	0,0601343	110,357605	0,9126987	109,444906
14:06:30	14,4888887	88,8278351	0,0610501	110,357605	0,9126987	109,444906
14:07:00	14,2290592	88,8278351	0,0595238	132,824036	0,0396824	132,784353
14:07:30	14,0786324	87,1489639	0,0592186	133,312439	0,0396824	133,272757
14:08:00	13,5316238	86,3858337	0,0589133	132,824036	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:08:30	12,9777775	85,6227112	0,0592186	132,946137	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:09:00	12,3213673	84,8595886	0,0592186	131,236725	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:09:30	12,0068378	81,349205	0,0592186	131,847229	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:10:00	11,8974361	74,9389496	0,0592186	132,579834	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:10:30	11,1999998	65,3235626	0,0595238	132,213532	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:11:00	11,2615385	58,9133072	0,0592186	131,236725	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:11:30	11,0358973	56,6239319	0,0595238	131,358826	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:12:00	11,2068377	56,0134315	0,0601343	Disp. no Responde	12,0634918	#¡VALOR!
14:12:30	10,5162392	69,9023209	0,0601343	Disp. no Responde	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:13:00	9,8461533	76,0073242	0,0631868	3,2758179	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:13:30	10,475214	78,7545776	0,0607448	3,2758179	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!

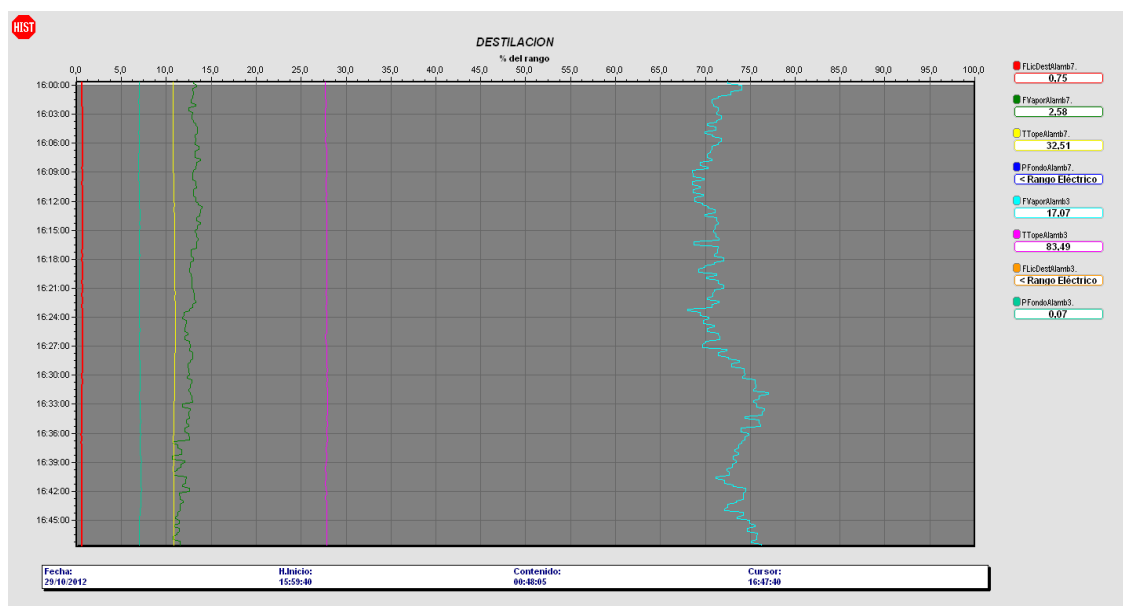
14:14:00	9,6752138	80,8913269	0,0634921	4,4967957	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:14:30	9,8256407	82,1123352	0,0628816	0,5895996	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:15:00	9,4017096	82,2649536	0,0607448	0,5895996	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:15:30	9,7435894	82,5702057	0,0607448	12,0670166	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:16:00	9,3470087	83,1807098	0,0634921	12,0670166	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:16:30	9,3128204	83,3333359	0,0610501	9,9913025	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:17:00	9,0256405	83,7912064	0,0610501	Disp. no Responde	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:17:30	8,5128202	83,9438324	0,0613553	6,6946106	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:18:00	8,7179489	84,2490845	0,0622711	3,0316162	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:18:30	8,2598286	84,706955	0,0634921	9,5028992	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:19:00	8,3213673	84,706955	0,0604396	2,4211121	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:19:30	8,0888882	84,8595886	0,0601343	10,4797058	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:20:00	7,7811966	85,012207	0,0607448	3,0316162	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:20:30	7,3504272	85,4700851	0,0607448	7,4272156	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:21:00	7,0700855	85,6227112	0,0634921	6,4504089	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:21:30	7,1179485	85,6227112	0,0616606	Disp. no Responde	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:22:00	7,0564098	85,6227112	0,0631868	5,3515015	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:22:30	7,0837603	85,7753372	0,0607448	10,357605	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:23:00	7,3162394	85,6227112	0,0604396	6,2062073	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:23:30	7,6854696	86,0805817	0,0637973	1,9327087	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:24:00	7,3367519	86,2332153	0,0613553	4,252594	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:24:30	8,1846151	86,3858337	0,0616606	6,4504089	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:25:00	8	86,6910858	0,0628816	3,0316162	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:25:30	7,7333331	86,9963379	0,0631868	10,4797058	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:26:00	7,2341881	87,4542084	0,0616606	5,4736023	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:26:30	7,2341881	87,9120865	0,0589133	8,4040222	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:27:00	7,9521365	87,7594604	0,0586081	30,9925232	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:27:30	7,5897436	88,5225906	0,0613553	4,6188965	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:28:00	7,3914528	88,8278351	0,0616606	9,1365967	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:28:30	7,1384611	88,8278351	0,0583028	8,0377197	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:29:00	7,5487175	88,9804611	0,0616606	6,6946106	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:29:30	7,2547007	89,5909653	0,0589133	8,1598206	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:30:00	7,0632477	89,5909653	0,0610501	8,1598206	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:30:30	7,6307688	89,8962173	0,0622711	8,0377197	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:31:00	7,4188032	90,2014618	0,0592186	4,0083923	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:31:30	6,9333334	90,5067139	0,0589133	1,9327087	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:32:00	7,0358973	90,8119659	0,0613553	1,5664063	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:32:30	7,0153847	90,964592	0,0576923	Disp. no Responde	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:33:00	6,762393	91,117218	0,0579976	1,0780029	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:33:30	7,5213671	91,7277145	0,0607448	1,0780029	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:34:00	7,1179485	91,5750885	0,0567766	1,9327087	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:34:30	6,8170938	91,8803406	0,0579976	0,8338013	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:35:00	6,9128203	92,3382187	0,0613553	2,9095154	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:35:30	6,8239317	92,3382187	0,0586081	0,4674988	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:36:00	6,6119657	92,6434631	0,0583028	1,4443054	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:36:30	7,3572645	92,6434631	0,0601343	1,2001038	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:37:00	6,7897434	92,9487152	0,0570818	2,4211121	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:37:30	7,1316237	93,1013412	0,0570818	2,4211121	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:38:00	6,5367517	93,2539673	0,0601343	193,996185	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:38:30	7,3914528	93,4065933	0,0561661	193,996185	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:39:00	12,526495	92,1855927	0,0567766	135,143921	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:39:30	16,1162395	68,9865723	0,0567766	134,533447	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:40:00	18,2632484	66,6971893	0,0570818	109,258698	0,317461	108,941237
14:40:30	22,3999996	85,4700851	0,0567766	81,9082947	0,317461	81,5908337

14:41:00	22,3999996	85,9279633	0,0576923	58,8313599	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:41:30	22,3999996	85,7753372	0,0579976	57,6103516	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:42:00	22,3999996	86,2332153	0,0576923	58,4650574	0,1587296	58,3063278
14:42:30	22,3999996	86,3858337	0,0579976	57,9766541	0,1587296	57,8179245
14:43:00	22,3999996	86,3858337	0,0579976	67,1341553	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:43:30	22,3999996	86,6910858	0,0586081	67,6225586	0,0396824	67,5828762
14:44:00	22,3999996	87,1489639	0,0586081	75,8032837	0,0396824	75,7636013
14:44:30	22,3999996	87,30159	0,0583028	74,8264771	0,0396824	74,7867947
14:45:00	22,3999996	87,1489639	0,0595238	75,3148804	0,1190472	75,1958332
14:45:30	20,5880337	87,4542084	0,0595238	74,3380737	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:46:00	14,2222223	87,1489639	0,0595238	74,2159729	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:46:30	14,5367517	86,8437119	0,0595238	75,3148804	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:47:00	14,618803	86,3858337	0,0598291	80,6872864	0	80,6872864
14:47:30	14,8170938	85,9279633	0,0598291	81,5419922	< Rango Eléctrico	#¡VALOR!
14:48:00	14,7418804	85,4700851	0,0598291	81,1756897	0,0793648	81,0963249
14:48:30	14,2495728	85,1648331	0,0595238	80,6872864	0,0793648	80,6079216
14:49:00	14,7829056	84,706955	0,0595238	79,5883789	0	79,5883789
14:49:30	14,9948711	84,5543365	0,0598291	81,1756897	0,1984119	80,9772778
14:50:00	14,0991449	84,0964584	0,0595238	79,8325806	0,1984119	79,6341687
14:50:30	13,5179482	83,6385803	0,0598291	81,2977905	0,317461	80,9803295
14:51:00	14,0444441	83,1807098	0,0595238	80,6872864	0,317461	80,3698254
14:51:30	14,1401711	83,0280838	0,0601343	122,811829	44,8412704	77,9705582
14:52:00	15,4871788	82,7228317	0,0601343	125,742218	61,0714264	64,6707916
14:52:30	15,6991453	82,5702057	0,0598291	134,045044	73,8888855	60,1561584
14:53:00	16,0068378	82,7228317	0,0598291	137,95224	79,5634918	58,3887482
14:53:30	15,7401705	82,8754578	0,0601343	137,585938	83,2539673	54,3319702
14:54:00	16,1641026	83,0280838	0,0604396	136,731232	75,3968277	61,334404
14:54:30	16,4102554	83,0280838	0,0607448	136,731232	75,2380981	61,4931336
14:55:00	16,7589741	83,1807098	0,0616606	134,045044	73,1349182	60,9101257
14:55:30	16,4444447	83,3333359	0,0616606	136,364929	74,2460327	62,1188965
14:56:00	16,3008537	83,4859619	0,0622711	136,48703	75,6349182	60,8521118
14:56:30	16,8615379	83,4859619	0,0625763	135,998627	75,3174591	60,6811676
14:57:00	17,0324783	83,7912064	0,0622711	135,876526	71,5476227	64,3289032
14:57:30	17,1076927	83,7912064	0,0625763	139,783752	70,9126968	68,8710556
14:58:00	17,0256405	83,9438324	0,0625763	141,615234	74,6825409	66,9326935
14:58:30	16,8410263	83,7912064	0,0625763	139,41745	70,5158691	68,9015809
14:59:00	16,5948715	83,7912064	0,0625763	142,347839	74,3253937	68,0224457
14:59:30	16,5333328	83,9438324	0,0631868	139,783752	72,8174591	66,9662933
15:00:00	16,5811958	83,7912064	0,0631868	141,737335	67,7380981	73,9992371
15:00:30	16,1025639	83,7912064	0,0631868	141,371033	73,9285736	67,4424591
15:01:00	16,1709404	83,7912064	0,0634921	144,423554	76,7857132	67,6378403
15:01:30	16,2256413	83,7912064	0,0637973	141,615234	74,7619019	66,8533325
15:02:00	16,0683765	83,7912064	0,0641026	141,981537	77,6587296	64,3228073
15:02:30	16,0752144	83,6385803	0,0641026	142,225739	75,9523773	66,2733612
15:03:00	16,2119656	83,6385803	0,0641026	142,714142	77,2619019	65,4522399
15:03:30	15,7196579	83,6385803	0,0641026	140,760529	77,2222214	63,5383072
15:04:00	16	83,6385803	0,0644078	139,905853	77,1825409	62,7233124
15:04:30	15,9726496	83,6385803	0,0653236	137,830139	80,19841	57,6317292
15:05:00	15,5623932	83,9438324	0,0647131	138,440643	77,1031723	61,337471
15:05:30	16,1641026	83,7912064	0,0647131	142,347839	76,9444427	65,4033967
15:06:00	16,2324791	83,7912064	0,0650183	140,882629	78,7301559	62,1524735
15:06:30	16,4991455	83,7912064	0,0650183	142,347839	75,0396805	67,3081589
15:07:00	16,3897438	83,9438324	0,0656288	141,493134	75,4761887	66,0169448
15:07:30	16,335043	83,9438324	0,0653236	142,592041	78,7698441	63,8221969

15:08:00	16,3282051	83,7912064	0,0656288	148,45285	81,5079346	66,9449157
15:08:30	16,2119656	83,9438324	0,0656288	148,574951	79,80159	68,7733612
15:09:00	16,4170933	83,7912064	0,0662393	143,568848	81,7063446	61,8625031
15:09:30	16,4991455	83,7912064	0,0662393	148,574951	84,0873032	64,487648
15:10:00	16,5128212	83,9438324	0,0665446	148,45285	78,3333359	70,1195144
15:10:30	16,4581184	83,9438324	0,0662393	150,040161	78,5714264	71,4687347
15:11:00	16,0547009	83,9438324	0,0656288	146,621338	76,7063446	69,9149933
15:11:30	16,2803421	83,7912064	0,0659341	146,621338	74,8412704	71,7800675
15:12:00	16,5811958	83,7912064	0,0659341	147,598145	74,9603195	72,637825
15:12:30	16,6905975	83,9438324	0,0668498	144,545654	75,2380981	69,3075562
15:13:00	16,6837597	83,7912064	0,0665446	144,057251	77,1428528	66,9143982
15:13:30	16,3008537	83,7912064	0,0668498	148,086548	79,3253937	68,7611542
15:14:00	16,6632481	83,6385803	0,0665446	145,40036	78,0158691	67,384491
15:14:30	16,5811958	83,6385803	0,0656288	147,964447	75,4761887	72,4882583
15:15:00	16,2119656	83,9438324	0,0647131	148,45285	78,6111145	69,8417358
15:15:30	16,3760681	83,6385803	0,0647131	144,057251	76,4682541	67,5889969
15:16:00	16,4991455	83,7912064	0,0647131	145,888733	77,6190491	68,2696838
15:16:30	15,9794865	83,7912064	0,0644078	146,743439	80,5158691	66,2275696
15:17:00	16,4444447	83,6385803	0,0644078	149,673859	81,3095245	68,3643341
15:17:30	16,2871799	83,6385803	0,0650183	147,109741	81,2698441	65,8398971
15:18:00	16,335043	83,9438324	0,0653236	147,842346	81,4285736	66,4137726
15:18:30	16,1299133	83,9438324	0,0653236	147,964447	79,7222214	68,2422256
15:19:00	16,574358	83,9438324	0,0653236	151,139038	78,0158691	73,123169
15:19:30	16,4444447	83,7912064	0,0659341	147,109741	77,0634918	70,0462494
15:20:00	16,8273506	83,9438324	0,0665446	148,819153	79,2460327	69,5731201
15:20:30	16,4854698	83,7912064	0,0662393	149,673859	77,8968277	71,7770309
15:21:00	16,2803421	83,7912064	0,0662393	147,842346	78,8095245	69,0328217
15:21:30	16,3008537	83,7912064	0,0665446	146,621338	79,1666641	67,4546738
15:22:00	16,1025639	83,9438324	0,0671551	149,307556	78,4920654	70,8154908
15:22:30	16,3145294	83,9438324	0,0644078	147,842346	78,6904755	69,1518707
15:23:00	15,7811966	83,6385803	0,0631868	145,644531	80,2380981	65,4064332
15:23:30	16,2324791	83,6385803	0,0613553	147,964447	77,5	70,464447
15:24:00	16,0136757	83,6385803	0,0613553	145,888733	78,7301559	67,158577
15:24:30	16,382906	83,6385803	0,0619658	144,911957	78,7698441	66,1421127
15:25:00	16,3282051	83,6385803	0,0613553	147,231842	77,8174591	69,4143829
15:25:30	16,335043	83,9438324	0,0616606	144,545654	72,1825409	72,3631134
15:26:00	16,5606842	83,4859619	0,0616606	141,737335	77,2222214	64,5151138
15:26:30	16,3760681	83,7912064	0,0622711	141,248932	76,4285736	64,8203583
15:27:00	16,4581184	83,6385803	0,0628816	143,324646	78,1746063	65,1500397
15:27:30	16,4102554	83,7912064	0,0634921	141,737335	74,0476227	67,6897125
15:28:00	16,239315	83,9438324	0,0637973	142,714142	76,6269836	66,0871582
15:28:30	16,3008537	83,7912064	0,0641026	143,324646	75,5952377	67,7294083
15:29:00	16,4512825	83,9438324	0,0641026	145,888733	75,0396805	70,8490524
15:29:30	16,3692303	83,7912064	0,0647131	145,40036	77,9365082	67,4638519
15:30:00	16,6290588	83,7912064	0,0650183	143,690949	78,1746063	65,5163422
15:30:30	16,478632	83,7912064	0,0656288	149,551758	77,7777786	71,7739792
15:31:00	16,6700859	83,9438324	0,0659341	147,476044	74,3253937	73,15065
15:31:30	16,5128212	83,9438324	0,0656288	147,964447	78,2936554	69,6707916
15:32:00	16,7794876	83,7912064	0,0662393	148,208649	74,9603195	73,2483292
15:32:30	16,5196571	83,6385803	0,0656288	147,720245	77,1825409	70,5377045
15:33:00	16,1982899	83,6385803	0,0656288	149,91806	81,0714264	68,8466339
15:33:30	16,5333328	83,4859619	0,0650183	151,38324	80,19841	71,1848297
15:34:00	16,4444447	83,4859619	0,0653236	151,016937	80,5158691	70,5010682
15:34:30	16,3076916	83,4859619	0,0650183	151,016937	79,5634918	71,4534455

15:35:00	16,3760681	83,4859619	0,0659341	146,743439	78,8095245	67,9339142
15:35:30	16,5059834	83,3333359	0,0659341	149,673859	80,3571472	69,3167114
15:36:00	16,998291	83,4859619	0,0662393	150,528565	81,7063446	68,8222199
15:36:30	16,7111111	83,3333359	0,0662393	145,278259	79,1666641	66,1115952
15:37:00	16,6632481	83,6385803	0,0662393	149,551758	77,8571472	71,6946106
15:37:30	16,9025631	83,3333359	0,0659341	145,278259	77,6190491	67,6592102
15:38:00	16,6427345	83,3333359	0,0659341	146,377136	81,1904755	65,1866607
15:38:30	16,5401707	83,6385803	0,0656288	146,621338	77,3809509	69,240387
15:39:00	16,5948715	83,4859619	0,0659341	148,45285	77,1031723	71,349678
15:39:30	16,6769218	83,4859619	0,0659341	145,766632	73,7698441	71,996788
15:40:00	16,143589	83,4859619	0,0665446	147,231842	79,5238113	67,7080307
15:40:30	16,3282051	83,6385803	0,0668498	144,911957	75,5952377	69,3167191
15:41:00	16,1777782	83,3333359	0,0668498	147,231842	75,3968277	71,8350143
15:41:30	16,3213673	83,4859619	0,0668498	146,132935	77,9761887	68,1567459
15:42:00	16,0683765	83,3333359	0,0662393	143,568848	78,9682541	64,6005936
15:42:30	16,3076916	83,1807098	0,0665446	146,010834	76,1904755	69,8203582
15:43:00	16,4239311	83,3333359	0,0665446	142,103638	77,1428528	64,9607849
15:43:30	16,3145294	83,3333359	0,0665446	145,52243	80,8730164	64,649414
15:44:00	16,5401707	83,3333359	0,0659341	139,661652	73,8095245	65,8521271
15:44:30	16,1162395	83,4859619	0,0662393	143,813049	78,7301559	65,0828934
15:45:00	16,143589	83,4859619	0,0665446	146,010834	79,5634918	66,4473419
15:45:30	16,3008537	83,4859619	0,0665446	146,86554	77,9761887	68,8893509
15:46:00	15,9931622	83,3333359	0,0665446	143,813049	78,9285736	64,8844757
15:46:30	16,0410252	83,4859619	0,0674603	144,423554	75,9523773	68,4711762
15:47:00	15,9794865	83,6385803	0,0680708	144,545654	80,9523773	63,593277
15:47:30	16,1982899	83,4859619	0,0680708	146,377136	79,5634918	66,8136444
15:48:00	16,5059834	83,4859619	0,0683761	145,888733	79,6031723	66,2855606
15:48:30	16,8615379	83,3333359	0,0683761	145,52243	81,5079346	64,0144958
15:49:00	16,8205128	83,4859619	0,0686813	146,499237	78,6904755	67,8087616
15:49:30	16,5128212	83,7912064	0,0689866	147,476044	82,7777786	64,6982651
15:50:00	16,9025631	83,6385803	0,0680708	147,964447	79,5634918	68,4009552
15:50:30	16,9025631	83,6385803	0,0683761	152,237946	81,6269836	70,610962
15:51:00	16,8410263	83,7912064	0,0686813	152,237946	85,9126968	66,3252488
15:51:30	17,4017086	83,9438324	0,0689866	158,098755	83,650795	74,4479599
15:52:00	17,6820507	83,7912064	0,0692918	154,679962	82,0634918	72,6164704
15:52:30	17,2923069	83,9438324	0,0695971	156,999847	83,8095245	73,1903229
15:53:00	17,5794868	83,9438324	0,0695971	158,587158	84,3650818	74,2220764
15:53:30	17,2307682	84,0964584	0,0695971	160,174469	81,7857132	78,3887558
15:54:00	17,3538456	84,0964584	0,0689866	157,244049	82,0634918	75,1805573
15:54:30	17,3059826	83,9438324	0,0689866	159,563965	80,5952377	78,9687271
15:55:00	17,2170944	83,9438324	0,0686813	156,999847	83,4126968	73,5871506
15:55:30	17,4153843	83,4859619	0,0686813	157,732452	81,8650818	75,8673706
15:56:00	16,7111111	83,4859619	0,0686813	160,662872	81,5476227	79,1152496
15:56:30	16,8068371	83,6385803	0,0692918	159,563965	79,5238113	80,0401535
15:57:00	17,1829052	83,4859619	0,0689866	158,83136	83,4920654	75,3392945
15:57:30	16,8273506	83,3333359	0,0686813	159,197662	83,0952377	76,1024247
15:58:00	16,7521362	83,1807098	0,0689866	156,511444	80,1587296	76,3527145
15:58:30	16,8341885	83,1807098	0,0689866	157,121948	81,3095245	75,8124237
15:59:00	16,7794876	83,0280838	0,0692918	155,290466	81,9444427	73,3460236
15:59:30	16,2324791	83,1807098	0,0695971	155,290466	85,4365082	69,8539581
16:00:00	16,5948715	83,0280838	0,0695971	152,970551	82,1031723	70,8673782

Imagen eros



Muestra 5

Fecha: 2 de Noviembre del 2012.

Hora: 1:30 – 3:45 pm.

Columna de destilación: No. 3

Tabla de licor

Muestra	NH ₃	CO ₂	NH ₃ /CO ₂	Ni	Co	Ni/S	[S ₂ O ₃] ²⁻	[SO ₄] ²⁻	pH
5	45,10	28,05	1,61	5,40	0,041	2,16	1,31	5,02	10,25

Tabla de carbonato de níquel.

Muestra	Concentración (%)					Densidad (g/l)		ε
	Ni	Co	S	MgO	CO ₂	ρ_r	ρ_a	
5	48,37	0,386	2,75	0,210	2,88	3,20	0,566	0,823

Tabla del licor efluente.

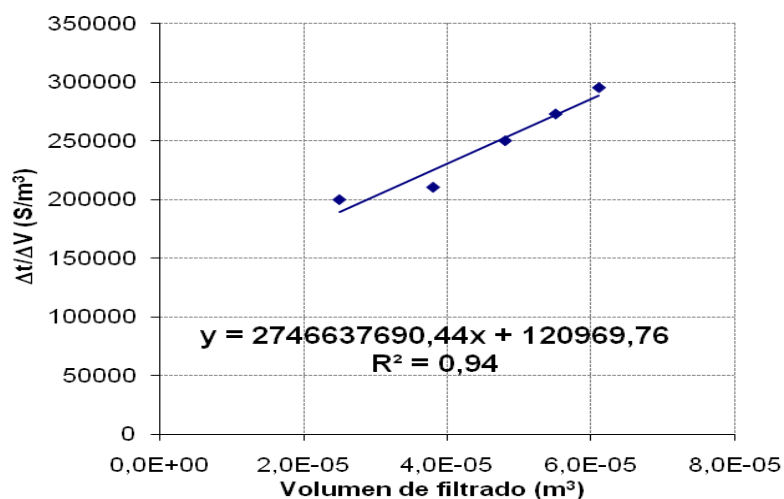
Muestra	Concentración (g/l)			pH
	NH ₃	Ni	S	
5	1,14	0,48	2,27	7,52

Procesamiento de los datos obtenidos en el experimento.

Presión inicial (Pa)	101325
Presión final (Pa)	63743,3
kgf/cm ²	0,65
lbf/pie ²	1331,43
lb/pulg ²	9,25
Caída de Presión ΔP (Pa)	37581,75
lbf/pie ²	784,99

lb/pulg ²	5,45
Temperatura (°C)	80,0
Dens pulpa (Kg/m ³)	1122,2
Dens sólido (Kg/m ³)	3060
Dens licor (Kg/m ³)	955,0
Humedad del filtrado (%)	75,0
Viscosidad del licor (Pa. S)	0,000377
(lb. pie. s)	2,533E-04
S/L (kg sól / kg de líq suspendido)	0,276
Cs = (kg sól / m ³ de líq puro)	264,0
Xt = Kg de torta / kg de líq en la torta	0,587
CT = Kg de sól / m ³ de líq filtrado	498,9
(lb/pie ³)	31,11
dens de la torta (Kg/m ³)	1281
C't= kg de sólido / m ³ de torta	474
S (área de filtración) (cm ²)	4,275
pie ²	0,005

V pulpa (ml)	V filtrado (ml)	T (seg)	V filtrado (m ³)	Δt	ΔV (m ³)	Δt/ΔV (S/m ³)	V media	t/V	V/A (m ³ /m ²)
0	0	0,0	0						
100	25	5	2,500E-05	5,0	2,5E-05	200000	1,25E-05	200000	0,058478
150	38	8	3,800E-05	3,0	1,3E-05	230769	3,15E-05	210526	0,088887
200	48	12,0	4,800E-05	4,0	1,0E-05	400000	4,30E-05	250000	0,112278
250	55	15,0	5,500E-05	3,0	7,0E-06	428571	5,15E-05	272727	0,128652
300	61	18,0	6,100E-05	3,0	6,0E-06	500000	5,80E-05	295082	0,142687



m	s/m ⁶	2746637690,4
n	s/m ³	120969,8

α	m/kg	2,006E+08
Rm	1/m	5,155E+09

Muestra 6

Fecha: 3 de Noviembre del 2012.

Hora: 8:30 – 10:45 pm.

Columna de destilación: No. 3

Tabla de licor

Muestra	NH ₃	CO ₂	NH ₃ /CO ₂	Ni	Co	Ni/S	[S ₂ O ₃] ⁻	[SO ₄] ²⁻	pH
6	39,30	22,39	1,76	4,50	0,020	1,83	2,28	5,16	10,30

Tabla de carbonato de níquel.

Muestra	Concentración (%)					Densidad (g/l)		ε
	Ni	Co	S	MgO	CO ₂	ρ_r	ρ_a	
6	48,39	0,278	2,58	0,280	3,24	2,79	0,521	0,813

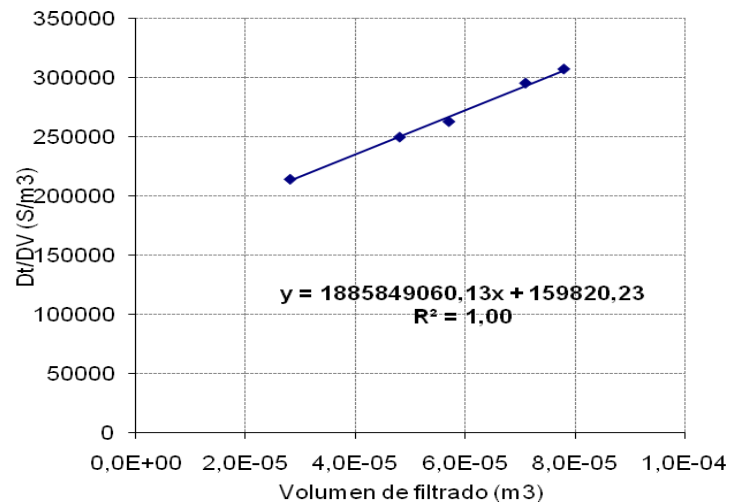
Tabla del licor efluente.

Muestra	Concentración (g/l)			pH
	NH ₃	Ni	S	
6	1,30	0,37	2,19	7,40

Procesamiento de los datos obtenidos en el experimento.

Presión inicial (Pa)	101325
Presión final (Pa)	63743,3
kgf/cm ²	0,65
lbf/pie ²	1331,43
lb/pulg ²	9,25
Caída de Presión ΔP (Pa)	37581,75
lbf/pie ²	784,99
lb/pulg ²	5,45
Temperatura (°C)	80,0
Dens pulpa (Kg/m3)	1122,2
Dens sólido (Kg/m3)	3060
Dens licor (Kg/m3)	955,0
Humedad del filtrado (%)	74,80
Viscosidad del licor (Pa. S)	0,000377
(lb. pie. s)	2,533E-04
S/L (kg sól / kg de líq suspendido)	0,276
Cs = (kg sól / m3 de líq puro)	264,0
Xt = Kg de torta / kg de líq en la torta	0,471
CT = Kg de sól / m3 de líq filtrado	640,1
(lb/pie3)	39,91
dens de la torta (Kg/m3)	1225
C _t = kg de sólido / m3 de torta	392
S (área de filtración) (cm2)	4,275
pie ²	0,005

V pulpa (ml)	V filtrado (ml)	T (seg)	V filtrado (m ³)	Δt	ΔV (m ³)	Δt/ΔV (S/m ³)	V media	t/V	V/A (m ³ /m ²)
0	0	0,0	0						
100	28	6,0	2,800E-05	6,0	2,8E-05	214286	1,40E-05	214286	0,065496
150	48	12,0	4,800E-05	6,0	2,0E-05	300000	3,80E-05	250000	0,112278
200	57	15,0	5,700E-05	3,0	9,0E-06	333333	5,25E-05	263158	0,133330
250	71	21,0	7,100E-05	6,0	1,4E-05	428571	6,40E-05	295775	0,166078
300	78	24,0	7,800E-05	3,0	7,0E-06	428571	7,45E-05	307692	0,182452



m	s/m ⁶	1885849060,1
n	s/m ³	159820,2

α	m/kg	1,074E+08
Rm	1/m	6,811E+09