

Estudio de factibilidad técnica y económica para producir arenas de moldeo para fundición Metalnorte

V. Lamas¹, L. Valderrama¹

1 Departamento de Metalurgia, Universidad de Atacama, Copiapó, Chile.

E-mail: lvalder@uda.cl (L. Valderrama)

Resumen

Este trabajo analiza la viabilidad técnica y económica para producir arena de sílice para la Fundición Metalnorte, entre los tamaños 0,15 mm y 0,60 mm, y un contenido de SiO₂ mayor a 90%. Las muestras en estudio fueron caracterizadas por granulometría, química y morfológica. Esta caracterización indicó que la mejor opción es producir arena de moldeo a partir de mineral de roca de cuarzo, de la mina Pedro Luis. Luego fueron realizadas pruebas para determinar su resistencia a la compresión y punto de sinterizado para conocer su comportamiento bajo las condiciones de moldeo. Los resultados obtenidos indican que las propiedades son inferiores en relación a una arena de origen sedimentario, por lo cual se determinó mezclar arenas en una proporción de 37,9% de arena de origen sedimentario y 62,1% de arena producida en este estudio, alcanzando una resistencia de 9,84 kgf/cm² a una temperatura de sinterizado de 1280°C. Este estudio analiza el diseño de una planta para producir arena de moldeo, indicando un ahorro de 3.935,016 US\$/año, a partir de 2,18 años.

Palabras claves: Arenas de moldeo, caracterización, resistencia a la compresión, punto de sinterizado.

Abstract

This work analyses the technical and economical viability of silica sand production for Metalnorte Smelting, to obtain a 0,15 mm and 0.60 mm sand, with a content of SiO₂ greater than 90%. To the samples obtained at geologic study were done a granulometric, chemical and morphological characterization. The outcome of the processes indicates that the best choice to produce molding sand is from a quartz rock mineral, originating in Pedro Luis mine. Then, tests are made to determinate its resistance to the compression and the point of sinter with the objective to know the behavior under the molding conditions. The results indicate that the studied properties were inferior in relation to a sand of sedimentary origin, for this reason it was determined to mix both sands into a proportion of 37,9% of sedimentary's sand and 62,1% of study's sand, the mix reached a resistance of 9,84 kgf/cm² and a sinter temperature of 1280°C. The study indicates a saving of 3.935,016 US\$/year, as of a 2,18 years.

Keywords: Sand molding, characterization, resistance to the compression, sinter point.

1. Introducción

Las fundiciones de hoy enfrentan márgenes de utilidades cada vez menores, y el costo de los materiales siempre en aumento. Más que nunca, deben reexaminar su forma de producir sus coladas y determinar si usan los materiales más adecuados para su proceso de colado. Si bien el costo debe tener un papel para decidir que material se usara para la fabricación de moldes, debe ser más importante su desempeño, en especial si se debe ahorrar por menor consumo de resina, menor arena necesaria para producir un molde y mejor acabado de la pieza colada.

Metalnorte, es una empresa que se dedica a la fundición de chatarra de hierro, para fabricar, desventaja para Metalnorte con respecto a la competencia que obtiene la arena a un costo mucho mas bajo.

1.1. Arena de moldeo

La sílice es el componente principal de una arena de moldeo. El silicio no se encuentra en estado nativo, se encuentra como arena, cuarzo, amatista, ágata, pedernal, ópalo y jaspe son algunas de los minerales en los que aparece el óxido. En geología (Griem, y Griem, 2001) se denomina arena a una roca natural finamente dividida, compuesta de partículas cuyo tamaño varía entre 0,063 y 2 mm. Una partícula individual dentro de este rango es llamada grano de arena. El componente más común de la arena en tierra continental y en las costas no tropicales es la sílice (dióxido de silicio), generalmente en forma de cuarzo. La arena es transportada por el viento y el agua, y depositada en forma de playas, dunas, médanos, etc. En el desierto, la arena es el tipo de suelo más abundante.

La arena para moldeo debe cumplir con los siguientes requerimientos (Piwonka, 1988):

- Estabilidad térmica y dimensional a elevadas temperaturas.
- Apropiado tamaño y forma del grano.
- No debe reaccionar químicamente y mezclarse fácilmente con el metal fundido.
- Debe dar libertad para el escape de los gases producidos por el calor.
- Disponibilidad económica.
- Composición Química

- Compatibilidad con el sistema de aglomeración.

En general, el cuarzo (Salvador, 2002) es un recurso relativamente abundante en el país, de razonables perspectivas geológicas que se explotan en volúmenes de producción de mediana y baja escala. Tiene una amplia gama de aplicaciones industriales en el país y existe una oferta diversificada, por tipos de productos y calidades. Se destinan preferentemente al mercado nacional, donde deben competir con productos similares importados. Algunos de ellos alcanzan grados de calidad que les permite ser exportados. Los productos de sílice tienen varios usos, concentrados en industrias como la cerámica, vidrio, construcción, metalúrgica, electrónica, óptica y joyería:

- Las rocas de cristal puro de cuarzo se utilizan en equipos ópticos y electrónicos de alta precisión.
- Como harina cuarzosa, sirve de materia prima en la fabricación de vidrio y de ladrillos de sílice, losas, baldosas, piezas cerámicas, o como cemento y argamasa.
- Las arenas silíceas, por su parte, se emplean en fundiciones, depuraciones, revestimientos, impermeabilizantes y al igual que las harinas en la industria de la construcción.
- El cuarzo molido sirve de abrasivo en el cortado de piedras, en los chorros de arena y en el molido de vidrio.
- El cuarzo en polvo se usa para hacer porcelana, papel de lija y relleno de madera, asimismo es materia prima para fundente en operaciones de fundición.
- También el cristal de cuarzo natural de alta calidad, se utiliza como materia bruta en la industria electrónica.

1.2. Fuentes de sílice en la zona

Los yacimientos de roca de cuarzo corresponden tanto a cuerpos pegmatíticos, emplazados en la Granodiorita Sierra Los Lirios (sector Nantoco), como a vetas y bolsones de origen hidrotermal, relacionados con la intrusión de plutones del Cretácico Superior, Plutón Remolino, ubicado en Quebrada Salitrosa, (los plutones constituyen cuerpos de formas alargadas que incluyen sienogranitos,

monzogranitos, dioritas cuarcíferas y granodioritas de hornablenda) (Espinoza y et al, 1999), en rocas volcánicas del Jurásico-Cretácico, Formación Punta del Cobre. Estos últimos yacimientos se distribuyen ampliamente en el sector de Inca de Oro, por ejemplo, la Mina Pedro Luís, donde se extrae la sílice en forma de cuarzo y se utiliza exclusivamente en las fundiciones de cobre de la zona norte del país, para captar el hierro en la mezcla fundida de manera de ser retirado en la forma de escoria y permitir la purificación del cobre.

En el desierto de Atacama (Paskoff y et al, 2003), las dunas de la región de Copiapó (27°22'S) son las de mayor extensión en Chile, cubrirían una superficie de 240 km².

Son dunas que aparecieron en la costa, sin embargo, con el tiempo, han avanzado tierra adentro, a través de un sistema interno de cuencas y serranías, hasta el cerro Medanoso, sobre una distancia de 60 km y hasta una altura de 1.643 m sobre el nivel del mar. La ausencia en este sector del acantilado costero continuo que caracteriza la costa del norte de Chile y la existencia de corredores topográficos transversales permitieron la migración de las arenas eólicas hacia el este. En la región de Atacama, además de este tipo de dunas, se encuentran pequeñas dunas activas que en la actualidad son alimentadas de arena desde la costa y que no se alejan mucho de ella. No tienen comparación por su extensión y su volumen con las dunas remanentes. El sistema más desarrollado puede verse a poca distancia al norte de Caldera, asociado a la playa Ramadas. Está constituido por dunas longitudinales continuas, paralelas entre sí, de 1 a 2 m de alto, que llegan a avanzar hasta 7 km. tierra adentro y que forman un conjunto de algunos cientos metros de ancho.

1.3. Características principales de las arenas de proceso autofraguante. (USACH, 2004)

1.3.1. Humedad

Sobre el 0,2% de humedad, el proceso presenta una disminución de la resistencia y una disminución de la velocidad de fragüe. En el caso de los procesos Fenólico Uretánicos y Alquidico Uretánicos es más influyente, debido a la presencia de Isocianatos que reaccionan

con el agua, provocando una inhibición de la cura y una fuerte reacción espontánea si el porcentaje es alto.

1.3.2. Cantidad de finos

Lo ideal es trabajar con la menor presencia de finos (0,2 - 0,7 máximos), debido a que disminuyen la resistencia, la permeabilidad; y aumenta el consumo de resina y la generación de gases.

1.3.3. Cantidad de arcilla

El máximo aceptable es 0,2%, porcentajes mayores ocasionan una fuerte disminución de la resistencia y de la permeabilidad, un aumento en la generación de gas y un mayor consumo de resina y de catalizador, dado que las arcillas actúan como esponjas que atrapan el catalizador y quedan como puntos blandos entre granos de sílice, influyendo directamente en la resistencia.

1.3.4. Morfología de los granos de arena

De acuerdo a la forma de los granos, angular y/o redondeada, se tiene un índice que da la superficie específica. Así una menor superficie específica permite obtener las mejores características técnicas y económicas (Ver Tabla 1.1).

Tabla 1.1. Influencia de la morfología de los granos de arena

Granos redondos.	Granos angulares
Aumenta la fluidez	Disminuye la fluidez
Aumenta la colapsabilidad	Disminuye la colapsabilidad
Aumenta permeabilidad.	Disminuye permeabilidad
Disminuye el % de Catalizador/ Resina para una resistencia determinada.	Aumenta el % de Catalizador/Resina para una resistencia determinada por mayor superficie específica

1.3.5. Módulo de fineza (malla)

La arena de Sílice para las fundiciones debe tener una graduación bien definida con un 70% y más de los granos retenidos en 3 mallas adyacentes. El Número de Fineza de la AFS (American Foundrymen's Society), expresa de manera aproximada el tamaño de malla de ese tamiz que dejaría pasar solamente granos de arena de tamaño uniforme; es decir, expresa el promedio de los tamaños de todos los granos de la muestra (Universidad Simón Bolívar, 200x). La homogeneidad de estas arenas queda descrita en la Tabla 1.2

Tabla 1.2. Influencia de la homogeneidad de las arenas

Más gruesa: Módulo menor.	Más fina: Módulo mayor.
Mayor permeabilidad.	Menor permeabilidad
Menor arena sinterizada.	Mayor arena sinterizada.
Mayor resistencia del molde	Menor resistencia del molde.
Menor tendencia a defectos de expansión debido a mayor plasticidad en caliente.	Mayor tendencia a defectos de expansión por ser más compacto.
Mayor tendencia a penetración de metal.	Menor tendencia a penetración de metal.
Rugosidad mayor en piezas si no se utiliza pintura.	Piezas con mejor acabado si no se utiliza pintura.

2. Parte experimental

Para lograr los objetivos propuestos, la etapa experimental, contempló 3 etapas, las cuales siguieron un orden secuencial: la primera consiste en la recolección de muestras, análisis granulométrico y químico; la segunda en la preparación de las muestras según las especificaciones del producto; y la última en la determinación de propiedades físicas del producto. Las dos primeras etapas fueron realizadas en las dependencias del Instituto de

Investigaciones Científicas y Tecnológicas, IDICTEC, de la Universidad de Atacama. La última etapa fue realizada en el Laboratorio de Fundición de la Universidad de Santiago.

En la tabla 2.1 se indican los lugares donde se tomaron las muestras, estas a su vez, previa reducción y preparación, fueron analizadas granulométricamente en tamices ASTM de abertura 6,3mm hasta los 0,038mm.

El análisis químico fue realizado por el método analítico. La segunda etapa consistió en clasificar y lavar la arena, que reúne las mejores características tanto de tamaño, forma del grano y contenido de sílice. Mediante deslamado, fue eliminado el material con tamaño - 0,150mm. Por otra parte el material con tamaño mayor a 0,6mm fue eliminado mediante tamizado en seco. Con el propósito de bajar los contenidos de carbonato de calcio se realizaron dos tipos de lavado, el primero consistió en agitar, por 15 minutos, una pulpa de 25% de sólido para luego eliminar las partículas finas que no decantaban; en el segundo lavado fue utilizado un cilindro lavador de capacidad 9.427,77cm³, los parámetros de operación utilizados fueron 48 % de Sólido; tiempo de lavado: 10, 15, 20 minutos. Al final de cada tiempo se procedió a deslamar con la malla 0,150mm y a clasificar en los tamices 0,85mm hasta la malla 0,075mm para determinar el índice de fineza. Con el propósito de mejorar la redondez de los granos se atricionaron las muestras utilizando el mismo molino de la etapa de lavado por tiempos de tiempos de 10, 20, 30, 40, 60, 90 minutos y luego realizar nuevamente el tamizado para calcular el índice de fineza.

En la etapa siguiente, las pruebas consistieron en la observación al microscopio de las arenas utilizando un microscopio marca Leica; la medición de la resistencia a la compresión utilizando una máquina de ensayo de tracción / compresión marca TINIUS OLSEN de 30.000 kgf de capacidad; y la medición del punto de sinterizado mediante la utilización de un horno de sinterizado, el cual alcanza una temperatura de 1500° C.

3. Resultados y discusión

La tabla 3.1 muestra un resumen de los parámetros estadísticos. En ella se indica la mediana y el índice de clasificación o selección

de las muestras. La Tabla 3.2 muestra los parámetros granulométricos. La Tabla 5.3 muestra un resumen de la composición química de las arenas.

Los resultados obtenidos indican que existe un parentesco entre aquellas arenas de las dunas y las quebradas (muestras D, E, F, G, H, K), incluyendo la del sector Maria Isabel (muestra L). Existe gran similitud en los contenidos de sílice, alúmina y hierro total. En todas estas muestras el contenido de carbonato de calcio es bajo, excepto la muestra K, debido a su cercanía con la costa. Predominan granos subangulosos a subredondeados, debido a un corto trayecto de desplazamiento de las arenas. Sin embargo, el posterior análisis microscópico indicó que las arenas del grupo de las dunas y quebradas, son de origen feldespático. En cambio, las arenas originadas en la costa (muestras I, J), son claramente calcáreas con un porcentaje muy elevado de carbonato de calcio (sobre 30%). Los granos presentan un redondeamiento moderado debido a la erosión constante a la que son sometidas por el mar. La muestra C, presenta características similares, aunque su contenido de sílice fue mucho menor (alrededor del 29 %), a pesar de la zona muestreada, que no correspondía a una zona del litoral. La muestra B, proveniente de un depósito de gravas, presenta un contenido de sílice muy bajo. Sus características granulométricas son pobres y debido a que ha sido sometida a transporte fluvial, presenta granos subredondeados. La muestra A, proveniente de un depósito de rocas de cuarzo, contiene un porcentaje de sílice alto (sobre 83%). Sus características granulométricas son pobres y debido a que ha sido sometida a trituración, presenta granos angulares. Las características mencionadas anteriormente permitieron determinar las mejores alternativas para obtener, a través de un proceso, arena de moldeo. Los parámetros a tener en cuenta fueron: los contenidos de sílice y carbonato de calcio, el tamaño de los granos y la forma del grano. De esta manera se determinó seguir trabajando con la muestra A, por su alto contenido de sílice y bajo contenido de carbonato de calcio, a pesar de su granulometría y morfología de sus granos, los cuales se mejoraran en la siguiente etapa de la experiencia.

Tabla 2.1. Identificación de las muestras y lugares de procedencia.

Muestra	Tipo y procedencia
A	Mineral de sílice chancado, rechazo -4 mm, Mina Pedro Luís, precordillera, Inca de Oro.
B	Arena de río, Áridos Buitrón, ribera río Copiapó, Tierra Amarilla
C	Arena de quebrada, Sector Maria Isabel
D	Arena de duna, Cerro Medanos.
E	Arena de duna, Camino 329, km 24, Sector Galleguillos
F	Arena de duna, Camino 327, km 28, Sector Galleguillos
G	Arena de quebrada, Ruta 5, km 903, Sector Caleta Zenteno
H	Arena de quebrada, Camino 319, km 10, Quebrada El Morado
I	Arena de duna de playa, Ruta 5, km 923
J	Arena de duna de playa, Playa Flamenco
K	Arena de quebrada, Sector Playa Flamenco
L	Arena de sedimentos, ribera río Copiapó, Sector Maria Isabel

Tabla 3.1. Resultados de los parámetros estadísticos.

Muestra	Parámetro estadístico	
	Mediana micrómetros	Desviación estándar phi
A	427.53	1.86
B	763.37	2.17
C	275.00	0.58
D	245.73	0.26
E	194.04	0.39
F	217.88	0.39
G	551.67	1.76
H	739.10	1.80
I	367.96	0.08
J	248.50	0.39
K	643.27	1.82
L	217.87	0.71

Tabla 3.2. Resumen de características granulométricas de las muestras.

Muestra	Característica granulométrica		
	Nº de mallas con %retenido >10%	% en peso entre las mallas N°40 y N°100 ASTM	Índice de Fineza GFN
A	4	35.09	46.58
B	1	33.62	46.75
C	4	97.16	50.67
D	2	99.08	54.16
E	3	85.56	68.00
F	2	90.66	62.32
G	4	38.00	45.06
H	2	30.99	45.77
I	5	78.98	45.68
J	3	95.34	55.47
K	2	39.96	43.16
L	3	80.70	45.17

Tabla 3.3. Composición química de las muestras de arena.

Muestra	% SiO ₂	% Al ₂ O ₃	% Fe _{total}	% CaO	% CaCO ₃
A	83,58	5,75	1,42	1,05	1,62
B	-	-	-	-	-
C	29,62	5,25	1,05	21,56	37,85
D	75,87	12,98	1,33	0,31	1,08
E	69,6	12,87	2,29	1,2	2,15
F	73,2	12,57	1,62	0,41	1,2
G	63,88	14,66	1,63	1,04	1,85
H	68,88	12,74	1,96	0,56	1,75
I	46,8	8,95	1,01	17,29	35,7
J	48,96	9,23	0,74	16,24	31
K	68,32	12,48	1,27	4,62	9,2
L	68,93	12	3,52	0,2	1,35

Las pruebas de clasificación y lavado de la muestra A indicaron que tras el primer lavado hubo una variación en los contenidos, como se aprecia en la tabla 3.4, debido a que tanto en la etapa de clasificación como en el lavado, se produjo una eliminación de las arcillas y partículas finas las cuales pasan a suspensión y por tener una velocidad de sedimentación menor a la de los granos de arena, son eliminadas con el agua de lavado. El índice de fineza GFN fue de 46,58, este valor está dentro del límite exigido por el sistema químico de aglomeración, que exige un GFN entre 45 y 55, además la arena se distribuyó en cuatro mallas, lo que es bueno para el proceso de moldeo, ya que aumenta la permeabilidad. La Tabla 3.5, indica la variación que experimentaron los contenidos de sílice y carbonato de calcio para la prueba del segundo lavado, esta se realizó a la muestra A1, obtenida a partir del primer lavado, en un cilindro lavador, el cual produce el lavado de la superficie de los granos a través de la fricción y roce que se produce entre los granos al interior del equipo. En la tabla se aprecia claramente que el contenido de carbonato de calcio se mantiene estable, alrededor del 1%. Del mismo modo se comporta el contenido de sílice, que se mantiene, alrededor del 88 %. De esta manera podemos decir que es suficiente el primer lavado para obtener el máximo de SiO₂ y un mínimo de CaCO₃.

Tabla 3.4. Composición química de la muestra A1 después de la etapa de clasificación y 1er lavado.

Muestra	% SiO ₂	% Al ₂ O ₃	% Fe _{total}	% CaO	% CaCO ₃
A1, 100%-30# / +100#	86,58	5,37	1,27	0,74	1,31
A1, después del 1er Lavado	88,55	4,33	1,12	0,21	1,00

Tabla 3.5. Resumen de la prueba de lavado en cilindro lavador.

Tiempo de Lavado (min.)	% SiO ₂	% CaCO ₃
0	88,55	1,00
10	88,97	1,00
15	88,14	0,98
20	88,1	1,00

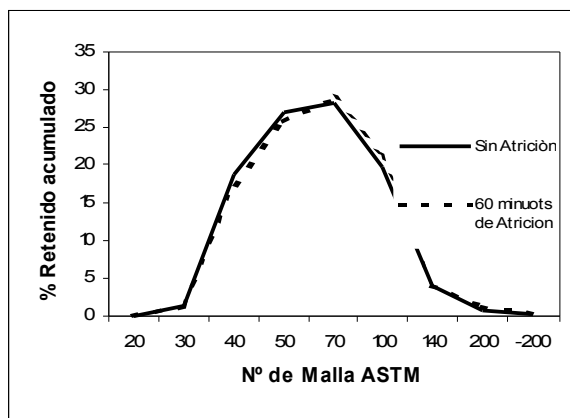
La prueba de atrición se realizó a la muestra A2, la cual fue sometida a clasificación y al primer lavado, el objetivo de esta prueba fue producir una partícula, con un área superficial menor, sin modificar, drásticamente, la curva granulométrica. Esto se logró, pero como se aprecia en la Figura 3.1, hubo una disminución de los porcentajes retenidos en las mallas superiores y un aumento en las mallas inferiores, y lo mas importante fue que se mantiene constante en las mallas intermedias (Nº50, Nº70, Nº100), lo que permite mantener un índice de fineza constante, como se aprecia en la tabla 3.6. En el microscopio se observó que los granos ya no presentan formas angulares como se observaron en la muestra original, ahora los granos no presentan cantos bien definidos, sino gastados, aparecen granos subangulares, otros con forma de lenteja, solo unos pocos granos presentan una forma angular bien definida.

Tabla 3.6. Resumen de la prueba de atrición de la muestra A1

Tiempo de Atrición	% de Finos	Índice de Fineza GFN
0	1.48	47.14
60	1.54	47.28
90	2.62	49.04

Los resultados de la prueba de resistencia indican que, considerando una cantidad de resina del 2%, la resistencia a la compresión para las muestras preparadas en este estudio fue de un máximo de 7,63 Kg/cm², como se aprecia en la tabla 3.6, por lo que no alcanza el valor de 9,84 Kg/cm², estimado como bueno para el proceso de moldeo. Esto se puede explicar debido a la forma del grano, que lo hace tener una gran área superficial, la cual

no es disminuida lo suficiente por el proceso de atrición. Por este motivo, se mezclaron arenas de la muestra 3, en proporciones de 75, 50 y 25% en peso (muestras 4, 5, 6 respectivamente) de arena producida en la Región de Valparaíso (muestra 1), donde se estimó para esta última un 37,98% en peso como mínimo para obtener una resistencia de 9,84 Kg/cm².

**Figura 3.1.-** Variación de las curvas granulométricas con el proceso de atrición.**Tabla 3.7.** Resumen de los resultados de la prueba de resistencia a la compresión y punto de sinterizado.

Muestra	1	2	3	4	5	6
Kgf/cm ²	17,8	12,6	7,6	22,4	12,9	6,1
°C	1300	-	1260	1280	1280	1280

La tabla 3.7 indica también los resultados de la prueba de sinterizado en ella se aprecia que las muestras 6, 7 y 8 obtuvieron una temperatura constante de 1280°C, debido a que fueron mezcladas con la muestra 1 que tuvo una temperatura de 1300°C.

4. Análisis económico

La capacidad instalada del proyecto esta condicionada por la demanda proyectada por la Metalnorte, por las características granulométricas de la materia prima, por los resultados obtenidos en la etapa experimental y considerando una eficiencia global estimada del 90%, teniendo en cuenta otras faenas, la capacidad instalada se estima en 58,9 ton/mes para producir 18,6 ton/mes de arena lavada

La figura 4.1 muestra el diseño de una planta de lavado propuesto por este estudio. La tabla 4.1 muestra un resumen con las inversiones necesarias para llevar a cabo dicho proyecto.

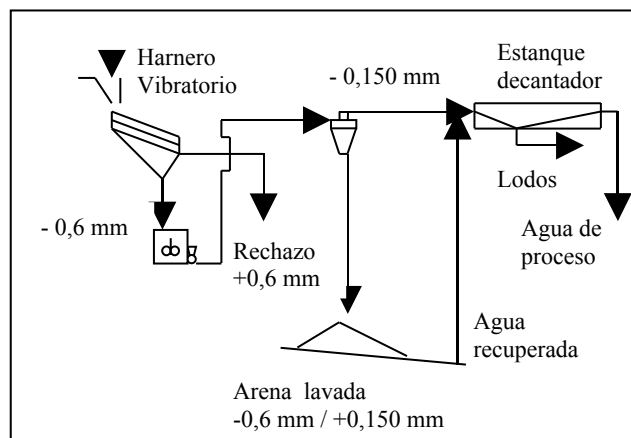


Figura 4.1. Diagrama de proceso para una planta de clasificación y lavado de arena de sílice.

Tabla 4.1. Resumen de inversiones.

Ítem	Valor en US\$
Activos fijos	5.361,60
Activos nominales	2.144,60
Capital de trabajo	1.072,30
Total inversiones	8.578,50

La tabla 4.2 indica el costo total de producción para el proyecto, el costo de producción de la planta es inferior al costo total utilizado por Metalnorte para la compra de la arena de 86,67 US\$/ton. El principal costo de operación es la mano de obra, producto de la baja producción anual, la cual incide en los gastos generales por efecto de estimaciones, los cuales aportan un 44,11% al costo total de producción. Entonces el proyecto produce una reducción del costo por consumo de arena de 3.935,016 US\$/año. Teniendo en cuenta esto ultimo, la inversión se recupera en un periodo

de 2,18 años, a partir del cual se hace efectivo el ahorro.

Tabla 4.2. Resumen costo de producción

Ítem	US\$/t de arena
Costo de operación	68,09
Costo gastos generales	0,95
Costo total de producción	69,04

5. Conclusiones

Técnicamente el proyecto no es factible en una primera instancia, dado que los resultados de las pruebas de obtención de especificaciones de granulometría y composición química, y los resultados de determinación de propiedades físicas y composición mineralógica, no lo hacen viable.

Esta inviabilidad se debe que la arena producida por este estudio presenta granos con forma angular, factor que aumenta el consumo de resina y a su vez el costo de producción de la fundición, debido a la gran área superficial de los granos; el proceso de lavado no fue suficiente para obtener un 90% de sílice como mínimo, llegando a un máximo de 88,97% en las arenas provenientes de mina Pedro Luís.

Técnicamente el proyecto se hace viable, produciendo una mezcla entre la arena de mina Pedro Luís y la arena utilizada en Metalnorte, proveniente de la Región de Valparaíso debido a que la mezcla aumenta su contenido de sílice por sobre el 90% y disminuye su contenido de carbonato de calcio por bajo el 1%; esta mezcla alcanza la resistencia mínima exigida por la norma; la mezcla entre granos redondeados y subangulares, permite un mejor arreglo entre los granos, manteniendo una buena permeabilidad en el molde; alcanza un alto punto de sinterizado de 1280°C.

Económicamente el proyecto es factible, dado que el costo de producción de arena de este proyecto es un 20,34% menor al precio total de la arena utilizada actualmente por Metalnorte.

Agradecimientos

El autor agradece la ayuda proporcionada por Fundición Metalnorte por medio del Gerente de operaciones Sr. Rene Morales; al IDICTEC por la facilitación de las dependencias, para realizar la caracterización de las muestras; y finalmente al personal del laboratorio de fundición de la USACH.

6. Referencias

Griem, W & Griem, S.K., Apuntes de Geología General
Plata.Uda.cl./minas/apuntes/geología general/
Piwonka, T.S., Aggregate Molding Materials, Metal Handbook Nine Edition, Volume 15, pág. 208, 1988.

Salvador, M., Breve Análisis de Mercado: Productos No Metálicos, CORPROA, N°12, 31 Enero 2002.

Espinoza, C., Gelcich, S., Vivallo, W., Yacimientos Metalíferos de la Hoja Quebrada Salitrosa Región de Atacama, Mapa de Recursos Minerales de Chile, N°4, 1999.

Paskoff, R., Cuitiño, L., Manríquez, H., Origen de las arenas dunares de la región de Copiapó, Desierto de Atacama, Chile., Revista Geológica de Chile, Vol. 30, No. 2, p. 355-361, 2003.

USACH, Departamento de Metalurgia, Técnicas de Moldeo con Resina para Fundición, p. 38-48, 2002.

Quintero, O. Principios de la Tecnología de Fundición, Departamento de Ciencias de Materiales, Universidad Simón Bolívar, Venezuela, , Capitulo I, p. 37, 1998.