

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

Trabajo de Investigación

**Diseño de un aparejo para revestir una chancadora
giratoria de 60" x 113" para reducir el tiempo de
cambio de revestimientos en minera
Cerro Verde**

Wilson Juan de Dios Quispe Yupanqui

Para optar el Grado Académico de
Bachiller en Ingeniería Mecánica

Huancayo, 2019

Repositorio Institucional Continental

Trabajo de Investigación



Obra protegida bajo la licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/peru/)

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todas esas personas que estuvieron a mi lado, acompañándome durante el tiempo que le dedicaba a los estudios y sobre todo durante la elaboración del presente trabajo de investigación ya que más allá de estar plasmado en letras, son el resultado de mucho esfuerzo y ganas de salir adelante, y querer ser mejor profesional cada día. Entre ellos a mi esposa e hijo así como a mis familiares, a quienes nunca dejare de estar agradecido infinitamente.

También agradecer a la universidad Continental por el apoyo a las personas como yo que pese a las dificultades de tiempo y distancia queremos crecer profesionalmente, brindándonos la oportunidad de poder interactuar con excelentes profesionales de la ingeniería mecánica quienes hacen su mejor esfuerzo para convertirnos en profesionales exitosos. Al docente, ingeniero Miguel Angel Córdova Solís por impartirnos un conocimiento de calidad.

Finalmente quiero dar las gracias a mis compañeros de clase en los distintos cursos que a lo largo de los años, no solo compartimos aulas sino también conocimientos, experiencias y sus logros que me permitieron llegar a esta etapa universitaria.

DEDICATORIA

El afecto y cariño que me das, hacen infinita mi felicidad, motivan mi esfuerzo y las ganas de afrontar dificultades para ofrecerte lo mejor.

A tu tan corta edad, cada día me enseñas a ser mejor persona. Te doy gracias por permitirme encontrar este lado hermoso, apacible en mi vida. Eres tu quien me motivo de sobremanera a finalizar este trabajo de investigación.

Gracias Trevor, mi hermoso bebé.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	2
DEDICATORIA	3
ÍNDICE.....	4
RESUMEN	6
INTRODUCCION	8
I. PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	10
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	10
1.1.1 Planteamiento del problema	10
1.1.2 Formulación del problema.....	11
1.2. Objetivos	11
1.2.1 Objetivo General	11
1.2.2 Objetivos específicos	11
1.3. Justificación e importancia.....	12
II. MARCO TEÓRICO	13
2.1 Antecedentes del problema	13
2.2 Bases teóricas	15
2.2.1 Tornillo de potencia.....	15
2.2.2 Columnas con un extremo libre y empotrado en el otro extremo .	16
2.2.3 Deformación debido a flexión pura en elementos simétricos.	17
2.2.4 Uniones soldadas	18
2.3 Definición de términos básicos.....	21
III. METODOLOGÍA	23
3.1 Metodología aplicada para el desarrollo de la solución.....	23
3.1.1 Planeamiento.....	23
3.1.2 Concepción de la solución	25
3.1.3 Elaboración del proyecto.	28
3.1.4 Elaboración De Detalles.....	28
IV. Análisis y diseño de la solución.....	30

4.1	Identificación de requerimientos	30
4.1.1	Lista de exigencias.....	30
4.1.2	Estructura de funciones.....	31
4.1.3	Secuencia de operaciones.....	32
4.1.4	Fijación de procesos técnicos.....	32
4.1.5	Determinar la aplicación de los sistemas técnicos y sus limitaciones.....	33
4.1.6	Agrupar funciones.....	33
4.1.7	Determinar y representar la estructura de funciones: Caja Blanca. 33	
4.2	Análisis de la solución	35
4.2.1	Matriz morfológica.....	35
4.2.2	Análisis técnico de los conceptos de solución.....	36
4.2.3	Análisis económico de los conceptos de solución.....	36
4.3	Diseño	37
4.3.1	Proyecto preliminar.....	37
4.3.2	Proyecto definitivo.....	39
V.	CONCLUSIONES	41
VI.	TRABAJOS FUTUROS	42
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	43
VIII.	ANEXOS	45

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se enfoca en el diseño de un aparejo para revestir una chancadora giratoria de 60" x 113" en minera Cerro Verde, que tiene por objetivo, reducir el tiempo empleado durante el mantenimiento así como salvaguardar la integridad del personal involucrado [8].

La realización del mantenimiento tiene una duración de 72 horas y durante su ejecución, se expone a los trabajadores involucrados a diversos riesgos contra su salud, tales como atrapamiento de manos o dedos, caída a distinto nivel y carga suspendida. Los reglamentos actuales que regula la salud y seguridad en el trabajo, exige una identificación y control de riesgos en todas las tareas que se pueda ejecutar dentro del centro minero. Así mismo los compromisos asumidos con los clientes, exigen que se cumpla con plazos de producción, ello implica una alta disponibilidad de los equipos [14].

Tanto el operador como el mantenedor tienen que trabajar en equipo y dar su mayor esfuerzo para ofrecer disponibilidades altas. De ahí que surgen ideas que tienen la finalidad de optimizar los tiempos empleados. Y el objetivo del trabajo de investigación es detallar una idea que tiene por finalidad optimizar dichos tiempos.

El objetivo general es Diseñar un aparejo para reducir el tiempo empleado en el cambio de revestimientos de la chancadora giratoria de 60" x 113".

Los objetivos específicos son:

- Reducir la exposición del personal involucrado a riesgos de: atrapamiento de manos, golpes en distintas partes del cuerpo, caídas a distinto y mismo nivel, y sobreesfuerzos.
- Analizar los tiempos empleados en el revestimiento de la chancadora giratoria 60" x 113" con el método actual y utilizando el aparejo propuesto (Diseño propio).

La metodología que se aplica en el presente trabajo de investigación, es la que recomienda la Asociación Alemana de Ingenieros, donde nos muestra pasos a seguir durante el diseño en ingeniería mecánica.

Finalmente, se hizo un análisis de la inversión en tiempo para llevar a cabo el cambio de revestimientos de una chancadora giratoria 60" x 113", entre la forma tradicional y utilizando el un aparejo. Se verifico una reducción del 50% del tiempo empleado para tal fin. Así mismo se observó un entorno amigable con la seguridad, durante la realización de la misma.

INTRODUCCION

Desde sus primeros pobladores, el Perú es un país minero por excelencia. Hoy en día nos ubicamos entre los primeros productores de diversos metales y principalmente en el cobre y molibdeno [14]. Ello implica que no solo destacamos por ser buenos productores sino también por ser excelentes técnicos mantenedores de la maquinaria inmersa en el proceso.

Ser capaces de procesar un promedio de 360 000 toneladas por día en chancado primario de una planta concentradora, de mineral proveniente de mina, implica una gran demanda de personal calificado que atienda a la maquinaria inmersa [8], ofrezca niveles de disponibilidades de clase mundial. Niveles que exigen a los profesionales, a innovar con ideas ingeniosas para reducir al mínimo los tiempos de parada de los equipos.

Ofrecer una disponibilidad del 100% es una tarea imposible pues para que el activo continúe con sus funciones operacionales es necesario brindarle un mantenimiento como son principalmente, el cambio de piezas de desgaste, lubricación, limpieza, etc. Todo ello nos conduce a asumir tiempos de parada de los equipos dejando de producir.

Si bien es cierto no podemos eliminar los tiempos de parada de equipos para el mantenimiento, si es posible reducir dichos tiempos. Y dentro de las ideas ingeniosas, nació el concepto del Aparejo Para Revestir Una Chancadora Giratoria 60" x 113", que tiene como objetivos reducir a la mitad el tiempo empleado en la tarea, eliminar la exposición a riesgos contra su salud del personal involucrado así como realizar una comparación entre la manera tradicional y empleando el aparejo. Ello nos servirá como sustento para implantar su uso en todas las unidades de la corporación a la cual pertenece Minera Cerro Verde.

Para comprender a detalle, el trabajo de investigación consta de cuatro capítulos, los cuales se mencionan a continuación.

El primer capítulo titulado Planteamiento del Estudio, se ha desarrollado el planteamiento del problema, donde se explica resumidamente, el proceso de chancado primario de la planta concentradora de minera Cerro Verde y como se plantea la oportunidad de mejora a través del diseño de un aparejo para revestir una chancadora giratoria de 60" x 113" para hacer frente al tiempo invertido en el cambio de revestimientos. Se menciona los problemas generales y específicos así como el objetivo general y específicos. Finalmente se menciona la justificación e importancia de la investigación.

El segundo capítulo titulado Marco Teórico, se mencionan los antecedentes que tuvo el trabajo de investigación, haciendo referencia a trabajos afines principalmente en la industria minera. También se mencionan las bases teóricas que sirvieron para el diseño ingenieril. Finalmente se hace la definición de los términos básicos que servirán para entender su significado al mencionarse durante el desarrollo del trabajo de investigación.

El tercer capítulo titulado Metodología, se explica detalladamente las recomendaciones y conceptos de la Asociación Alemana de Ingenieros para diseñar un mecanismo que satisfaga la lista de exigencias.

El cuarto capítulo titulado Análisis y Diseño de la Solución, se aplica las recomendaciones y conceptos de la Asociación Alemana de Ingenieros para establecer varios diseños que cumplan con las exigencias del problema planteado. Entre todos los diseños se elige al que optimice el proceso de cambio de revestimientos a una chancadora giratoria 60" x 113".

I. PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1 Planteamiento del problema

La producción de cobre en el Perú y principalmente en la gran minería se maneja a través de compromisos asumidos con sus clientes. Dicha producción en minera Cerro Verde, exige procesar en el área de chancado primario, 360 000 toneladas por día de material proveniente de mina reduciendo el tamaño a 7" para posteriormente ser enviado al circuito de chancado secundario [8].

Es por ello que la disponibilidad para operar del circuito de chancado primario y principalmente de la chancadora primario adquiere un papel importante.

En el presente trabajo de investigación se tomó como muestra la chancadora primaria 60" x 113" FLSmidth, siendo este el principal equipo del circuito de chancado primario [10].

Las detenciones del circuito de chancado primario para realizar uno de los mantenimientos que tienen mayor duración, es por el cambio de revestimientos de la chancadora primaria. El cambio de revestimientos se realiza cada 7 meses, deteniendo la producción 72 horas en cada mantenimiento [8].

Además del prolongado tiempo, la metodología y facilidades que se emplean, exponen al personal involucrado a varios riesgos relacionados a la seguridad y salud ocupacional, tales como: atrapamiento de manos, golpes en distintas partes del cuerpo, caídas a distinto y mismo nivel y sobreesfuerzos [11].

Dentro de las facilidades, se utiliza un aparejo recomendado por el fabricante de la chancadora primaria FLSmidth y que también se utiliza en otras minas de la misma corporación [8]. Aparejo que solo

brinda parcialmente la facilidad de traslado e instalación de los revestimientos demandando al personal involucrado a concluir con la instalación, realizando un trabajo manual a través de barretas pequeñas, combas, incluso la intervención de una grúa telescópica [6].

1.1.2 Formulación del problema

1.1.2.1 Problema General

¿Cómo sería el diseño de un aparejo para reducir el tiempo empleado en el cambio de revestimientos de la chancadora primaria 60" x 113" de minera Cerro Verde?

1.1.2.2 Problemas específicos

¿Cómo actuar ante la exposición del personal involucrado a riesgos de: atrapamiento de manos, golpes en distintas partes del cuerpo, caídas a distinto y mismo nivel, y sobreesfuerzos?

¿Cómo comparamos los tiempos empleados en el revestimiento de la chancadora giratoria 60" x 113" con el método actual y utilizando el aparejo propuesto (Diseño propio)?

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Diseñar un aparejo para reducir el tiempo empleado en el cambio de revestimientos de la chancadora giratoria de 60" x 113".

1.2.2 Objetivos específicos

- Reducir la exposición del personal involucrado a riesgos de: atrapamiento de manos, golpes en distintas partes del cuerpo, caídas a distinto y mismo nivel, y sobreesfuerzos.
- Analizar los tiempos empleados en el revestimiento de la chancadora giratoria 60" x 113" con el método actual y utilizando el aparejo propuesto (Diseño propio).

1.3. Justificación e importancia

- 1.3.1 Función principal:** El presente trabajo de investigación servirá como base para la fabricación del aparejo para revestir una chancadora giratoria 60" x 113" que reducirá el tiempo empleado actualmente y la exposición a riesgos del personal involucrado.
- 1.3.2 Ergonómica:** Al tener una adecuada iteración entre los revestimientos, aparejo y chancadora; se reducirá el tiempo empleado actualmente.
- 1.3.3 Seguridad:** Teniendo en cuenta los altos niveles de seguridad exigidos en los centros mineros, se cumplirá la legislación peruana. Salvaguardando la integridad del personal involucrado, del equipo intervenido y del medio ambiente donde interactuamos.
- 1.3.4 Productividad:** Al utilizar el aparejo para revestir una chancadora giratoria 60" x 113", se logra reducir significativamente el tiempo empleado, así mismo se garantiza la confiabilidad del trabajo. Ello se refleja en la disponibilidad de la chancadora para producir.
- 1.3.5 Metodología:** El presente trabajo de investigación es una aplicación de la obra titulada Metodología de Diseño en Ingeniería Mecánica donde están reunidas las recomendaciones de la Asociación Alemana de Ingenieros. Por ende servirá como un ejemplo aplicativo de dicho documento.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema

Existen múltiples trabajos referidos a diseño de aparejos, facilidades o herramientas que optimizan los tiempos de mantenimiento de diversos equipos utilizados en la producción minera, entre ellos para diversos tipos de chancadoras, pero lamentablemente no son publicados por diversas razones. A continuación se describen algunos trabajos que guardan cierta similitud.

Según [1], el objetivo de la tesis mencionada es diseñar un soporte de sujeción para motores de combustión interna de capacidad máxima de 1300 kg, para optimizar el tiempo empleado para reparación de los mismos, así como para reducir la exposición de riesgos a accidentes del personal que realiza la tarea.

Según [2], el objetivo de la tesis mencionada es diseñar los elementos de máquina que formaran parte de una máquina herramienta para realizar trabajos en madera, la cual será utilizada para trabajos de torneado, cepillado, aserrado, lijado y escopleado; ya que la adquisición de una máquina estándar significa un alto costo de adquisición.

Así mismo se describen los procedimientos que se utilizan en los principales centros mineros del Perú y Chile, donde existen chancadoras de similar magnitud. Procedimientos que se desean optimizar en tiempo y seguridad para el personal que lo realiza.

- **Grúa telescópica**

Es el procedimiento primitivo o el más antiguo utilizado desde que se implementó por primera vez chancadoras de alta producción en la mediana minería. En donde se utiliza una grúa telescópica (o puente grúa en algunos casos) para revestir la chancadora giratoria 60" x 113", cada bloque cóncavo (material usado para el revestimiento) es instalado uno a uno demandando un total de 72 horas y la

intervención de una grúa telescópica (o puente grúa) en todo momento, exponiendo al personal a múltiples riesgos contra su salud [8].

- **Aparejo tipo torre con cadenas**

Es el procedimiento implementado hace 18 años aproximadamente en la gran minería en Chile y posteriormente en Perú; en minas como Barrick, Antamina y Southern Perú. En donde se utiliza un aparejo que sujeta con cadenas a cada uno de los bloques cóncavos pertenecientes a una misma fila y son instaladas una fila a la vez, demandando un total de 60 horas ya que es necesario el complemento con trabajos manuales e intervención de una grúa telescópica (o puente grúa), trabajo que involucra exposición al personal a algunos riesgos, principalmente a caídas a mismo y distinto nivel [7].

- **Aparejo tipo plataforma**

Es el procedimiento implementado recientemente en la gran minería en Chile y Perú; en minas como Cerro Verde y otros. En donde se utiliza un aparejo donde se pre instala los bloques cóncavos pertenecientes a una misma fila, sujetándolos mediante pernos de sujeción. Se utiliza en total, tres aparejos que difieren principalmente en el diámetro y que son fabricados específicamente para cada fila. Cada aparejo se instala una detrás de otra, demandando 60 horas de trabajo ya que es necesario el complemento de trabajo manual con barretas y la intervención de una grúa telescópica (o puente grúa), exponiendo al personal a algunos riesgos, principalmente a atrapamientos de manos y dedos [6].

Según [10], el objetivo de la tesis mencionada es implementar un plan de mantenimiento basado en confiabilidad, para eliminar o reducir las paradas no programadas del circuito de chancado primario de minera Chinalco Perú. También se manifiesta la preocupación para disminuir los tiempos

empleados en los mantenimientos programados, para ello sugiere diseñar diversos aparejos y copiar las buenas prácticas de minas similares.

Según [11], el objetivo de la tesis mencionada es describir el proceso de montaje de una chancadora primaria giratoria 60" x 113" estableciendo lineamientos y buenas prácticas durante el proceso constructivo. Realiza una descripción detallada de cada uno de los componentes de la chancadora. En cuanto a mantenimiento sugiere mejoras y cambios al planteamiento original de dicha actividad pues cuando el equipo este en operación, los tiempos empleados jugarán un papel importante para determinar la mantenibilidad.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Tornillo de potencia

Es un dispositivo que sirve para cambiar el movimiento angular a un movimiento lineal, transmitiendo a la vez potencia.

En la siguiente figura se muestra un tornillo de potencia con rosca cuadrada, con diámetro d_m , paso p , ángulo de avance λ y ángulo de hélice ψ , el cual está siendo sometido a una fuerza de compresión axial F . Se analiza una rosca del tornillo, para ello se desarrolla una vuelta [3].

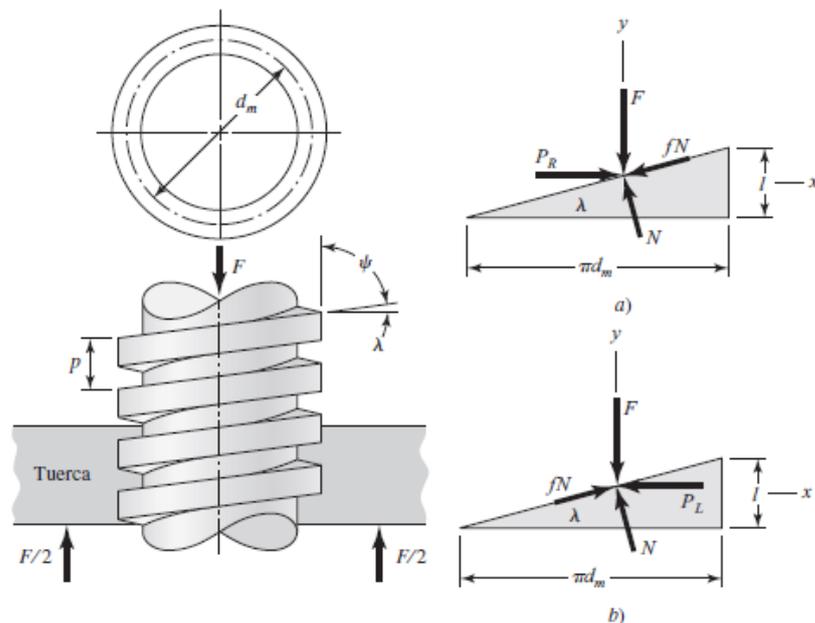


Figura 2.1 Tornillo de potencia

Fuente: Budynas, R. y Nisbett, J, 2012

Usando relaciones geométricas, trigonométricas, así como el álgebra, se determinan las fuerzas para elevar y bajar una carga. Las ecuaciones para dichas fuerzas son:

$$P_R = \frac{F[(l/\pi d_m) + f]}{1 - (fl/\pi d_m)}$$

$$P_L = \frac{F[f - (l/\pi d_m)]}{1 + (fl/\pi d_m)}$$

También se determina las ecuaciones del par de torsión necesario para elevar y bajar la carga.

$$T_R = \frac{F d_m}{2} \left(\frac{l + \pi f d_m}{\pi d_m - fl} \right)$$

$$T_L = \frac{F d_m}{2} \left(\frac{\pi f d_m - l}{\pi d_m + fl} \right)$$

2.2.2 Columnas con un extremo libre y empotrado en el otro extremo

La columna con un extremo libre y empotrado en el otro extremo se comporta como la mitad superior de una columna articulada.

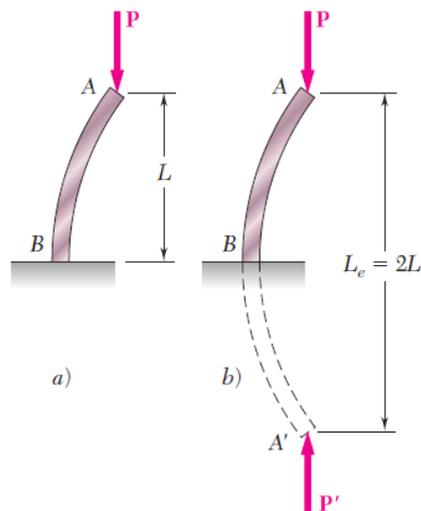


Figura 2.2 Columna sometido a una carga.

Fuente: Beer, F, 2013

La fórmula de Euler se puede utilizar para obtener la carga crítica, teniendo en consideración una longitud igual al doble de la longitud real de la columna planteada.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_e^2}$$

Teniendo las mismas consideraciones, se puede encontrar la relación para el esfuerzo crítico [5].

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(L_e/r)^2}$$

2.2.3 Deformación debido a flexión pura en elementos simétricos.

Un elemento sometido en sus extremos a momentos iguales pero opuestos M y M' , flexionara de forma uniforme.

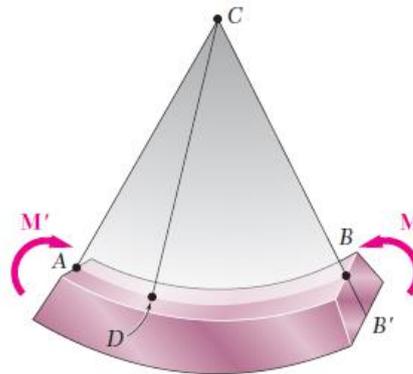


Figura 2.3 Elemento sometido a flexión.

Fuente: Beer, F, 2013

Analizando la geometría y el resultado de los momentos aplicados al elemento, se tiene:

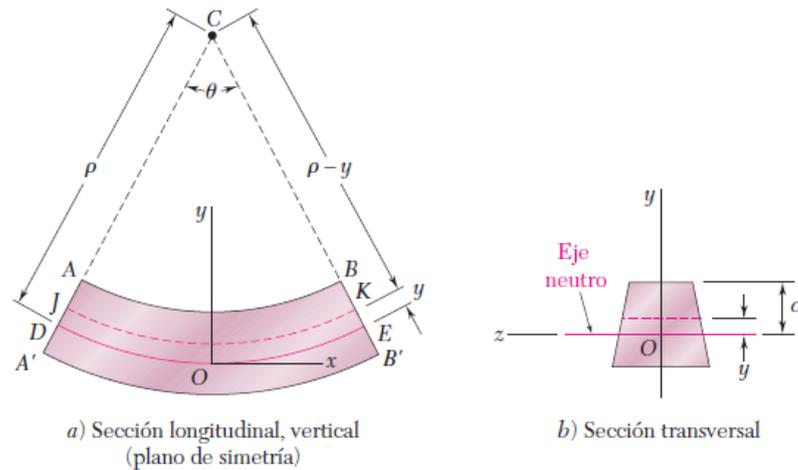


Figura 2.4 Sección longitudinal y transversal.

Fuente: Beer, F, 2013.

La deformación unitaria tiene un valor máximo absoluto cuando el valor de “y” es máxima y sabiendo que “c” es el valor máximo de la distancia desde la superficie neutra, así mismo considerando el máximo valor absoluto de la deformación unitaria, se tiene [5]:

$$\epsilon_x = -\frac{y}{c}\epsilon_m$$

2.2.4 Uniones soldadas

La unión por soldadura es un proceso que se adapta con facilidad a la mayoría de metales y que hoy en día tienen extensa utilización en la manufactura. Es un proceso donde se unen partes metálicas a través de un calentamiento hasta el estado plástico y por lo general con la adición de un metal de aporte.

Actualmente se usan cierta simbología para caracterizar a una unión por soldadura, esta simbología es una representación estándar de la Sociedad Americana de Soldadura (AWS por sus siglas en inglés) [3].

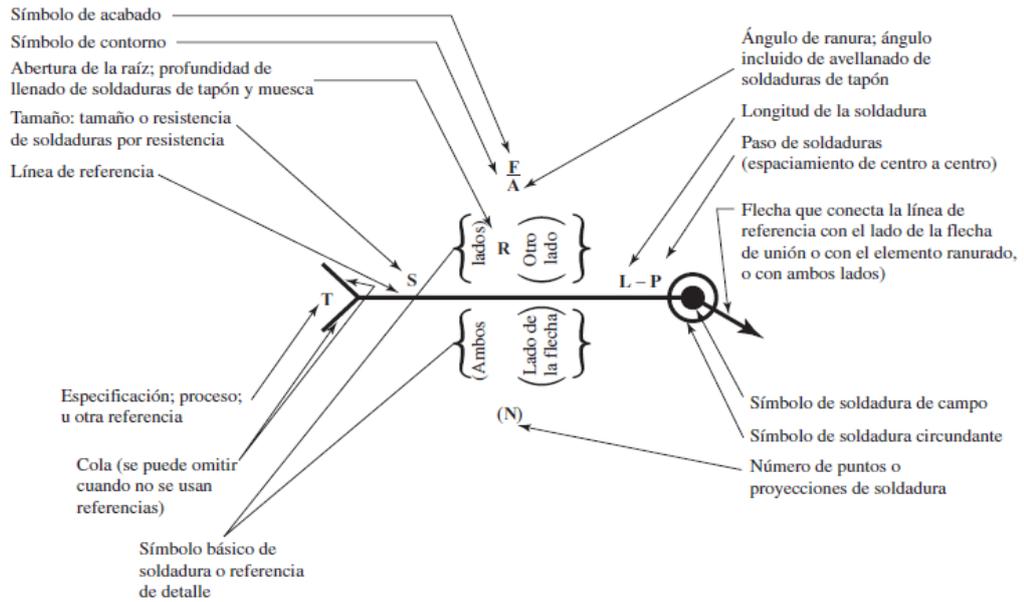


Figura 2.5 Simbología de soldadura.

Fuente: Budynas, R. y Nisbett, J, 2012

2.2.4.1 Soldadura SMAW

Es el proceso de soldeo identificado por la AWS donde se utiliza un electrodo revestido que interactúa con el metal mediante un arco eléctrico, arco que alcanza un 3500°C de temperatura en el extremo del electrodo, esta temperatura supera lo necesario para fundir a la mayoría de metales. Al estar expuestos a esta temperatura, el electrodo revestido y el metal base se funden generando una fuente líquida o un baño de fusión que se solidifica a medida que el electrodo revestido se aleja del punto de aplicación. En la siguiente figura se muestran las partes principales del proceso [9].

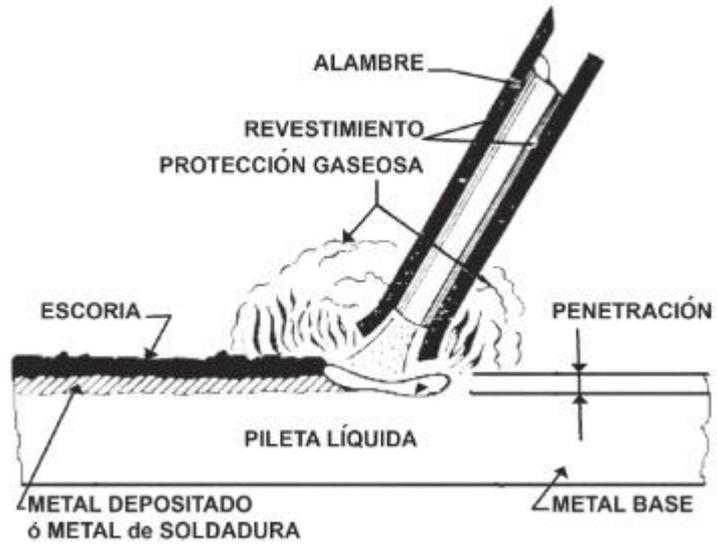


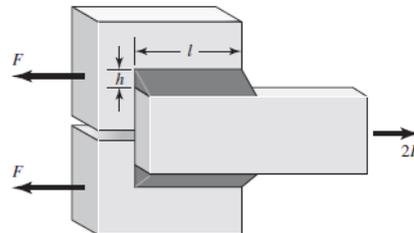
Figura 2.6 Proceso de soldadura SMAW.

Fuente: Mancheño, M. y Fernandez, C, 2012

2.2.4.2 Unión por soldadura a filete

Es un tipo de soldadura de mayor aplicación y es la que se usará en el trabajo de investigación.

El esfuerzo en la unión por soldadura a filete viene dado por [3]:



$$\tau = \frac{F}{0.707hl} = \frac{1.414F}{hl}$$

Figura 2.7 Esfuerzo en unión por soldadura.

Fuente: Budynas, R. y Nisbett, J, 2012

2.3 Definición de términos básicos

Aparejo tipo torre	Estructura metálica compuesta por 3 cuerpos que al ensamblarse forman una torre. Cada cuerpo contiene 16 cadenas colgadas que sirven para la sujeción de las placas cóncavas [6].
Aparejo tipo plataforma	Estructura metálica compuesta de 3 cuerpos. Cada cuerpo tiene una plataforma con 16 soportes fijos distribuidos en su periferia. Cada soporte sujeta fijamente una placa cóncava [6].
Aparejo	Mecanismo mecánico que facilita la realización en algún trabajo [8].
AWS	American Welding Society, por sus siglas en inglés. Es la Sociedad Americana de Soldadura que norma y califica la aplicación de la soldadura [9].
Chancadora giratoria de 60" x 113"	Máquina trituradora de rocas provenientes de minado por voladura, donde 60" es la medida de la abertura de ingreso de mineral y 113" es el mayor diámetro del componente giratorio [10].
Cóncavo	Elemento metálico de sacrificio. Su forma cóncava tiene por finalidad formar una periferia circular al estar ensamblados dentro de la chancadora [8].
D.S. 024-2016-EM	Decreto supremo 024 promulgado en el año 2016 por el Ministerio de Energía y Minas [11].

Grúa telescópica	Maquinaria pesada hidráulica que cuenta con un brazo extendible y sirve para izar cargas [6].
Mantenibilidad	Representa la facilidad para ejecutar las tareas de mantenimiento a un sistema, conservando todas sus funciones [12].
Mantenimiento basado en confiabilidad	Es una técnica que sirve para elaborar un plan de mantenimiento de una instalación industrial teniendo como objetivo conservar su funcionalidad [12].
Revestimiento	Elemento de sacrificio, generalmente metálico de una aleación con manganeso dentro de su composición [8].
SMAW	Shield Metal Arc Welding, por sus siglas en inglés. Es un acrónimo dado por la AWS para definir la soldadura por arco con electrodo metálico revestido [9].

III. METODOLOGÍA

Para el trabajo de investigación en curso, los lineamientos y directrices que se seguirán como metodología, serán las recomendaciones de la Asociación Alemana de Ingenieros (VDI, por sus siglas en alemán) plasmadas en una de sus publicaciones que lleva por título Metodología de Diseño en Ingeniería Mecánica. Ello para determinar varias alternativas de solución y entre ellas, la de diseño óptimo y que cumpla con los objetivos planteados [4].

3.1 Metodología aplicada para el desarrollo de la solución.

3.1.1 Planeamiento

Se intenta describir con cuidado, las características que deberá tener el sistema que se diseñara. Generalmente todo inicia o parte de una necesidad debiendo transformarla en una solicitud muy concreta. Para realizar dicha transformación es necesario realizar un análisis crítico de la solicitud en cuestión y al mismo tiempo se evalúa la posibilidad de su realización [13].

3.1.1.1 Detallar el problema

3.1.1.1.1 inicio del diseño

Esta fase describe al problema, expresando y reconociendo la situación actual respecto del problema estudiado.

3.1.1.1.2 Asumir el problema en forma crítica

Frecuentemente, la información que recibe el diseñador es: incompleta, falsa e incomprensible. Para hacer frente a esta situación y resolverlo, el diseñador asume el problema en forma crítica, pidiendo para ello las aclaraciones necesarias con la finalidad de evitar malos entendidos, falsos diseños, incumplimiento de plazos de entrega.

3.1.1.2 Averiguar el estado del arte

Después de haber definido el problema, se indaga sobre el estado de la tecnología (estado del arte), literatura asociada pero especializada, publicaciones de fabricantes como catálogos o revistas técnicas, etc. La información reunida se estudia para comprender completamente el tema, teniendo en cuenta que muchas veces la mejor solución depende de cuán instruido o informado este el diseñador.

3.1.1.3 Colocar prioridades, ordenarlas y cuantificarlas (Lista de exigencias).

Con el objetivo de satisfacer el diseño proyectado, la información que se reciba del cliente sobre las exigencias, se deberá completar, ordenar y listar en una hoja que será elaborada para tal fin. A continuación se muestra un formulario a modo de sugerencia donde el deseo o exigencia es acompañado de una descripción así como de un responsable.

Tabla 3.1 Relación o lista de exigencias.

LISTA DE EXIGENCIAS		EDICION:	Pag. __ de __
PROYECTO		CLIENTES	Fecha:
			Autor:
Características	Deseo o Exigencia	Descripción	Responsable
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-

Fuente: Benjamín Barriga Gamarra, 1985.

3.1.1.4 Planificar el desarrollo del proyecto.

Se elabora un plan de trabajo con la finalidad de una eficiente distribución del recurso involucrado, tanto humano como material que se usara en el desarrollo del proyecto. En forma general basta con un diagrama de barras como el que

se muestra a continuación donde se considera plazos para cumplir con cada actividad [13].

Tabla 3.2 Programación para el desarrollo del proyecto.

ACTIVIDAD	SEMANAS								TIEMPO
	1	2	3	4	5	
1. Lista de exigencias									
2. Estructura de funciones									
3.									
.....									
....									
...									
TOTAL									

Fuente: Antonio Serrano Nicolás, 1999.

3.1.2 Concepción de la solución

Esta etapa llamada concepción de la solución es la fase donde se plasma la parte creativa del diseño con la finalidad de dar una solución cualitativa al problema y está dividido en dos partes que son las siguientes:

3.1.2.1 Estructura de funciones

Esta etapa se desarrolla partiendo con la lista de exigencias como datos de entrada. Es un proceso de abstracción que tiene el propósito de englobar todas las soluciones posibles al problema, evitando así las ideas prefijadas que darían solución al problema.

3.1.2.1.1 Proceso de abstracción: Caja Negra

Toda función es posible ser representada a través de una *caja negra*, denominándose así al elemento que es estudiado considerando las entradas que recibe y las salidas que produce sin considerar su funcionamiento interno, así mismo se tiene en cuenta solo tres magnitudes básicas en la entrada y la salida, las cuales son: Energía, materia y señales. En la

siguiente figura se observa como ingresan dichas magnitudes a la caja negra así como sales de ella después de haber pasado por un proceso de abstracción [13].

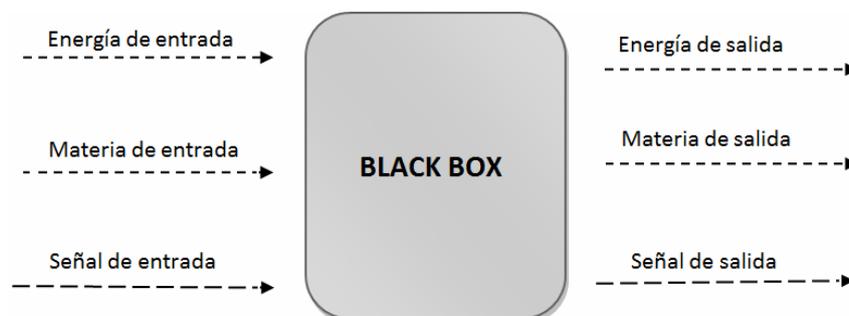


Figura 3.1 Caja negra.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.2.1.2 Determinar la secuencia de operaciones.

Esta etapa es la base para estructurar procesos técnicos, procedimientos para los trabajos así como su secuencia.

3.1.2.1.3 Fijar los procesos técnicos.

Para este proceso se considera la preparación, ejecución, control y verificación final. Para ello se utiliza un diagrama de flujo donde se expresa los principios tecnológicos que se utilizaran.

3.1.2.1.4 Determinar la aplicación de los sistemas técnicos y sus limitaciones.

Un proceso técnico puede ser realizado por el hombre o algún sistema técnico. Ya sea la distribución, ejecución o la producción, originan una mecanización o automatización. Y en la distribución podemos distinguir tres procesos que son, manuales, mecánicos y automáticos. No obstante no se debe dejar de lado la capacidad del hombre en la distribución.

3.1.2.1.5 Agrupar funciones.

Todas las funciones son susceptibles de ser agrupadas, dependiendo de las tareas que impliquen. En otras palabras estas se pueden unir o subdividir.

3.1.2.1.6 Determinar y representar la estructura de funciones: Caja Blanca.

Se representan aspectos internos del sistema y sus relaciones causales que se establecen entre sus componentes así como las entradas y salidas.

3.1.2.2 Elaboración Del Concepto

En esta etapa, los datos de entrada las componen la estructura de funciones y lista de exigencias.

3.1.2.2.1 Matriz morfológica

Se realiza la subdivisión de la función total en otras funciones parciales. Por lo general estas funciones parciales se dividen en funciones parciales secundarias, los cuales se ordenan en una matriz donde se considera las funciones parciales con las alternativas o principios de solución para luego relacionarlas [13].

Tabla 3.3 Matriz morfológica.

Funciones parciales	Alternativas o principios de solución					
	1	2	3	n
1.- Posicionar	S ₁₁	S ₁₂	S ₁₃			S _{1n}
2.- Medir	S ₂₁	S ₂₂	S ₂₃			S _{2n}
.....
.....
m.- Retirar	S _{m1}	S _{m2}	S _{m3}	S _{mn}

Solución 1

Solución 2

Fuente: Elaboración propia.

3.1.2.2.2 Análisis técnico de los conceptos de solución

En esta etapa se requiere una evaluación de las numerosas alternativas, entre ellas tenemos: la seguridad, fácil manejo, calidad de trabajo entre otras. Con lo mencionado debemos cumplir la lista de exigencias [13].

3.1.2.2.3 Análisis económico de los conceptos de solución.

El tema económico juega un rol muy importante ya que de ello depende la viabilidad del diseño. Es muy importante tener en cuenta algunos aspectos como: cantidad de componentes o piezas, facilidad de construcción o montaje, productibilidad, costos anexos a la operación así como un mínimo de desperdicios [13].

3.1.3 Elaboración del proyecto.

3.1.3.1 Proyecto Preliminar

Es el diseño plasmado en un bosquejo donde no es importante medidas ni detalles.

3.1.3.2 Proyecto Definitivo

En esta etapa se considera los planos de ensamble a escala contemplando la lista de piezas que forman parte del diseño final.

3.1.4 Elaboración De Detalles

3.1.4.1 Planos de fabricación de las piezas de la máquina

Es la documentación donde se plasma cada componente considerando medidas y detalles para su fabricación.

3.1.4.2 Diagramas de flujo detallando los procesos de fabricación de la máquina proyectada.

Representa la planificación para lograr la fabricación de cada componente que después formara el diseño final.

IV. Análisis y diseño de la solución

Después de haber definido las bases que regirán la metodología del diseño en el presente trabajo de investigación, se inicia con su aplicación.

4.1 Identificación de requerimientos

4.1.1 Lista de exigencias

La lista de exigencias que se mostrara a continuación fue elaborada tomando como base lo mencionado en capítulos anteriores así como también las necesidad registradas en la planta de chancado primario de Minera Cerro Verde, durante las labores de mantenimiento para reducir tiempos de detención del equipo y exposición del personal a diversos riesgos a su salud. La lista de exigencias nos permitirá plantear el diseño que nos conduzca a una solución óptima.

Tabla 4.1 Lista de exigencias.

LISTA DE EXIGENCIAS		EDICIÓN:	Pág. :1 de:1
PROYECTO: Diseño e implementación de un aparejo para revestir una chancadora primaria de 60"x113"		CLIENTE: Minera Cerro Verde.	UNIVERSIDAD CONTINENTAL  Universidad Continental
			Redactado por: Wilson Quispe Yupanqui. Fecha: 15 de Febrero del 2019
Cambios (fecha)	D E	Exigencias	Responsable
	E	Contiene los 16 bloques cóncavos a la vez	W.Q.Y.
	E	El aparejo y los 16 cóncavos son izados al mismo tiempo	W.Q.Y.
	E	Cada fila de cóncavos tendrá un aparejo similar pero diferente en dimensiones.	W.Q.Y.
	E	Los soportes ubicados en las plataformas soportan a un bloque cóncavo.	W.Q.Y.
	E	Los soportes ubicados en las plataformas tienen un mecanismo mecánico que facilita la instalación del bloque cóncavo que alberga.	W.Q.Y.
	E	Material usado es acero A36.	W.Q.Y.
	E	Todos los componentes utilizados deben ser de fabricación estándar.	W.Q.Y.
	E	El aparejo debe ser pintado con una pintura epoxico anticorrosiva.	Empresa contratista

	E	El aparejo debe tener su manual de instrucciones de uso y mantenimiento.	W.Q.Y.
	Da	El aparejo debe estar rotulado con la capacidad máxima.	Empresa contratista
	Da	Costos accesibles.	Planeamiento
	Dm	Duración del proyecto máximo 2 meses.	Planeamiento
	Di	El aparejo debe contener el logo de la empresa.	Empresa contratista

Fuente: Elaboración propia

Dónde:

E: Exigencia

D: Deseo

Da: Deseo alto

Dm: Deseo medio

Di: Deseo insignificante

4.1.2 Estructura de funciones

Se desarrolla la etapa de abstracción de la caja negra, en ella se especifican las entradas que mediante procesos aun no conocidos obtendremos las salidas esperadas.

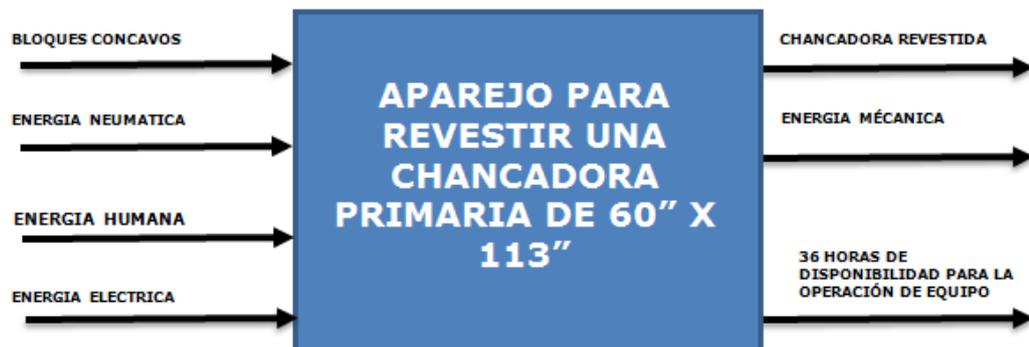


Figura 4.1 Caja Negra

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico anterior observamos las magnitudes de entrada que son bloques cóncavos, energía neumática, energía humana y energía eléctrica, ingresan a la caja negra para una etapa de abstracción teniendo como magnitudes de salida la chancadora revestida,

energía mecánica y 36 horas de disponibilidad para la operación del equipo.

4.1.3 Secuencia de operaciones

Pre montaje:

- Instalación de placas cóncavas en los soportes de las plataformas.
- Pre posicionamiento de las placas cóncavas mediante en el mecanismo.
- Aseguramiento de cada placa cóncava mediante pernos.

Montaje:

- Instalar la plataforma con apoyo del puente grúa. Peso aproximado de todo el conjunto (plataforma, soportes y bloques cóncavos: 20 tn).
- Usando una pistola neumática de 1" manipular el mecanismo de cada soporte para posicionar cada bloque cóncavo. Asegurar bloques cóncavos con pines entre ellas.
- Estando en su posición final los 16 bloques cóncavos, retirar los pernos que sujetan cada bloque cóncavo a su soporte.
- Retirar la plataforma (sin bloques cóncavos) con apoyo del puente grúa.

4.1.4 Fijación de procesos técnicos

Los procesos técnicos se muestran en forma de diagrama de flujo, en ella se explica cómo cada magnitud tanto de entrada como de salida se materializan antes y después de la caja negra [8].

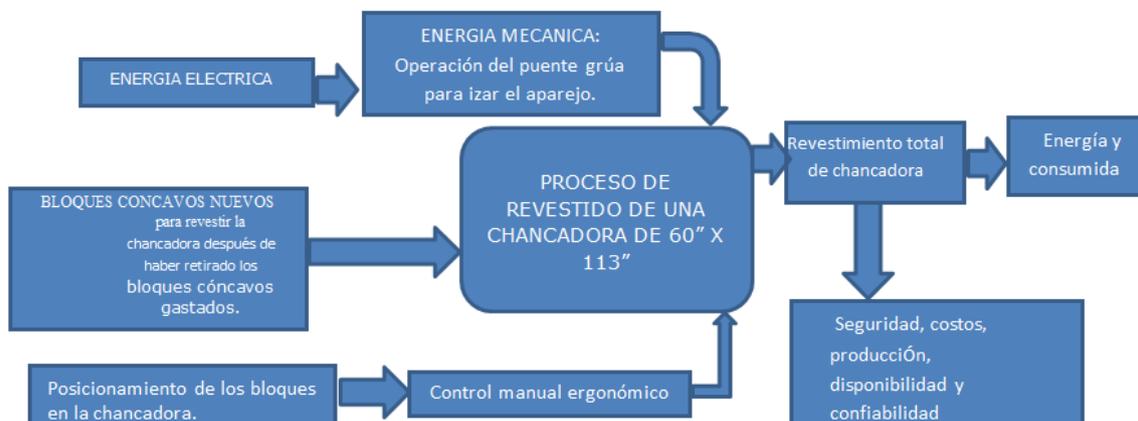


Figura 4.2 Procesos técnicos.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.5 Determinar la aplicación de los sistemas técnicos y sus limitaciones

Posicionamiento: Manual, mecánico.

Instalación: Manual, mecánico.

Fijación: Mecánico, neumático.

Instalación de placa cóncava: Mecánico.

4.1.6 Agrupar funciones

Principalmente se tiene dos funciones que se centran en el posicionamiento y fijación en el montaje, pues el diseño del presente documento de investigación tiene por objetivo ello [8].



Figura 4.3 Agrupación de funciones.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.7 Determinar y representar la estructura de funciones: Caja Blanca.

En la estructura de funciones, explicamos lo que sucede dentro de la caja negra, la cual a partir de ahora se le considerará la caja blanca [13].

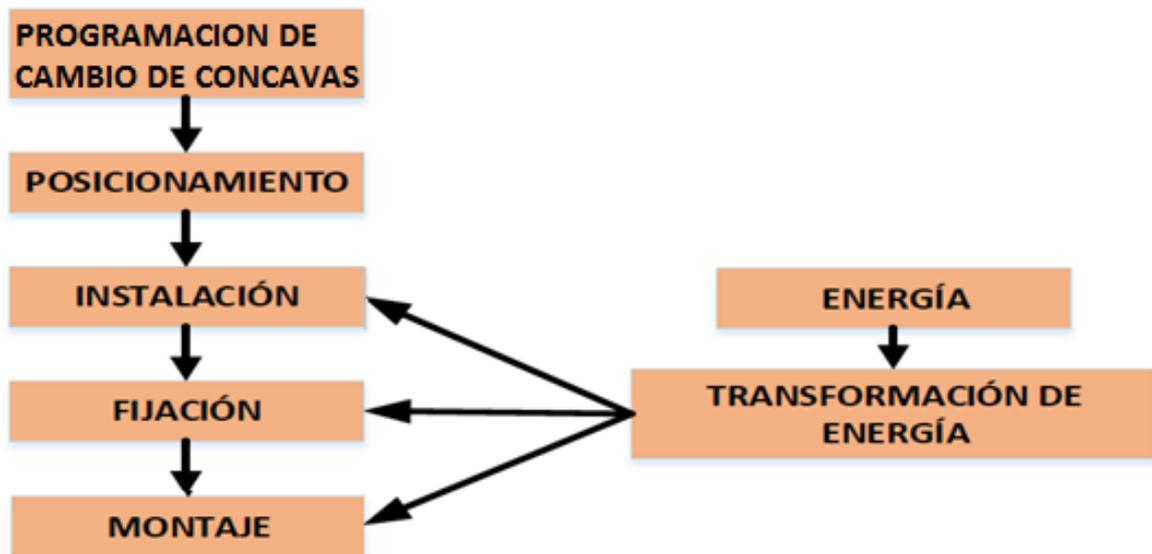


Figura 4.4 Estructura de funciones.

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Análisis de la solución

4.2.1 Matriz morfológica

Tabla 4.2 Matriz morfológica.

FUNCIONES PARCIALES	PORTADORES DE FUNCIONES (características o principios de solución)			
	1	2	3	4
POSICIONAMIENTO	 Con puente grúa	 Grúa telescópica	 Camión grúa	
INSTALACION	 Pulpo de cadena	 Estrobo	 Brazo robótico	
FIJACION	 Grillete	 Perno	 Cáncamo	
MONTAJE	 Comba	 Pistola neumática	 Soldadura	
ENERGIA	 Mecánica	 Neumática	 Humana	
TRANSFORMACION DE LA ENERGIA	 Maquina manual	 Manual	 Equipo	

CONCEPTOS DE SOLUCIÓN.	A	B	C	
------------------------	----------	----------	----------	--

4.2.2 Análisis técnico de los conceptos de solución.

Tabla 4.3 Análisis técnico de los conceptos de solución.

CRITERIO TÉCNICO	VARIANTES		
	A	B	C
POSICIONAMIENTO	3	1	2
INSTALACION	3	2	2
FIJACION	3	1	3
MONTAJE	3	1	3
ENERGIA	3	2	3
TRANSFORMACION DE ENERGIA	3	1	3
TOTAL	18	8	16

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3 Análisis económico de los conceptos de solución.

Tabla 4.1 Análisis económico de los conceptos de solución.

CRITERIO ECONOMICO	VARIANTES		
	A	B	C
CUMPLE CON EL RENDIMIENTO ECONOMICO	3	3	1
BAJO COSTO DE MATERIAL	3	2	1
MATERIALES ACCESIBLES	3	2	1
PROCESO DE FABRICACION ACCESIBLE	3	2	1
FACIL MONTAJE	3	3	2
FACIL TRANSPORTE	3	3	1
ERGONOMIA ACCESIBLE	3	2	3
FACIL MANIPULACION	3	3	3

TOTAL	24	20	13
--------------	-----------	-----------	-----------

Fuente: Elaboración propia.

4.3 Diseño

La propuesta corresponde a una plataforma (propuesta A) completamente plana y cerrada de forma circular, plataforma que cuenta con 16 soportes y cada soporte con 02 pernos (tipo esparrago) para la regulación en la instalación final de las 16 placas cóncavas.

En total son 3 soportes destinados para revestir cada fila de cóncavos de la chancadora.

4.3.1 Proyecto preliminar

El diseño preliminar, después de su evaluación en la matriz morfológica, resulta en un mecanismo que consta de una plataforma (tipo esparrago) con 16 soportes. Cada uno de estos soportes tiene 2 pernos dispuestos una en forma vertical y otra en forma horizontal, las cuales sirven para desplazar la placa cóncava.

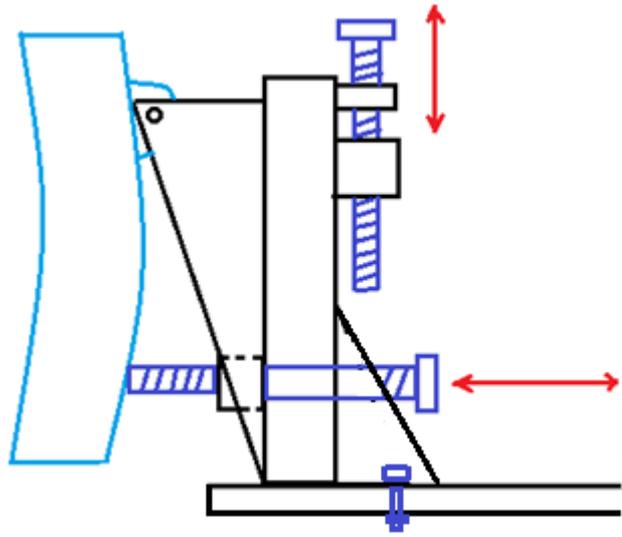


Figura 4.5 Diseño preliminar.

Fuente: Elaboración propia.

La chancadora giratoria 60" x 113", tiene 48 revestimientos cóncavos dispuestas en 3 filas de 16 unidades cada una.

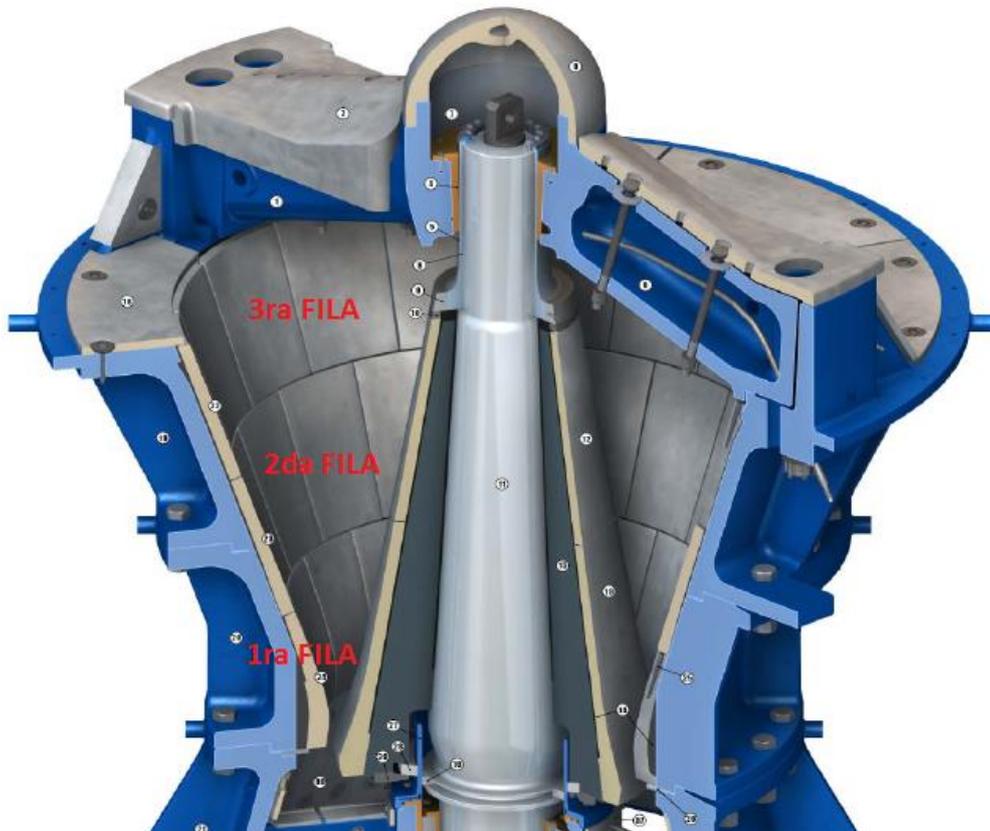


Figura 4.6 Cóncavos en chancadora.

Fuente: FLSmidth & Co.

Los pesos de las placas cóncavas varían según a la fila que pertenecen, las cuales se mencionan a continuación:

- Cóncavo de la 1ra fila (lower mantle): 1100 kg
- Cóncavo de la segunda fila (middle mantle): 510 kg
- Cóncavo de la tercera fila (upper mantle): 510 kg

4.3.1.1 Plataforma circular

El diseño se sujetara a las dimensiones establecidas por la chancadora giratoria 60" x 113". Es por ello que las tres plataformas circulares tendrán diámetros según la posición en la que irán ubicadas. Así mismo cada plataforma circular tendrá soportes de tal manera que la ubique sobre la instalada.

A continuación se muestra un corte de sección de la chancadora giratoria 60" x 113", donde se puede visualizar

un esbozo de las posiciones de las tres plataformas. Cabe resaltar que la plataforma de la primera fila tendrá soportes diferentes ya que esta se apoyara sobre los brazos.

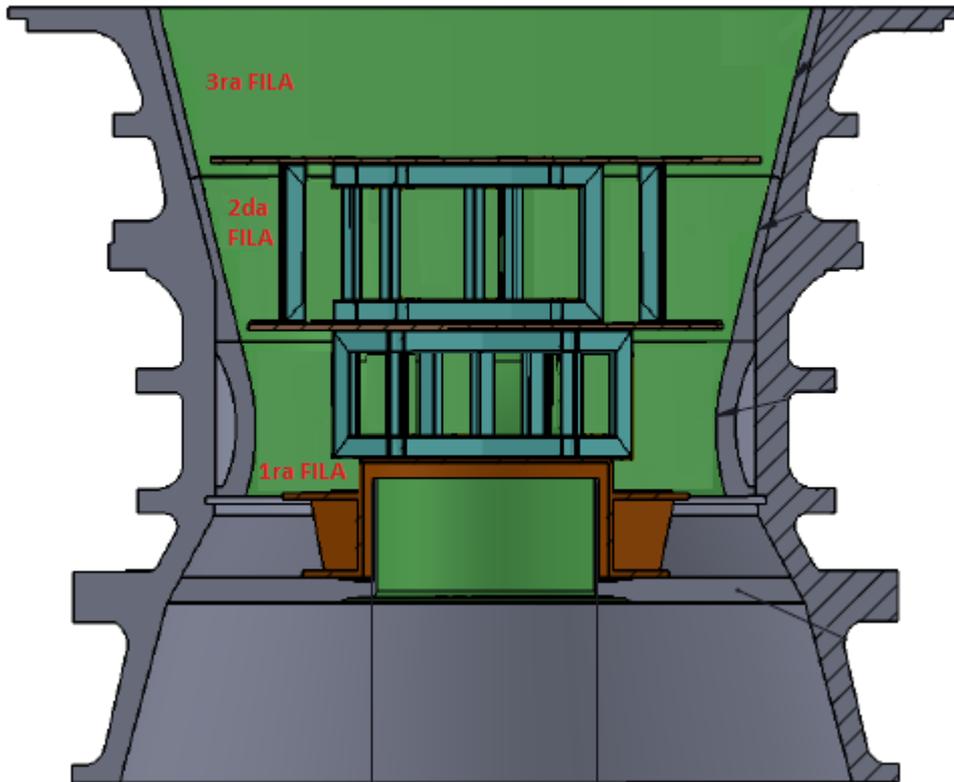


Figura 4.7 Disposición de los las plataformas dentro de la chancadora giratoria 60" x 113".

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2 Proyecto definitivo

Después de analizar el diseño preliminar, se determina el diseño final que se plasmara en planos y proceder a su fabricación. En la siguiente figura se muestra dicho diseño final donde se aprecia que esta cuenta con una plataforma circular con un bastidor soportante así como 16 mecánicos de soporte para las placas cóncavas. Así mismo se muestra el detalle de dicho mecanismo donde se aprecia 02 espárragos que servirán para manipular las placas cóncavas.

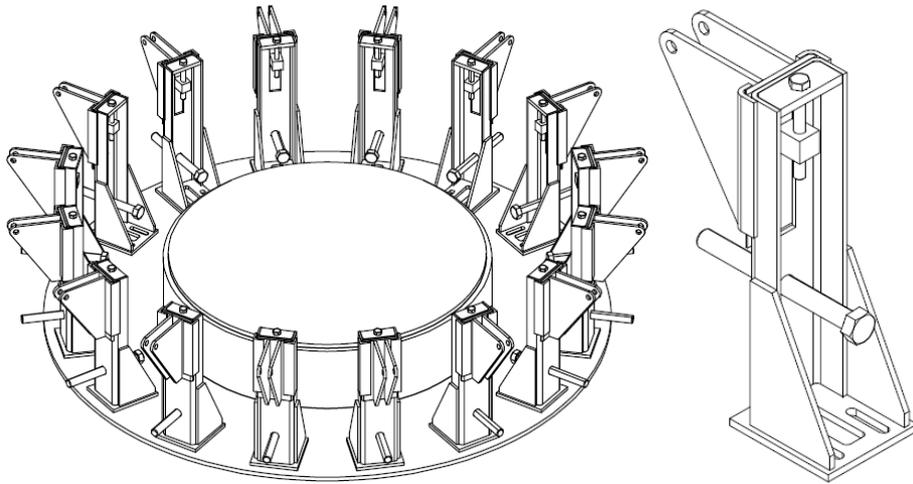


Figura 4.8 Diseño definitivo.
Fuente: Elaboración propia.

V. CONCLUSIONES

- 1.** Se diseñó un aparejo para revestir una chancadora giratoria 60" x 113" que cumple con el objetivo principal que es la reducción del tiempo empleado para revestir a la chancadora.
- 2.** Para evitar posibles fallas mecánicas, durante el diseño del aparejo se consideró un factor de seguridad 3 con la finalidad de garantizar un funcionamiento correcto.
- 3.** El nivel de riesgo del trabajo bajara después de analizar la tarea considerando el aparejo diseñado.
- 4.** En el análisis de tiempo en el cambio de revestimientos, muestra que la duración de la tarea se redujo en 50%.

VI. TRABAJOS FUTUROS

- 1.** Se continuara con la construcción así como su puesta en marcha del diseño de aparejo para revestir una chancadora giratoria 60" x 113".
- 2.** Se continuara con el diseño de más mecanismos que junto al aparejo para revestir, optimicen aún más el tiempo empleado.
- 3.** Se continuara analizando el diseño con la finalidad de hallar más oportunidades de mejora que aseguren cumplir con estándares de seguridad.
- 4.** Se continuara con las ideas que hagan que el tiempo empleado para el mantenimiento, se reduzca aún más.

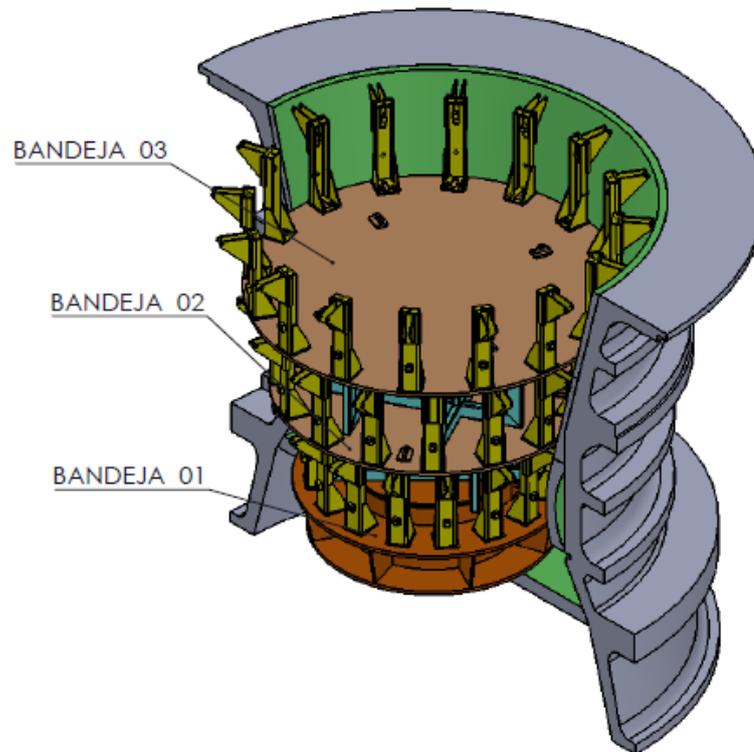
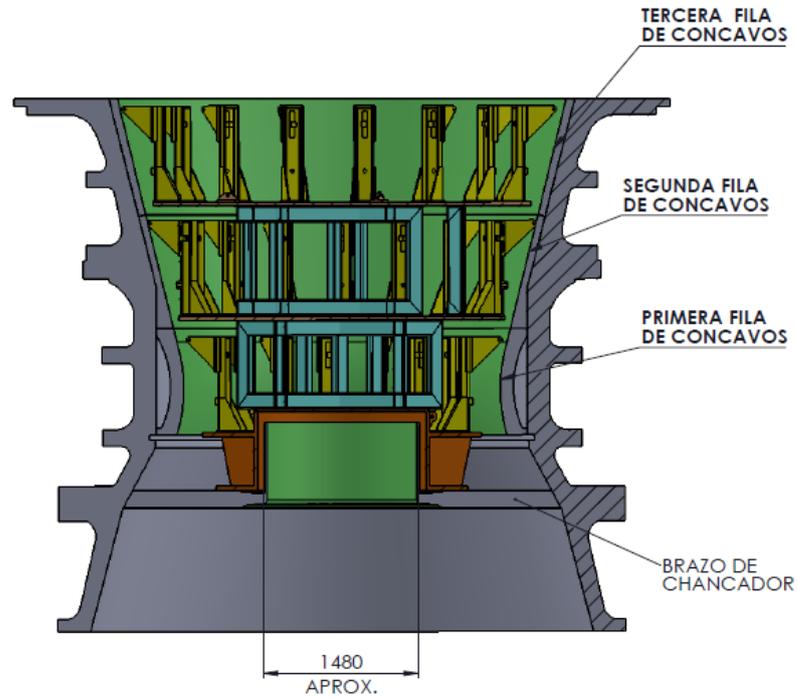
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Crispin Barzola, Pedro Heferson. (2018). *Diseño de un sistema de desplazamiento vertical y posicionamiento de trabajo de un soporte sujetador para motores de combustión interna de capacidad máxima de 1300 kg*. Tesis. Perú: Universidad Continental.
2. Peñafiel Rodríguez, Eduardo. (1991). *Diseño de una Máquina Herramienta de Operación Múltiple para Trabajo Artesanal en Madera*. Tesis. Perú: Universidad Nacional de ingeniería.
3. Budynas, R. y Nisbett, J. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Novena edic. México, D.F.: McGraw-Hill. ISBN 978-607-15-0771-6.
4. Barriga Gamarra, B. (1985). *Métodos de diseño en Ingeniería Mecánica*. Primera edic. Lima, Perú:
5. Beer, F. et al. (2013). *Mecánica de Materiales*. Sexta edic. México, D.F. : McGraw-Hill. ISBN 978-607-15-0263-6.
6. Minera CODELCO de Chile. *Innovaciones de proceso por mineros: Un caso de innovación de usuarios en la industria minera del cobre*. <<https://www.codelco.com/flipbook/innovacion/codelcodigital6/PDF/EXPOSICION/2/59p.pdf>> [Consulta: 13 de diciembre del 2018].
7. Minera BARRICK de Argentina. *Montaje de cóncavas de la fila inferior*. <<https://www.scribd.com/document/102647949/cambio-de-concavas-chancador>> [Consulta: 13 de diciembre del 2018].
8. Minera Cerro Verde. *POE Cambio de cóncavos de chancadora primaria*. <https://www.scribd.com/doc/148158994/01-CMM-0023-POE-Cambio-de-Concavos-de-Chancadora-Primaria>> [Consulta: 13 de diciembre del 2018].

9. Mancheño, M. y Fernández, C. (2012). Manual de prácticas de soldadura con electrodo revestido. Primera edic. España: Ediciones Paraninfo. ISBN 978-84-283-2573-8.
10. Torres Raymundo, Angel Miguel. (2017). Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de la chancadora 60"X113" de Minera Chinalco. Tesis. Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú.
11. Bustamante Cueva, César Enrique. (2013). Montaje para una chancadora primaria FLSMIDTH'S Fuller Traylor Crushers 60" X 113" para la mina Toquepala. Tesis. Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
12. Moubray, John. (2004). Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Segunda edic. Estados Unidos: Edwards Brothers Lillington. ISBN 09539603-2-3.
13. Serrano, Antonio. (1999). El Diseño Mecánico. Primera edic. Mira Editores S.A. 8489859795.
14. Ministerio de Energía y Minas del Perú. Perú: País minero. <<http://www.minem.gob.pe/detalle.php?idSector=1&idTitular=159&idMenu=sub149&idCateg=159>> [Consulta: 28 de febrero del 2019].

VIII. ANEXOS

1. Vista isométrica del diseño del aparejo para revestir una chancadora giratoria 60" x 113".



VISTA DE ENSAMBLE DE ESTRUCTURA
PARA MONTAJE DE CONCAVOS

2. Vista isométrico y de explosión respectivamente del soporte mecánico de los cóncavos. Estas están distribuidas en la periferia de cada aparejo para revestir una chancadora giratoria 60" x 113".

