

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

Trabajo de Investigación

**Diseño de una herramienta para la optimización del
tiempo de desmontaje de pieza en brazo de reacción
HPGR POLYSIUS Modelo PM 8 24/17 Arequipa 2019**

Juan Sixto Arenas Puma

Para optar el Grado Académico de
Bachiller en Ingeniería Mecánica

Arequipa, 2020

Repositorio Institucional Continental
Trabajo de investigación



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

Dedicatoria

A una extraordinaria mujer; a mi esposa Gaby y a las dos razones de mi vivir: mi amado hijo Anthony y mi amada hija Gabriela.

Agradecimiento

Agradezco infinitamente al Padre eterno, consejero admirable, Dios fuerte, príncipe de paz. Por otorgarme el don de la vida y permitir mantenerla hasta estos momentos.

A mi familia, por su invaluable apoyo hacia mi persona, en todas y cada una de las dificultades que se presentaron a lo largo de este proyecto.

A todos mis profesores de la universidad, en especial al profesor Andrés y al profesor Jonathan, por su incansable esfuerzo en transmitir pacientemente sus conocimientos.

A todos mis compañeros y amigos por la ayuda brindada desinteresadamente cuando fue requerida.

Índice de Contenidos

CAPITULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	1
1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.1.1. Planteamiento Del Problema.....	1
1.1.2. Formulación Del Problema	2
1.2 OBJETIVOS.....	3
1.2.1 Objetivo General	3
1.2.2 Objetivos Específicos	3
1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	3
1.3.1 Justificación Teórica.....	3
1.3.2 Justificación Practica	4
1.3.3 Justificación Socio-Ambiental	4
CAPÍTULO II.....	5

MARCO TEÓRICO	5
2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	5
2.2 BASES TEORICAS	7
2.2.1 Rodillos De Molienda De Alta Presión	7
2.2.2 HPGR-Funcionamiento.....	8
2.2.3 Desmontaje Del Elemento De Unión (Pin) Del Brazo De	
Reacción De Los Reductores De Un HPGR Polysius Modelo Pm 8 24/17	
11	
2.2.4 El Diseño En Ingeniería Mecánica	15
2.2.5 Norma VDI 2221.....	20
2.2.6 Definición Conceptos	22
2.2.7 Software AUTODESK INVENTOR	24
CAPÍTULO III.....	28
METODOLOGIA.....	28
3.1 METODOLOGÍA APLICADA PARA EL DESARROLLO DE LA	
SOLUCIÓN.....	28
3.1.1 Descripción o aclaración del problema.....	28
3.1.2 Concepción de la solución.....	29
3.1.3 Elaboración del proyecto.....	30
CAPÍTULO IV	31
ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCION.....	31

4.1 IDENTIFICACION DE REQUERIMIENTOS	31
4.2 ANÁLISIS DE LA SOLUCION	34
4.3 DISEÑO	37
CAPÍTULO V	38
CONSTRUCCIÓN.....	38
5.1 CONSTRUCCION	38
5.2 PRUEBAS Y RESULTADOS	51
CONCLUSIONES	52
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	53
ANEXOS.....	1
Objetivo General	1
Objetivos Específicos.....	1
Justificación Teórica.....	1
Justificación Practica	1
Justificación Socio-Ambiental	1

Lista de tablas

Tabla 1 Requerimientos de equipos de protección para la ejecución del trabajo de retiro de pin de brazo de reacción de HPGR. Procedimiento actual	12
Tabla 2 Requerimientos de equipos y herramientas para la ejecución del trabajo de retiro de pin de brazo de reacción de HPGR. Procedimiento actual ...	12
Tabla 3 Requerimiento de materiales para la ejecución del trabajo de retiro de pin de brazo de reacción de HPGR. Procedimiento actual	12
Tabla 4 Listado de exigencias para el diseño de herramienta de desmontaje de pin de brazo de reacción de HPGR.....	32
Tabla 5 Requerimientos de equipos de protección para la ejecución del trabajo de retiro de pin de brazo de reacción de HPGR. Procedimiento con la herramienta nueva a implementar.....	49
Tabla 6 Requerimientos de equipos y herramientas para la ejecución del trabajo de retiro de pin de brazo de reacción de HPGR. Procedimiento con la herramienta nueva a implementar.....	49

Tabla 7 Requerimiento de materiales para la ejecución del trabajo de retiro de pin de brazo de reacción de HPGR. Procedimiento con la herramienta nueva a implementar.....	50
--	----

Lista de figuras

Figura 1. Representación de HPGR, incluyendo el sistema de amortiguamiento hidráulico.....	9
Figura 2. Grúa semi pórtico de capacidad de 120 TN.	13
Figura 3. Equipo moto soldadora.	13
Figura 4. Tenaza y electrodo de Arc air.	14
Figura 5. Fases del proceso de diseño que reconocen múltiples retroalimentaciones e iteraciones..	16
Figura 6. Características más importantes para consideración de diseño.....	19
Figura 7. Etapas del proceso de la norma DVI 2221.	22
Figura 8. Modelo en 3D de un auto de carreras.	26
Figura 9. Simulación básica de una pieza modelada en 3D.....	27
Figura 10. Técnica de la "caja negra".	29
Figura 11. Esquema de la "caja negra" de herramienta de desmontaje de pin de brazo de reacción de HPGR.	33
Figura 12. Matriz morfológica para diseño de herramienta de desmontaje de pin de brazo de reacción de HPGR.	34

Figura 14. Análisis técnico de soluciones para diseño de la herramienta.....	35
Figura 15. Análisis económico de soluciones para diseño de la herramienta...	36
Figura 16. Explosión de la "herramienta C".....	37
Figura 17. Diseño final de la "herramienta C".	37
Figura 18. Tabla de centroides por secciones.	40
Figura 19. Esfuerzos de puntos críticos.....	42
Figura 20. Diagrama del eje neutro..	43
Figura 21. Planos de fabricación de herramienta "C" (Explosión).	45
Figura 22. Planos de fabricación de Herramienta "C" (Despiece).	45
Figura 23. Equipo de oxicorte.....	46
Figura 24. Amoladora angular de 4 1/2"	47
Figura 25. Tornillo de banco..	47
Figura 26. Máquina de soldeo..	48
Figura 27. Prototipo de herramienta "C"	48

Resumen

El propósito de este trabajo de investigación tecnológica fue la de optimizar el tiempo en el proceso de desmontaje del elemento de unidades (pin) del brazo de reacción de un reductor de velocidad de un HPGR (máquina de molienda terciaria en la gran minería) además de hacer de este proceso un trabajo más simple y seguro.

Para lograr este fin, se propuso el diseño y fabricación de una herramienta mecánica con características específicas y con una ayuda de una gata hidráulica que nos ayude a realizar este desmontaje reduciendo el número de trabajadores, minimizando su exposición al peligro y cuidando el medio ambiente.

Esta herramienta se fabricó en acero estructural ASTM A36, con características adecuadas de manera que pueda soportar las fuerzas que se generen al momento de realizar el trabajo de desmontaje, sin sufrir deformaciones permanentes. Para el corte de las planchas de acero se usa equipo de corte oxiacetilénico y para el soldeo se usa electrodo revestido de bajo hidrogeno.

Palabras clave: HPGR, ASTM, equipo oxiacetilénico, arc-air, amoladora angular.

Abstract

The purpose of this technological research work was to optimize the time in the process of dismantling the unit's element (pin) of the reaction arm of a speed reducer of an HPGR (tertiary grinding machine in mining) in addition to making this process a simpler and safer job.

To achieve this purpose, we proposed the design and manufacture of a mechanical tool with specific characteristics and with the help of a hydraulic tool that helps us carry out this disassembly, reducing the number of workers, minimizing their exposure to danger and taking care of the environment.

This tool was manufactured in ASTM A36 structural steel, with adequate characteristics so that it can resist the forces that generate the moment of dismantling work, without suffering permanent deformations. Oxyacetylene cutting equipment is used to cut the steel plates and low hydrogen coated electrode is used for welding.

Keywords: HPGR, ASTM, Oxyacetylene Equipment, Arc-Air, Angle Grinder.

INTRODUCCION

Los tiempos de detención de equipos (paradas de planta) para mantenimiento en la minería, son cruciales ya que representan un costo muy elevado e impactan directamente en las utilidades de la empresa, de ahí surge la necesidad de realizar los mantenimientos en el menor tiempo posible, el uso de la menor cantidad de recursos, sin sacrificar la seguridad en el trabajo y con una alta calidad en los resultados finales.

En este trabajo se realizan el diseño y fabricación (prototipo) de una herramienta mecánica que nos permita disminuir en la mitad el tiempo del proceso de desmontaje del elemento de unidad (pin) del brazo de reacción de un reductor en el HPGR (máquina de molienda terciaria en la minería), actualmente este proceso de desmontaje se realiza usando una maquina eléctrica y el proceso de corte arc-air para el respectivo corte del pin usado, retirándolo de su lugar constituyendo este un trabajo en caliente.

Con el uso de esta herramienta propuesta el trabajo ha de realizarse con ayuda de una gata hidráulica y unos topes que ayudaran al desmontaje y montaje posterior de este elemento de unión suprimiendo el trabajo en caliente del arc-air y reduciendo el tiempo de desmontaje.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. Planteamiento Del Problema.

El sector minero en el Perú es uno de los sectores con mayor aporte en la economía del país a través de la extracción de diferentes minerales como oro, plata, cobre, plomo, zinc, etc. Se tienen grandes empresas mineras, tales como: Sociedad Minera Cerro Verde SAA, Antamina, Southern Peru Copper Corporation, Cía de Minas Buenaventura, etc., cuya producción aporta cerca al 10% del Producto Bruto Interno (PBI). Es así que, todas estas empresas mineras ubicadas en el Perú invierten bastantes recursos para asegurar la eficiencia en cada uno de sus procesos productivos y reducir los tiempos de parada de equipos.

Un factor importante para lograr dicha eficiencia, es asegurar el bienestar de cada uno de sus empleados al participar en las actividades de mantenimiento a los equipos de producción. En consecuencia, cada empresa establece sus propios estándares de trabajo que aseguren que los trabajos de mantenimiento a ejecutar no expongan a los trabajadores

a cualquier tipo de lesión. Por lo cual, el tiempo de ejecución total se divide por lo general en tres etapas: preparativos, ejecución y post ejecución. Cada una de estas etapas está estandarizada para velar por el bienestar de los trabajadores, así como del medio ambiente. Entendiéndose que, aunque las actividades mineras inevitablemente generan contaminación, éstas son controladas con procedimientos para que se encuentren dentro de los límites permisibles.

En las empresas mineras, tener un equipo detenido genera costos elevados siendo un aproximado de \$30, 000.00 por hora de detención. Para lo cual, se establecen programas de mantenimiento elaborados por el área de planeamiento donde cada una de las 3 etapas está bajo un cronograma de ejecución para evitar retrasos que impacten en las utilidades de la empresa.

De esta forma podemos entender que un trabajo de mantenimiento en los equipos mineros, cuenta con un análisis profundo de los peligros presentes y de los riesgos a los trabajadores que lo ejecutan. Así mismo, cuenta con un análisis de las acciones a implementar para dicha ejecución. Por lo cual, es imprescindible innovar los procedimientos de trabajo con el objetivo de reducir los tiempos de ejecución sin atentar a la seguridad de los trabajadores ni del medio ambiente.

El presente trabajo se realiza como propuesta de innovación al diseñar una herramienta que busca optimizar el tiempo de desmontaje del elemento de unión (Pin) del brazo de reacción de los reductores de un HPGR POLYSIUS MODELO PM 8 24/17 el cual actualmente requiere el uso de una maquina eléctrica de corte (arc air o chamfercord) la cual proyecta partículas candentes de metal fundido en la zona de trabajo.

1.1.2. Formulación Del Problema

¿Cuál es el proceso de diseño de una herramienta para optimizar el tiempo de desmontaje del elemento de unión en HPGR Polysius Modelo PM 8 24/17?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Diseñar una herramienta para la optimización del tiempo de desmontaje del elemento de unión en HPGR Polysius Modelo PM 8 24/17 con el software INVENTOR.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Conocer el funcionamiento de HPGR POLYSIUS MODELO PM 8 24/17.
- Conocer el procedimiento de desmontaje del elemento de unión del brazo de reacción de los reductores de un HPGR POLYSIUS MODELO PM 8 24/17.
- Aplicar la metodología de diseño en la ingeniería mecánica que incluyen la metodología VDI 2221 y 2225.
- Aplicar el software Autodesk INVENTOR para el diseño en 3D de la herramienta a diseñar.

1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

1.3.1 Justificación Teórica

El presente estudio, expone el funcionamiento de un equipo minero (HIGH PRESSURE GRINDING ROLLS – HPGR PM 8 24/17) enfocado en la trituración del mineral proveniente de la extracción, así como el procedimiento para la extracción de su elemento de unión. Así como, la metodología para el diseño de herramientas en la ingeniería mecánica, sirviendo como base para futuros trabajos de innovación que impliquen el diseño y fabricación de herramientas para equipos de producción.

1.3.2 Justificación Práctica

La herramienta para el desmontaje del elemento de unión en un HPGR Polysius Modelo PM 8 24/17 logrará optimizar el tiempo de ejecución, así como la cantidad de recursos (entiéndase materiales, equipos de corte, personal mecánico) empleados en esta actividad de mantenimiento.

Al optimizar el tiempo de ejecución del trabajo, se impactará en la eficiencia (utilidades monetarias) de la empresa al reducir los tiempos de parada del equipo, así como los costos de los recursos empleados.

1.3.3 Justificación Socio-Ambiental

La herramienta mejorará las condiciones de operación al no exponer al personal a trabajos en caliente, así como la exposición de peligros y riesgos al minimizar la complejidad del trabajo. De igual forma, al cuidado del medio ambiente al disminuir la producción de residuos en el área de trabajo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Para el desarrollo del presente trabajo se han tomado en cuenta referencias que nos permitirán tener una visión general del diseño planteado:

Murcia y Vega (2015), en su trabajo titulado “Diseño de equipo para montaje y desmontaje de “machos”, punzones, en moldes instalados en prensas hidráulicas, para la fabricación de pisos y paredes, en la industria cerámica”; nos da a conocer los tipos de equipos utilizados para la manipulación de cargas y específicamente para la actividad de cambio de machos en prensas hidráulicas. Así mismo, describe el desarrollo del diseño y los cálculos correspondientes a cada componente del equipo.

Concluyendo el equipo diseñado permitirá que el proceso para la manipulación de machos sea más ágil y sobre todo seguro. Además, que el diseño de este equipo puede ofrecer una reducción significativa de costos en comparación con la importancia de un equipo existente comercialmente.

Reyes (2018) en su trabajo titulado “Proyecto de Automatización para un molino - high pressure grinding roll (HPGR) modelo 24/ 17-8, usando el lenguaje de programación POLCID en plataforma rslogix y scada en factory talk view me para el proyecto CVPUE 2 (CERRO VERDE 2)”; nos muestra la aplicación de softwares que permitan identificar los diferentes problemas que se podrían presentar al realizar los arranques de los equipos.

Para ello utilizo procesos en lo que usualmente los HPGR son puestos en marcha; también utilizó un lenguaje de programación establecida por la misma organización y funciones lógicas propias en este caso el RS-Logix 5000. De acuerdo al tipo de máquina, se trató por grupos y sistemas diferentes, es decir independientemente para poder incorporarlos a una selección por rangos. Como contribución de esta serie de pasos en el arranque, se usó la programación de un sistema HMI (SCADA) para el control y manejo de los colabores por parte del cliente.

Ballón (2015) en su trabajo titulado “Informe técnico del proceso de operación de los molinos de rodillo de alta presión (HPGR)”; aborda temas de la descripción general de la planta (Sociedad Minera Cerro Verde), Clasificación de minerales y mecanismos de conminación, descripción del proceso de chancado secundario - terciario y la descripción del proceso de operación de HPGR, partes, controles operacionales y cálculos. (BALLON, 2015)

Ambrosio, A., Huamani, C., (2018). En su trabajo titulado “Propuesta de mejora del plan de mantenimiento proactivo del área seca C2 en Sociedad Minera Cerro Verde”; el objetivo del trabajo fue mejorar el mantenimiento proactivo del Área seca C2, donde se operan los equipos de chancado y fajas transportadoras. Para mantener una producción constante y para darle a la planta la máxima eficiencia se necesita tener una buena disponibilidad de planta; actualmente se tiene una disponibilidad de 92.46%; para aumentar la disponibilidad se tendrá que implementar el área de proactivo mejoras y cambios, con finalidad de disminuir las paradas de planta no programadas.

En este trabajo se identifica la oportunidad de mejorar el mantenimiento proactivo, se disminuirá las fallas de equipos inesperadas, además, se tendrá implementada el área de predictivo y también la adquisición de nuevos equipos de monitoreo, esta mejora se aumentaría la disponibilidad de planta en un 0.45% que equivale aproximadamente a 7 millones de dólares.

Ames, J, (2019). En su trabajo titulado “Prototipo de diseño de maquina descascaradora de cacao”; tiene como objetivo el diseño del prototipo aplicando la norma VDI 2221 y 2225, las cuales permiten un proceso estandarizado desde el diseño hasta la fabricación del mismo. Este trabajo nos dará las pautas necesarias para la correcta aplicación de las normas en nuestro trabajo de diseño de nuestra herramienta.

2.2 BASES TEORICAS

2.2.1 Rodillos De Molienda De Alta Presión

Según Kawatra (2006):

La tecnología de rodillos de molienda de alta presión (HPGR) se introdujo por primera vez a escala industrial a mediados de la década de 1980 para la molienda materia prima en la fabricación de cemento. A pesar de las dificultades iniciales como se esperaba con cualquier tecnología nueva, los HPGR rápidamente demostraron ser una adición muy económica para los procesos de conminución debido al menor consumo de energía y la fácil integración en los sistemas convencionales existentes para mejorar la capacidad (p. 15).

Dado que los HPGR's demostraron ser una opción positiva, empezaron a introducirse a nuevos procesos productivos tales como los procesos de conminución de mineral de una empresa minera. Como se mencionó anteriormente en este estudio, la eficiencia juega un papel importante en la producción de las empresas mineras y el tamaño del mineral que se procesa determina la recirculación en los procesos mineros.

Por ejemplo, para un proceso general de una empresa minera se tiene una etapa de voladura donde se extraen rocas con un tamaño aproximado de 1.2 m. las cuales son llevadas al proceso de chancado primario. En este proceso inicial se regula las chancadoras primarias para obtener un mineral chancado de aprox. 100 a 165 mm. Seguidamente, se procede a llevar el material al chancado secundario donde se espera obtener un tamaño aprox. de 50 mm y finalmente el mineral se transporta al chancado terciario donde encontraremos los equipos HPGR's, los cuales trituran el material con un tamaño aprox. de 140 a 150 μm .

Dentro de este proceso hay equipos de selección, como las zarandas, que se encargan de separar el mineral que no haya sido reducido al tamaño deseado para ser reprocesado en las chancadoras secundarias o en las HPGR's. En consecuencia, estos reprocesos generarán mayor consumo de energía y afectarán la eficiencia del proceso.

“El proceso de conminución dentro de toda operación minera resulta ser una etapa clave en las operaciones. Y es que, tanto en el proceso de chancado como en el de molienda, se concentra la mayor parte de la energía invertida en la operación para lograr la reducción de tamaño del material” (Minero, 2020, párr. 1). Adicional al consumo de energía, se tiene el consumo de agua para los procesos de Molienda aumentando los costos promedio de estos dos procesos para la conminución del mineral.

Por lo cual, la eficiencia mostrada por los HPGR's ayuda a elevar la eficiencia del proceso de conminución y en consecuencia a la reducción de costos en recursos empleados.

2.2.2 HPGR-Funcionamiento

A continuación, se explicará de forma general el funcionamiento de un Molino de Rodillos de alta presión.

El HPGR consta de dos rodillos que giran en direcciones opuestas y que descansan en un sistema de rodamientos sobre un marco. La presión es aplicada sólo a uno de los rodillos mediante un sistema hidro- neumático mientras que el otro se mantiene en una posición fija. El marco del rodillo libre, sobre el cual se aplica la presión, desliza sobre una superficie de teflón y su movimiento está gobernado por las fuerzas que actúan tanto desde la superficie del mineral como del sistema de aplicación de presión. La alimentación se realiza por medio de un chute ubicado en la parte superior de los rodillos, el cual se encuentra revestido con materiales de alta resistencia a la abrasión, y que además está equipado con un sistema de control de nivel, de modo de asegurar la formación de un lecho de partículas continuo en la zona de molienda (Meraz, 2017, párr. 11).

Para asegurar la mantención de este lecho de material, en la boca descarga del chute hacia los rodillos de molienda, se encuentran una disposición de dos cuchillas que se pueden cerrar o abrir desde el panel de control en forma hidráulica, de esta manera el operador puede controlar qué porcentaje de mineral en el lecho ha de mantener por medio de unos sensores de nivel, que sean adecuados para la operación.

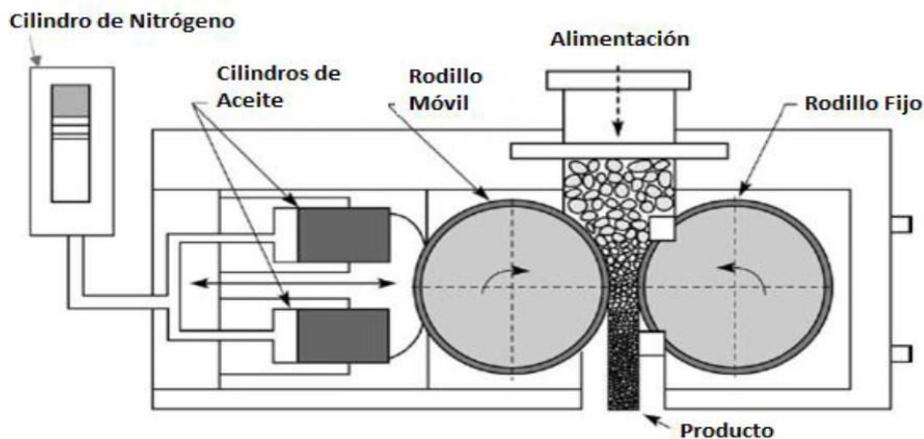


Figura 1. Representación de HPGR, incluyendo el sistema de amortiguamiento hidráulico. Tomado de “EL HPGR REPRESENTA EL FUTURO DE LOS EQUIPOS DE MOLIENDA.”, por Meraz, 2017, párr. 11.

El HPGR al contrario de los molinos de rodillos convencionales para triturado, las partículas se rompen por compresión en un lecho de partículas relleno, y no por medio del prensado directo de las partículas entre los rodillos (Meraz, 2017, párr. 12).

Esto sucede porque existe una separación entre rodillos, llamada gap (30 mm aproximadamente), esta separación permite que ingrese una cierta cantidad de mineral y la conminución se dé entre éstas mismas partículas, produciendo unas microfisuras interiores en el material que posteriormente favorecerán al momento de llegar a los molinos.

Este lecho de partículas se crea por presión entre dos rodillos de rotación opuesta. Entre estos rodillos, se presiona un lecho de partículas a una densidad de hasta 85% aproximadamente de la densidad real del material. Esta compresión se obtiene por medio de la aplicación de alta presión de hasta casi 300Mpa; un proceso que excede la fuerza de compresión del material de alimentación. (Weir Minerals-KHD HPGR) (Meraz, 2017, párr. 13).

En esta parte del proceso se tiene que tener cuidado de evitar que pase algún material inchancable por entre los rodillos, para evitar este hecho, se colocan detectores de metal en la faja de alimentación que desviarán el material por medio de una compuerta hacia un ducto, evitando de esta manera el paso del inchancable por los rodillos y la detención del equipo.

El proceso de ruptura se puede contemplar en dos etapas diferentes. En la primera, el material que ingresa al espacio ubicado entre los rodillos se somete a una aceleración para alcanzar la velocidad tangencial de rodillo. Como resultado del estrechamiento entre los rodillos, el material se compacta en forma gradual y las partículas más grandes se someten a un proceso de chancado previo. En la siguiente etapa, el material resultante ingresa a una zona de compactación. En esta zona es donde se aplica la presión. La fuerza de presión actúa principalmente sobre todas las partículas que atraviesan la zona de compresión. Esto da como resultado la desintegración de la mayor parte de las partículas (Meraz, 2017, párr. 14).

El sistema hidráulico que controla el rodillo móvil posee dos sensores de posición que en todo momento deben indicar el mismo desplazamiento ya sea en una dirección o en la opuesta, el sistema detecta si hay una variación entre valores y si esta variación es mayor a 5mm, mandará una señal deteniendo el equipo.

En la zona de compactación existe una distribución de presión a lo largo del rodillo. El perfil de presión a través del rodillo muestra una reducción de la presión hacia

los bordes de este, lo que explica que el producto de la zona de los bordes de los rodillos presente granulometrías mayores a la zona del centro de estos. Esto es lo que se conoce como el “efecto borde” (Morrell, 1997) (Meraz, 2017, párr. 15).

En los extremos laterales de los rodillos se encuentran unas placas que impiden que el material escape por esos lados, estas placas están revestidas por insertos de un material muy duro llamado carburo de tungsteno que pueden resistir la abrasión de este material de granulometría mayor.

Durante el proceso, se generan micro fisuras dentro de las partículas, y esto provoca un debilitamiento de estas para la siguiente etapa de molienda. La presión que se ejerce sobre un lecho de partículas reduce el desgaste debido a que el procedimiento principal de molienda no se produce entre la superficie del rodillo y el material, sino que tiene lugar entre las partículas [...] (Meraz, 2017, párr. 16).

Esta reducción de desgaste en los insertos de carburo de tungsteno (material con que se encuentra revestido los rodillos) es significativa, en el campo se llega a tener una vida útil de estos rodillos de aproximadamente un año, contribuyendo de esta manera a mayores ingresos en la empresa.

2.2.3 Desmontaje Del Elemento De Unión (Pin) Del Brazo De Reacción De Los Reductores De Un HPGR Polysius Modelo Pm 8 24/17

I. Objetivos: Describir el procedimiento a seguir para la correcta ejecución del “cambio de pin de brazo de reacción de HPGR”.

Alcance: Aplica para el “cambio de pin de brazo de reacción de HPGR” desde la preparación hasta la entrega del equipo al área de operaciones. Orden y limpieza en el área de trabajo.

II. Responsables:

- a. Ingeniero supervisor de mantenimiento.
- b. Técnico supervisor de mantenimiento

c. Técnico mecánico de mantenimiento

III. Requerimientos:

a. Requerimiento de equipo de protección

Tabla 1 Requerimientos de equipos de protección para la ejecución del trabajo de retiro de pin de brazo de reacción de HPGR. Procedimiento actual

Cantidad	Descripción
01	EPP Básico
01	EPP específico (según rol a desarrollar)

Fuente: Elaboración propia.

b. Requerimiento de equipos / herramientas

Tabla 2 Requerimientos de equipos y herramientas para la ejecución del trabajo de retiro de pin de brazo de reacción de HPGR. Procedimiento actual

Cantidad	Descripción
01	Máquina de soldar
01	Manguera de aire
01	Comba 4 lbs
01	Pata de cabra
01	Barretilla
02	Eslinga de 2m x 4 TN de capacidad
02	Grilletes de 3/4"
01	Cuerdas para usarse como viento
01	Tenaza de arc - air
01	Gata hidraulica + piston hidraulico 10 TN

Fuente: Elaboración propia.

c. Requerimiento de materiales

Tabla 3 Requerimiento de materiales para la ejecución del trabajo de retiro de pin de brazo de reacción de HPGR. Procedimiento actual

Cantidad	Descripción
02 kg	Carbón para arc - air
1/2 kg	Trapo industrial
01	Penetrating oil
4 mts	Mantas ignífugas

Fuente: Elaboración propia.

IV. Procedimiento

- Traslado y ubicación de la máquina de soldar.
- Considerar el traslado y ubicación de la máquina de soldar en el piso, al costado del reductor HPGR. Asegurarse que la máquina de soldar (moto soldadora) cuente con su bandeja de 2da contención. Se usará 01 eslinga de polyester de 2m x 4m de capacidad. Trasladar la caja de herramientas al sitio de trabajo.
- Ubicar el puente grúa por encima del brazo de reacción verificando que el recorrido esté libre de obstáculos.



Figura 2. Grúa semi pórtico de capacidad de 120 TN. Fuente: elaboración propia.



Figura 3. Equipo moto soldadora. Fuente: elaboración propia.

- **Bloqueo De Equipo**

Se bloquean todos los equipos aguas arriba y aguas abajo.

- **Corte De Pin Con Arc-Air**

- Demarcación del área de trabajo con conos y barras.
- Instalación de mantas ignifugas alrededor del brazo de reacción asegurándose de estar mojadas y tapar el área de proyección de material incandescente.
- Instalación de máquina de aire con la tenaza de arc-air, revisando fugas de aire en maquina y conexiones.
- Colocación de eslingas al otro extremo del brazo de reacción, opuesto al corte para asegurar con el puente grúa una vez que sea liberado el pin.
- Proceder a cortar el pin usando arc-air, empezando por una de sus caras y continuando hasta ser perforado de lado a lado, luego retirar los restos con comba y la pata de cabra. Realizar la limpieza respectiva para el ingreso del pin nuevo.
- Instalación de pin en brazo de reacción.
- Una vez limpio el alojamiento del brazo y el pin nuevo, verificar medidas de ambos elementos luego proceder al montaje utilizando la gata hidráulica de 10 tn. apoyando la gata en la estructura inferior contigua al brazo.
- Verificar el ingreso del pin, colocar los seguros a ambos lados y en el canal respectivo.



Figura 4. Tenaza y electrodo de Arc air. Fuente: elaboración propia.

V. Orden Y Limpieza

El personal mecánico retira los repuestos usados, materiales y herramientas de la zona de trabajo, limpia toda el área y retira los bloqueos, demarcaciones y señalizaciones.

Al concluir la tarea el personal dispondrá de los residuos según normativa. Supervisor de mantenimiento comunica el termino de los trabajos y se procede con el operador a coordinar las pruebas de arranque y la conformidad del estado del equipo para terminar con el desbloqueo del mismo.

2.2.4 El Diseño En Ingeniería Mecánica

La ingeniería mecánica está relacionada directamente con la producción y el procesamiento de diferentes tipos de energía las cuales deben estar sometidas a un proceso constante de innovación que permita mostrar la capacidad de los profesionales respecto a su creatividad como diseñador, su habilidad y destreza para resolver problemas.

Estos problemas que se presentan continuamente en las empresas, se vuelven un reto continuo donde el ingeniero mecánico debe proponer soluciones que no afecten el medio ambiente donde se apliquen los diferentes conocimientos adquiridos durante el estudio de pregrado. “Un simple muñón y cojinete involucran flujo de fluidos, transferencia de calor, fricción, transporte de energía, selección de materiales, tratamientos termo mecánicos, descripciones estadísticas, etc.” (Budynas y Nisbett, 2008, p. 5).

2.2.4.1 Fases e interacciones del proceso de diseño

Según Budynas y Nisbett (2008):

El proceso completo, de principio a fin, que a menudo se bosqueja como se muestra en la figura 1, comienza con la identificación de una necesidad y la decisión de hacer algo al respecto. Después de muchas iteraciones, termina con la presentación de los planes para satisfacer la necesidad. De acuerdo con la naturaleza de la tarea de diseño, algunas fases de éste pueden repetirse durante la vida del producto, desde la concepción hasta la

terminación. En las siguientes secciones se examinarán estos pasos del proceso de diseño con más detalle (p. 5).

Es muy importante mantener un orden y una correlación en todo proceso o diseño, ya que nos ayuda a llevar un mejor control de todos los pasos que componen dicho proceso, aclarando y visualizando de mejor manera todo el panorama completo ayudando a situarnos correctamente.

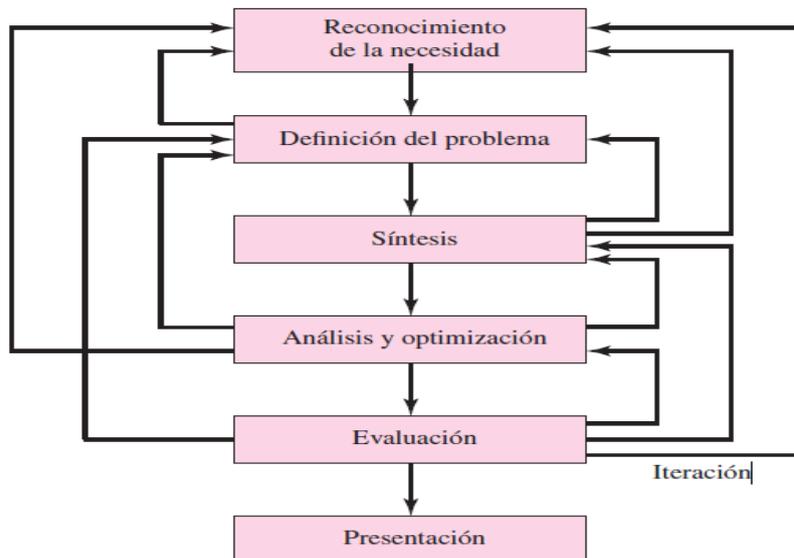


Figura 5. Fases del proceso de diseño que reconocen múltiples retroalimentaciones e iteraciones. Tomada de "Diseño en Ingeniería mecánica de Shigley", por Budynas y Nisbett, 2008, p. 5.

Los diagramas o mapas mentales son de gran ayuda para poder visualizar un orden y apreciar fácilmente la idea principal que se quiera transmitir, dándonos una información abreviada en una primera vista.

Por lo general, el proceso de diseño comienza con la *identificación de una necesidad*. Con frecuencia, el reconocimiento y la expresión de ésta constituyen un acto muy creativo, porque la necesidad quizá sólo sea una vaga inconformidad, un sentimiento de inquietud o la detección de que algo no está bien. A menudo la necesidad no es del todo evidente; el reconocimiento se acciona por una circunstancia adversa particular o por un conjunto de circunstancias aleatorias que se originan casi de manera simultánea (Budynas y Nisbett, 2008, p. 5).

A lo largo de la vida profesional se van adquiriendo hábitos y costumbres, precisamente uno de esos hábitos, es la de reconocer una necesidad de mejora en una línea de producción, en una máquina, herramienta, proceso, etc. Complemento ideal de una larga trayectoria profesional.

La *definición del problema* es más específica y debe incluir todas las especificaciones del objeto que va a diseñarse. Las especificaciones son las cantidades de entrada y salida, las características y dimensiones del espacio que el objeto debe ocupar y todas las limitaciones sobre estas cantidades. Puede considerarse al objeto que va a diseñarse como algo dentro de una caja negra. En este caso deben especificarse las entradas y salidas de la caja, junto con sus características y limitaciones. Las especificaciones definen el costo, la cantidad que se va a manufacturar, la vida esperada, el intervalo, la temperatura de operación y la confiabilidad. Los puntos obvios en las especificaciones son las velocidades, avances, limitaciones de la temperatura, el intervalo máximo, las variaciones esperadas en las variables, las limitaciones dimensionales y de peso, etcétera (Budynas y Nisbett, 2008, p. 6).

La importancia de mantener todos estos parámetros bien definidos, radica en una visión exacta y clara de todas las variantes que van a determinar la viabilidad de un conjunto de procesos que a la postre nos darán un resultado óptimo acorde al trabajo realizado.

Algunas veces, a la síntesis de un esquema que conecta elementos posibles del sistema se le llama *invención del concepto* o *diseño del concepto*. Éste es el primer y más importante paso en la tarea de la síntesis. Varios esquemas deben proponerse, investigarse y cuantificarse en términos de

medidas establecidas [...] la *síntesis*, el *análisis* y la *optimización* están relacionados en forma íntima e iterativa (Budynas y Nisbett, 2008, p. 7).

La ventaja de proponer diferentes esquemas orientados a una misma idea de solución, enriquece la posibilidad de tener una mayor claridad de visualizar la mejor opción aplicable al proceso y tener los resultados esperados.

Puede observarse, y debe destacarse, que el diseño es un proceso iterativo en el cual se procede a través de varios pasos, se evalúan los resultados y luego se regresa a una fase inicial del procedimiento. De esta manera es posible sintetizar varios componentes de un sistema, analizar y optimizarlos y regresar a la síntesis para ver qué efectos tiene sobre las partes restantes del sistema [...] la *evaluación* es una fase significativa del proceso de diseño total. La evaluación representa la prueba final de un diseño exitoso y por lo general implica la prueba del prototipo en el laboratorio. Aquí se desea descubrir si el diseño en verdad satisface la necesidad o las necesidades. ¿Es confiable? ¿Competirá exitosamente con productos similares? ¿Es económica su manufactura y uso? ¿Se mantiene y se ajusta con facilidad? ¿Se puede obtener una ganancia por su venta o uso? ¿Qué tan probable es que el producto propicie demandas legales? ¿Se obtiene un seguro con sencillez y a bajo costo? ¿Quizá sea necesario que se reconozca que se requiere reemplazar partes o sistemas defectuosos? (Budynas y Nisbett, 2008, p. 7).

En esta etapa del proceso de diseño nos enfocamos a responder, a dilucidar si estamos yendo en el camino correcto que en un principio se planteó, las respuestas a las preguntas hechas anteriormente nos darán un mejor panorama de lo logrado hasta ese momento y si quedaremos conformes o no.

La comunicación de los resultados a otros es el paso final y vital de *presentación* del proceso de diseño. Sin duda, muchos grandes diseños, invenciones y trabajos creativos se han perdido para la posteridad sólo porque sus creadores no fueron capaces o no estuvieron dispuestos a explicar sus logros a otros. La presentación es un trabajo de venta. El ingeniero, cuando presenta una nueva solución al personal administrativo, gerencial o de supervisión, está tratando de vender o de probarles que la solución que él propone es la mejor [...] (Budynas y Nisbett, 2008, p. 7).

La forma en que presentemos un resultado, independiente de si ese resultado es conveniente o no, determinará la aceptación o no del mismo, no solamente debemos preocuparnos del fondo, sino también de la forma. Contribuyendo enormemente de esta manera a la consecución satisfactoria de nuestro fin inicial.

2.2.4.2 Consideraciones de diseño

Las características del diseño involucran muchas propiedades tales como resistencia, tamaño, forma, geometría, etc. Por lo cual, se debe tener en consideración muchas características para evaluar el diseño de una situación en particular. A continuación, se muestra una lista de las más importantes que se pueden resaltar, aunque el orden no resta importancia a las demás.

1	Funcionalidad	14	Ruido
2	Resistencia/esfuerzo	15	Estilo
3	Distorsión/deflexión/rigidez	16	Forma
4	Desgaste	17	Tamaño
5	Corrosión	18	Control
6	Seguridad	19	Propiedades térmicas
7	Confiabilidad	20	Superficie
8	Manufacturabilidad	21	Lubricación
9	Utilidad	22	Comercialización
10	Costo	23	Mantenimiento
11	Fricción	24	Volumen
12	Peso	25	Responsabilidad legal
13	Vida	26	Capacidad de reciclado/ recuperación de recursos

Figura 6. Características más importantes para consideración de diseño. Tomada de "Diseño en Ingeniería mecánica de Shigley", por Budynas y Nisbett, 2008, p. 8.

2.2.5 Norma VDI 2221

Esta norma se estableció en Alemania por Verein Deutscher Ingenieure(Sociedad de Ingenieros Profesionales). Este modelo es muy eficiente para la proyección y elaboración de productos y sistemas técnicos gracias a su enfoque sistemático.

Como se sabe, todo proceso contiene sub procesos, el cual nos ayudan a entender mucho mejor las actividades presentes para llegar a su fin último, es decir, el producto final. Por ello, la norma VDI 2221 se desarrolla en 7 etapas, las cuales mantienen una secuencia entre ellas y un orden lógico.

Las etapas son las siguientes:

- a) **Descripción o aclaración del problema:** esta etapa es realmente muy relevante, ya que tendrá como tarea la investigación del problema y las necesidades del cliente que serán logradas gracias al producto propuesto, para ello se tendrá que formular un listado de exigencias, especificaciones. Cabe recalcar que esta etapa generalmente sufre modificaciones a lo largo del diseño del producto.
- b) **Determinar las funciones y sus estructuras:** Tiene como resultado una estructura funcional, para ello, se tiene que determinar las funciones y sub funciones, estructuras mediante gráficas. Gracias a esa actividad nos permite separar de forma cuantitativa el problema.
- c) **Búsqueda de principios de solución y sus combinaciones:** En esta etapa se buscan las posibles soluciones de la etapa anterior, elaborando una matriz morfológica con las mismas, y luego definir puntuaciones indicando si cumplen o no los requerimientos.
- d) **División en módulos:** Para esta etapa se elabora un diagrama de funciones, el cual, ayuda a definir los requerimientos del producto.

- e) **Distribución de módulos principales:** Los diseños de los módulos principales se profundizan para terminar de aclarar las funciones establecidas en la etapa anterior, teniendo como resultado un diseño preliminar. Las herramientas más utilizadas son los planos, montajes, entre otros

- f) **Completar la distribución general:** En esta etapa se profundiza aún más la información de los diseños anteriores sobre los componentes que estos incluyen. Tiene como resultado un diseño final o definitivo, para ello, se pueden representar de diagramas de procesos o diagramas de análisis de proceso (DOP, DAP), diagramas de instrumentación, etc.

- g) **Preparación de la producción e instrucciones de operación:** En esta etapa se desarrolla la documentación del producto, además de determinar los responsables de departamento. La herramienta que comúnmente se utiliza es un manual de instrucciones.

En la siguiente figura se muestra gráficamente la secuencia de las etapas y sus respectivos resultados.

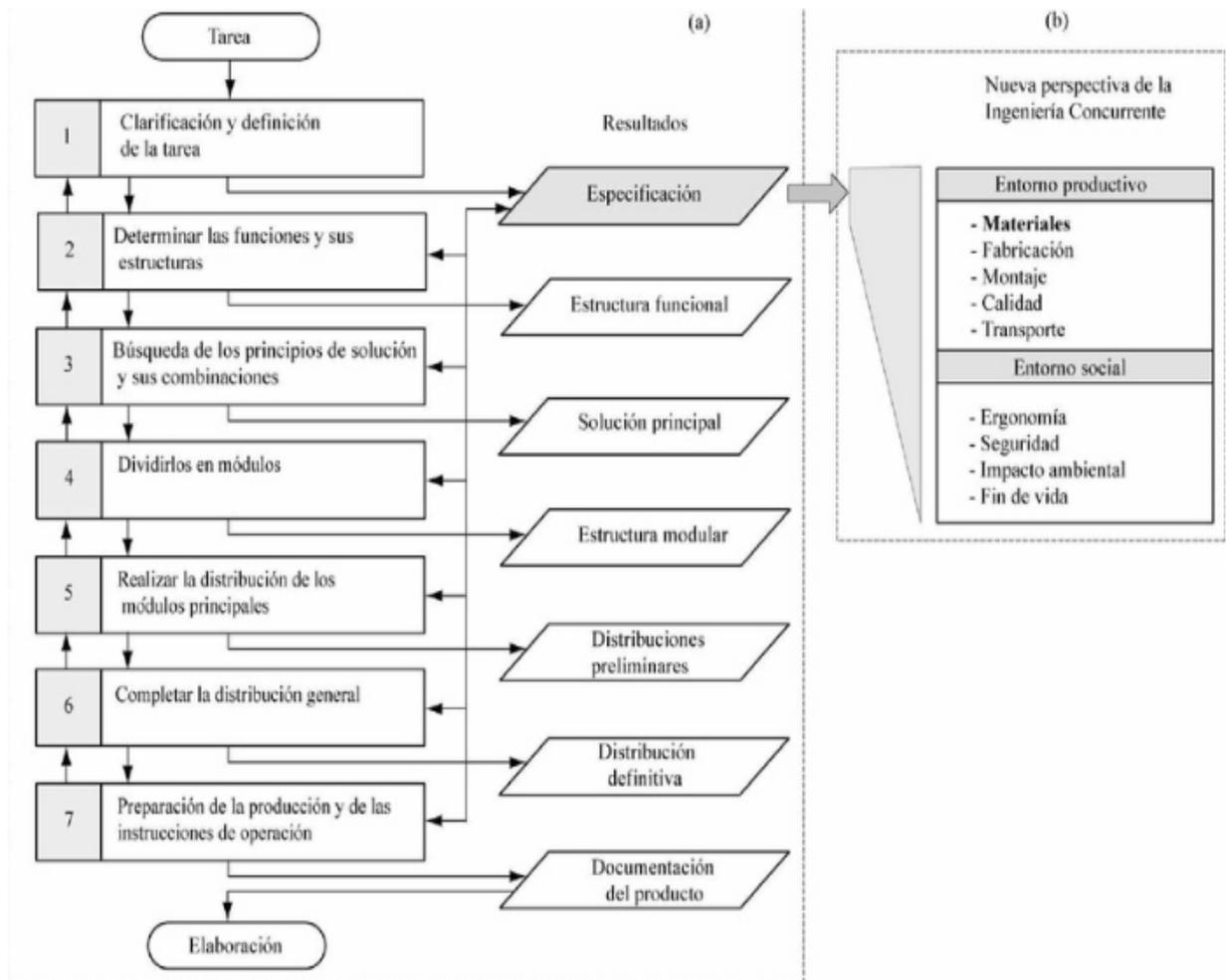


Figura 7. Etapas del proceso de la norma VDI 2221. Tomada de "THE DEVELOPMENT OF THE GUIDELINE VDI 2221- THE CHANGE OF DIRECTION", por Jansch y Birkhofer, 2006, p. 47.

2.2.6 Definición Conceptos

- **Conminución:** Se refiere a la disminución de tamaño de material extraído a partir del proceso de explotación. La conminución se da, generalmente, en el proceso de chancado y molienda de una planta minera.
- **Desmontaje:** Proceso mediante el cual un conjunto de piezas de un mecanismo es desarmado (separado pieza a pieza) para efectuar un recambio de las mismas o un trabajo de mantenimiento preventivo/correctivo.
- **Mineral:** Es un compuesto inorgánico que existe en la corteza terrestre y está constituida por uno o varios elementos. Es la materia prima de un proceso minero.

- **Brazo de reacción:** Estructura metálica compuesta por un tramo sólido de metal y un agujero en cada extremo, unidos a una parte fija en el piso a un reductor para evitar el giro del mismo al momento de transmitir movimiento.
- **PBI:** Producto Bruto Interno, término utilizado en la economía para reflejar el valor monetario de la producción de un país en referencia a los bienes y sus servicios.
- **Reductor:** Mecanismo compuesto por un tren de engranajes de diferentes diámetros al interior de una caja metálica, que tienen como finalidad reducir la velocidad de entrada de un eje para adaptarla a diferentes necesidades.
- **Arc-air:** Proceso mediante el cual se combina la acción de un arco eléctrico a altas temperaturas (3000 °C) y aire para fundir un metal y soplarlo logrando de esta manera disminuir área y volumen (se utiliza para cortar todo tipo de metal, además de hacer biseles y canales).
- **Chamfercord:** Electrodo usado en el campo de la soldadura para cortar, biselar, ranurar y acanalar metales ferrosos y no ferrosos. Usan fuentes de poder (máquinas de soldar).
- **Pin:** elemento metálico cilíndrico de unión entre dos piezas metálicas provistas de agujeros en sus extremos y que requiere un grado de ajuste para su instalación.
- **HPGR:** Rodillos de molienda de alta presión conformado por 2 rodillos metálicos de gran dimensión que giran en sentidos opuestos y trabajan en forma paralela para disminuir el tamaño del mineral.
- **Autodesk Inventor:** Es un programa de diseño mecánico con herramientas suficientes para elaborar planos, dibujos, ensamble de partes y simulación de productos.

2.2.7 Software AUTODESK INVENTOR

Autodesk Inventor es el programa para diseño mecánico avanzado en 3D, con modelado paramétrico, directo y libre, tiene una capacidad base para realizar diseño de piezas, sus dibujos y ensambles de partes. En una versión profesional, Inventor ofrece simulación por elementos finitos, sistemas de movimientos, chapa metálica, ruteo de cables, plástico, moldes y administración de datos (Álvarez, 2015, párr. 1).

Una de las principales ventajas de este programa es la gran variedad de herramientas que pone al alcance de todos los usuarios ayudando de esta manera a solucionar cualquier inconveniente que se pudiera presentar al momento de diseñar, además de poseer una gran variedad de opciones para elegir tipos de material.

Con un programa como Autodesk Inventor, los diseñadores, ingenieros y emprendedores pueden conceptualizar ideas, crear modelos 3D y documentarlos para la vida real, también es posible someter el diseño a una validación virtual variando sus parámetros, analizando su resistencia, desde la optimización su forma hasta la preparación de moldes. Este escenario se puede contemplar para una pieza o para una maquina conformada por ensambles de piezas. Inventor tiene un enlace con la aplicación en la nube Fusion 360 que lee los datos de la geometría sólida y extiende la información del diseño a más personas en la nube (Álvarez, 2015, párr. 2).

Todos los trabajos, ideas, innovaciones y mejoras que se puedan proponer se estrellan con la pregunta natural y lógica, si funcionará o no. Este programa nos da la posibilidad de probar nuestra propuesta, antes de ser fabricada y corregir cualquier anomalía que se pudiera detectar durante la simulación de nuestro producto.

El uso de tecnología como la de Autodesk Inventor te hace productivo en tiempo y tareas, esto impacta directamente en reducción de costos, llevando estos beneficios a tu producto gracias a la implementación de esta tecnología. Este ejercicio sin duda, es justificante para justificar la inversión (Álvarez, 2015, párr. 3).

El tiempo cumple un rol muy importante en todos los quehaceres de la vida diaria, especialmente cuando en ello está involucrado un producto o un servicio que se ha de prestar, de esto depende que muchas empresas logren emerger en un mercado tan competitivo como el que estamos viviendo actualmente en nuestra sociedad.

Inventor puede abarcar varias fases en la empresa, desde la idea de diseño hasta la producción, las áreas comerciales y de mercadotecnia ya que se benefician por sus bondades como preparar los archivos para imprimir el diseño en 3D para usarlos en presentaciones o crear imágenes o renders foto realistas, el grupo de diseño reproducen varias presentaciones del producto variando sus dimensiones, compara y hace iteraciones para reducir el tiempo de toma de decisión, el departamento de ingeniería aprovechan la información de diseño para analizarlo y evaluar el diseño de la herramienta y planear el layout del ensamble. Verdaderamente se aprecia cómo impacta la implementación de esta tecnología varias áreas de la empresa (Álvarez, 2015, párr. 4).

Varias dificultades se presentan cuando un producto es diseñado y llevado a la simulación con resultados satisfactorios, luego viene el proceso de adjuntar toda la documentación requerida que sustente el funcionamiento del mismo, para poder poder iniciar la fabricación del producto. El programa tiene la capacidad para cumplir con este requerimiento.

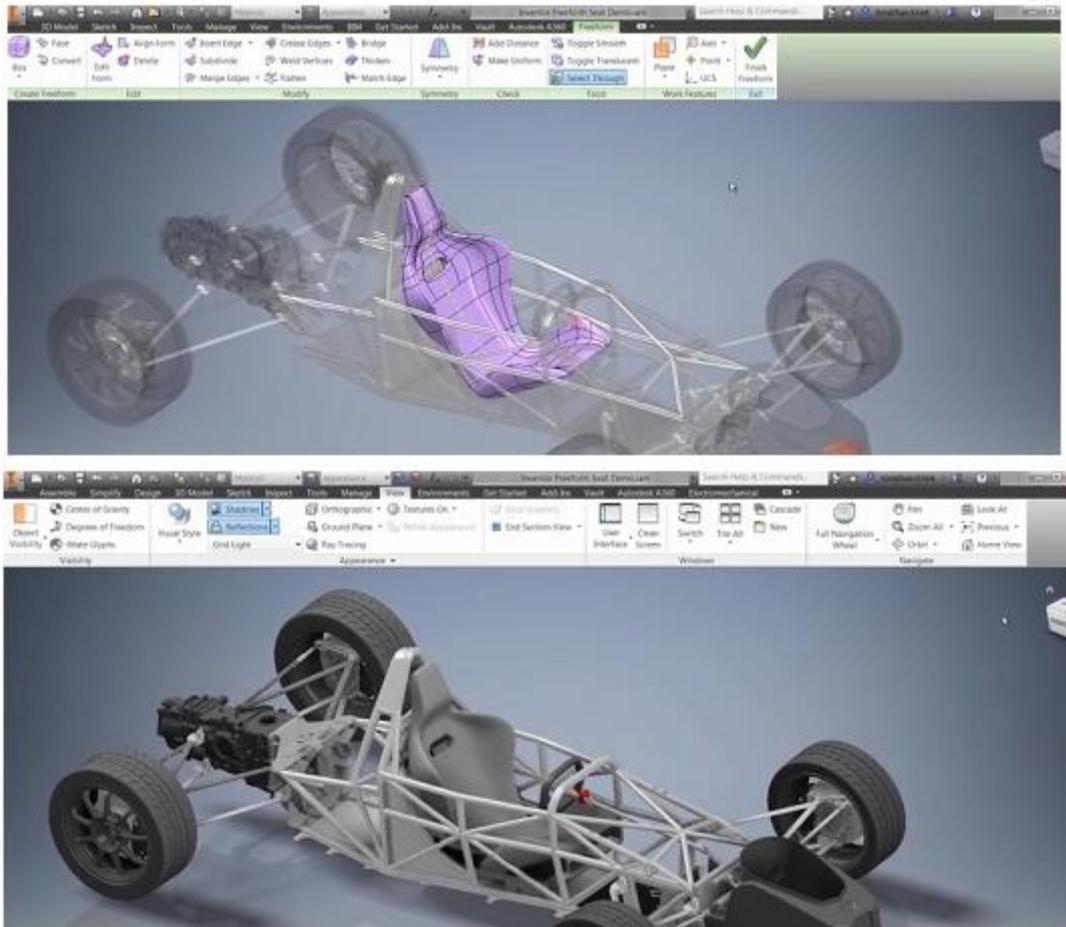


Figura 8. Modelo en 3D de un auto de carreras. Tomado de "Autodesk Inventor un sistema de diseño mecánico inteligente con modelado 3D", por Álvarez, 2015, párr. 4.

La aplicación puede crear geometrías como superficies y sólidos basados en su kernel propietario Autodesk Shape Manager (ASM) desarrollado entre Autodesk, ACIS y Spatial, su tecnología ha evolucionado para que con número bajo de pasos en operaciones de modelado, se puedan crear geometrías complejas, lo que te hace más eficiente en el día a día. Con Autodesk Inventor es posible modelar superficies de forma libre, ergonómica y hacerle ajustes, crear mallas trianguladas, repararlas y conectarlas con superficies o dividir las. Una vez creada la pieza puede diseñarse ensambles que conformen un sistema conectado inteligente, una máquina, por ejemplo, donde cada componente es identificado e interrelacionado con los demás. También es posible documentar estos diseños y almacenarlos

(Vault), colaborar con otras áreas revisando y comentando en línea los proyectos de diseño (Álvarez, 2015, párr. 5).

Es increíble la capacidad que posee este programa para poder analizar a detalle cada elemento constitutivo de un producto, haciendo cortes y mostrando detalles en cada una de las zonas que se desee analizar, llevar una secuencia perfecta del montaje de cada componente, mostrando si una superficie encaja en otra sin dificultad.



Figura 9. Simulación básica de una pieza modelada en 3D. Tomado de “Autodesk Inventor un sistema de diseño mecánico inteligente con modelado 3D”, por Álvarez, 2015, párr. 6.

CAPÍTULO III

METODOLOGIA

3.1 METODOLOGÍA APLICADA PARA EL DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

3.1.1 Descripción o aclaración del problema.

En esta etapa se investigará y definirá las características que deberá tener nuestra herramienta a diseñar para satisfacer las necesidades del trabajo de mantenimiento en cuestión. Se utilizará la herramienta de “listado de exigencias” donde se colocará los requerimientos de la herramienta, así como su valoración de ser un “Deseo” o “Exigencia”. Así mismo, se dará una descripción de cada requerimiento especificando sus características.

3.1.2 Concepción de la solución

3.1.2.1 Estructura de funciones

En esta etapa empezamos con el listado de requerimientos como dato de entrada. Siendo este un proceso de abstracción cuyo objetivo es abarcar todas las soluciones posibles y viables a la necesidad establecida que se desea suplir con el diseño de la herramienta.

I. La caja negra.

Con este proceso de abstracción, se establecerán las entradas y las salidas de nuestro elemento de estudio (herramienta para desmontaje de pin de brazo de reacción del HPGR).

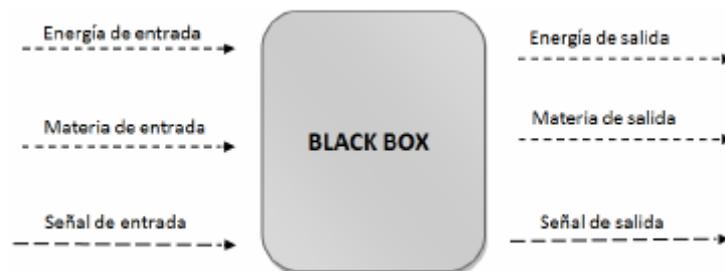


Figura 10. Técnica de la "caja negra". Fuente: elaboración propia.

3.1.2.2 Elaboración del concepto.

I. Matriz morfológica

Una vez establecidas las sub funciones de nuestro elemento de estudio, se determinará a través de la matriz morfológica las opciones de solución para cada sub función.

De esta forma se tendrá diferentes alternativas de solución las cuales se unirán para generarnos como resultado 2 o 3 soluciones finales para el diseño de la herramienta.

II. Análisis técnico de las soluciones

Para esta etapa evaluaremos las soluciones que se hayan generado en la matriz morfológica a través de criterio de evaluación tales como:

- Seguridad.
- Rapidez.
- Manipulación.
- Confiabilidad.
- Fabricación.
- Etc.

III. Análisis económico de las soluciones

Para esta etapa evaluaremos las soluciones que se hayan generado de la matriz morfológica a través de criterios de evaluación tales como:

- Número de piezas.
- Productividad
- Costos diversos
- Fácil montaje
- Fácil mantenimiento.
- Etc.

3.1.3 Elaboración del proyecto

Una vez definida la mejor solución a partir de los análisis técnico-económicos se procederá a realizar los planos de fabricación para dar pase a la fabricación de la herramienta.

Para esto, nos apoyaremos en el software Autodesk Inventor donde podremos diseñar las herramientas y generar los planos de fabricación.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCION

4.1 IDENTIFICACION DE REQUERIMIENTOS

4.1.1 Listado de requerimientos.

A continuación, se mostrará la lista de requerimientos establecidos para la herramienta a diseñar, considerando todo punto importante que satisfaga las características de la herramienta para ejecutar el trabajo de retiro de pin del brazo reductor de la HPGR.

Tabla 4 Listado de exigencias para el diseño de herramienta de desmontaje de pin de brazo de reacción de HPGR

Requerimiento	Deseo o Exigencia	Descripción
Geometría	E	El tamaño de apertura área el alojamiento del pistón y del pin, no deberá ser menor a 800mm y la altura interior no menos de 490 mm y el diámetro del agujero no menor a 200 mm. Poseer puntos de izaje para su funcionamiento
Material	E	Material adecuado para soportar las fuerzas que se originaran (material ASTM A36 acero estructural al carbono). Uso de soldadura E-7018 libre de humedad
Ergonomía	E	Para el adecuado manejo de la herramienta se coloca orejas de izaje en puntos convenientes para el uso de aparejos de izaje ya que su peso es considerable. No deberá poseer puntos filosos (amolar superficie).
Fabricación	E	En la fabricación se deberá tener en cuenta normas y códigos de soldadura y estructuras metálicas tales como la AWSS D1.1. Para el soldeo considerar personal homologado.
Control	E	Se debe usar fichas técnicas del material con sus diversas características, así como una inspección visual del soldeo.
Mantenimiento	E	Inspecciones periódicas visuales y aplicación de tintes penetrantes para detección de fisuras o daños.
Costos	E	Costos máximos de fabricación, 2000 soles.
Plazo	E	El plazo de fabricación no deberá superar los 2 meses.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Estructura de funciones

Se usará la técnica de la “caja negra” para conocer las entradas que necesitamos para la operación de la herramienta, así como las salidas que entregará el proceso de abstracción.

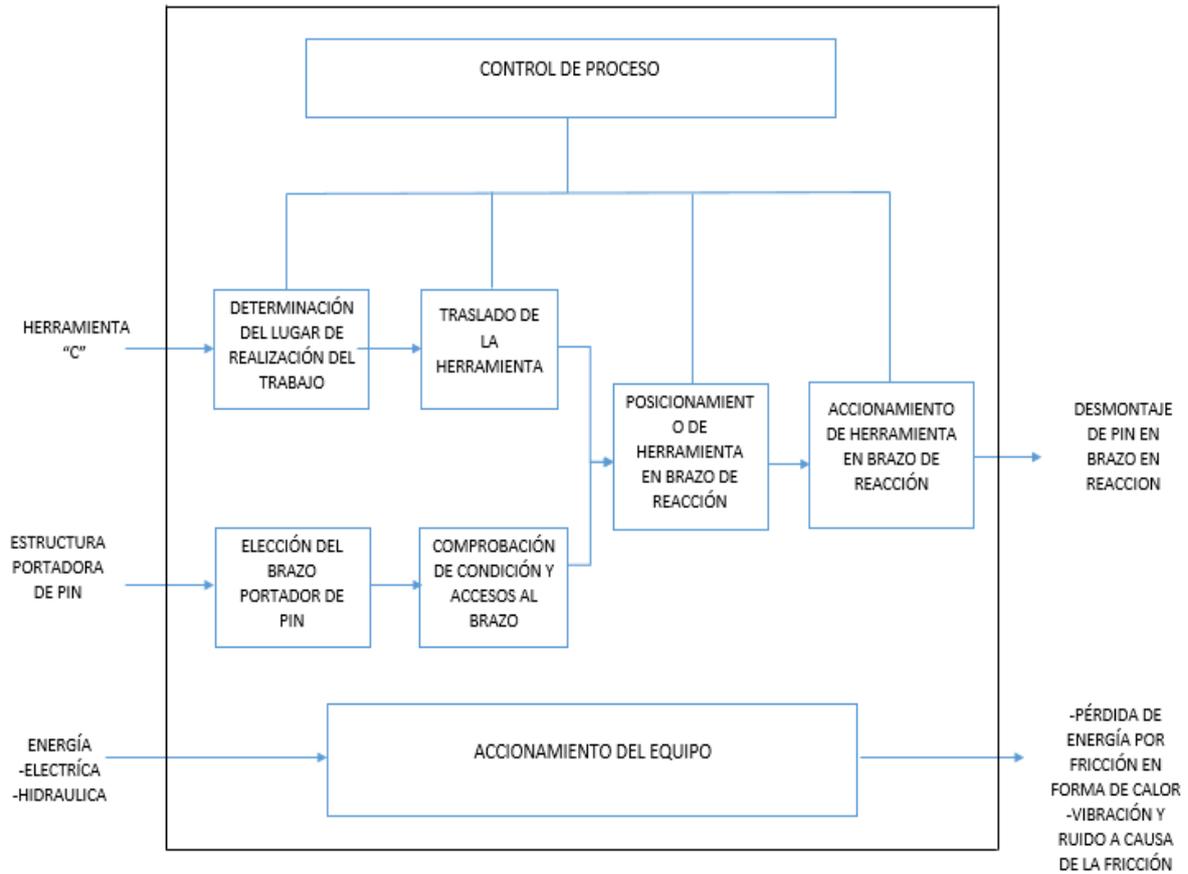


Figura 11. Esquema de la “caja negra” de herramienta de desmontaje de pin de brazo de reacción de HPGR. Fuente: elaboración propia.

Como podemos observar, en las entradas tenemos:

- Herramienta a diseñar.
- Estructura portadora de Pin.
- Energías: eléctricas e hidráulicas.

Por otro lado, para las salidas tenemos:

- Pin desmontado del brazo de reacción de HPGR.
- Pérdida de energías por fricción en forma de calor.
- Vibración y ruido a causa de la fricción.

4.2 ANÁLISIS DE LA SOLUCION

4.2.1 Matriz Morfológica

FUNCIONES	PORTADORES DE FUNCIONES		
Determinación de lugar (# máquina)	Por información de predictivo	Por determinación de horas de trabajo	Por condición
Traslado de la herramienta.	Uso de camión grúa	Uso de puente grúa	
Posicionamiento de herramienta.	Uso de puente grúa	Teclas manuales en arcos metálicos	
Elección de brazo portador.	Por horas de trabajo	Por condición	Por predictivo
Comprobación de accesos a brazo portador.	Inspección visual	Uso de plano de localización	
Uso de herramienta en retiro de pin.	Uso de ganta-bomba manual	Uso de ganta-bomba eléctrica	
	PRIMERA SOLUCIÓN	SEGUNDA SOLUCIÓN	TERCERA SOLUCIÓN

Figura 12. Matriz morfológica para diseño de herramienta de desmontaje de pin de brazo de reacción de HPGR. Fuente: elaboración propia.

4.2.2 Análisis técnico de las soluciones propuestas.

Diseño mecánico – Evaluación de proyectos Valor técnico (Xi)							Proyecto de tesis	
Proyecto: automatización del llenado de pilas en bandejas de cartón								
P: puntaje de 0 a 4 (escala de valores según VDI 2225) 0= no satisface, 1=aceptable a las justas, 2=superficie, 3=Bien, 4=muy bien(ideal) g: el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación								
Criterios de evaluación para diseños en base de conceptos o proyectos								
Variantes de conceptos proyectos			Solución 1 S1		Solución 2 S2		Solución 3 S3	
NPo	Criterios de evaluación	g	p	gp	P	gp	p	gp
1	Buen uso de la fuerza o energía	4	2	8	4	16	3	12
2	Seguridad	4	2	8	4	16	3	12
3	Rapidez	4	3	12	4	16	4	16
4	Estabilidad	4	4	16	4	16	3	12
5	Rigidez	4	4	16	4	16	3	12
6	Manipulación	4	3	12	3	12	3	12
7	Confiabilidad	4	4	16	4	16	3	12
8	Complejidad	4	3	12	2	8	3	12
9	Automatización	4	2	8	4	16	3	12
10	Fabricación	4	4	16	4	16	4	16
11	Mantenimiento	4	3	12	4	16	3	12
12	Montaje	4	4	16	4	16	3	12
13	Diseño	4	4	16	4	16	3	12
14	Ergonomía	4	4	16	3	12	4	16
15	Influencia del medio ambiente	4	3	12	3	12	3	12
Puntaje máximo $\sum p$ o $\sum gp$		60	45	196	55	220	51	192
Valor técnico Xi			0.75		0.92		0.85	

Figura 13. Análisis técnico de soluciones para diseño de la herramienta. Fuente: elaboración propia.

4.2.3 Análisis económico de las soluciones propuestas.

Diseño mecánico – Evaluación de proyectos Valor económico (Yi)							Proyecto de tesis	
Proyecto: automatización del llenado de pilas en bandejas de cartón								
P: puntaje de 0 a 4 (escala de valores según VDI 2225) 0= no satisface, 1=aceptable a las justas, 2=superficie, 3=Bien, 4=muy bien(ideal) g: el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación								
Criterios de evaluación para diseños en base de conceptos o proyectos								
Variantes de conceptos proyectos			Solución 1 S1		Solución 2 S2		Solución 3 S3	
NPo	Criterios de evaluación	g	p	gp	P	gp	p	gp
1	Número de piezas	4	4	16	4	16	4	16
2	Fácil adquisición de los materiales de fabricación	4	3	12	3	12	3	12
3	Productividad	4	2	8	3	12	4	16
4	Costos diversos	4	2	8	3	12	3	12
5	Nº de Operarios	4	2	8	4	16	4	16
6	Costo de tecnología	4	3	12	3	12	3	12
7	Facilidad de montaje	4	3	12	4	16	4	16
8	Fácil mantenimiento	4	3	12	3	12	3	12
9	Costos de operación	4	3	12	4	16	4	16
10	Transporte	4	3	12	4	16	4	16
Puntaje máximo $\sum p$ o $\sum gp$		40	28	112	35	140	36	144
Valor técnico Yi			0.70		0.87		0.90	

Figura 14. Análisis económico de soluciones para diseño de la herramienta. Fuente: elaboración propia.

4.3 DISEÑO

Para el diseño de la solución elegida se utilizó el software Autodesk Inventor donde se dibujó en 3D la herramienta que permitirá el retiro del pin del brazo reductor de la HPGR. A continuación, la “explosión” de la herramienta que de ahora en adelante se llamará, “herramienta C”:

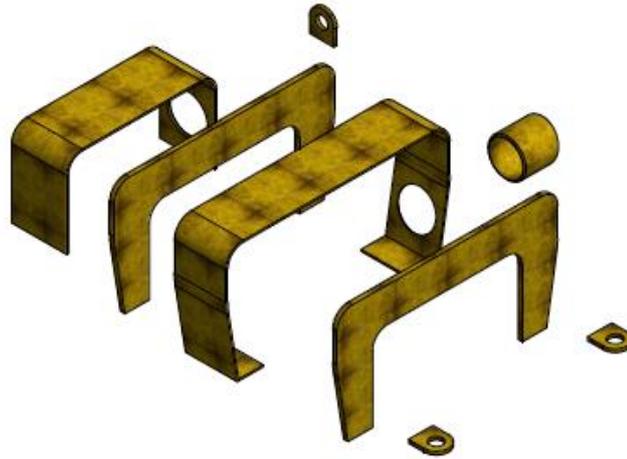


Figura 15. Explosión de la "herramienta C". Fuente: elaboración propia.

De esta forma, si unimos todas las partes que deberán ser soldadas bajo las condiciones establecidas previamente en el listado de requerimientos, tendríamos el modelo final de la “herramienta C” de la siguiente forma:

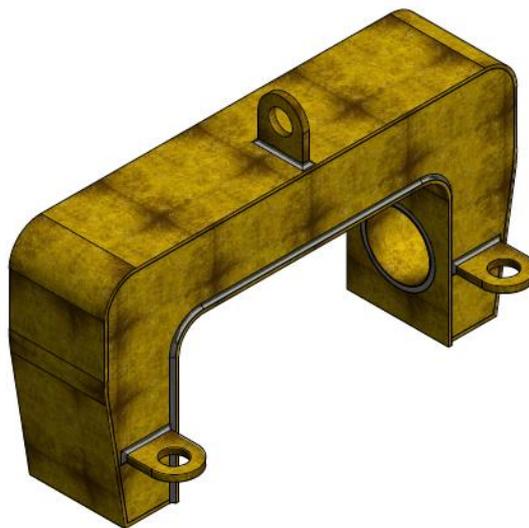


Figura 16. Diseño final de la "herramienta C". Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO V

CONSTRUCCIÓN

5.1 CONSTRUCCION

5.1.1 Cálculos teóricos de fuerzas.

Para la construcción de la herramienta primeramente seleccionamos el material adecuado que pueda cumplir las exigencias mecánicas a las cuales será sometido, para ello realizamos un análisis de esfuerzos en el punto crítico de la herramienta ubicado en la mitad de la misma.

El material seleccionado es un acero ASTM A-36 con las siguientes características físicas y mecánicas.

- Resistencia a la tracción MPa (Ksi) → 400 – 450 (58 – 60)
- Limite elástico (54) MPa (Ksi) → 250 (36)
- Elongacion → 20%
- Densidad → 7850 kg/m³

Partimos del hecho que en forma práctica, de campo, se sabe que se necesita una fuerza de 119 KN para poder iniciar el movimiento de despegue del pin de su alojamiento, usando una gata hidráulica de 50 tn de capacidad, a una presión de 6000 psi y con un diámetro de pistón de 60 mm.

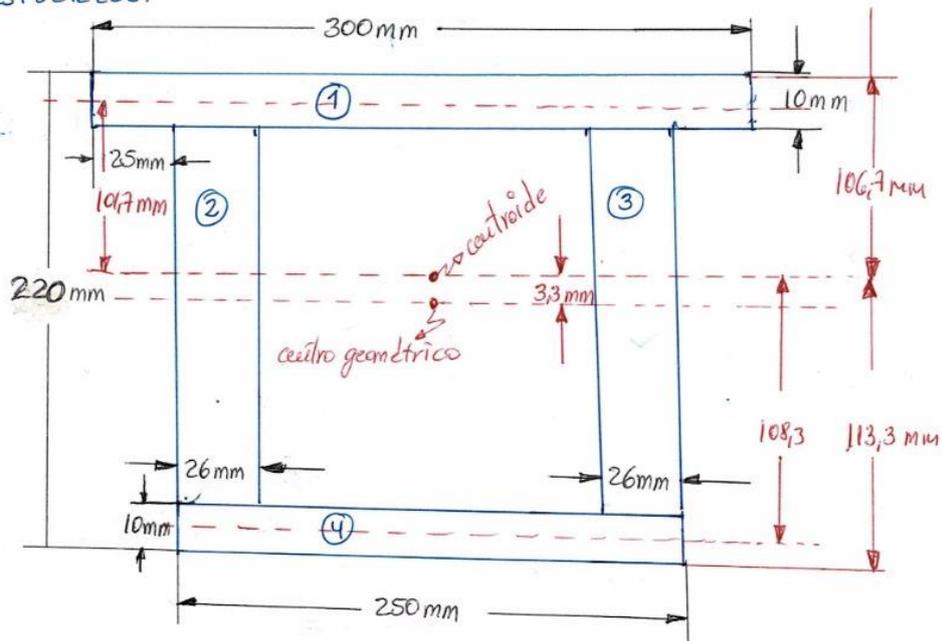
Realizamos un corte perpendicular a su eje longitudinal en la parte media, la cual a su vez la subdividiremos en 4 áreas menores, hallamos el centro de gravedad de cada figura y posteriormente el centroide de toda la figura, con este resultado hallamos el momento de inercia, primero de cada figura y luego el momento de inercia total correspondiente a toda la figura.

Luego hallamos las fuerzas actuantes en el punto crítico para saber cuanto de esfuerzo se estará aplicando en la herramienta "C" al momento del desmontaje, enseguida hallamos el esfuerzo que nos dará el material seleccionado aplicando un factor de seguridad $N=3$ de acuerdo a las tablas de factores de seguridad de Shigley y Mitchell, para finalmente hacer las comparaciones de las fuerzas encontradas y concluyendo que la herramienta "C" cumple con poseer un valor mayor en fuerza disponible vs fuerza de trabajo requerida.

Para el habilitado de material hacemos uso de planos mecánicos (Autodesk Inventor) con las medidas requeridas, el corte de la plancha metálica lo realizamos con la ayuda de un equipo de oxicorte (oxígeno – acetileno) tanto la plancha con espesor de 26 mm y 10 mm, dejando una sobremedida de 1 mm que será desbastado con una amoladora angular de 4 ½ pulgadas, asegurando de esta manera la medida final, así como su acabado superficial en los lugares de corte.

Para el armado de las piezas hacemos uso de un tornillo de banco, prensas "C", apuntalando cada parte en su lugar correspondiente haciendo uso de una maquina eléctrica para proceso de electrodo revestido, y el soldeo final se realiza con un electrodo de bajo hidrogeno E-7018.

CORTE EN LA PARTE CENTRAL DE LA HERRAMIENTA PARA ANÁLISIS DE ESFUERZOS.



ÁREA Y CENTRO DE GRAVEDAD DE CADA FIGURA

FIG	A_i (m)	y_i (m)	$A_i y_i$ (m ³)
1	3×10^{-3}	0,215	$6,45 \times 10^{-4}$
2	$5,2 \times 10^{-3}$	0,110	$5,72 \times 10^{-4}$
3	$5,2 \times 10^{-3}$	0,110	$5,72 \times 10^{-4}$
4	$2,5 \times 10^{-3}$	0,005	$1,25 \times 10^{-5}$
Σ	$15,9 \times 10^{-3}$		$18,015 \times 10^{-4}$

Figura 17. Tabla de centroides por secciones. Fuente: elaboración propia.

CENTROIDE DE TODA LA FIGURA

$$\bar{y} = \frac{\sum (A_i y_i)}{\sum A_i} = \frac{18,015 \times 10^{-4} \text{ m}^3}{15,9 \times 10^{-3} \text{ m}^2} = 0,1133 \text{ m} = 113,3 \text{ mm}$$

MOMENTO DE INERCIA DE CADA FIGURA

$$I_1 = \frac{1}{12} b_1 h_1^3 + A_1 d_1^2 = \frac{1}{12} (0,3)(0,01)^3 + (3 \times 10^{-3})(0,1017)^2 = 3,11 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_2 = \frac{1}{12} b_2 h_2^3 + A_2 d_2^2 = \frac{1}{12} (0,026)(0,2)^3 + (5,2 \times 10^{-3})(0,0033)^2 = 1,74 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_3 = \frac{1}{12} b_3 h_3^3 + A_3 d_3^2 = \frac{1}{12} (0,026)(0,2)^3 + (5,2 \times 10^{-3})(0,0033)^2 = 1,74 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_4 = \frac{1}{12} b_4 h_4^3 + A_4 d_4^2 = \frac{1}{12} (0,25)(0,01)^3 + (2,5 \times 10^{-3})(0,1083)^2 = 2,93 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

MOMENTO DE INERCIA TOTAL

$$I_y = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$$

$$I_y = 3,11 \times 10^{-5} + 1,74 \times 10^{-5} + 1,74 \times 10^{-5} + 2,93 \times 10^{-5}$$

$$I_y = 9,52 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

CALCULO DE LAS FUERZAS ACTUANTES EN EL DESMONTAJE

*PRESIÓN DE TRABAJO DE LA GATA HIDRAULICA

$$G = 6000 \text{ psi} = 41,368 \text{ MPa} = 42 \text{ MPa} = 42 \times 10^6 \text{ Pa}$$

* DIÁMETRO DEL PISTÓN DE LA GATA HIDRAULICA = 60mm

$$A_{\text{area}} = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi (0,06)^2}{4} = 2,83 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

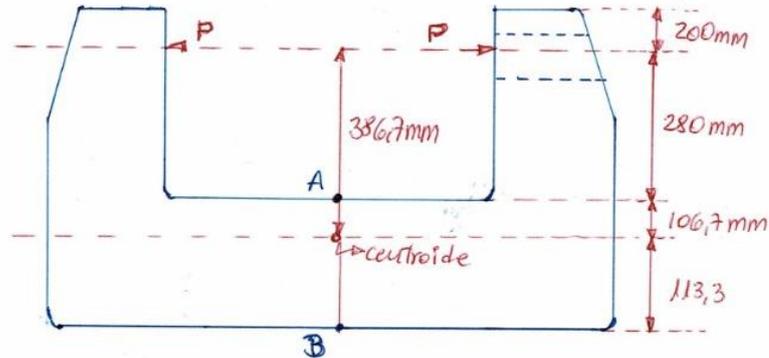
FUERZA ACTUANTE EN EL MOMENTO DEL DESMONTAJE

$$G = \frac{F}{A} \Rightarrow F = GA \Rightarrow F = (42 \times 10^6 \text{ Pa})(2,83 \times 10^{-3} \text{ m}^2)$$

$$F = 118,86 \times 10^3 \text{ N}$$

$$F = 119 \text{ KN}$$

CÁLCULO DE LOS ESFUERZOS EN LOS PUNTOS A y B DE LA HERRAMIENTA DE TRABAJO



EXCENTRICIDAD (e)

$$e = 700 \text{ mm} - 200 \text{ mm} - 113,3 \text{ mm} \Rightarrow e = 386,7 \text{ mm} \text{ (respecto del centroide)}$$

CÁLCULO DEL MOMENTO (M)

$$M = -Fe \Rightarrow (-119 \times 10^3 \text{ N})(0,3867 \text{ m}) \Rightarrow M = 46017,3 \text{ Nm}$$

TENSIÓN EN EL PUNTO "A" ($y = 106,7 \times 10^{-3} \text{ m}$)

$$\sigma_A = \frac{P}{A} - \frac{My}{I} \Rightarrow \frac{119 \times 10^3 \text{ N}}{15,9 \times 10^{-3}} - \frac{(-46017,3)(106,7 \times 10^{-3})}{9,52 \times 10^{-5}} = 51576119,9 \text{ Pa}$$

$$\sigma_A = 52 \text{ MPa}$$

TENSIÓN EN EL PUNTO "B" ($y = -113,3 \times 10^{-3} \text{ m}$)

$$\sigma_B = \frac{P}{A} - \frac{My}{I} \Rightarrow \frac{119 \times 10^3 \text{ Pa}}{15,9 \times 10^{-3}} - \frac{(-46017,3)(-113,3 \times 10^{-3})}{9,52 \times 10^{-5}}$$

$$\sigma_B = -54766380 \text{ Pa}$$

$$\sigma_B = 55 \text{ MPa} \text{ (el signo - indica compresión)}$$

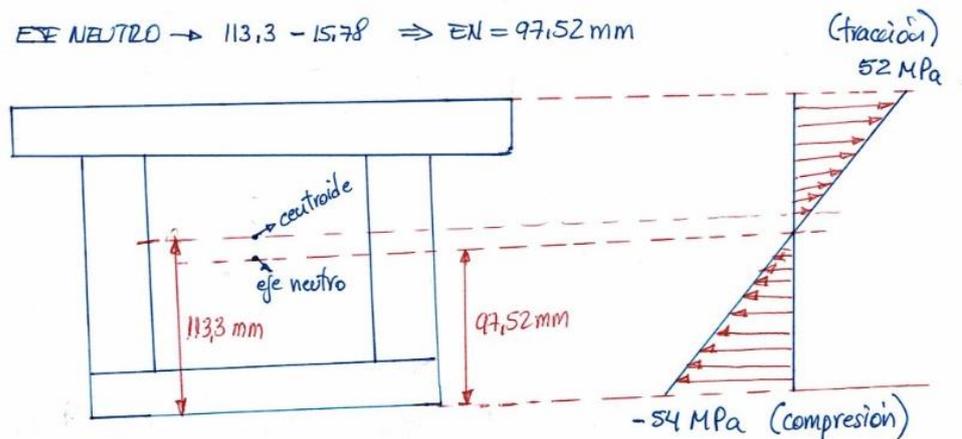
Figura 18. Esfuerzos de puntos críticos. Fuente: elaboración propia.

UBICACION DEL EJE NEUTRO

$$G = \frac{P}{A} - \frac{My}{I} \Rightarrow \frac{P}{A} - \frac{P_e y}{I} = 0 \Rightarrow \frac{P}{A} = \frac{P_e y}{I}$$

$$y = \frac{9,52 \times 10^{-5} \text{ m}^4}{(15,9 \times 10^{-3})(386,7 \times 10^{-3})} \Rightarrow y = 15,78 \text{ mm}$$

$$\text{EJE NEUTRO} \rightarrow 113,3 - 15,78 \Rightarrow \text{EN} = 97,52 \text{ mm}$$



CALCULO DE CARGA MÁXIMA DE ACUERDO AL MATERIAL

* Acero estructural AWS A-36

- esfuerzo de fluencia 36 ksi (250 MPa) = S_y

- factor de seguridad $N=3$

$$G_{\text{perm.}} = \frac{S_y}{N} = \frac{250}{3} = 83,3 \text{ MPa} \Rightarrow G_{\text{perm}} = 83 \times 10^6 \text{ Pa}$$

MOMENTO EN EL CENTROIDE $M = -P_e$

$$G = \frac{P}{A} - \frac{My}{I} \Rightarrow \frac{P}{A} + \frac{P_e y}{I}$$

$$\text{factorizando } P \left(\frac{I}{A} + \frac{e y}{I} \right) = G = K P$$

Figura 19. Diagrama del eje neutro. Fuente: elaboración propia.

CALCULO DE LA CARGA EN TRACCION USANDO $G_{material}$

$$K = \frac{1}{A} + \frac{eY}{I} \Rightarrow \frac{1}{159 \times 10^3} + \frac{(386 \times 10^{-3})(1067 \times 10^{-3})}{9,52 \times 10^{-5}}$$

$$\bullet G_{mat} = 83 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\bullet y = 106,7 \text{ mm}$$

$$K = 496,3 \text{ m}^2$$

$$P = \frac{G}{K} \Rightarrow \frac{83,6 \times 10^6 \text{ Pa}}{496,3 \text{ m}^2} \Rightarrow P = 167237,5 \text{ N}$$

$$P = 167 \text{ KN}$$

CALCULO DE LA CARGA EN COMPRESION USANDO $G_{material}$

$$\bullet G_{mater} = 83 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\bullet y = 113,3 \text{ mm}$$

$$K = \frac{1}{A} + \frac{eY}{I} \Rightarrow \frac{1}{159 \times 10^3} + \frac{(3867 \times 10^{-3})(-113,3 \times 10^{-3})}{9,52 \times 10^{-5}}$$

$$K = -397,3 \text{ m}$$

$$P = \frac{G}{K} \Rightarrow \frac{83,6 \times 10^6 \text{ Pa}}{-397,3 \text{ m}} \Rightarrow P = -208910 \text{ N}$$

$$P = -208,9 \text{ KN}$$

* ELEGIMOS EL VALOR DE P (disponible del material)

$$P = 167 \text{ KN}$$

* VALOR DE P (requerido para realizar el trabajo)

$$P = 117 \text{ KN}$$

$\Rightarrow 167 \text{ KN} - 117 \text{ KN} \Rightarrow$ Tenemos una reserva de 50 KN.
al realizar el trabajo.

5.1.2 Construcción de la “herramienta C”.

Para la fabricación de la herramienta, se utilizaron los planos siguientes (desarrollados en el software Autodesk Inventor):

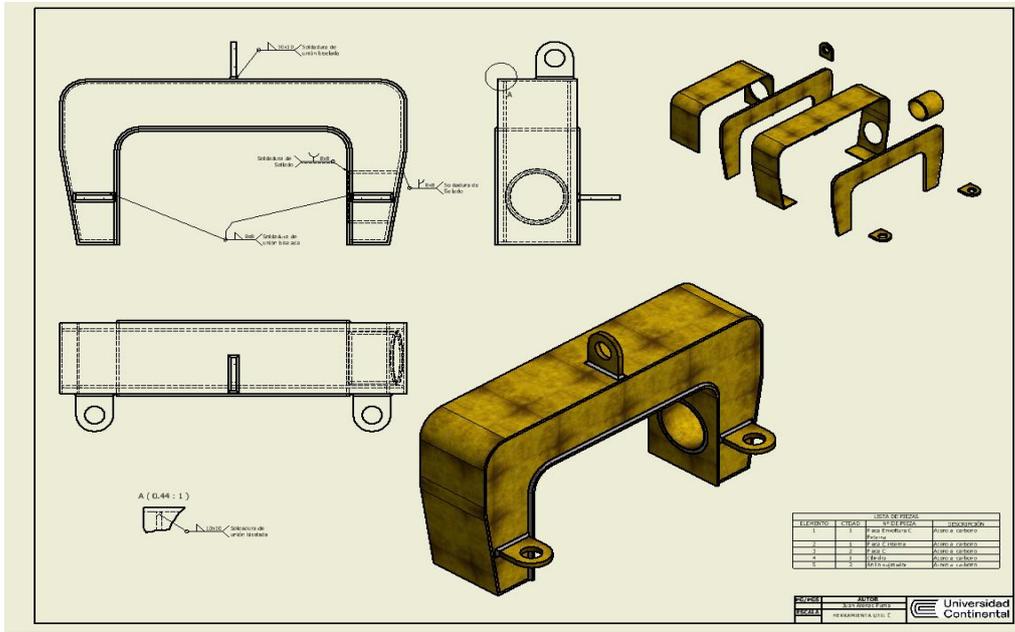


Figura 20. Planos de fabricación de herramienta "C" (Explosión). Fuente: elaboración propia.

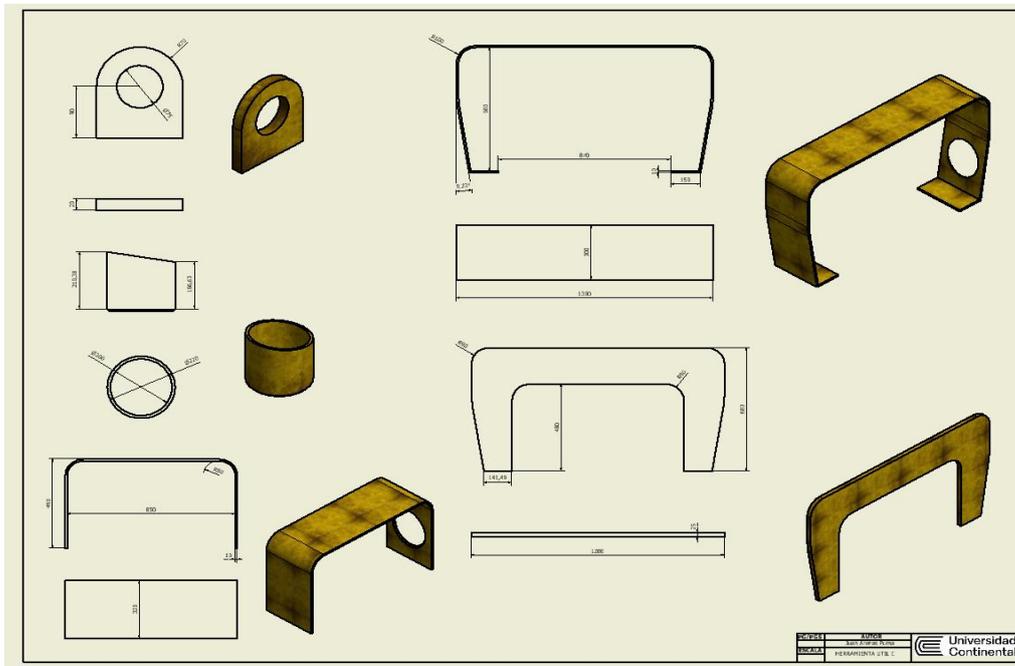


Figura 21. Planos de fabricación de Herramienta "C" (Despiece). Fuente: elaboración propia.

Ya seleccionado el material con las características apropiadas, verificando que no presente defectos de fabricación (porosidades, cascarilla, grietas, defectos de laminación) llevamos el material a la mesa para realizar el trazado correspondiente haciendo uso de los planos de fabricación, se realiza el trazado de las medidas teniendo en cuenta radios, ángulos, trazos perpendiculares, etc.

- **CORTE DEL MATERIAL**

El corte del material lo realizamos haciendo uso de un equipo oxiacetilénico (oxígeno y acetileno) donde se tiene que regular la llama del equipo de corte de acuerdo al espesor del material a cortar, hacemos uso de todos los elementos de protección para trabajos en caliente.



Figura 22. Equipo de oxicorte. Fuente: elaboración propia.

- **PROCESO DE ARMADO Y SOLDEO**

Para el armado, primeramente, limpiamos el material de los restos y superficies desiguales que hayan quedado producto del corte realizado y lo hacemos con ayuda de una amoladora angular, aprovechando de darle las medidas finales a todas las piezas.



Figura 23. Amoladora angular de 4 1/2". Fuente: elaboración propia.

Nos ayudamos con un tornillo de banco, una prensa y una comba para el armado del conjunto, luego apuntalamos las piezas con ayuda de una máquina de soldar de arco eléctrico.



Figura 24. Tornillo de banco. Fuente: elaboración propia.

El soldeo se realiza con un electrodo E-7018 con un diámetro de 1/8 de pulgada, electrodo que es compatible y adecuado con el tipo de material con el que estamos trabajando.

El soldeo se realiza a lo largo de todo el perímetro y con cordones de soldadura continua para evitar el ingreso de agua o aire hacia el interior de la pieza, evitando de esta manera algún tipo de corrosión al interior de la misma.



Figura 25. Máquina de soldeo. Fuente: elaboración propia.

A continuación, se muestra el prototipo fabricado:



Figura 26. Prototipo de herramienta "C". Fuente: elaboración propia.

5.1.3 Nuevo procedimiento propuesto para desmontaje del elemento de unión (pin) del brazo de reacción de los reductores de un HPGR polysius modelo pm 8 24/17 utilizando la herramienta “C”

A continuación, se establece el nuevo procedimiento para la ejecución del trabajo de desmontaje de pin implementando la “herramienta C”.

I. Objetivos: Describir el procedimiento a seguir para la correcta ejecución del “cambio de pin de brazo de reacción de HPGR”.

Alcance: Aplica para el “cambio de pin de brazo de reacción de HPGR” desde la preparación hasta la entrega del equipo al área de operaciones. Orden y limpieza en el área de trabajo.

II. Responsables:

- a. Ingeniero o supervisor de mantenimiento.
- b. Técnico supervisor de mantenimiento
- c. Técnico mecánico de mantenimiento

III. REQUERIMIENTOS:

a. Requerimiento de equipo de protección

Tabla 5. *Requerimientos de equipos de protección para la ejecución del trabajo de retiro de pin de brazo de reacción de HPGR. Procedimiento con la herramienta nueva a implementar.*

Cantidad	Descripción
03	EPP Básico
01	EPP específico (según rol a desarrollar)

Fuente: Elaboración propia.

b. Requerimiento de equipos / herramientas

Tabla 6. *Requerimientos de equipos y herramientas para la ejecución del trabajo de retiro de pin de brazo de reacción de HPGR. Procedimiento con la herramienta nueva a implementar.*

Cantidad	Descripción
01	Puente grúa
01	Comba cu-be de 4 lb
01	Pata de cabra
01	Barretilla
01	Útil “C” herramienta para desmontaje
02	Eslingas de 2 m x 4 TN de capacidad
02	Grilletes de 3/4”
02	Cuerdas para usarse como vientos
01	Gata hidráulica de 50 TN
02	Topes de gata de 100 mm

Fuente: Elaboración propia.

c. Requerimiento de materiales

Tabla 7. *Requerimiento de materiales para la ejecución del trabajo de retiro de pin de brazo de reacción de HPGR. Procedimiento con la herramienta nueva a implementar.*

Cantidad	Descripción
01 kg	Trapo industrial
01	Penetrating oil
4 m	Lija # 300

Fuente: Elaboración propia.

IV. PROCEDIMIENTO

- **Demarcación Del Área De Trabajo (Zona De Traslado De Puente Grúa Con Conos Y Barras).**

Traslado de la “herramienta para desmontaje de pin” de almacén hacia zona de izaje de puente grúa, luego con ayuda del puente grúa (previa inspección de elementos de izaje) se realiza el izaje de la herramienta hacia la zona de trabajo (brazo de reacción del HPGR) dejándolo en un área demarcada.

Traslado del cajón de herramientas y equipos con ayuda del puente grúa hacia zona de trabajo, demarcación de esta área de trabajo utilizando conos y barras. Inspección de equipos y herramientas colocando la cinta de color correspondiente al trimestre que corresponde.

- **Bloqueo De Equipo**

Se bloquean todos los equipos aguas arriba y aguas abajo.

- **Desmontaje De Pin**

- Se procede al estrobo e izaje de la “herramienta para desmontaje de pin” posicionándola por encima del brazo de reacción de manera que quede expedita para recibir la gata hidráulica eléctrica de 50 ton, luego se conecta y coloca la gata de 50 ton en su posición de trabajo. Con el gancho auxiliar del puente grúa se estroba y tensa el brazo de reacción que quedará libre cuando se logre extraer el pin de su posición.
- Una vez extraído el pin, se realiza una limpieza exhaustiva del alojamiento y de la superficie del pin nuevo, con ayuda de las barretillas y puente grúa, se contraen y alinean los extremos del brazo de reacción y se procede al montaje del pin nuevo similar al desmontaje realizado, colocando sus respectivos seguros en ambos extremos del pin.

V. Orden Y Limpieza

El personal mecánico retira los repuestos usados, materiales y herramientas de la zona de trabajo, limpia toda el área y retira los bloqueos, demarcaciones y señalizaciones.

Al concluir la tarea el personal dispondrá de los residuos según normativa. Supervisor de mantenimiento comunica el termino de los trabajos y se procede con el operador a coordinar las pruebas de arranque y la conformidad del estado del equipo para terminar con el desbloqueo del mismo.

5.2 PRUEBAS Y RESULTADOS

En forma teórica se realizó pruebas con los valores de presión y fuerza que se requieren en campo para lograr el desmontaje del elemento de unión del brazo de reacción del reductor del HPGR, además se realizaron cálculos de acuerdo al material utilizado en la fabricación de la herramienta, para obtener valores numéricos que puedan ser comparados con los valores que se necesitan en campo, dichas comparaciones arrojaron resultados positivos, cumpliendo el objetivo principal que fue la de diseñar una herramienta para el mencionado desmontaje.

Se logra realizar un procedimiento que nos indica los pasos y consideraciones a tener en cuenta para el empleo de esta herramienta en el desmontaje del elemento de unión con la herramienta fabricada en el presente trabajo.

Además de lograr tener un conocimiento general de los principios de funcionamiento de los HPGR y de su importancia en la minería con respecto a la conminución de material así como haber tocado temas de diseño y uso de la herramienta Inventor junto con sus propiedades y bondades.

CONCLUSIONES

1. Se logra el diseño y construcción de un prototipo de herramienta, para la optimización del tiempo de desmontaje del elemento de unión (pin) del brazo de reacción del reductor de un HPGR Polysius modelo PM 8-24/17.
2. Con la ayuda de la información confiable disponible en sitios web, repositorios, se logra tener una mejor comprensión de los principios de funcionamiento de los equipos de conminución de material, como son los equipos HPGR, equipos que son usados con grandes ventajas en la industria del cemento, así como en el rubro de la minería.
3. Se da a conocer el procedimiento de desmontaje del elemento de unión del brazo de reacción del reductor de un HPGR (equipo de conminución de material) en la industria minera.
4. Para el presente trabajo de Investigación, se aplica la norma de diseño alemana VDI 2221 – 2225, constituyendo la base para ir desarrollando toda la secuencia de pasos que contempla, para la obtención de un diseño adecuado y acorde a las necesidades planteadas.
5. Se aplica el software Autodesk Inventor para la elaboración de planos de construcción y armado, así como la vista en 3D de la herramienta “C”.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ÁLVAREZ, S.** *Autodesk Inventor un sistema de diseño mecánico inteligente con modelado 3D* [En línea]. 2015 [fecha de consulta: 05 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://www.3dcadportal.com/autodesk-inventor-un-sistema-de-diseno-mecanico-inteligente-con-modelado-3d.html>.
- AMES, J.** Prototipo de diseño de maquina descascaradora de cacao. Trabajo de investigación (Bachiller en Ingeniería Mecánica) Huancayo: Universidad Continental, 2019, 60 pp. [fecha de consulta 15 de mayo de 2020].
- BALLON, C.** Informe Técnico del proceso de operación de los Molinos de Rodillo de Alta Presion (HPGR). Informe Técnico (Titulo de Ingeniero Químico) Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín, 2015, 79 pp. [fecha de consulta: 20 de mayo de 2020].
- JÄNSCH, J. y BIRKHOFFER, H.** *The Development of the Guideline VDI 2221- The change of direction.* [En línea]. 2006 [fecha de consulta: 05 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.designsociety.org/publication/18983/THE+DEVELOPMENT+OF+THE+GUIDELINE+VDI+2221+--THE+CHANGE+OF+DIRECTION>
- KAWATRA, S.** *Advances In Comminution.* [En línea]. Colorado: S. Komar Kawatra, 2006 [fecha de consulta: 04 de Marzo de 2020]. ISBN 9780873352468. Disponible en: <https://www.linkedin.com/pulse/el-hpgr-representa-futuro-de-los-equipos-molienda-meraz-vinaja/>.

- MERAZ, P.** *El Hpgr Representa El Futuro De Los Equipos De Molienda.* [En línea]. 2017 [fecha de consulta: 04 de Marzo de 2020]. Disponible en: <https://www.linkedin.com/pulse/el-hpgr-representa-futuro-de-los-equipos-molienda-meraz-vinaja/>.
- MINERO, R.** *Chancado y Molienda en minería: Paso previo hacia el material fino.* [En línea]. 2020 [fecha de consulta: 22 de Abril de 2020]. Disponible en: <https://www.rumbominero.com/revista/informes/chancado-y-molienda-en-mineria-paso-previo-hacia-el-material-fino/>.
- MURCIA, C. y VEGA, R.** Diseño De Equipo Para Montaje Y Desmontaje De “Machos”, Punzones, En Moldes Instalados En Prensas Hidráulicas, Para La Fabricación De Pisos Y Paredes, En La Industria Cerámica. Tesis (Titulo de Ingeniero Mecánico) Bogotá: Fundación Universitaria Los Libertadores, 2015, 79 pp. [fecha de consulta: 05 de Marzo de 2020].
- QUISPE, W.** Construcción de un prototipo de control automático de riego tecnificado para el cultivo de quinua en el distrito de Acolla, Provincia de Jauja-2019. Trabajo de investigación (Bachiller en Ingeniería Electrónica) Huancayo: Universidad Continental, 2019, 51 pp. [fecha de consulta 15 de mayo de 2020].
- QUISPE, W.** 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. Trabajo de investigación (Bachiller en Ingeniería Mecánica) Huancayo: Universidad Continental, 2019, 47 pp. [fecha de consulta 15 de mayo de 2020].

REYES, B. Proyecto De Automatización Para Un Molino - High Pressure Grinding Roll (Hpgr) Modelo 24/ 17-8, Usando El Lenguaje De Programación Polcid En Plataforma Rslogix Y Scada En Factory Talk View Me Para El Proyecto Cvpue 2 (Cerro Verde 2).Tesis (Titulo de Ingeniero Electrónico) Arequipa: Universidad Católica de Santa María, 2018, 134 pp. [fecha de consulta: 06 de Marzo de 2020).

SOVERO, O. Diseño De Sistema Amortiguador Para Controlar Desgaste Del Cable De Acero En Sistema De Carguío De Mineral De S.M.C.S.A. - Yauricocha. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico) Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2017, 134 pp. [fecha de consulta 15 de mayo de 2020].

ANEXOS

ANEXO 1. Matriz de consistencia.

Planteamiento del problema	Formulación del problema	Objetivos específicos	Justificación	Metodología
<p>En las empresas mineras, tener un equipo detenido genera costos elevados siendo un aproximado de \$30,000.00 por hora de detención. Para lo cual, se establecen programas de mantenimiento elaborados por el área de planeamiento donde cada una de las 3 etapas está bajo un cronograma de ejecución para evitar retrasos que impacten en las utilidades de la empresa.</p> <p>El presente trabajo se realiza como propuesta de innovación al diseñar una herramienta que busca optimizar el tiempo de desmontaje del elemento de unión (Pin) del brazo de reacción de los reductores de un HPGR, el cual actualmente requiere el uso de una maquina eléctrica de corte (arc air o chamfercord) la cual proyecta partículas candentes de metal fundido en la zona de trabajo.</p>	<p>¿Cuál es el proceso de diseño de una herramienta para optimizar el tiempo de desmontaje del elemento de unión en HPGR Polysius Modelo PM 8 24/17?</p>	<p>Objetivo General Diseñar una herramienta para la optimización del tiempo de desmontaje del elemento de unión en HPGR Polysius Modelo PM 8 24/17 con el software INVENTOR.</p> <p>Objetivos Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Conocer el funcionamiento de HPGR POLYSIUS MODELO PM 8 24/17. - Conocer el procedimiento de desmontaje del elemento de unión del brazo de reacción de los reductores de un HPGR. - Aplicar la metodología de diseño en la ingeniería mecánica que incluyen la metodología VDI 2221 y 2225. - Aplicar el software Autodesk INVENTOR para el diseño en 3D de la herramienta a diseñar. 	<p>Justificación Teórica El presente estudio, expone el funcionamiento de un equipo minero HPGR, así como el procedimiento para la extracción de su elemento de unión.</p> <p>Justificación Practica La herramienta para el desmontaje del elemento de unión en una HPGR logrará optimizar el tiempo de ejecución, así como la cantidad de empleados.</p> <p>Justificación Socio-Ambiental La herramienta mejorará las condiciones de operación al no exponer al personal a la exposición de peligros, así como al cuidado del medio ambiente al disminuir la producción de residuos en el área de trabajo.</p>	<p>Dada la naturaleza del presente trabajo, usaremos la norma VDI 2221 como guía para el diseño de la herramienta, así como la VDI 2225 para el análisis técnico y económico de las soluciones propuestas.</p> <p>* Descripción o aclaración del problema</p> <p>* Concepto de la solución</p> <ul style="list-style-type: none"> - La “caja negra” <p>* Elaboración del concepto</p> <ul style="list-style-type: none"> - Matriz morfológica - Análisis Técnico de las soluciones - Análisis Económico de las soluciones <p>* Elaboración del proyecto.</p>