

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica y Materiales

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE UNA PLANTA
DE PRODUCCIÓN DE BOLAS PARA
MOLIENDA DE MINERALES

TESIS

Presentada por:

Bach. Flor de María Salinas Lúcar

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO METALURGISTA

TACNA - PERÚ

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica y Materiales

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE UNA PLANTA
DE PRODUCCIÓN DE BOLAS PARA MOLIENDA
DE MINERALES**

TESIS

Tesis sustentada el día 31 de octubre de dos mil dieciocho por la Bachiller Flor de María Salinas Lúcar, siendo el Jurado Calificador integrado por:


PRESIDENTE


.....
Dr. Tolomeo Raúl Soto Pérez

SECRETARIO


.....
Ing. Julián Nieto Quispe

VOCAL


.....
Ing. Daniel Jesús Zevallos Ramos

ASESOR


.....
Ing. Zoilo Edgardo Valdivia Infantas

DEDICATORIA

Con el amor más grande y puro que le tengo a mi hija y a mi esposo, y por los consejos de mis padres y mis hermanos que siempre me dan su apoyo para ser una buena profesional y de bien para el futuro.

AGRADECIMIENTO

 Mi profundo agradecimiento al Ing. Zoilo Valdivia, quien con su consejo y apoyo pude terminar mi proyecto. Lo mismo mi más sincero agradecimiento a mi esposo mis padres, hermanos y profesores por el apoyo que me brindaron y el interés que siempre pusieron para verme terminar mi meta como profesional. También a todas las personas, que en una forma u otra ayudaron a terminar este proyecto.

CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.3. JUSTIFICACIÓN O IMPORTANCIA	6
1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES	6
1.5. OBJETIVOS	7
1.6. HIPÓTESIS	8

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	9
2.2. BASES TEÓRICAS	9
2.2.1. Estudio técnico	18
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	34

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	36
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	37
3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	37
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS	38
3.4.1. Demanda de bolas de molienda en el país	38
3.4.2. Oferta de bolas de molienda en el país	38
3.4.3 Determinación de los equipos indispensables para la producción	39

3.5 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	40
3.5.1 Determinación de la proyección de la demanda bolas de molienda	40
3.5.2 Determinación de la composición de las bolas de molienda	41
3.5.3 Determinación del costo de producción	41
3.5.4 Realización del estudio económico	42

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.RESULTADOS	43
4.1.1. Organización y administración de la empresa	43
4.1.2. Estudio económico financiero	59
4.2 DISCUSIÓN	63
CONCLUSIONES	64
RECOMENDACIONES	65
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Demanda nacional de bolas para molienda	10
Tabla 2: Proyección de la demanda de bolas para molienda (t)	11
Tabla 3: Proyectos de inversión minera	15
Tabla 4: Análisis de las bolas fundidas de fundición blanca de alto cromo	17
Tabla 5: Composición de la chatarra	18
Tabla 6: Composición de las ferroaleaciones	19
Tabla 7: Materiales e insumos	19
Tabla 8: Cantidad de ácido bórico adicionado y relación entre temperatura de fusión y de sinterizado	26
Tabla 9: Componentes de la carga para producir bolas de molino	29
Tabla 10: Balance de carga para producir bolas de acero fundido al 10 % de Cromo	29
Tabla 11: Rendimiento de los agregados	30

Tabla 12: Secuencia de operaciones	30
Tabla 13: Cuadro de asignación de personal	44
Tabla 14: Parámetros del proyecto	44
Tabla 15: Especificaciones de Hornos de Inducción	51
Tabla 16: Dimensionamiento de la colada continua	54
Tabla 17: Dimensionamiento de hornos de tratamiento térmico	55
Tabla 18: Inversión del proyecto	59
Tabla 19: Producción anual	59
Tabla 20: Financiamiento	60
Tabla 21: Costos de producción	60
Tabla 22: Flujo de caja económico	61
Tabla 23: Flujo de caja financiero	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Proyección anualizada de inversiones 2018-2022	14
Figura 2: Oferta de bolas de molienda en el Perú	18
Figura 3: Fabricación del crisol del horno	28
Figura 4: Diagrama del estudio	36
Figura 5: Organización de la empresa	43
Figura 6: Arreglo general de la planta	48
Figura 7: Horno de inducción	49
Figura 8: Hornos de inducción	50
Figura 9: Máquina de colada continua de bolas fundidas	52
Figura 10: Máquina de colada continua de bolas fundidas	53
Figura 11: Máquina de colada continua de bolas fundidas	53
Figura 12: Horno de tratamiento térmico	57
Figura 13: Cuchara de colada	58

RESUMEN

El presente estudio, trata sobre la factibilidad de instalar una planta mediana de producción de bolas fundidas para molienda de minerales, a partir de una fundición blanca de mediano contenido de cromo en la región Tacna, por ser una de las zonas más importantes de producción minera en el país y con grandes posibilidades de ofrecer un mercado para la venta de las bolas de molienda, dirigido principalmente a la mediana minería de la región sur del país.

La tecnología empleada es por fundición en horno de inducción, coladas en moldes permanentes y tratadas térmicamente para ajustar sus propiedades de dureza y resistencia al impacto que respondan óptimamente a las necesidades de los usuarios.

Se desarrolla la ingeniería básica y se realiza una evaluación económica para demostrar la buena rentabilidad del proyecto, que sirva de base para incentivar algunos empresarios de la zona a invertir en este proyecto y con ello contribuir al desarrollo económico e industrial de la región Tacna.

Palabras clave: Producción de bolas para molienda de minerales

INTRODUCCIÓN

El Perú es uno de los países del mundo con un gran potencial minero, ocupa los primeros lugares en la producción de varios metales como cobre, oro, plata plomo zinc, hierro y otros.

El Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) ha elaborado un valioso estudio del potencial minero peruano y su proyección al año 2050, donde se puede apreciar la diversidad de oportunidades que se le presentan a diferentes regiones del Perú para aprovechar este potencial minero en bien del desarrollo de cada una de ellas.

Tacna, está ubicada en la región sur del Perú, territorio en el cual, se desarrollarán importantes proyecto mineros como Quellaveco, Ampliación Toquepala, Tía María, Corocchohuayco, San Gabriel, Pampas del Pongo, Macusani, Proyecto Crespo, Corani, Proyecto Ollachea, Proyecto Quechua, Proyecto los Calatos, Proyecto Safranal, etc.

La región sur del país genera el 50 % del valor de la producción minera del Perú, en consecuencia, constituye un gran mercado para el abastecimiento de bolas de molienda, que es el propósito del presente

trabajo para la instalación de una planta de producción de bolas de molienda en Tacna, para abastecer las operaciones mineras de la zona sur.

Se propone que la producción de bolas para molienda de minerales, se efectúe a partir de chatarra de acero, en hornos de inducción y en colada continua con moldes permanentes, que se denominan bolas fundidas. Las bolas para molienda, también se producen a partir de barras de acero mediante forja en caliente.

Para el presente proyecto se ha seleccionado la tecnología de producción de bolas para molienda a partir de chatarra y ajustar la composición para una fundición blanca de bajo cromo (10 %) en un horno de inducción y colar en moldes permanentes, seguido de un tratamiento térmico de ajuste de la dureza y resistencia al impacto.

El tipo de aleación corresponde a una de bajo cromo (10 % Cr), con un contenido de carbono de 2,8-3,0 %, que es muy utilizada a nivel mundial para la producción de bolas.

El estudio económico demostrará la buena rentabilidad del proyecto.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Antecedentes del problema

El Perú es un país minero, se ubica entre los cinco primeros países que venden metales a nivel mundial. En el periodo 2008-2010 hubo un incremento de la producción minera de 30 %, convirtiéndose en el segundo productor mundial, de cobre, después de Chile, primeros en plata, segundos en zinc, cuarto en plomo y quinto en oro. Como consecuencia del desarrollo minero en este periodo la producción de bolas para molienda se ha incrementado notablemente. El crecimiento de la demanda de bolas de molienda, es consecuencia de haber entrado en operación nuevas plantas mineras de cobre y oro en los 4 años anteriores como Antamina (sulfuros), Cerro Verde (sulfuros), Cerro Lindo (polimetálico) etc.

El programa de inversiones mineras en el país, estimado en un orden de 49 472 millones de dólares en los próximos años (Ministerio de Energía y Minas, julio 2017), producirá un incremento apreciable de la demanda de bolas de molienda, tan intenso como el del periodo 2008-2010, como

consecuencia de entrada en operación de 30 nuevas minas, entre las que destacan: Antapacay, La Zanja, Marcobre, Quellaveco, Cañariaco,

El Galeno, La Granja, Michiquillay, Toromocho, etc. La mayor demanda de bolas de molienda generará la necesidad de instalar nuevas plantas de fabricación de bolas de molienda.

Problemática de la investigación

El tema de investigación del proyecto es sobre el estudio del mercado de bolas de molienda, para determinar una probable demanda que asegure la rentabilidad del proyecto, así como las especificaciones del producto que podría competir en el mercado de bolas.

Otro aspecto de la investigación radica en el tipo de tecnología a emplearse de las muchas alternativas que existen pero que sea de baja inversión de costos aceptables y de una calidad competitiva.

1.2.FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La región sur del país será una de las principales zonas donde se desarrollará la minería; por lo que, es necesario que la región Tacna, también tenga la posibilidad de producir bolas de molienda, generando

empleo y desarrollo económico, aprovechando el desarrollo minero y que resulta ser una de las pocas posibilidades de la región para desarrollar su industria.

Se propone que la producción de bolas para molienda de minerales, se efectúe a partir de chatarra de acero, en hornos de inducción y en colada continua con moldes permanentes, las cuales se denominan bolas fundidas. Las bolas para molienda, también se producen a partir de barras de acero mediante forja en caliente.

El presente estudio propone la instalación de una planta de producción de bolas de molino fundidas de 18 t/d en hornos eléctricos de inducción, por requerirse, con este tipo de tecnología, de una inversión baja y costos de producción competitivos, así como de un menor costo de transporte a los probables mineros usuarios de este producto.

La región sur del país será una de las principales zonas del país donde se desarrollará la minería; por lo que, es necesario que la región Tacna, también tenga la posibilidad de producir bolas de molienda, generando empleo y desarrollo económico, aprovechando el desarrollo minero y que resulta ser una de las pocas posibilidades de la región para desarrollar su industria.

Se propone que la producción de bolas para molienda de minerales, se efectúe a partir de chatarra de acero, en hornos de inducción y en colada continua con moldes permanentes, las cuales se denominan bolas fundidas. Las bolas para molienda, también se producen a partir de barras de acero mediante forja en caliente.

¿Es un negocio rentable y sostenible en el tiempo instalar una planta de producción de bolas de molienda en Tacna?

1.3. JUSTIFICACIÓN O IMPORTANCIA

- Abastecer de bolas de molienda a los mineros de la región
- Contribuir al desarrollo industrial de Tacna
- Probar la factibilidad de plantas medianas de producción de bolas de molienda
- Obtener costos competitivos
- Generar empleo para la región

1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES

El presente proyecto busca incentivar al empresariado tacneño para que incursione en el campo de suministro de materiales para la industria minera, por ser un sector que cuenta con las mejores posibilidades de

crecimiento en la zona sur del país y de este modo contribuir al desarrollo industrial de la región Tacna. Asimismo, se incentiva el uso de los recursos naturales de la región sur como los minerales de hierro de Tacna, Puno y los carbones de Moquegua en un futuro.

El principal recurso para el proceso es la chatarra de acero, siendo la chatarra nacional insuficiente para cubrir las necesidades de las empresas metalúrgicas, teniendo que importarse la mayor proporción y esta circunstancia convierte el suministro de este insumo en una actividad con cierto grado de dificultad más no imposible.

Por otra parte, el mercado de bolas está cubierto por grandes empresas nacionales y solo el crecimiento de la minería en los próximos años garantiza la posibilidad de incursionar en este rubro, sobre todo teniendo en cuenta el sector de la pequeña y mediana minería.

1.5 OBJETIVOS

Objetivo general

Analizar la factibilidad de instalar una planta de producción de bolas de molienda en la región Tacna que contribuya a generar empleo y desarrollo industrial, teniendo en cuenta que la minería es una de los pocos sectores que pueden generar desarrollo económico en la región.

Objetivos específicos

- Demostrar la prefactibilidad de una planta de producción de bolas de molienda de baja capacidad, baja inversión y costos competitivos.
- Demostrar que la tecnología de los hornos de inducción es la adecuada para lograr lo indicado en objetivo general.
- Aprovechar la chatarra que se genera en la región, evitando que sea trasladada a Ica y Lima, pagando un mejor precio que será compensado por el menor costo de transporte.

1.6 HIPÓTESIS

Este proyecto, al estudiar todos los factores productivos como los técnicos y económicos demostrarán que la inversión en una planta de producción de bolas de molienda en Tacna, será un negocio rentable y sostenible en el tiempo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

La pequeña y mediana minería afronta problemas para abastecerse de bolas de molienda, dado que la producción de las grandes empresas como: (Fundición Callao, MEPSA S.A, aceros chilca y Moly-Cop Perú (ADESUR)) siempre están comprometidas con los grandes usuarios.

2.2. BASES TEÓRICAS

Análisis de la demanda

El Perú es un país eminentemente minero, dado que estamos entre los cinco primeros países que venden metales a nivel mundial. En el periodo 2008-2010 hemos tenido un incremento de la producción minera de 30 %, convirtiéndonos en el segundo productor mundial, de cobre, después de Chile, primeros en plata, segundos en zinc, cuarto en plomo y quinto en oro.

Como consecuencia del desarrollo minero en este periodo la producción de bolas para molienda se ha incrementado notablemente.

Tabla 1
Demanda nacional de bolas para molienda

Demanda nacional de bolas para molienda (t)			
	2015	2016	2017
Producción nacional	140 000	174 000	188 100
Importación	65 200	81 500	91 300
Exportación	15 600	14 500	11 600
Demanda total	220 800	270 000	291 000
Variación de la demanda		22 %	8 %
Precio CIF Callao (\$/t)	900	1 333	1 056

Fuente: Ministerio de la Producción (Año 2018)

Considerando la producción nacional más la importación menos la exportación, se ha determinado que la demanda total nacional en el año 2017 fue de 267 800 toneladas y para el año 2018 está estimada en 300 000 t/año.

El incremento de la demanda total de 22 % en 2016 y 8 % para el 2017, es consecuencia de haber entrado en operación nuevas plantas mineras de cobre y oro en los años anteriores como Antamina (sulfuros), Cerro Verde (sulfuros), Cerro Lindo (polimetálico), Las Bambas, etc.

El programa de inversiones mineras en el país, del orden de 54 650 millones de dólares en los próximos 10 años, producirá un incremento apreciable de la demanda, tan intenso como el del periodo 2008-2010, como consecuencia de entrada en operación 30 nuevas minas, entre las que destacan: Antapacay, La Zanja, Marcobre, Quellaveco, Minas Conga, Cañariaco, El Galeno, La Granja, Michiquillay, Toromocho, etc. Por ello se ha estimado la siguiente proyección de la demanda.

Tabla 2
Proyección de la demanda de bolas para molienda (t)

Año	demanda total (t)	variación de la demanda (%)	producción del proyecto (t)	porcentaje de la demanda (%)
2018	300 000	3,0	5 000	1,7
2019	315 000	5,0	5 000	1,6
2020	330 750	5,0	5 000	1,5
2021	347 280	5,0	5 000	1,4
2022	357 700	3,0	5 000	1,4
2023	368 467	3,0	5 000	1,4
2024	379 500	3,0	5 000	1,3
2025	391 000	3,0	5 000	1,3

Fuente: Elaboración propia

El incremento de la demanda en los próximos 8 años será de 30 %, que representa un incremento de 91 000 toneladas de bolas de molino, considerando un incremento anual promedio de 3,7 %, con un promedio de 11 400 toneladas cada año, dependiendo del número de nuevas minas y de cuántas entren en operación cada año. Por ejemplo, una mina que triture y muele 50 000 toneladas día requerirá aproximadamente 10 000 toneladas de bolas al año, Mina Justa, Pampas del Pongo y Quellaveco que iniciarán sus operaciones el 2019 y 2021 requerirán 30 000 toneladas de bolas.

La producción del proyecto, representa el 1,7 % de total de la demanda actual y solamente el 5,5 % del incremento de la demanda en el periodo 2018-2025.

En la tabla N° 3, se muestra el programa de inversión minera del país, en el que se puede apreciar la gran cantidad de nuevas minas en un periodo relativamente corto del 2018 al 2023.

Proyección de inversiones 2018-2022

La proyección de inversiones para el período 2018-2022 asciende a US\$ 20,819 millones, dicho monto representa el 35,6 % del monto global de inversiones previsto en la cartera. En el 2018 se espera una inversión ascendente a US\$ 2,154 millones, lo cual representa el 10 % del total de

inversiones a realizarse en el periodo 2018-2022. Esto se debe a que, en dicho año, 3 proyectos estarían culminando su construcción, a la vez que otros 9 estarían iniciando construcciones. A su vez, en el 2019 se tiene proyectada una inversión de US\$ 2,929 millones, significando un incremento de 36 % respecto del año anterior. En dicho año, 5 proyectos más estarían iniciando construcciones, los que sustentan dicho resultado. Las inversiones proyectadas para el 2020 continúan la tendencia creciente con US\$ 4,668 millones, significando un crecimiento de 59 % respecto del año anterior. Si bien solo 4 proyectos iniciarán construcciones en dicho año, el crecimiento sostenido de las inversiones anuales de proyectos importantes como Quellaveco, Pampa de Pongo, Mina Justa y Ampliación Toromocho, sustentan este resultado.

Por su parte, se tiene previsto que el 2021 sea el año de mayor inversión durante el periodo 2018-2022 con un monto de US\$ 6,522 millones que representa un crecimiento de 40 % respecto del año anterior. Este resultado favorable se explicaría por el inicio de construcción de 7 proyectos más y por los elevados montos de inversión proyectados en Quellaveco y Pampa de Pongo hacia el final de su etapa de construcción.

Finalmente, para el 2022 se proyecta una inversión de US\$ 4,546 millones, significando una reducción de 30 % respecto del año anterior. Este resultado se explicaría por la culminación de construcción de

importantes proyectos como Mina Justa, Corani, Ampliación La Arena y Optimización Lagunas Norte.

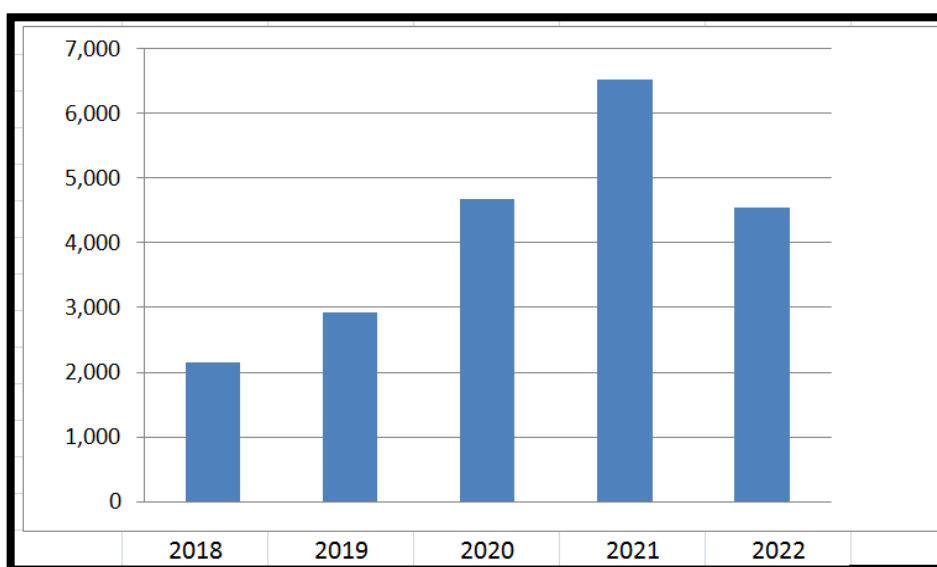


Figura 1. Proyección anualizada de inversiones 2018-2022 (Millones de US\$)

Fuente: Cartera de proyectos MINEM (2018)

Proyección de inversiones después del 2022

La proyección de inversiones para el período 2023-2027 asciende a US\$ 33,839 millones (58 % del monto global de inversiones), de los cuales US\$ 3,765 millones corresponden a 8 proyectos que culminarían construcciones en dicho periodo, mientras que los US\$ 30,074 millones restantes corresponden a los 21 proyectos que aún no definen fecha de inicio de construcción; pero, que estarían comprendidos en ese periodo.

Tabla 3
Proyectos de inversión minera

Inicio de Construcción	Puesta en marcha	Proyecto	Operador	Región	Tipo de mina	Mineral principal	Etapas de Avance	Estudio de Impacto Ambiental (EIA)	Inversión global (millones de US\$)
En construcción	2018	Ampliación Toquepala	Southern Perú Copper Corporation, Sucursal del Perú	Tarma	Tajo abierto	Cobre	Construcción	Aprobado	1,255
	2018	Ampliación Marcona	Shougang Hierro Perú S.A.A.	Ica	Tajo abierto	Hierro	Construcción	Aprobado	1,300
	2018	Ampliación Shahuindo (fase II)	Shahuindo S.A.C.	Cajamarca	Tajo abierto	Oro	Construcción	Aprobado	109
2018	2021	Ampliación Pachapaqui	ICM Pachapaquí S.A.C.	Ancash	Subterránea	Zinc	Factibilidad	Aprobado	117
	2020	Ampliación Toromocho	Minera Chinato Perú S.A.	Junín	Tajo abierto	Cobre	Factibilidad	Aprobado	1,300
	2020	Ariana	Ariana Operaciones Mineras S.A.C.	Junín	Subterránea	Cobre	Ing. de detalle	Aprobado	125
	2021	Corani	Bear Creek Mining S.A.C.	Puno	Tajo abierto	Plata	Ing. de detalle	Aprobado	585
	2021	Mina Justa	Marcobre S.A.C.	Ica	Tajo abierto	Cobre	Ing. de detalle	Aprobado	1,348
	2022	Pampa de Pongo	Jinzhao Mining Perú S.A.	Arequipa	Tajo abierto	Hierro	Ing. de detalle	Aprobado	2,500
	2019	Quecher Main	Minera Yanacocha S.R.L.	Cajamarca	Tajo abierto	Oro	Ing. de detalle	Aprobado	300
	2022	Quellaveco	Anglo American Quellaveco S.A.	Moquegua	Tajo abierto	Cobre	Ing. de detalle	Aprobado	4,882
	2020	Relaves B2 San Rafael	Minsur S.A.	Puno		Estaño	Ing. de detalle	Aprobado	200
2020	Ampliación Bayóvar	Compañía Minera Mski Mayo S.R.L.	Piura	Tajo abierto	Fosfato	Factibilidad	Aprobado	520	
	Ampliación La Arena (fase II)	La Arena S.A.	La Libertad	Tajo abierto	Oro	Factibilidad	Aprobado	130	
2019	Ampliación Santa María	Compañía Minera Poderosa S.A.	La Libertad	Tajo abierto	Oro	Factibilidad	Aprobado	114	
	Optimización Lagunas Norte	Minera Barrick Misqichilca S.A.	La Libertad	Tajo abierto	Oro	Factibilidad	Aprobado	640	
2022	Pukaqaga	Nexa Resources Perú, S.A.A.	Huancavelica	Tajo abierto	Cobre	Factibilidad	Aprobado	705	
2020	2022	Anubia	Anubia S.A.C.	Apurímac	Tajo abierto	Cobre	Pre-factibilidad	No presentado	90
	2023	Corocochuayco	Compañía Minera Antapaccay S.A.	Cusco	Tajo abierto y subterránea	Cobre	Factibilidad	Aprobado	590
	2022	Trapiche	El Molle Verde S.A.C.	Apurímac	Tajo abierto	Cobre	Pre-factibilidad	No presentado	650
	2023	Zatranal	Compañía Minera Zatranal S.A.C.	Arequipa	Tajo abierto	Cobre	Factibilidad	No presentado	1,160
2024	Fosfatos Pacífico	Fosfatos del Pacífico S.A.	Piura	Tajo abierto	Fosfato	Factibilidad	Aprobado	831	
	Haqira	Minera Antares Perú S.A.C.	Apurímac	Tajo abierto y subterránea	Cobre	Pre-factibilidad	En elaboración	2,824	
2021	2022	Los Chancas	Southern Perú Copper Corporation, Sucursal del Perú	Apurímac	Tajo abierto	Cobre	Pre-factibilidad	No presentado	2,800
	2023	Magistral	Nexa Resources Perú, S.A.A.	Ancash	Tajo abierto	Cobre	Factibilidad	Aprobado	480
	2023	Ollachea	Minera Karl Kulu S.A.	Puno	Subterránea	Oro	Ing. de detalle	Aprobado	178
	2023	Quicay II	Corporación Minera Centauro S.A.C.	Pasco	Tajo abierto	Oro	Pre-factibilidad	No presentado	400
	2023	San Gabriel (Ex Chuanabani)	Compañía de Minas Buenaventura S.A.	Moquegua	Subterránea	Oro	Pre-factibilidad	Aprobado	450

Fuente: cartera de proyectos MINEM (2018)

Características del producto

De la gran variedad de aleaciones de hierro y acero y de las diferentes formas de producir las bolas para molienda, se ha elegido finalmente, las bolas fundidas de fundición blanca de bajo cromo 10 % Cr,

por ser muy utilizada a nivel mundial y por las ventajas sobre las bolas fundidas de acero, como es una superficie más dura y de mejores posibilidades de desgaste uniforme.

Otra ventaja comparativa consiste en que las bolas fundidas de bajo cromo, como es nuestro caso, solo requerirán de un tratamiento térmico de acondicionamiento a 1053 k (780 °C), para transformar la austenita retenida en carburos y microestructuras de la más alta calidad, que aseguran una dureza de 60 Rockwell C y de una alta resistencia al impacto; a diferencia de las bolas de acero fundido que requieren de un tratamiento térmico más costoso y complicado para alcanzar los mismos resultados. La presencia del alto contenido de cromo y carbono 2,8-3,0 %, en nuestro caso es la causa principal de esta ventaja. En el presente cuadro se indica la composición y dureza de las bolas a producirse.

Tabla 4
Análisis de las bolas fundidas de fundición blanca de alto cromo

Elemento	%
Fe	85,02
C	2,9
Si	1,2
Mn	0,8
Cr	10,0
P	0,06
S	0,06
Dureza (RC)	55-58

Fuente: Elaboración propia

Precio de las bolas de molienda

El precio promedio de las bolas de fundición blanca de alto cromo, se ha establecido en 1 000 US \$ la tonelada, teniendo en cuenta un mínimo y un máximo del mercado de bolas de molienda entre 900 y 1 200 US \$ la tonelada, para la producción nacional y en el mismo rango para las bolas importadas CIF Callao.

Análisis de la oferta

La oferta de bolas para molienda, está constituida principalmente por tres grandes empresas como son MEPSA S.A., ACEROS CHILCA Y Moly-Cop Perú (ADESUR), que juntas abastecen al 90 % del mercado nacional. La Planta La Joya recién ha iniciado operaciones el 2018.

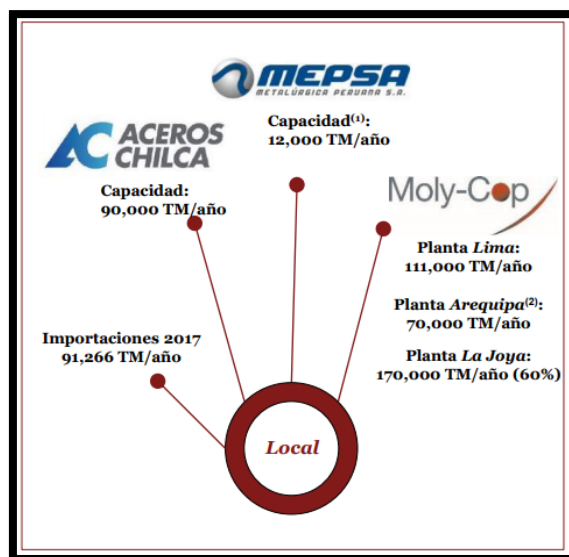


Figura 2. Oferta de bolas de molinadora en el Perú

Fuente: MEPSA (18 de Julio 2018)

2.2.1 Estudio técnico

Materias primas: chatarra

Tabla 5

Composición de la chatarra

Elemento	%
Fe	99,710
C	0,038
Si	0,037
Mn	0,135
P	0,0400
S	0,040

Fuente: Elaboración propia

Ferroaleaciones

Tabla 6
Composición de las ferroaleaciones

Elemento		Fe-Cr	Fe-Mn	Fe-Si
Fe	%	38,77	16,92	39,86
C	%	0,15	7	0,08
Si	%	1	1	60
Mn	%	-	75	-
Cr	%	60	-	-
P	%	0,040	0,04	0,04
S	%	0,040	0,04	0,04

Fuente: Elaboración propia

Insumos

Tabla 7
Materiales e insumos

Materiales e insumos
Carbón 616 (grafito granular)
Escorificante
Cartuchos para pirómetro de inmersión

Fuente: Elaboración propia

Energía eléctrica

El consumo normal de energía eléctrica en el horno de inducción está en el rango de 600 kw/h de bolas de molienda y en toda la planta de

750 kw/h de bolas de molienda, para lo cual, será necesario contar con una subestación, cuyo costo estará incluido en el equipamiento de la planta.

Instalación y mantenimiento del horno de inducción

Componentes del equipo

El equipo consta de 5 componentes:

- Horno con su bobina de inducción
- Cables de potencia con refrigeración por agua
- Dispositivos de suministro de potencia (cabina y condensador)
- Dispositivos de enfriamiento por agua
- Dispositivo de basculamiento del horno

El horno de inducción pertenece al grupo de los hornos eléctricos y es un tipo de horno en el que el calor es generado por la inducción eléctrica de un medio conductivo como es el metal a fundirse en un crisol alrededor del cual se encuentran enrolladas bobinas magnéticas

Por la bobina de cobre circula el agua de enfriamiento durante la operación; mientras que, los tubos deben aislarse térmicamente. Las barras de cobre exteriores a la bobina estarán conectadas con los cables refrigerados por agua.

El revestimiento pegado a la bobina de inducción es apisonado y sinterizado con arena de sílice mezclado con aglomerantes.

La basculación del horno se realiza mecánicamente por un motor eléctrico y su caja de control.

El dispositivo de suministro de potencia comprende elementos SCR para convertir la corriente alterna AC de 3 fases en una fase de corriente continua DC-AC. Los componentes eléctricos comprenden 5 partes:

- Rectificador e inversor de máxima onda (loop)
- Control de onda (loop)
- Sistema de protección de sobrecorriente y sobrevoltaje
- Condensador (compensation capacitor set)
- Sistema de relay de control (relay control sistem)

Los cables refrigerados por agua conectan el dispositivo de suministro de potencia con la bobina de inducción.

El sistema de enfriamiento sirve para controlar la temperatura del sistema de inducción y los cables conductores de potencia.

Instalación y adecuación

El equipo debe ser instalado sobre la cimentación debidamente construida que comprende:

- Bases del horno (columnas)
- Pozo de colado de emergencia
- Canales para cables de conducción
- Plataforma para la cabina de control
- Plataforma de trabajo
- Pared de protección de cables conductores en el pozo de emergencia

Se debe considerar los siguientes pasos:

- Los cables refrigerados por agua deben estar conectados lo más cercano posible.
- Conectar con cuidado los tubos internos de ingreso y salida del sistema de enfriamiento del horno y luego conectarlos con el sistema de abastecimiento de agua. Ajustar la presión interna del agua a 38 PSI y el relay de presión interna de la cabina de control a 16 PSI. Chequear que no haya ninguna fuga en el sistema sobre todo interior, para evitar accidentes.

- Chequear y ajustar el dispositivo de suministro de potencia hasta operación normal de acuerdo con el manual SCR para estos dispositivos.
- Construir el revestimiento refractario
- No calentar el horno ni comenzar a fundir hasta que todos los componentes estén ajustados satisfactoriamente y chequeados todos los requerimientos en conformidad con el procedimiento que se indica a continuación:
 - Sección del horno: Después de determinar en cuál de los dos hornos se fundirá, se debe conectar los cables de potencia refrigerados con agua, mediante el switch de cambio. Este cambio debe realizarse con el horno sin carga.
 - Abrir la válvula interna de agua. Inspeccionar la presión del sistema de enfriamiento por agua para el dispositivo de potencia y del horno; luego chequear un flujo laminar de agua. Durante el calentamiento y fusión ajustar continuamente la presión y el flujo de agua, manteniendo la temperatura de salida del agua del inductor en 323 K (50 °C).
 - Operar el convertidor de frecuencia de acuerdo con las normas de funcionamiento para dispositivos SCR.

- En el transcurso de la fusión, se debe estar atento para evitar el sinterizado de la sílice que rodea al crisol. Cuando la temperatura ha llegado a la temperatura de colado, reducir la frecuencia de salida, mantener la temperatura o cerrar el suministro de potencia, luego bascular el horno para colar.
- Después de concluido el colado, cerrar el suministro de potencia; pero, es muy importante no parar el flujo de agua hasta que el horno se haya enfriado, esto significa 6 a 8 horas de flujo de agua después del colado.

Construcción del revestimiento

El tiempo disponible de operación del horno depende de la calidad de los materiales con que se construya el crisol y del cuidado del proceso de compactación y sinterizado de sílice.

- El crisol se construye con una arena refractaria de alto contenido de cuarzo, debe tener sílice (SiO_2), mayor a 99,3 %, debido a que el estado cristalino del cuarzo cambia con la temperatura. La granulometría del cuarzo afecta la densidad del sinterizado del revestimiento. Durante la operación continua, la temperatura del revestimiento cambia significativamente produciendo esfuerzos

térmicos y flujo de calor intermitente lo cual afecta la vida del revestimiento.

- La granulometría y los cambios de estado cristalino disminuye la compactación, como resultado ocurre segregación y pérdida de la continuidad de la compactación y el sinterizado; esto causa corrosión del revestimiento sinterizado y grietas. Por lo tanto, se debe tener mucho cuidado con el grado de pureza del material y su granulometría.
- Para revestimientos ácidos se usa ácido bórico como agente aglomerante que debe ser consistente con el material apisonado y la temperatura de trabajo. En términos generales, se incrementa el ácido bórico cuando se quiere mejorar la resistencia del revestimiento y la temperatura de trabajo será menor y la granulometría menor 0,5 mm, libre de grumos y materiales extraños.

Tabla 8

Cantidad de ácido bórico adicionado y relación entre temperatura de fusión y de sinterizado

Caso	Material	Temp. Fusión (° C)	Ácido Bórico (%)	Temp. Sinter. (° C)	Tiempo Sinter. (h)
1	Hierro gris	(1400)	1,8-2,5	(1450)	3-4
2	Hierro gris	(1400-1450)	1,2-2,0	(1480)	3-4
3	Hierro gris	(1450-1500)	1,0-1,7	(1500-1520)	2-3
4	Hierro gris	(1500-1550)	1,0-1,6	(1550)	1-2
5	Acero alto C	(1550-1600)	0,8-1,5	(1600)	0,5
6	Ace. medio C	(1600)	0,5-0,9	T. colado	0,2-0,5

Fuente: Manual de instalación de los hornos de inducción de la ESME (2008)

- Considerando las cantidades requeridas, se deben mezclar y secar a 573 K (300 °C), libre de escoria, escombros o chatarra de hierro. Añadir ácido bórico y estará lista para apisonarla y sinterizarla.
- La granulometría de la arena de cuarzo será:
 - Malla 8-10: 15 %
 - Malla 10-16: 35 %
 - Malla 16-24: 25 %
 - Malla 250-400: 25 %
- Aplicar una capa de arcilla de 15-25 mm pegada a la pared interior del bobina, luego colocar 5 m de un tejido aislante de fibra de vidrio

libre de álcalis; en la parte superior de esta capa colocar un anillo flexible de acero (8-10 mm diámetro) cuyo diámetro exterior será ligeramente mayor que el diámetro interior de la bobina y presione este tejido aislante contra la pared interior de la bobina luego aplique gradualmente la arena de cuarzo preparada con su aglomerante seguida de su apisonado y luego el sinterizado. El revestimiento se aplica aproximadamente en capas de 40-50 mm, debiendo ser la primera capa mayor a 50 mm. Primero con una varilla se ajustará el material y luego con un apisonador se compactará. El fondo se cargará con 10 mm mayor que el espesor indicado y luego se compactará.

- Calentar gradualmente el molde de acero con baja potencia hasta aproximadamente 1473 K (1200 °C), luego llenar con retornos limpios y sin óxido y calentar a completa potencia hasta que se funda la carga.

Incrementar la temperatura a la de sinterizado y mantener el tiempo indicado en la tabla para cada caso. Luego fundir 2 a 3 coladas para obtener una buena pared vidriada. Las primeras fusiones se deben realizar con poco material retornado limpio y libre de óxidos, mezclados con 0,5 Kg de vidrio triturado.



Figura 3. Fabricación del crisol del horno

Fuente: Internet (2018)

Operación del horno de inducción

Proceso de fundición

La aleación se produce en un horno de inducción empleando como materias primas: chatarra de acero y ferroaleaciones. El colado se realiza en máquina de moldeo automática.

Tipo de producto: Acero 10 % de cromo sin molibdeno.

Tabla 9

Componentes de la carga para producir bolas de molino

(%)	Chatarra	Fe-Cr	Fe-Mn	Fe-Si	Grafito	Bolas
Fe	99,710	38,77	16,92	39,86	-	85,02
C	0,038	0,15	7	0,08	100	2,90
Si	0,037	1	1	60	-	1,20
Mn	0,135	-	75	-	-	0,80
Cr	-	60	-	-	-	10,00
P	0,0400	0,040	0,04	0,04	-	0,04
S	0,040	0,040	0,04	0,04	-	0,04

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10

Balance de carga para producir bolas de fundición de 10 % Cr

Adiciones	Peso Kg	%
Chatarra estructural	1586,0	77,22
Ferrocromo	340,0	16,55
Ferromanganeso	26,8	1,3
Ferrosilicio	43,0	2,09
Grafito	58,2	2,83
Total	2054,0	100,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11

Rendimiento de elementos de aleación de la fundición de 10 % Cr

Rendimiento	%
Rendimiento del Si en el Fe-Si	80
Rendimiento del Cr en el Fe-Cr	98
Rendimiento del Mn en el Fe-Mn	80
Rendimiento del C en el grafito	98
Perdida de Fe en la escoria	2

Fuente: Curso Pirometalurgia Z. Valdivia (2018)

Tabla 12

Secuencia de operaciones

Tiempo minutos	Adición chatarra	Potencia (Kw)	Frecuencia (Hz)	Voltaje (V)	Presión (Psi)	Temp. (°C)
0,0	554 kg	400	750	600	40	308K(35°C)
20,0	-	600	750	600	40	313K(40°C)
40,0	300 kg	800	750	700	40	313K(40°C)
60,0	300 kg	1000	750	700	40	313K(40°C)
80,0	300 kg	1500	750	1000	40	313K(40°C)
90,0	300 kg	1500	750	1000	40	313K(40°C)
100,0	300 kg	1500	750	1000	40	313K(40°C)
120,0	-	1500	7508	1000	40	313K(40°C)

Fuente: Referencia Fundición Ferrosa (2012)

El enfriamiento del horno tiene que continuar por 6 a 8 horas, para bajar la temperatura del crisol de modo que no afecte a la bobina y todo el

sistema del horno, para esto se deberá instalar un temporizador en la bomba de agua, para que siga funcionando por 6 a 8 horas.

Tratamiento térmico de las bolas de molienda

Como referencia a continuación se explica la microestructura que se obtiene en la condición de colado (as cast) en el molde:

En forma genérica la microestructura principalmente es de austenita con poca cantidad de perlita fina junto con una distribución de carburos, también se presenta una red bien distribuida de carburos de cromo que se precipitan alrededor de los límites de grano de la perlita. La dureza que se obtiene aproximadamente es de 47 HRC. La presencia de austenita en la condición de colado se debe a la presencia de cromo, debido a que el cromo actúa como un estabilizador de la austenita. El cromo baja la temperatura M_s y disminuye la velocidad crítica de enfriamiento evitando que la austenita se descomponga en agregados de ferrita y carburo.

Si a la microestructura de condición de colado se le realiza un revenido, ocurren las siguientes transformaciones:

La microestructura principalmente estará constituida por carburos finos precipitados en una matriz conteniendo perlita fina, austenita retenida y probablemente martensita, con una dureza de 58 HRC.

Durante el revenido, la austenita saturada expulsa el exceso de elementos aleantes en la forma de carburos finos, dejando de estar saturada y elevándose la temperatura Ms y Mf por encima de la temperatura del medio ambiente, de modo que en el subsiguiente enfriamiento de revenido la austenita se transforma en martensita parcial o totalmente, lo cual incrementa la dureza de 47 HRC a 58 HRC. La presencia de perlita fina se debe a que la austenita ha tenido un tiempo suficiente en el revenido para que se inicie su descomposición en ferrita y carburos a una temperatura lo suficientemente elevada propia del requerimiento de esta transformación.

La elevación de la dureza es consecuencia de la transformación parcial de la austenita de baja dureza en constituyentes como la martensita, carburos y perlita fina.

Las mejores alternativas de tratamiento térmico para el acero de 10 % de cromo son las siguientes:

a) Templado en aceite y revenido

Templado en aceite desde 1273 K (1000 °C), seguido de revenido a 773 K (500 °C)

La microestructura principalmente está constituida por carburos finos precipitados en una matriz conteniendo perlita fina, austenita retenida y probablemente martensita, que producen una dureza de 58 HRC.

La microestructura conseguida se puede explicar en la misma forma que la producida por el tratamiento de revenido de la condición de colado, solo que se tiene que tener en cuenta los tiempos de revenido y la temperatura a la que se realiza el revenido, con lo que se puede controlar el porcentaje de austenita retenida.

Por efecto del revenido, se aprecia la aparición de carburos de cromo en los límites de grano de la perlita.

b) Templado en agua y revenido

Templado en agua desde 1273 K (1000 °C) y revenido a 773 K (500 °C)

En este caso, ocurre la transformación de la martensita en perlita, reapareciendo los límites de grano y la aparición significativa de carburos de cromo en los límites de grano.

Este tratamiento produce un núcleo con una reducción de solo 8 % de dureza, pero en su superficie la dureza está mejorada en un 24 % a 58 HRC con respecto a la condición de colado (as cast), lo cual está relacionado con la disminución de la martensita y el aumento de la perlita.

Puede que, en la búsqueda de una mejor resistencia al impacto, la presencia de un porcentaje de austenita retenida resulte ser mejor que una cierta cantidad de perlita en su reemplazo.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

- **Fundición blanca**

Fundiciones en las que todo el carbono se encuentra combinado, formando cementita y que al romperse presentan fracturas de fundición blanca.

- **Ferroaleaciones**

Son las aleaciones de diferentes metales y cada una de ellas esta combinado con el hierro, así tenemos el ferrocromo, ferromanganeso, ferrosilicio, etc.

- **Crisol**

Es el recipiente de material refractario en donde se coloca la carga para ser fundida.

- **Microestructura**

Es la forma en la que se presentan las fases componentes de la aleación que se ha fabricado, también los cristales deformados y de un determinado tamaño que se observan en el microscopio.

- **Templado**

Es la operación de calentar la aleación en el estado sólido hasta una temperatura en la que la única fase existente sea la austenita, luego se enfriará en agua o en aceite para obtener microestructuras de alta dureza.

- **Revenido**

Es un tipo de tratamiento de liberación de las tensiones que se originan en el templado y de ajuste de las propiedades mecánicas finales de la aleación.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Para el diseño de la planta de producción de bolas de molienda de minerales, se deben determinar los parámetros en las etapas de fusión, colado y tratamientos térmicos. Para determinar la factibilidad del proyecto se analizará el estudio de mercado, el técnico y económico como se resume en la figura.

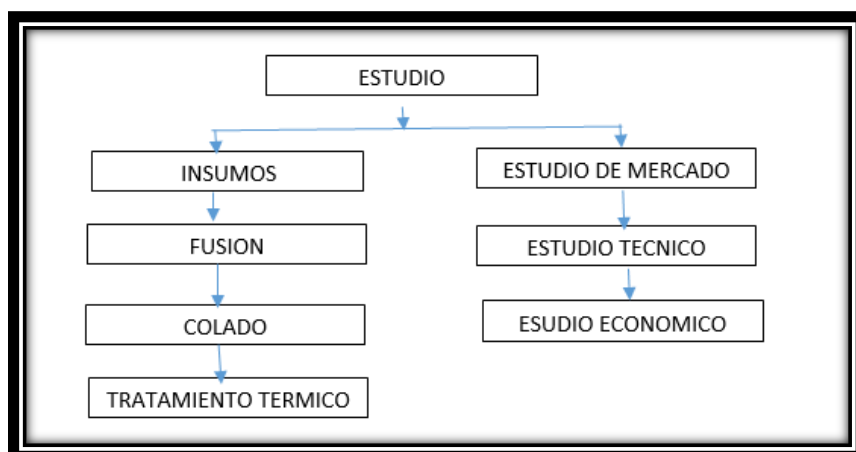


Figura 4. Diagrama del estudio

Fuente: Elaboración propia

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

Se ha considerado la inversión minera como la principal motivación del presente estudio, dado que ello significa una mayor cantidad de molienda de minerales y en consecuencia un mayor consumo de bolas en el país; es por ello, que los siguientes factores permiten dimensionar el proyecto:

- Inversión minera en el país
- Demanda de bolas de molienda en el país
- Oferta de bolas de molienda en el país

3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Las variables que afectan los resultados del presente estudio son las siguientes:

Variables independientes

- Demanda de bolas de molienda en el país

Variables dependientes

- Producción de bolas de molienda
- Rentabilidad del proyecto

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1. Demanda de bolas de molienda en el país

Como punto inicial se ha considerado la producción de bolas de molienda de los años 2015, 2016 y 2017, a los cuales se ha sumado la importación y la exportación de esos tres años, para obtener la demanda total del país.

3.4.2. Oferta de bolas de molienda en el país

Para la determinación de la oferta de bolas de molienda en el país, se ha considerado la información proporcionada por MEPSA sobre sus plantas de producción, básicamente la planta instalada en Lima y en la que tiene participación aceros chilca, asimismo se ha considerado la oferta de MOLY COP, con su planta recientemente inaugurada en la Joya Arequipa y otras de menor producción como fundición Callao y FUNVESA con bolas de molienda laminadas.

3.4.3 Determinación de los equipos indispensables para la producción de bolas de molienda

Para la elección del tipo de horno se ha tomado en cuenta las numerosas fundiciones en Lima que están usando los hornos de inducción de procedencia china, que son económicos de bajo costo de operación y mantenimiento y aceptable ciclo de vida.

Conociendo el tamaño del proyecto y el programa de producción, se seleccionó del catálogo de los fabricantes, el tamaño adecuado para una producción de 5 000 toneladas de bolas de molienda al año, resultando como lo más favorable dos hornos de 2 toneladas de capacidad por colada.

Para la elección de la Colada Continua, se ha desarrollado el siguiente análisis:

- Se ha descartado el sistema de colado en moldes de arena, porque en producción de bolas de molienda fundidas, nadie utiliza esta tecnología para producciones de alto tonelaje y si se trata de producciones menores la técnica recomendada son bolas de molienda laminadas.
- Dentro de la alternativa de colado en moldes permanentes, se tiene las máquinas continuas circulares como la de MEPSA, pero

recomendable para capacidades mayores a 5 000 toneladas anuales.

- Para una capacidad de 5 000 toneladas anuales se ha considerado conveniente emplear las máquinas continuas de sección cuadrada, movilizadas mediante pistones en las cuatro esquinas para darle continuidad a la operación, resultando esta técnica más versátil, desde el punto de vista de su operación, dado que permitirá paradas con mayor facilidad para correlacionarse con las operaciones de traslado del metal líquido con las cucharas en secuencias que se pueden alargar o acortar sin mayor repercusión en la eficiencia total de operación.

3.5 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

3.5.1 Determinación de la proyección de la demanda bolas de molienda

Para determinar la proyección de la demanda de bolas de molienda, se ha debido tener en cuenta el programa de inversión minera que continuamente la ha venido anunciando el Ministerio de Energía y Minas, sobre todo el programa que tiene mayor seguridad de realizarse en los próximos 5 años 2018-2022, con un monto total de 20 819 millones de dólares, y el programa de inversiones del 2023-2027 por 33 839 millones

de dólares que incrementará la demanda en dichos periodos en aproximadamente 50%.

3.5.2 Determinación de la composición de las bolas de molienda

Las bolas de molienda fundidas con contenido alto de cromo que mayormente se comercializan son las que tiene 14 % de cromo, para el presente proyecto se ha propuesto 10 % de cromo, con la finalidad de obtener un menor costo de producción sin sacrificar significativamente la resistencia al desgaste y la resistencia al impacto, teniendo en cuenta el tipo de usuario preferentemente pequeña y mediana minería.

3.5.3 Determinación del costo de producción

Los elementos del costo más importante son tres: la chatarra, el ferrocromo y la energía; sobre la chatarra se tiene una aceptable disponibilidad en la región Tacna, solo que se acumula y vende principalmente, para la planta de aceros Arequipa en Ica, pero pagando a un mayor precio es factible cambiar el destino de esta chatarra, lo cual permite el uso de los hornos de inducción que generan una mayor utilidad para manejar un mejor precio de compra.

Respeto al ferrocromo, su reducción de 14 % a 10 %, permitirá un ahorro y menor costo de producción.

Respecto al costo de energía, los hornos de inducción permiten obtener un costo de producción menor por tener un consumo unitario menor que los hornos trifásicos de arco eléctrico, que son los que necesariamente tienen que usarse para grandes volúmenes de producción.

3.5.4 Realización del estudio económico

El procedimiento utilizado para calcular la TIR es el mismo que se utiliza para calcular el VAN. Se puede utilizar el mismo tipo de cuadro y en vez de actualizar las corrientes de liquidez a una tasa de rechazo predeterminada, se pueden probar varias tasas de actualización hasta que se encuentre la tasa a la cual el VAN es cero. Esta tasa es la TIR y representa la rentabilidad exacta del proyecto (Zevallos W.).

Para los cálculos de la tasa interna de retorno (TIRE) y la tasa interna de retorno financiera (TIRF), se ha empleado el Excel, que nos ofrece la posibilidad de calcular directamente dichos valores introduciendo una tasa de actualización, que este caso es de 18 %.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Organización y administración de la empresa

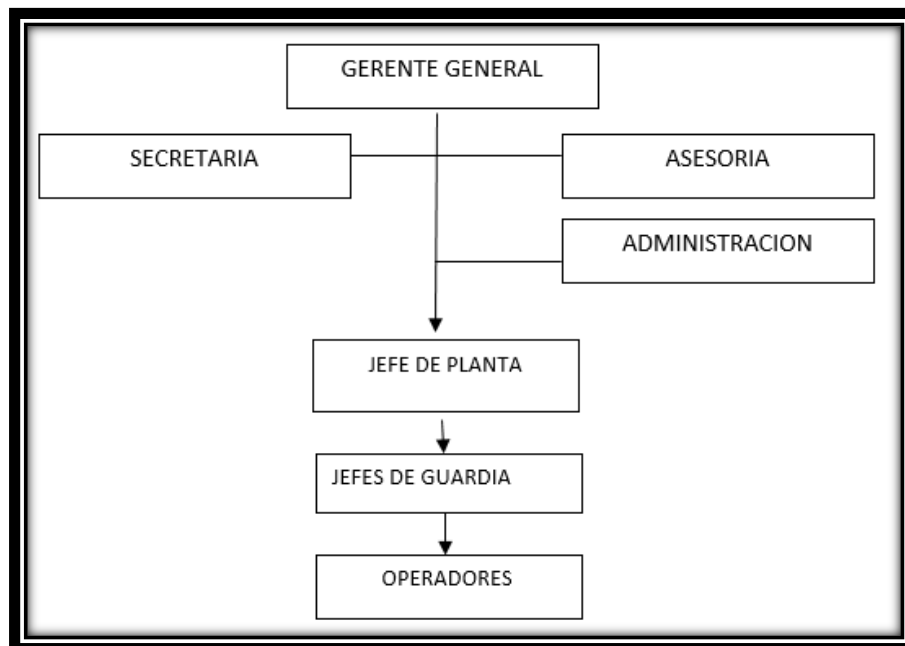


Figura 5. Organización de la empresa

Fuente: Elaboración propia

Cuadro de asignación de personal

Tabla 13
Cuadro de asignación de personal

Cant.	Mano de obra directa	Mes (\$)	Año (\$)	Factor	Total (Us \$)
01	Gerente general	1 500	28 000	1.3	23 400
	Planta de bolas de molienda				
01	Jefe de planta	1 000	14 000	1.3	18 200
02	Jefes de guardia	700	16 000	1.3	20 800
15	Operadores de horno	350	63 000	1.3	81 900
	Total				144 300
	Mano de obra indirecta				
01	Administrador	600	8 400	1.3	10 920
01	Jefe de ventas	600	8 400	1.3	10 920
01	Secretaria	300	4 200	1.3	5 460
02	Vigilantes	250	7 000	1.3	9 100
01	Chofer	300	4 200	1.3	5 460
25	Total				41 860

Fuente: Elaboración propia

Tamaño del proyecto

Tabla 14
Parámetros del proyecto

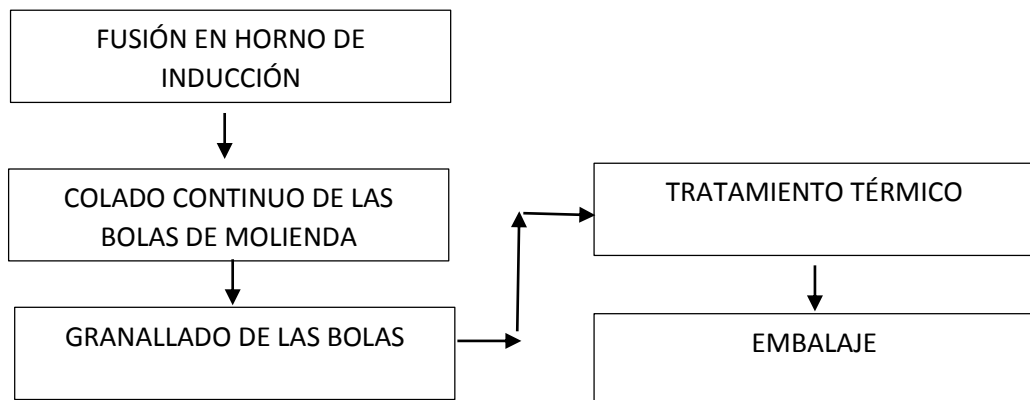
Parámetro	Unidad	
Producción anual de bolas	T	5 000
Eficiencia de operación	%	90
Horas programadas por día	H	12
t de bolas por mes	T	417
t de bolas por día	T	16
Capacidad del horno	T	2
Número de coladas por horno por día	T	4
Producción por horno por día	T	8
Número de hornos	c/u	2

Fuente: Elaboración propia

Ubicación del proyecto

La planta se podría ubicar en el Parque Industrial de Tacna

Diagrama de flujo



Fusión

La aleación se producirá en un horno de inducción, empleando como materias primas: chatarra de acero y ferroaleaciones.

El enfriamiento del horno, tiene que continuar por 6 a 8 horas, para bajar la temperatura del crisol de modo que no afecte a la bobina y todo el sistema del horno, para esto se deberá instalar un temporizador en la bomba de agua, para que siga funcionando por 6 a 8 horas.

Colado

El colado se realiza en moldes permanentes y están contruidos de fundición gris y forman parte de la mesa de colada continua con capacidad de refrigeración.

Tratamiento térmico de las bolas de molienda

En la condición de colado en el molde (*as cast*), la microestructura principalmente es de austenita con poca cantidad de perlita fina junto con una distribución de carburos, también se presenta una red bien distribuida de carburos de cromo que se precipitan alrededor de los límites de grano de la perlita. La dureza que se obtiene aproximadamente es de 47 HRC. La presencia de austenita en la condición de colado se debe a la presencia de cromo, debido a que el cromo actúa como un estabilizador de la austenita. El cromo baja la temperatura M_s y disminuye la velocidad crítica de enfriamiento evitando que la austenita se descomponga en agregados de ferrita y carburo. Si a la microestructura de condición de colado se le realiza un revenido, ocurren las siguientes transformaciones:

La microestructura principalmente estará constituida por carburos finos precipitados en una matriz conteniendo perlita fina, austenita retenida y probablemente martensita, con una dureza de 58 HRC.

Durante el revenido, la austenita saturada expulsa el exceso de elementos aleantes en la forma de carburos finos, dejando de estar saturada y elevándose la temperatura Ms y Mf por encima de la temperatura del medio ambiente, de modo que en el subsiguiente enfriamiento de revenido la austenita se transforma en martensita parcial o totalmente, lo cual incrementa la dureza de 47 HRC a 54 HRC. La presencia de perlita fina se debe a que la austenita ha tenido un tiempo suficiente en el revenido para que se inicie su descomposición en ferrita y carburos a una temperatura lo suficientemente elevada propia del requerimiento de esta transformación. La elevación de la dureza es consecuencia de la transformación parcial de la austenita de baja dureza en constituyentes como la martensita, carburos y perlita fina.

Distribución de la planta

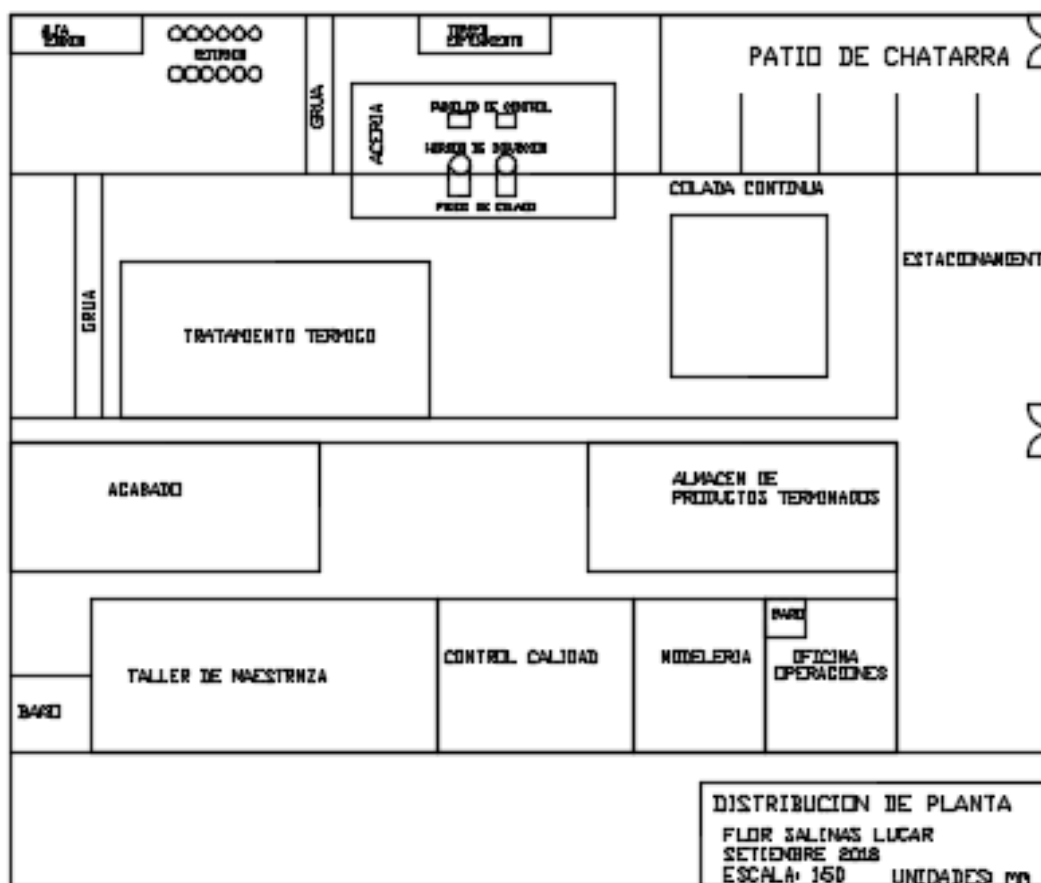


Figura 6. Arreglo general de la planta

Fuente: Elaboración propia

Especificaciones de equipos principales.

Horno de inducción

Capacidad : 2 toneladas por colada

Número de hornos : 2

Potencia : 1500 KW

Es un horno eléctrico en el que el calor es generado por calentamiento por la inducción eléctrica de un medio conductor (metal) en un crisol alrededor del cual se encuentran enrolladas bobinas magnéticas. Sirve para fundir la chatarra y ferroaleaciones necesarias para producir las bolas de acero.

Una ventaja del horno de inducción es que es limpio, eficiente desde el punto de vista energético, y es un proceso de fundición y de tratamiento de metales más controlable que con la mayoría de los otros tipos de calentamiento. Otra de sus ventajas es la capacidad para generar una gran cantidad de calor de manera rápida.



Figura 7. Horno de inducción
Fuente: Internet (octubre 2018)



Figura 8. Hornos de inducción
Fuente: Internet (octubre 2018)

Tabla 15
Especificaciones de hornos de inducción

Rated	Rated Power (KW)	Rated Frequency (HZ)	Transformer Configuration		Rectifier Pulse	Inductor Voltage (V)	Melting Rate (1750°C)	Power Consumption (KWh/t)
			Capacity (KVA)	Secondary Voltage (V)				
40T	25000KW	150 HZ	4*6300kva	8*6φ1500V	24 phase 48 pulse	4000V	38T	480
30T	20000KW	200 HZ	3*6300kva	6*6φ1500V	18 phase 36 pulse	4000V	29T	500
20T	11000KW	250 HZ	2*6300kva	2*6φ1250V	12 phase 24 pulse	3600V	20T	500
15T	10000KW	300 HZ	2*5500kva	2*6φ1250V	12 phase 24 pulse	3600V	15T	500
10T	6000KW	400 HZ	8000kva	6φ1250V	6 phase 12 pulse	3600V	10T	550
8T	5000KW	400 HZ	6300kva	6φ1250V	6 phase 12 pulse	3600V	8T	550
5T	2500KW	500 HZ	3150kva	6φ1250V	6 phase 12 pulse	3600V	5T	550
3T	2200KW	500 HZ	2500kva	6φ950V	6 phase 12 pulse	3200V	3.8T	580
	2200KW	500 HZ	2500kva	3φ950V	3 phase 6 pulse	2800V	3T	650
2T	1500KW	700 HZ	1*1600kva	6φ800V	6 phase 12 pulse	2600V	2.3T	600
	1500 KW	700 HZ	1*1600kva	3φ800V	3 phase 6 pulse	2400V	2T	650
	800 KW	700 HZ	1*1000kva	6φ660V	6 phase 12 pulse	2800V	1.7T	600
1.5T	800 KW	500 HZ	1*1000kva	3φ575V	3 phase 6 pulse	2400V	1.5T	580
	700KW	1000 HZ	1*1000kva	3φ380V	3 phase 6 pulse	1700V	1.5T	750

Fuente: Internet (octubre 2018)

Máquina de colada continua

Resumen del diseño

Tipo: colada horizontal continua

t de bolas por día	T	16
Velocidad de avance de la máquina	m/min	1
Dimensión de la máquina	M	12*12
Número de moldes por lado	c/u	20
Número de bolas por molde	c/u	6
Dimensión del molde	Dm	5*5
Separación entre moldes	Dm	1



Figura 9. Máquina de colada continua de bolas fundidas
Fuente: Máquina de colada continua BINJACORPSA (2018)



Figura 10. Máquina de colada continua de bolas fundidas
Fuente: Máquina de colada continua BINJACORPSA (2018)



Figura 11. Máquina de colada continua de bolas fundidas
Fuente: Máquina de colada continua BINJACORPSA (2018)

Tabla 16
Dimensionamiento de la colada continúa

Cálculos		
Parámetro	Unidad	Cantidad
Producción anual de bolas	T	5 000
Eficiencia de operación	%	90
Horas programadas por día	H	16
t de bolas por mes	T	417
t de bolas por día	T	14
Horas operación por día	H	12
t de bolas por hora	t/h	1,17
Capacidad del horno	T	2
Número de coladas por horno por día	T	4
Producción por horno por día	T	8
Número de hornos	c/u	2
Dimensión de la máquina		
Peso de bola de 4 kilos $V= 4/3 \cdot p \cdot \square \cdot \square \cdot \square$	Dm ³	0,549
Densidad de la fundición	kg/dm ³	7.5
Peso de una bola de 4 pulgadas	Kg	4,12
Número de bolas en un molde	c/u	6
Peso de fundición en cada molde	Kg	29,64
Número de bolas por colada	c/u	486
Número de moldes por colada	c/u	80,98
Dimensión de cada molde 5*5 dm ³	Dm	5
Número de moldes por cada uno de los cuatro lados	c/u	20
Largo de cada lado de la maquina	M	12
Colado		
Capacidad de cuchara de colado	Kg	1000
Número de cucharas por colada	c/u	2
Tiempo permitido de colado de cada cuchara	Min	10
Número de molde colados	c/u	34
Tiempo de colado de cada molde	Min	0,30
Peso colado por minuto de cada molde	Kg	100
Tiempo de colada de 2000 kilos (una colada de horno)	Min	20

Fuente: Elaboración propia

Horno de tratamiento térmico

Tipo: RT4-65-9

Dimensiones: 1200 x 600 x 450

Capacidad: 1000 kg

Tiempo de calentamiento: 2,5 horas

Potencia: 65 kw

Tabla 17

Dimensionamiento de hornos de tratamiento térmico

Model	Rated power (KW)	Rated voltage (V)	Max. Temperature (°C)	Working temperature (°C)	Furnace hearth size (mm) (L*W*H)	Max loading capacity (kg)	Heating elements connection	No-load heating up time (h)	No-load power losses (KW)	Temperature control precision (°C)
RT4-30-9	30	380	1000	650-950	950*500*450	500	Y	≤2,5	≤11	±1
RT4-65-9	65	380	1000	650-950	1200*600*450	1000	Y	≤2,5	≤11	±1
RT4-75-9	75	380	1000	650-950	1500*750*600	1500	Y	≤2,5	≤18	±1
RT4-90-9	90	380	1000	650-950	1800*900*600	2500	Y	≤2,5	≤19	±1
RT4-105-9	105	380	1000	650-950	1800*900*650	3000	Y	≤2,5	≤27	±1
RT4-150-9	150	380	1000	650-950	2000*1000*700	4500	Y	≤3	≤32	±1
RT4-180-9	180	380	1000	650-950	2100*1050*750	5000	Y	≤3	≤39	±1
RT4-220-9	220	380	1000	650-950	2500*1300*900	7000	Y	≤3,5	≤50	±1
RT4-250-9	250	380	1000	650-950	2400*1050*800	8000	Y	≤4	≤60	±1
RT4-270-9	270	380	1000	650-950	3000*1500*1000	9000	Y	≤4	≤65	±1
RT4-280-9	280	380	1000	650-950	2800*1500*1200	10000	Y	≤4	≤67	±1
RT4-300-9	300	380	1000	650-950	3000*1500*1200	11000	Y	≤4	≤70	±1

Fuente: Xinxiang Zhongli Furnace Industry Co., Ltd. (2018)

Campo de aplicación

- Aleaciones de alto cromo y mediano.
- Fundición de acero de alto manganeso, fundición de hierro gris, hierro fundido nodular, rodillo.
- Bola de molienda
- Martillos de trituradora.
- Camisas resistentes al desgaste.
- Recipiente a presión.
- Cojinetes.

Estructura

Este horno consiste de una carcasa, del forro del horno, la puerta del horno, el aparato de elevación de la puerta, el elemento de calefacción, mecanismo de conducción, mecanismo de sellado, sistema de control eléctrico inteligente, etc.

Ventajas

- Capacidad de carga grande, capacidad de tratamiento térmico fuerte, alta eficiencia y bajo costo de operación.

- Los forros del horno están hechos de la estructura de fibra completa, en comparación con la cámara del horno de ladrillo, para mejorar efectivamente el rendimiento de la conservación del calor.
- La operación de la puerta del horno y bogie es completamente automática. Cada caja eléctrica está equipada con varias piezas de instrumento y observador automático que puede proporcionar el control de la temperatura del horno, grabación automática, sobre la temperatura automática de protección automática y así sucesivamente.



Figura 12. Horno de tratamiento térmico

Fuente: Xinxiang Zhongli Furnace Industry Co., Ltd. (2018)

Cuchara de colada

Dimensiones:

- Cantidad : 2
- Capacidad : 1 tonelada
- Volumen efectivo : 0,18 m³
- Diámetro promedio : 0,55 m
- Altura : 0,75 m



Figura 13. Cuchara de colada

Fuente: Internet (octubre 2018)

4.1.2. Estudio económico financiero

Resumen de la inversión

Tabla 18
Inversión del proyecto

i. Inversión fija	Dólares
a. Activos fijos	
Planta de bolas	580 000
Dos hornos de inducción de 2 t	100 000
Colada continua	180 000
Horno tratamiento térmico	50 000
Equipos auxiliares	50 000
Edificio	150 000
Imprevistos	50 000
b. Intangibles	30 000
Total inversión fija	610 000
ii. Capital de trabajo	500 000
Total inversión	1 110 000

Fuente: Elaboración propia

Programa de producción anual

Tabla 19
Producción anual

Año	Porc. (%)	Produc.(t)
1 -10	100	5 000

Fuente: Elaboración propia

Cálculo de la amortización

Tabla 20
Financiamiento

Recursos propios	400 000
Intangibles	50 000
Préstamo	660 000
Intereses	18%
Plazo	5 años
Cuota	211 118

Fuente: Elaboración propia

Costo de producción por tonelada de bolas de molienda

Tabla 21
Costos de producción

Elemento del costo	Unidad	cantidad (t)	precio (\$/t)	costo (\$)	porc. (%)
Chatarra de acero	ta/t bolas	0,793	280,00	222,04	24,30
Ferrocromo	t FeCr/t b	0,173	1400	242,86	26,58
Ferromanganeso	t FeMn/t b	0,017	1400	23,45	2,57
Ferro silicio	t FeSi/t b	0,0269	1400	37,63	4,12
Combustible				56,66	6,20
Materiales operación				35,79	3,92
Energía eléctrica	Kwh/t	750	0,2	150,00	16,42
Agua				2,00	0,22
Depreciación		61000		12,20	1,34
Mano de obra directa		180700		36,14	3,96
Costo de producción				818,76	89,60
Gastos de administración				20,00	2,19
Gastos de venta				70,00	7,66
Mantenimiento				5,00	0,55
Costos de operación				913,76	100,00
Utilidad				136,24	12,98
Precio de venta				1050,00	

Fuente: Elaboración propia

Flujo de caja económico

Tabla 22

Flujo de caja económico. (Dólares corrientes x 1000)

Año	Ingresos	Costos (t).	Util. oper.
0	0	1 110	-1110
1	5 250	4 569	681
2	5 250	4 569	681
3	5 250	4 569	681
4	5 250	4 569	681
5	5 250	4 569	681
6	5 250	4 569	681
7	5 250	4 569	681
8	5 250	4 569	681
9	5 250	4 569	681
10	5 600	4 569	1 031
VAN	\$23,661	\$21,643	\$2,018
		VAN=	\$2,018
		B/C=	\$1,09
		TIRE=	61%
		PRI=	5,50

Fuente: Elaboración propia

Flujo de caja financiero

Tabla 23

Flujo de Caja Financiero. (Dólares corrientes x 1000)

Elemento/año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos		5250	5250	5250	5250	5250	5250	5250	5250	5250	5600
Cost.tot.		4569	4569	4569	4569	4569	4569	4569	4569	4569	4569
Inversión	1 110										
Flujo econ.	-1 110	681	681	681	681	681	681	681	681	681	1031
Préstamo	660										
Amortizac.		92	109	129	152	179					
Intereses		119	102	83	59	32					
Flujo financ.	-450	470	470	470	470	471	681	681	681	681	1031
Aporte prop.	450										
Imp. renta		186	186	186	186	186	186	186	186	186	186
Flujo caja											
Operac.		284	284	284	284	284	495	495	495	495	845
Saldo acu.	0	284	568	852	1136	1421	2102	2783	3464	4145	5176

Fuente: Elaboración propia

Evaluación del proyecto

Tasa de actualización : 18 %

Valor actual neto económico : 2018000 us \$

Tasa interna de retorno económica : 61 %

Tasa interna de retorno financiera : 106 %

Relación beneficio /costo : 1,09

Periodo de recuperación de inversión : 5,5 años

4.2 DISCUSIÓN

1. El empleo de hornos de inducción resulta ser el más adecuado, dado que son de baja inversión, fáciles de operar y competitivos energéticamente.
2. En Lima existen varias fundiciones que operan con este tipo de hornos satisfactoriamente y para una producción mediana de 16 toneladas por día, resultan ser los más convenientes.
3. El sistema de colada continua con moldes permanentes sería el más indicado y se complementarían con los dos hornos de inducción de 2 toneladas cada uno.
4. El tratamiento térmico de las bolas es la acción más importante porque de su ajuste dependerán las propiedades mecánicas de las bolas y la garantía de un consumo razonable en las plantas de molienda.
5. El mercado se direccionará hacia la pequeña y mediana minería que tienen problemas de abastecimiento por la absorción de la producción nacional de bolas por las grandes empresas mineras, por lo que se considera que este proyecto tiene un nicho de mercado.

CONCLUSIONES

Es factible colocar en el mercado la cantidad de 5 000 toneladas al año de bolas de molienda para minerales, que representa el 1 % del incremento del consumo de bolas que necesariamente tendrá que generarse, como consecuencia del programa de inversión minera del orden de 54 657 millones de dólares en los próximos 10 o 15 años, que duplicará el consumo de bolas de molienda en el periodo.

Los costos de operación son del orden de 913,76 \$/t de bolas de molienda, dejando un margen de ganancia de 136,24 \$/t de bolas de molienda.

La rentabilidad del proyecto medida por el TIRE es de 61 %, la cual se considera una buena rentabilidad y que permite un retorno de la inversión en 5,5 años.

RECOMENDACIONES

Se debe promocionar el presente proyecto, teniendo en cuenta que la UNJBG, puede contribuir con el fortalecimiento tecnológico al contar con dos hornos de inducción en la Escuela de Ingeniería Metalúrgica de la Facultad de Ingeniería.

Se debe direccionar una parte importante de las prácticas de los cursos de Siderurgia y Fundición de la ESME a la producción de bolas de molienda, estableciéndose la calidad óptima que garantice su aceptación en el mercado de bolas de molienda en el país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A, Basak, A., Penning, J., Dilewijns. J. (2010). *Heat Treatments of Chromium-Manganese White Cast Iron for an Optimun Combination of Wear Resistance and Impact Strength. MRS Materials Research Society. USA.*

Balogun, S.; adeosun, W.; ayola, W. y osoba, L. (2003). *Standard Specification for Abrasion-Resistant Cast Irons. Designation: A532/A532M – 93a. American Society For Testing And Materials-ASTM. University Lagos, Nigeria.*

Barrientos, J. (2009). *Guía de prácticas para observación en el microscopio electrónico, en el laboratorio de Metalografía. Universidad de San Carlos de Guatemala.*

Choque, L. (2017). *Proceso para la Fabricación de Hierro Blanco de Alto Cromo aplicado a la Industria del desgaste abrasivo. Tesis UNSA (Perú).*

Fernández-Columbié, T., Dueñas-Rodríguez, G., Mariño-Pérez, A., Velázquez-del Rosario, A., y Alcántara-Borges, D. (2016). *Modificación de las propiedades de la fundición blanca HYX2H4 con tres variantes de temple. Minería y Geología, 32(4).*

Flórez, O., Castaño, R., Higuera, O. (2010). *Comportamiento microestructural de una fundición blanca al alto cromo sometida a ciclos de tratamientos térmico*. Scientia et Technica, Agosto, 43-48.

Groover, M. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna*. 3ra. Edición.

Editorial McGraw-Hill. México. Tadeusz Nykiel, Tadeusz Hryniewicz. 2010.

Effect of tempering on the structure and coercive force in AISI D3 (217h12wf) ledeburite chromium steel.. politechnika koszalinska, faculty of mechanical engineering. Poland.

NORMA ASTM A532

Valdivia, Z. (2013). *Producción de Bolas para Molienda en Horno de Inducción*. PROIN ESME-UNJBG (Tacna - Perú)