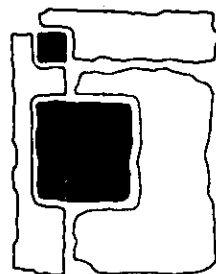


1681.63
5322
1993, c1

R



FONTEC

FONDO NACIONAL
DE DESARROLLO
TECNOLOGICO
Y PRODUCTIVO

**FONDO NACIONAL DE DESARROLLO TECNOLÓGICO Y PRODUCTIVO
FONTEC - CORFO**

BIBLIOTECA CORFO

**REFINACION DE AZUFRE POR
METODO CONTINUO**

93 - 0169

NOVIEMBRE 1993

PRESENTACIÓN

En el último decenio, se constata que el país ha sabido enfrentar con éxito el desafío impuesto por la política de apertura en los mercados internacionales, alcanzando un crecimiento y desarrollo económico sustentable, con un sector empresarial dinámico, innovador y capaz de adaptarse rápidamente a las señales del mercado.

Sin embargo, nuestra estrategia de desarrollo, fundada en el mayor esfuerzo exportador y en un esquema que principalmente hace uso de las ventajas comparativas que dan los recursos naturales y la abundancia relativa de la mano de obra, tenderá a agotarse rápidamente como consecuencia del propio progreso nacional. Por consiguiente, resulta determinante afrontar una segunda fase exportadora que debe estar caracterizada por la incorporación de un mayor valor agregado de inteligencia, conocimientos y tecnologías a nuestros productos, a fin de hacerlos más competitivos.

Para abordar el proceso de modernización y reconversión de la estructura productiva del país, reviste vital importancia el papel que cumplen las innovaciones tecnológicas, toda vez que ellas confieren sustentación real a la competitividad de nuestra oferta exportable. Para ello, el Gobierno ofrece instrumentos financieros que promueven e incentivan la innovación y el desarrollo tecnológico de las empresas productoras de bienes y servicios.

El Fondo Nacional de Desarrollo Tecnológico y Productivo FONTEC, organismo creado por CORFO, cuenta con los recursos necesarios para financiar Proyectos de Innovación Tecnológica, formulados por las empresas del sector privado nacional para la introducción o adaptación y desarrollo de productos, procesos o de equipos.

Las Líneas de financiamiento de este Fondo incluyen, además, el apoyo a la ejecución de proyectos de Inversión en Infraestructura Tecnológica y de Centros de Transferencia Tecnológica a objeto que las empresas dispongan de sus propias instalaciones de control de calidad y de investigación y desarrollo de nuevos productos o procesos.

De este modo se tiende a la incorporación del concepto "Empresa - País", en la comunidad nacional, donde no es sólo una empresa aislada la que compete con productos de calidad, sino que es la "Marca - País" la que se hace presente en los mercados internacionales.

El Proyecto que se presenta, constituye un valioso aporte al cumplimiento de los objetivos y metas anteriormente comentados.

FONTEC - CORFO

PROYECTO

REFINACION DE AZUFRE POR METODO CONTINUO

TITULAR

MARIO SCHELLMAN BALACCO

Ingeniero Civil U. de Chile

SUMARIO

- 1.- Resumen Ejecutivo
- 2.- Exposición del Problema
- 3.- Metodología y Plan de Trabajo
- 4.- Resultados
- 5.- Impactos del Proyecto

1.- RESUMEN EJECUTIVO DEL PROYECTO.

LA EMPRESA

La empresa es de carácter unipersonal, persona natural.

Corresponde a un profesional Ingeniero Civil, el que intentando su desarrollo personal en una iniciativa empresarial, ingresó al mundo de la minería extractiva no-metálica, para derivar, luego, a la búsqueda de un proceso de tratamiento de minerales de azufre, una INNOVACION TECNOLOGICA, que permitiera mantener vigente la minería del azufre en Chile y en abierta competencia con la importación de azufre refinado, desde mercados productores internacionales.

La empresa se inició en 1983, con la manifestación minera "Mauricio 1-20", de la comuna de San Pedro de Atacama; vendió mineral de azufre de mina a Codelco Chile División Chuquibambilla y a otros compradores menores y habiéndose extinguido el mercado para el azufre mineral, inició en 1990, la búsqueda de un nuevo proceso de refinación de azufre, de baja inversión inicial, de bajo costo de producción y de buenos rendimientos.

PROYECTO TECNOLOGICO

Los esfuerzos tecnológicos para obtener azufre fino a partir de azufres volcánicos de minas, son conocidos desde hace muchos siglos.

Las primeras referencias recaen en el sistema italiano de Calcaroni, que consistía en incendiar una pila de azufre mineral, el cual, al arder, transmite calor de su llama al

material inmediatamente contiguo, licuándolo. El azufre líquido se recogía por un piso inclinado, flujo que arrastraba múltiples impurezas; las pérdidas eran considerables, por cuanto mucho azufre se transformaba en gas que no se recuperaba y una gran cantidad de azufre era el combustible que se quemaba.

Referencias nacionales conocidas son las retortas. El método de la retorta, consistía en la aplicación de calor a un recipiente que contiene el azufre mineral el cual se funde, y por diferencia de pesos específicos, se separa de las gangas.

El método de la retorta fue un método discontinuo, con grandes pérdidas al no controlar la temperatura, con gran costo de operación por su condición de discontinuidad, y nunca alcanzó un producto de gran calidad, por el arrastre de taras.

Fundamentalmente, en base a estas iniciativas tecnológicas descritas, se ha planteado una Innovación Tecnológica, destinada a la resolución simultánea de los problemas que los métodos anteriores presentan.

La Innovación Tecnológica planteada, consiste en mantener una masa de azufre líquido, calefaccionado indirectamente a través de un intercambiador de calor que permita un control estricto de la temperatura del azufre líquido, y temperatura uniforme en toda la masa, sin puntos singulares de altas concentraciones de calor; a esta masa de azufre líquido se le agrega el azufre mineral el que se fundirá al recibir el calor excedente contenido en la masa líquida, mientras que externamente se entrega el calor necesario para mantener el sistema como azufre líquido. Las taras pesadas contenidas en el azufre mineral son retiradas por una purga de fondo; las cenizas, son retiradas por un barrido de la superficie y las taras contenidas en el azufre líquido, por una doble etapa de filtración y decantación.

Cabe hacer notar que esta investigación del nuevo

método, fue iniciada con anticipación al apoyo del FONTEC.

IMPACTO TECNICO-ECONOMICO

La importación de azufre refinado de Canadá y México, alcanza a 40.000 toneladas anuales y su actual bajo precio ha logrado que los productores de azufre fino de Chile, hayan abandonado su iniciativa productiva, y hoy estén fuera de producción.

En efecto, en la II Región, Antofagasta, en 1990, entre 4 productores cubrían 40.000 toneladas de azufre fino al año, y de estos 4 empresarios, en Septiembre de 1993, queda en el mercado productivo sólo uno, con actividades temporales en San Pedro de Atacama.

El gran deterioro de la producción, se debe a dos razones fundamentales: la producción de ácido sulfúrico a partir de gases sulfurosos de las chimeneas de Codelco-Chile División Chuquibambilla que sustituyó un gran consumo de azufre refinado y el bajo precio que ha alcanzado el azufre fino en los mercados productores de América del Norte.

En consecuencia, habiéndose reducido la producción de azufre fino en 40.000 toneladas cada año, y estando vigente una demanda de 40.000 toneladas cada año, de azufre fino como insumo industrial con destinación no-ácido, el desafío planteado de encontrar una nueva tecnología para entrar al mercado es ahora un mayor desafío, y consiste en la satisfacción de toda la demanda, sustituyendo las importaciones, y volviendo a crear las fuentes de trabajo que en sólo tres años se perdieron.

El Impacto Técnico-Económico de la Innovación Tecnológica del presente Proyecto, es así, de extraordinaria

importancia: producción, en donde no hay producción; economizar divisas por el concepto de sustitución de importaciones; y el reasentamiento de mano de obra en los centros poblados de la precordillera de la II Región.

La Innovación Tecnológica que aquí se describe, permite producir azufre fino a costos competitivos con el precio del producto importado.

2.- EXPOSICION DEL PROBLEMA.

LA PLANTA CONVENCIONAL

El conocimiento que el innovador había adquirido sobre la temática de la refinación de azufre, además de todos los esfuerzos por conseguir financiamiento para un proyecto productivo, hacían del proyecto azufrero con tecnología convencional, un proyecto irrealizable por inicialmente oneroso y por su elevado costo de producción.

En tal efecto, eran destacables la gran infraestructura industrial que requería una planta de concentración de minerales con todas las unidades asociadas, como ser la chancadora, la molienda fina, las celdas de flotación, las bateas de secado, la energía eléctrica y fundamentalmente, el agua, con todo lo cual se consigue levantar la ley del mineral de 30% a 70%.

Una segunda gran instalación industrial la constituía la fundición propiamente tal, integrada por la caldera como intercambiador de calor por la vía de transformar la energía calórica del combustible en calorías contenidas en el vapor de agua e integrada por los autoclaves, o marmitas de grandes dimensiones en que el calor contenido en el vapor de agua, es traspasado al azufre mineral, fundiéndolo.

El gran consumo de agua asociado a la planta convencional, por el uso en la concentración de mineral, como en la fundición, constituía una limitante en cuanto a la ubicación de la planta, y que en términos económicos obligaba a definir, si llevar el mineral al agua, o el agua al mineral, pero en ambos casos, un flete asociado, más allá del flete interno.

La valorización, como inversión inicial de los tres

grandes ítemes ya anunciados, concentradora, fundición y falso flete, hacen de la planta convencional una instalación de gran costo el que, debe cargarse con sus intereses al costo de producción.

Y si a la sumatoria anterior, se le adicionan los costos de explotación de mina, de fletes, de plantas concentradoras y fundición, de agua, de combustibles, de pérdidas por rendimientos y de la gran mano de obra requerida, hacen que a esta fecha, una instalación productora de 300 toneladas/mes, precise una inversión inicial superior a 400.000 dólares, y su costo de producción sería superior a 80 dólares por tonelada.

LA PLANTA INNOVADORA

Atendiendo la gran inversión inicial y el gran costo de producción asociado en una instalación convencional de refinación por autoclaves, por una parte, y el precio del producto alternativo por importación, por la otra, son determinantes para definirlos como el gran problema de la empresa, y más genéricamente, el gran problema del sector productivo nacional.

La visión sobre la potencialidad minera, anunciada históricamente como rica en azufre mineral, y la constante amenaza que significaba para el sector la producción de ácido sulfúrico de los gases sulfurosos de otros procesos industriales, y la gran competitividad por precio de los productores foráneos de azufre fino, constituyeron la justificación para la búsqueda de una nueva tecnología de la refinación de azufre mineral.

El contexto técnico de compatibilizar en un proyecto productivo las variables antes anunciadas, en búsqueda de una solución verdadera para el sub-sector productivo minero-azufrero derivó, en la formulación de un proyecto innovador que tuviese

presente, una a una, las variables de un proyecto productivo.

En consideración a lo expuesto, la Planta Innovadora como resultado de la postulación de una Innovación Tecnológica, fue dirigida a:

- La reducción ostensible del uso del agua en el proceso.
- Consecuentemente, la prescindencia de una instalación concentradora de minerales.
- Consecuentemente, la prescindencia de una instalación generadora de vapor de agua.
- La búsqueda de mejores rendimientos metalúrgicos en el proceso de refinación.
- La reducción importante en el uso de mano de obra.
- Y con todo lo anterior, a una reducción importante de los costos iniciales de instalación, de puesta en marcha y de operación, para lograr un objetivo claro de precio: un producto competitivo.

La innovación desarrollada para satisfacer el conjunto de autoimposiciones y requerimientos para la formulación de un proyecto productivo, fue:

El uso del calor excedente contenido en una masa de azufre líquido como calor disponible para la fundición de azufre mineral.

Esta hipótesis innovadora satisface los problemas fundamentales detectados en una planta convencional de autoclaves, a saber:

- no requiere agua de proceso, por cuanto no hay planta concentradora.
- solo requiere de una instalación simple, constituida por un recipiente que contiene la masa de azufre líquida, y una fuente de calor que entrega el calor necesario para mantener

el azufre líquido y con calor excedente.

- elimina los falsos fletes, ya sea de agua hacia el yacimiento mineral o del mineral hasta la fuente de agua.
- reduce la planilla de personal al hacer menores la instalación industrial.
- reduce las pérdidas de calor, al constituirse como un proceso continuo.

3.- METODOLOGIA Y PLAN DE TRABAJO.

HABILITACION DE UN REACTOR

En tiempo anterior al apoyo del FONTEC, ya se había superado con éxito toda una campaña de investigación con los correspondientes análisis teóricos y las pruebas a escala de laboratorio industrial, creciendo en dimensiones hasta encontrarse en la etapa experimental con un reactor construido a escala 1:1, ó muy cercana a la escala natural.

La primera etapa del proyecto financiado por el Fondo Nacional de Desarrollo Productivo y Tecnológico, consistió en la habilitación del reactor existente para proceder a las pruebas metalúrgicas.

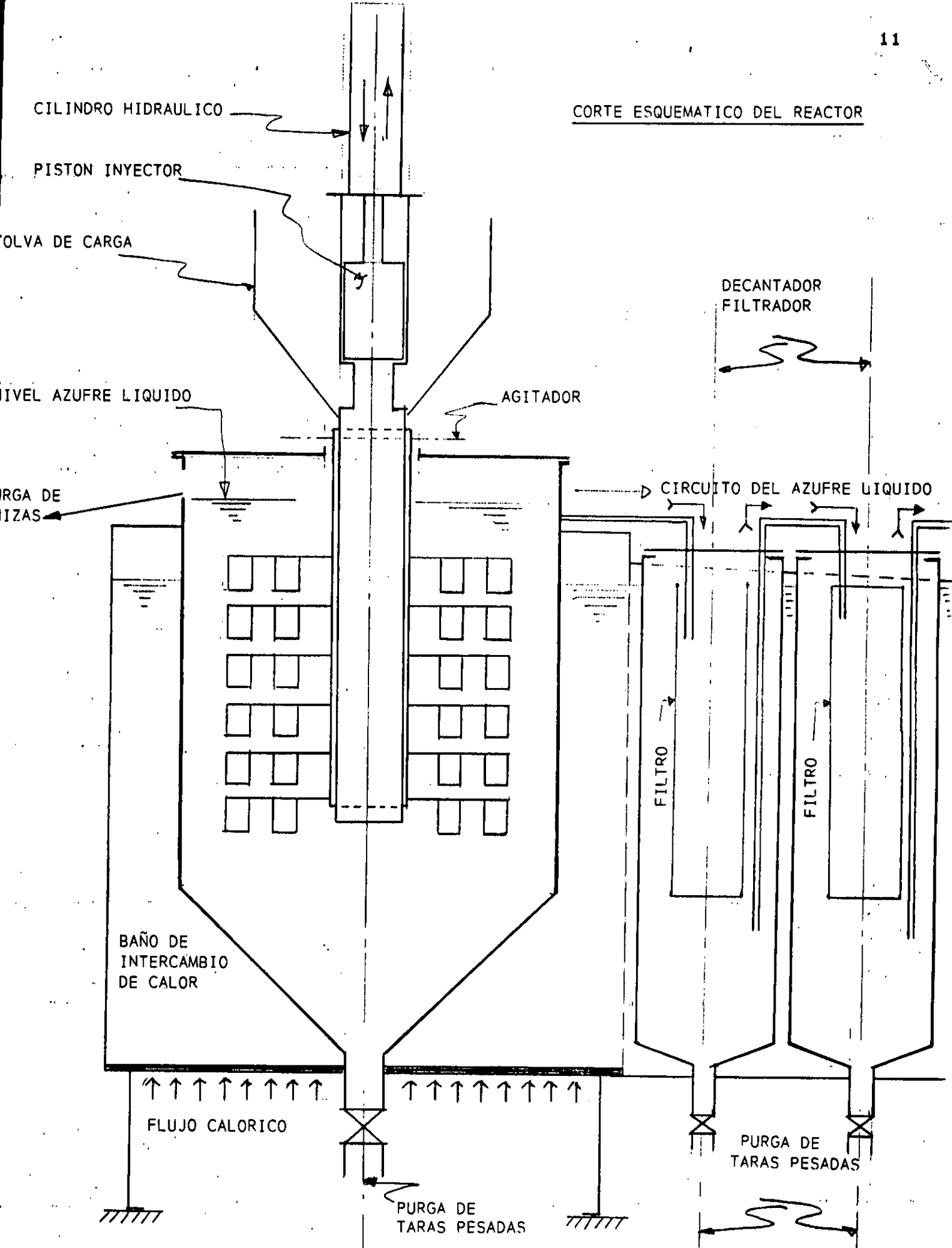
En el presente INFORME FINAL, se dan por expresamente reproducidos los INFORMES Nº 1 y Nº 2, precedentes, y sólo con el objeto de que el presente Informe constituya una unidad independiente, se describe a continuación el reactor habilitado, en condiciones de operatividad.

El reactor es una máquina metálica construido en plancha de fierro, vertical, en que se destacan:

- el recipiente fundidor de mineral, es un cilindro de eje vertical con fondo cónico y una evacuación para purgas en el extremo del cono invertido; tiene tapa superior y tiene una ventana en el manto lateral que permite la evacuación de las cenizas que flotan en el azufre líquido; concéntrico al eje del recipiente, tiene un elemento metálico para agitación lenta de la masa al interior del recipiente; también concéntrico al eje, el recipiente es penetrado por un tubo metálico que favorece la incorporación y deposición de

- mineral en la profundidad de la masa de azufre líquido.
- un sistema oleohidráulico integrado por una motobomba y un pistón es el equipo que permite inyectar el mineral de azufre mineral en la profundidad de la masa de azufre líquido.
 - un motorreductor eléctrico acciona el agitador al interior del recipiente fundidor favoreciendo la mezcla del azufre mineral con el azufre líquido.
 - dos unidades de decantación y filtrado completan el sistema de circulación del azufre líquido. Son elementos verticales, esbeltos, equipados con cartuchos de tela filtrante, fabricados para soportar hasta 8 bares de presión.
 - el recipiente intercambiador de calor, que alberga a las unidades anteriormente descritas, que permite mantener todas las paredes del recipiente fundidor y de los decantadores a una temperatura estable y constante al estar en contacto con un baño de aceite que recibe calor de un hogar en el fondo del recipiente intercambiador de calor.
 - un sistema de quemadores de combustible permite la entrega de calor, regulado a las necesidades de la operación del reactor.
 - la aislación térmica del reactor es fundamental, evita pérdidas de energía y otorga seguridad a los trabajadores.
 - un compresor de aire, accionado por motor eléctrico, reemplaza a una bomba para el transporte del azufre líquido y para impulsión del mismo sobre las telas filtrantes.

Para apoyo al texto precedente, se presenta un corte esquemático del reactor.



BASES TERMODINAMICAS

El fundamento termodinámico que apoya la Innovación Tecnológica presente, es que un mineral en estado líquido permanece en el estado líquido y es un acumulador de calor mientras que se le mantenga a temperatura superior a la temperatura de fusión e inferior a la temperatura de ebullición. Para el caso del azufre mineral, 119 °C y 160 °C, son las temperaturas límites en que mantiene condiciones estables de color y viscosidad.

Las expresiones termodinámicas asociadas son:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t + m \cdot Q$$

y

$$\Delta Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

en que Q = cantidad de calor necesario para fundir una masa m de azufre.

m = masa de azufre contenida en el recipiente fundidor.

c = calor específico del azufre, 0.18 cal/gr. °C

Δt = diferencia de temperatura entre el punto de fusión y la temperatura inicial del mineral.

Q = los calores de transformación, que para el azufre son requeridos a los 91 °C, a 112 °C y a 119 °C.

ΔQ = la cantidad de calor en exceso contenida en la misma masa m de azufre que se encuentra a la temperatura T , mayor que la temperatura de 119 °C.

ΔT = diferencia de temperatura, $T - 119$ °C.

La expresión ΔQ , debe entenderse como la cantidad de calor disponible en el sistema para fundir, a un costo calorífico Q , los nuevos azufres minerales que se inyectan al sistema.

Para una masa unitaria de azufre líquido, la cantidad de calor gastada, asciende a 42 cal/kg; y si el azufre líquido se encuentra a 150 °C, la cantidad de calor en exceso, disponible, es de 5,6 cal/kg, de donde se deduce que la masa unitaria de

azufre líquido a 150°C , es capaz de fundir azufre fino en la relación de 7,5:1.

Siendo necesario corregir la relación por el contenido de taras presentes en el azufre mineral, y adoptando una ley de azufre del 30%, que significa 70% de taras que se calientan pero que no se funden ni transforman, el consumo de energía calórica alcanza a 25,1 cal/kg y la relación entre el azufre mineral demandante de calor y el azufre líquido portador a 150°C , se modifica a $25,1/5,6 = 4,5$.

El objetivo fundamental de la Innovación Tecnológica, fue probar mediante una serie continua de experiencia, que 4,5 unidades de peso de azufre fino líquido a 150°C , eran suficientes para fundir una unidad de peso de azufre mineral de 30% de ley, a temperatura inicial 10°C .

Para un recipiente fundidor de 2.000 kg de capacidad, el calor excedente contenido en la masa líquida, termodinámicamente es capaz de fundir 44 kgs de azufre mineral de 30% de ley, sin considerar rendimientos térmicos, ni tiempo de contacto.

La base termodinámica señala que cualquiera sea la unidad de tiempo empleada, si en la misma unidad de tiempo se le agrega al sistema la misma cantidad de calor consumida, el sistema permanecerá en equilibrio termodinámico.

Un rol fundamental en el aspecto termodinámico lo asume el fluido intercambiador de calor, que recibe calor del combustible que se quema en el hogar y lo entrega a la masa de azufre líquido; el más económico fluido para ser usado como intercambiador de calor, es el aceite lubricante conocido comúnmente como aceite quemado, el cual tiene un punto de ebullición de 210°C , y un calor específico de $0,45 \text{ cal/gr}^{\circ}\text{C}$ con lo cual se garantiza un control de la temperatura del sistema, y

la disponibilidad de calor acumulado superando en casi el doble a las demandas del proceso.

Finalmente, los rendimientos térmicos de las transferencias de calor, constituyen una atención preferente. En efecto, el Proyecto Innovador considera una distribución uniforme del calor en todas las masas materiales que lo precisan, destacando que el recipiente fundidor de azufre está equipado con un agitador de paletas destinado a tal finalidad y que el fluido intercambiador de calor, al fijarse una temperatura de trabajo de 160°C (menor que su punto de ebullición = 210°C), no se transforma y en consecuencia no hay pérdidas por evaporación.

Consecuentemente, las pérdidas de calor consideradas en el Proyecto Innovador son menores, consideradas a un máximo de 20%, tasa que no representa importancia económica por el bajo precio de los combustibles que en un hogar de fuego a discreción se pueden quemar, como ser el petróleo de quemar, el carbón mineral, la leña, el aceite lubricante de segundo uso, y eventualmente, las chatarras de caucho y plástico.

METODO EXPERIMENTAL

El método experimental se desarrolla a partir de una máquina con todas sus unidades habilitadas conforme al Proyecto Innovador.

La puesta a punto del reactor y equipos, se debe entender con la carga inicial de azufre, licuado en el recipiente fundidor.

La experimentación consideró el trabajo del reactor con minerales de azufre clasificados por ley de azufre, partiendo con azufre del 60% y reduciendo la ley hasta el intento programado de trabajo con ley del 30%, como límite inferior de calidad del

mineral.

Para el caso de análisis, el equipo estaba habilitado para responder a las variaciones de calor demandado y a las demandas crecientes de mineral en contraposición con la disminución de la ley.

Se programaron series de experiencias y entre ellos, los correspondientes análisis de resultados y la preparación de la siguiente serie.

En definitiva, de 2 series de operación continua en la 2ª ETAPA, de 10 días cada una, solo se trabajaron 17 días, sin lograr la continuidad esperada. Estas 2 series fueron trabajadas con azufre mineral del 60%.

En la 3ª ETAPA, y FINAL, de 2 series de experimentación programadas, de 10 días cada una, el trabajo real y evaluado consistió en:

- 8 días de operación discontinua con caliches de 60%.
- 6 días de operación discontinua con caliches de 50%.
- 8 días de operación discontinua con caliches de 45%.
- 6 días de operación discontinua con caliches de 40%.
- 3 días de intento de trabajo con caliches de ley inferior a 40%.

En la etapa experimental, se controlaron:

- flujo calorífico demandado.
- caudal de inyección del mineral.
- diferencias de temperatura entre el fluido intercambiador de calor y el azufre líquido.
- caudal de azufre fino emergente del recipiente fundidor.
- ley del mineral de azufre.
- ley del producto final.
- ley del azufre contenido en las taras.

En síntesis, el método operativo puesto en práctica consistió en la inyección de mineral de azufre con la ley que se especifica, con granulometrías inferior a la malla 3/8" cuando la temperatura del azufre líquido estaba estabilizada en 150 °C.

Se suministró al sistema el calor necesario resultante del cálculo teórico y con un coeficiente de seguridad del 20% para suplir las pérdidas.

De acuerdo al Proyecto Innovador, se realizaron las purgas de taras pesadas, la extracción de cenizas que flotan, y el filtrado del azufre líquido.

ANALISIS DE RESULTADOS

Conclusiones

- Las demandas de calor son mayores que el 20% del cálculo teórico ya que al retirar azufre líquido del sistema (y las taras y las cenizas) que se encuentran a 150 °C de temperatura, se está retirando el calor equivalente a la diferencia de temperatura en exceso de los 119 °C

Para disminuir estas pérdidas deberá recomponerse el cálculo del calor disponible en la masa de azufre líquido, con una temperatura máxima de 130 °C de manera de reducir en 0,66 % las pérdidas por este concepto. Como consecuencia de esta reducción de la temperatura, y para mantener la misma cantidad de calor disponible, habrá que rediseñar el recipiente fundidor, ampliando su volumen 2 veces.

- Operando el reactor con azufres de 60% de ley y menores, hasta de 45%, el método experimental responde al Proyecto Innovador entregando los resultados esperados. Fue necesario corregir la entrega de calor externo por la razón de

pérdidas expuestas precedentemente; y para las series de pruebas con azufres de leyes menores, que demandan la inyección de mayores cantidades de mineral, el sistema de inyección soportó su máxima solicitud para la ley 45%.

- En la medida en que baja la ley del azufre mineral inyectado, aumentan las taras y más aumentan por el aumento de la inyección de mineral a la ley de 45% de azufre, y la máquina evidenció no estar diseñada para la evacuación de estas mayores gangas ni por la purga del fondo ni por la evacuación lateral de las cenizas que flotan.

- El trabajo con azufres minerales de leyes menores que 45%, intentado por 9 días, confirma la apreciación precedente en cuanto a que se hace necesario rediseñar las evacuaciones de las taras, mecanizándolas y disponiendo los espacios para la circulación de los trabajadores que las atienden.

- La ley del azufre fino obtenido es pareja y conveniente para cumplir las especificaciones de los consumidores.

- Al aumentar las taras por disminución de la ley de azufre, el arrastre de azufre en las taras es mayor, con lo que el rendimiento del proceso es menor, por pérdida de azufre. Se hace necesario el diseño de un sistema de recolección de gangas, dispositivo inmerso en el mismo recipiente de intercambio de calor, que permita que el azufre líquido arrastrado por las gangas, pueda ser reintegrado a la línea de transporte del producto final. Un sistema de filtrado o de extrusión debe completar la unidad.

- La GRAN CONCLUSION, del Proyecto Innovador, es que la hipótesis de Refinación de Azufre por Método Continuo en base al uso del propio azufre en estado líquido como vehículo del calor necesario, es un método factible.

INFORMACIONES ESTADISTICAS

- Todo el mineral de azufre, procedente de la mina Mauricio, comuna de San Pedro de Atacama.
- Mineral clasificado por etapas para obtener azufres de ley 80% para la carga inicial, los minerales de 60%, 50%, 45%, 40% y menores.
- Análisis de ley de azufre, en laboratorio de campaña, montado para la atención preferente del Proyecto. Método de Análisis, de doble pesada y calcinación.
- 79 análisis de caliche de azufre, para certificar la ley del azufre que ingresa, en el rango "superior a" 60%, a 50%, a 45%, a 40%, a 30%.
- 79 análisis de azufre producido, con resultado de ley de azufre superior a 98%.
- 79 análisis de gangas pesadas, por ley de azufre con resultados entre 3% y 10%.
- 79 análisis de cenizas que flotan, por ley de azufre con resultados entre 5% y 10%.
- 36 mediciones de consumo de gas licuado, por diferencia de pesadas, por hora de operación.

CARTA GANTT

El Proyecto Innovador se realizó en un período de 156 días corridos y se destacan las siguientes etapas:

- la habilitación del reactor existente, en un plazo de 40 días en que se introdujeron modificaciones y mejoras para asumir la etapa final de la investigación,
- serie de experiencias, por un plazo de 116 días, en que además de ejecutarse las experiencias programadas, se abordaron nuevas modificaciones al reactor, derivadas de la propia operación experimental de la máquina.

Se presenta una Carta Gantt.

4. - RESULTADOS.

El objetivo fundamental del Proyecto de Innovación Tecnológica, fue probar en una serie sistemática de experiencias, que era posible la refinación de azufre mineral, usando como vehículo transportador del calor, al propio azufre, y además, en un proceso de operación continua.

En 48 días de operación del reactor, los resultados probaron la hipótesis planteada, aun cuando el método y la máquina, precisan de perfeccionamiento, que no son posibles de incorporar al prototipo.

Durante la operación experimental, se obtuvieron los resultados que se exponen en la tabla siguiente en que:

- COLUMNA 1, N° de días de experimentación, por serie de experiencias.
- COLUMNA 2, N° de análisis y ley de azufre contenido en el mineral.
- COLUMNA 3, N° de análisis y ley de azufre contenido en el producto azufre refinado.
- COLUMNA 4, N° de análisis y ley de azufre contenido en las gangas pesadas que decantan.
- COLUMNA 5, N° de análisis y ley de azufre contenido en las gangas livianas, que flotan.

1	2		3		4		5	
DIAS	Nº	LEV %	Nº	LEV %	Nº	LEV %	Nº	LEV %
17 ERA 1 SERIE(7+10)	1 3 9 4	63 62 61 60	4 7 19 1	99.5 99 98.5 98	8 6 3	5 4 3	1 7 3	7 6 5
8 DA 2 SERIE	2 4 7 3	63 62 61 60	2 12 1 1	99.5 99 98.5 98	3 5 5 3	6 5 4 3	6 7 3	7 6 5
6 ERA 3 SERIE	1 2 5 3 1	54 53 52 51 50	3 5 3 1	99.5 99 98.5 98	4 3 1 4	5 4 3 2	5 6 1	7 6 5
8 TA 4 SERIE	1 6 8 1	48 47 46 45	2 5 7 2	99.5 99 98.5 98	8 6 2	7 6 5	7 6 1 2	8 7 6 5
6 TA 5 SERIE	2 4 3 3	43 42 41 40	1 6 3 2	99.5 99 98.5 98	7 3 1 2	8 7 6 5	6 2 2 1 1	10 9 8 7 6
3 TA 6 SERIE	2 2 1	35 34 32	1 4 1	99 98.5 98	3 1 1 1	10 9 8 7	1 2 1 2	10 9 8 7

La lectura de las leyes en la columna 3, demuestran una producción de azufre refinado de muy buena ley, aunque las leyes menores a 99% constituyen un leve desencuentro con el óptimo del proyecto.

Sin embargo, la distribución y ocurrencias de leyes 99% y más, superan a las leyes menores que 99%; y constituye una demostración optimista.

Si se revisa el conjunto 3ª serie, con 6 días de operación y ley de azufre 52%, promedio ponderado, significa que la muestra traía 48% de estériles; de la revisión de los análisis de los estériles, también ponderados, se deduce que la ley media de azufre contenido es de 5% y 5% de azufre perdido en el proceso, representa una pérdida porcentual respecto de la ley del mineral, del 9,6%, o lo que es igual que señalar que el rendimiento del proceso es de 90,4%.

El mismo análisis aplicado a la difícil 6ª serie de experiencias, conduce a:

- ley del mineral de azufre,	34%
- ley del producto azufre fino,	98,5%
- ley de azufre contenido en las gangas,	9,5%
- pérdida porcentual de azufre,	28%
- rendimiento del proceso,	72%

Una base de comparación para estos resultados es el conocimiento estadístico de resultados de operación de los autoclaves, método que tiene un máximo rendimiento del 60% cuando las leyes del mineral superan el 50% de azufre.

Obtener un rendimiento de proceso del 72% a partir de minerales de 34% de ley de azufre, es, comparativamente, exitoso, y lo será más con un reactor de diseño definitivo.

Presentar y discutir resultados del aspecto termodinámico no reviste relevancia en esta etapa del Proyecto Innovativo, sobretodo cuando en el desarrollo de las experiencias fue detectada una gran pérdida de calor. En efecto, el azufre refinado producido y las taras generadas en la refinación, son retiradas del sistema a la temperatura de trabajo, con el exceso de calor correspondiente a la diferencia de temperatura, lo que constituye la gran pérdida del sistema. La conclusión termodinámica es que a menor temperatura de trabajo la pérdida es menor pues obliga a un mayor volumen de líquido transportador - almacenador de calor.

APOYO FOTOGRAFICO

Se presentar fotografías del reactor.

FOTOGRAFIA Nº 1

Muestra el reactor en su verdadera dimensión, con una persona como referencia.

FOTOGRAFIA Nº 2

Trabajos de reparación y modificación. El tubo negro, en posición oblicua, es el tubo central de carga de mineral.

FOTOGRAFIA Nº 3

Trabajos en la máquina. El tubo negro de carga, es soportado por un tecla. La fotografía permite apreciar las dimensiones.

FOTOGRAFIA Nº 4

Trabajos en la máquina. lugar preferente de la fotografía lo ocupa el agitador del azufre.

FOTOGRAFIA Nº 5

Muestra el cilindro hidráulico (rojo) de la inyección del mineral y sus mangueras de conexión a la bomba hidráulica, soportado por la camisa del pistón de carga.

FOTOGRAFIA Nº 6

Muestra el cilindro hidráulico (rojo)

Muestra la camisa del pistón metálico, de color pardo con ventana.

FOTOGRAFIA Nº 7

Muestra el equipo motobomba hidráulico, con válvulas de regulación de caudal, de regulación de presión, manómetro, etc. La mano del operador, sobre el motor eléctrico.

FOTOGRAFIA Nº 8

En primer plano, muestra la cubierta de la aislación térmica.

Se ve, la válvula de vástago telescópico para la evacuación del azufre líquido, y a la izquierda, color rojo, válvulas sobre la tapa del decantador.

También se ve el motorreductor del agitador, y el equipo motobomba hidráulico y el tubo de carga, de la inyección de mineral.

FOTOGRAFIA Nº 9

Desde un ángulo superior, muestra los decantadores. El derecho, abierto; el izquierdo, con tapa, las cañerías y las válvulas.

A la izquierda, se ve el buzón de carga del mineral.

A la derecha, abajo, un cilindro de gas de 45 kg, de la central térmica del equipo.

FOTOGRAFIA Nº 10

Muestra los decantadores, desde arriba acoplados a la máquina central. Uno tapado, el otro, con su tapa a su lado.

Muestra la aislación térmica del reactor.

Línea roja, segmento, muestra la obra acoplada.

FOTOGRAFIA Nº 11

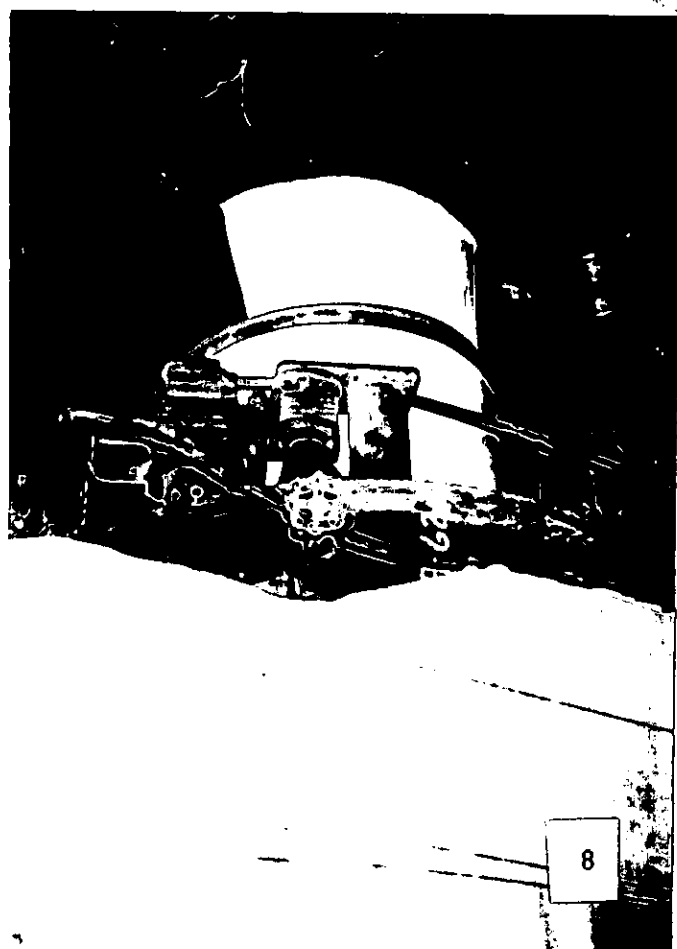
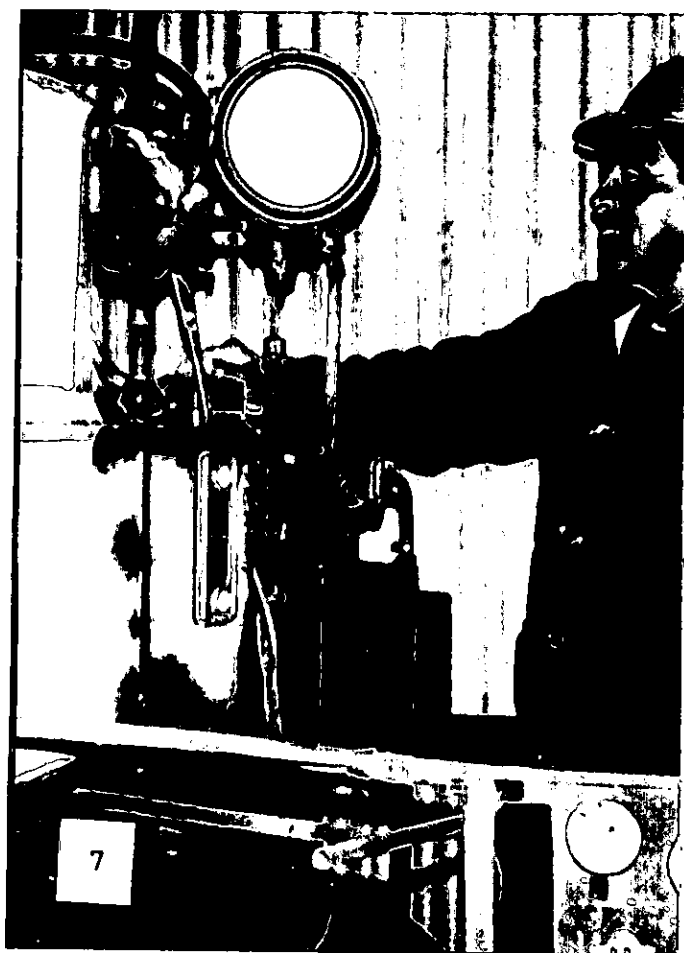
Vista desde abajo, permite una impresión sobre la altura de la máquina.

En primer plano, abajo, muestra la envolvente de la aislación térmica en el área de los decantadores.

En el extremo superior izquierdo, el sistema de inyección hidráulica del mineral.

FOTOGRAFIA Nº 12

Muestra el panel de control.



5.- IMPACTOS DEL PROYECTO.

La aplicación de la Innovación Tecnológica postulada y desarrollada, a un Proyecto Productivo de Refinación de Azufre, es de gran factibilidad técnico-económica.

Por concepto de falso flete en una planta procesadora convencional de autoclaves, el costo por tonelada de producto asciende a:

- ley estimada del mineral,	35%
- rendimiento del proceso,	60%
- toneladas mineral necesarios,	4,7
- precio del flete, US\$ ton/km,	0,05
- distancia mina-planta, supuesta,	40 km
- costo por tonelada de producto	9,4 dólares
- COSTO DE COMPARACION.	0,0 dólares

Por concepto de precio del agua, a 0,6 US\$/m³, por cualquiera sea su origen y calidad para procesos industriales en la II Región, precio en el lugar de uso, a razón de 60 m³/día en una planta convencional de autoclaves, de 300 toneladas/mes:

- costo del agua, US\$/ton	3,6 dólares
- COSTO DE COMPARACION	0,0 dólares

Por concepto de inversión inicial la explotación de mina, y una planta convencional de autoclaves, con concentradora, caldera, autoclaves, y toda la molienda, llave en mano, sin campamento, por valor de 400.000 dólares, para 5 años de producción, a 300 toneladas por mes, contra una inversión inicial en planta innovadora de 200.000 dólares para 5 años y 300

ton/mes, calculados sobre la diferencia,

- costo por el capital inicial, 11 dólares/ton
- COSTO DE COMPARACION 0,0 dólares

Por concepto de interés del capital inicial calculado sobre la diferencia de inversión entre ambos procesos,

- costo por interés del capital, 12 año,
al 8% interés anual, 200.000 US\$, 4,4 dólares/ton
- COSTO DE COMPARACION 0,0 dólares

Por concepto de mano de obra, son 50 personas en una planta convencional y mina, que deben compararse con 20 de una planta innovadora, a 1,5 veces el sueldo, son 20 trabajadores a 200 dólares/mes, calculado sobre la diferencia,

- costo de la mano de obra, 13,3 dólares/ton
- COSTO DE COMPARACION 0,0 dólares

Por concepto de calor, la experiencia en plantas convencionales señala que la producción precisa de más de 3 veces el calor teórico necesario; la planta innovadora, 1,5 veces el calor teórico. Por este concepto, al precio de 0,16 dólares el kilo de petróleo de quemar y corregidos por los rendimientos de proceso 0,60% para planta convencional y 0,72% para la planta innovadora (el más bajo obtenido en las experiencias) y calculado sólo sobre la diferencia,

- costo de combustible 4,2 dólares/ton
- COSTO DE COMPARACION 0,0 dólares

La sumatoria de los valores calculados como excesos de una planta convencional sobre una planta innovadora, ascendentes a 45,9 dólares/tonelada, representa el mayor impacto económico del Proyecto Innovador.

Los mismos conceptos anteriormente expuestos, calculados para la puesta en marcha del proceso innovador, son:

- falso flete, no hay	
- compra de agua, no hay	
- por inversión inicial,	11 dólares/ton
- por interés del capital	4,4 dólares/ton
- por mano de obra	15 dólares/ton
- por calor necesario	5,6 dólares/ton
- por otros costos	10 dólares/ton
TOTAL COSTO, PROYECTO INNOVADOR	46 US\$/TON.

La suma de los valores 45,9 y 46,0,; representa el costo de producción de una planta convencional y el análisis demuestra que el costo de producción de una planta innovadora, es la mitad del costo de producción de una planta convencional.

Los valores pueden aún ser corregidos, por aumento del plazo de amortización del capital, que significa rebajar el costo de producción, y serán cada vez más bajos en la medida que se pague el capital de la inversión inicial.

Es destacable que en una Planta Productiva con uso de la Innovación Tecnológica sustentada, en la etapa de diseño, la variación de la producción de diseño incide muy levemente en la variación del costo del reactor, por cuanto son recipientes metálicos cuya única sollicitación son el peso propio de los insumos mineral e intercambiadores de calor.

Las holguras con que se ha calculado el costo de producción en 46 dólares/ton, para un Proyecto Innovador, pueden ser afinados y llevar el costo a 40 US\$/ton, para así, alcanzar la zona central de Chile a 60 US\$/ton, precio de competencia con 100 US\$/ton de producto importado, desaduanado en Valparaíso.

Finalmente, habiendo alcanzado resultados más que satisfactorios en el desarrollo del Proyecto Innovador, muy promisorios y muy optimistas, la empresa presentadora y desarrolladora de la investigación no está en condiciones de poner en marcha un Proyecto Productivo.

FONDO NACIONAL DE DESARROLLO PRODUCTIVO Y TECNOLÓGICO
FONTEC - CORFO

FORMULARIO

ESTRUCTURA DE COSTOS REAL(*) DEL PROYECTO
(Valores expresados en U.F.)

PARTIDAS DE COSTO	TOTAL PROYECTO	FUENTE FINANCIAMIENTO	
		FONTEC	EMPRESA
Personal de Investigación	230.45	104.66	125.79
Personal de Apoyo	211.18	167.46	43.72
Servicios, Mat. y Otros	825.81	427.02	398.79
Usos de Bienes de Capital	--	--	--
Adquisición de Bienes de Capit.	960.76	418.64	542.12
TOTAL EN U.F.	2.228.20	1.117.71	1.110.42

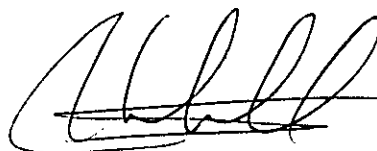
(*) Se entiende por Costo Real del Proyecto a aquellos que incluyen los gastos no previstos durante el período de ejecución del proyecto y que han debido ser financiados con mayores aportes de la empresa.

Declaro bajo juramento que los datos contenidos en este Resumen de Estructura de Costos del Proyecto son verídicos.



Contador

OSCAR ESPINOZA SOLAR
RUT. Nº 4.457.657-0
REGISTRO 13439



Representante Legal



