



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA

TEMA:

**Diseño de un sistema de adaptación de martillo hidráulico a excavadoras en el
sector minero**

AUTOR:

Salazar Cobo, Fernando Andrés

Trabajo de Titulación previo a la obtención del grado de
INGENIERO ELECTRICO-MECÁNICO

TUTOR:

M. Sc. Philco Asqui, Luis Orlando

Guayaquil, Ecuador

9 de marzo del 2022



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por Salazar Cobo, Fernando Andrés, como requerimiento para la obtención del Título de **INGENIERO ELÉCTRICO-MECÁNICO**.

TUTOR:

M. Sc. Philco Asqui, Luis Orlando

DIRECTOR DE LA CARRERA

Ing. Heras Sánchez, Miguel Armando, M. Sc.

Guayaquil, a los 9 días del mes de marzo del 2022



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Salazar Cobo, Fernando Andrés**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Diseño de un sistema de adaptación de martillo hidráulico a excavadoras en el sector minero**, previo a la obtención del Título de **Ingeniería en Eléctrico–Mecánica**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecutivamente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 9 días de marzo del año 2022

EL AUTOR

Salazar Cobo, Fernando Andrés



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, **Salazar Cobo, Fernando Andrés**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **Diseño de un sistema de adaptación de martillo hidráulico a excavadoras en el sector minero**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 9 días del mes de marzo del año 2022

EL AUTOR:

Salazar Cobo, Fernando Andrés

REPORTE URKUND

URKUND Orlando Philco Asqui (orlando.philco)

Documento: TESIS CORREGIDA FERNANDO SALAZAR AL 24 DE ENERO 2022.docx (D126119907)

Presentado: 2022-01-25 14:29 (-05:00)

Presentado por: orlandophilco_7@hotmail.com

Recibido: orlando.philco.ucsg@analysis.orkund.com

Mensaje: tesis Fernando Salazar Cobo [Mostrar el mensaje completo](#)

3% de estas 19 páginas, se componen de texto presente en 3 fuentes.

Lista de fuentes	Bloques
Categoría	Enlace/nombre de archivo
	TRABAJO TITULACIÓN - JAIME PAREDES.docx
	http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0587_M.pdf
	https://herramientasparatrabajo.com/como-funciona-un-marti...
	https://www.diversiapunto0.es/socio/8361/martillo-hidraulico...
	https://www.convertunits.com/from/centimeter+water/to/kg/c...

1 Advertencias. Reiniciar. Compartir.

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA

TEMA: DISEÑO DE UN SISTEMA DE ADAPTACIÓN DE MARTILLO HIDRÁULICO A EXCAVADORAS EN EL SECTOR MINERO

AUTOR: Salazar Cobo, Fernando Andrés

Trabajo de Titulación previo a la obtención del grado de INGENIERO ELECTRICO-MECÁNICO

TUTOR: Philco, Orlando Guayaquil, Ecuador

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a mi padre, el Ing Fernando Salazar Kuffo, quien me ha apoyado desde el día en que nací y me ha dado todas las herramientas que he utilizado para poder estar donde estoy hoy.

A mi madre, la Ing Esilda Cobo Macías, que ha sido mi motor y mi motivación para querer triunfar como profesional y para querer ser un mejor hombre cada día. Sin su constante aliento y apoyo moral jamás hubiera llegado hasta esta instancia.

A mi tutor el Ing Orlando Philco que me ha guiado con paciencia y empatía a través de la elaboración de mi trabajo de titulación.

A mis compañeros de carrera que me acompañaron durante este largo camino, un grupo junto al cual he logrado superar cualquier obstáculo y hoy en día puedo llamarlos mis amigos.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

M. Sc. Romero Paz, Manuel De Jesus

DECANO

M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando

DIRECTOR DE CARRERA

M. Sc. Quezada Calle, Edgar Raúl

OPONENTE

Índice General

Índice de Figuras	XI
Índice de Tablas	XIII
Resumen.....	XIV
Abstract	XV
Capítulo 1: Introducción.....	2
1.1. Introducción	2
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Hipótesis	3
1.4. Objetivos	3
1.4.1. Objetivo General	3
1.4.2. Objetivos Específicos	3
1.5. Alcance	4
1.6. Importancia y Justificación	4
1.7. Metodología de la investigación	5
1.7.1. Investigación aplicada	5
1.7.2. Investigación documental	5
1.7.3. Método Mixto	6
Capítulo 2: Fundamentación Teórica	7
2.1. Aceite hidráulico	7
2.2. Propiedades de los aceites hidráulicos	7
2.2.1. Densidad	7
2.2.2. Cavitación.....	8
2.3. Principios físicos de la hidráulica.....	8
2.3.1. Ley de Pascal.....	8
2.3.2. Ley de Continuidad	9
2.4. Componentes de un Sistema hidráulico	9
2.4.1. Bomba hidráulica.....	9
2.4.2. Actuador o Cilindro Hidráulico	10
2.4.3. Tanque de aceite Hidráulico	11
2.5. Consideraciones para escoger el motor hidráulico.....	12
2.5.1. Cálculos para satisfacer las necesidades motrices del sistema	12
2.5.2. Cálculos para escoger el motor hidráulico	12

2.5.3.	Cálculos para escoger la bomba hidráulica	13
2.6.	Gas Nitrógeno	13
2.7.	Martillo Hidráulico Komac KB3600.....	14
2.7.1.	Componentes de Martillo	15
2.8.	Excavadora	17
2.8.1.	Componentes principales.....	18
2.9.	Sonómetro digital	20
2.9.1.	Funcionamiento del sonómetro	20
2.9.2.	Ponderación temporal	21
2.9.3.	Ponderación Frecuencial	22
2.9.4.	Análisis de frecuencia.....	22
2.9.5.	Normas internacionales	23
2.10.	ISO 1996 – Evaluación de Ruido Ambiental	24
Capítulo 3:	Desarrollo del diseño de instalación.....	25
3.1.	Especificaciones técnicas de Martillo KB3600.....	25
3.2.	Funcionamiento de Martillo	26
3.3.	Características Técnicas de Excavadora Volvo 290	29
3.4.	Funcionamiento de excavadora	29
3.5.	Funcionamiento de maquinaria después de la instalación.	30
3.6.	Herramientas a utilizarse	31
3.7.	Análisis de Costo-Beneficio.....	31
3.7.1.	Costos de la instalación.....	31
3.7.2.	Beneficios y utilidades económicas de instalación	32
3.7.3.	Tabla de amortización de maquina nueva vs maquinaria con martillo instalado	32
3.8.	Proceso de instalación de Martillo	34
3.8.1.	Pruebas Previas.....	34
3.8.2.	Instalación de líneas hidráulicas	36
3.8.3.	Montaje de Martillo a brazo de excavadora	38
3.8.4.	Conexión de líneas hidráulicas	39
3.8.5.	Pruebas de Calidad	41
3.9.	Prueba de contaminación por ruido de martillo hidráulico	41
3.9.1.	Sonómetro digital CENTER 390	41

3.9.2. Software SE390	42
3.9.3. Medición de ruido de martillo	43
3.10. Prueba de contaminación por ruido de voladura con explosivos	45
Capítulo 4: Conclusiones y Recomendaciones	47
4.1. CONCLUSIONES	47
4.2. Recomendaciones	47
BIBLIOGRAFÍA.....	49

Índice de Figuras

Capítulo 1

Figura 1. 1: Gráfico de función de investigación aplicada.....	5
--	---

Capítulo 2

Figura 2. 1: Principio de la prensa hidráulica.....	9
Figura 2. 2: Muestra de secciones de tubería	9
Figura 2. 3: Bomba hidráulica tipo K3V	10
Figura 2. 4: Cilindros de excavadora VOLVO	11
Figura 2. 5: Tanque de aceite hidráulico	11
Figura 2. 6: Equipo para carga de nitrógeno	14
Figura 2. 7: Componentes externos de martillo	15
Figura 2. 8: Estructura interna del cuerpo principal.....	16
Figura 2. 9: Componentes principales de martillo	16
Figura 2. 10: Excavadora en trabajo minero	18
Figura 2. 11: Partes principales de excavadora	18
Figura 2. 12: Gráfica de ponderación temporal.....	21
Figura 2. 13: Gráfica de Ponderación Frecuencial.....	22
Figura 2. 14: Nivel sonoro continuo equivalente	23

Capítulo 3

Figura 3. 1: Posición inicial de martillo	27
Figura 3. 2: Posición de pistón al ingresar el aceite	27
Figura 3. 3: Pistón al hacer contacto con la carga de Nitrógeno	28
Figura 3. 4: Circuito al momento del golpe de martillo	28
Figura 3. 5: Diagrama de pedales en cabina hacia el cuerpo de válvulas	31
Figura 3. 6: Tanque de gas nitrógeno conectado a acumulador	34
Figura 3. 7: Manómetro de válvula marcando 60mbar	35
Figura 3. 8: Salidas de aceite de alta presión del cuerpo de válvulas	36
Figura 3. 9: Sección de línea que sale del cuerpo de válvulas y retorna al tanque	37

Figura 3. 10: Sección de línea que sube por el boom.....	37
Figura 3. 11: Martillo en posición para insertar pin inferior	38
Figura 3. 12: Martillo en posición para insertar pin superior.....	39
Figura 3. 13: Martillo con ambos pines asegurados.....	39
Figura 3. 14: Mangueras de entrada y salida de aceite.....	40
Figura 3. 15: Conexión de manguera a líneas adicionales de excavadora	40
Figura 3. 16: Ajuste de pernos de manguera a válvula	40
Figura 3. 17: Sonómetro CENTER 390	42
Figura 3. 18: Interfaz de software	42
Figura 3. 19: Sonómetro conectado a PC con el software activo.....	43
Figura 3. 20: Prueba de campo en cantera de Consorcio Las Iguanas	43
Figura 3. 21: Medición de ruido de fondo en cantera	44
Figura 3. 22: Resultados de prueba graficados en Software SE390.....	44
Figura 3. 23: Resultados de medición de ruido de voladura en Licos S.A.....	45

Índice de Tablas

Tabla 3. 1: Especificaciones técnicas de martillos Komac	25
Tabla 3. 2: Niveles de Carga de Nitrógeno	26
Tabla 3. 3: Tabla de amortización.....	33
Tabla 3. 4: Niveles de Torque para pernos.....	35

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo determinar un proceso de instalación de un martillo hidráulico Komac modelo KB3600 a una excavadora VOLVO 290. Este proceso debe asegurar el correcto funcionamiento de ambos equipos para poder así aumentar su tiempo de trabajo ininterrumpido y generar la mayor cantidad de utilidad posible. Este tipo de instalaciones se vuelven cada vez más necesarias en la ciudad de Guayaquil debido a que en el sector minero se utilizan explosivos en sus procesos de extracción de material, los cuales cada vez son más regulados y en algunos casos prohibidos por entidades gubernamentales debido al daño ambiental que provocan. La implementación de la tecnología descrita en este documento presenta una buena solución al problema mencionado. La metodología implementada en este trabajo es la metodología aplicada ya que busca la aplicación o utilización de conocimientos, desde una o varias áreas especializadas, con el propósito de implementarlas de forma práctica para satisfacer necesidades concretas, proporcionando una solución a problemas del sector social, industrial o productivo. Como conclusión se emitirán datos de posibles fallas y recomendaciones que se darán a través de las inspecciones para poder mejorar el diseño y proceso propuestos.

PALABRAS CLAVE: Diseño, instalación, hidráulica, mecánica, pruebas de calidad, minería

Abstract

The objective of this work is to determine a process for installing a Komac model KB3600 hydraulic hammer to a VOLVO 290 excavator. This process must ensure the correct operation of both equipment in order to increase their uninterrupted working time and generate the greatest amount of utility. possible. These types of facilities are becoming increasingly necessary in the city of Guayaquil since explosives are used in the mining sector in its material extraction processes, which are increasingly regulated and, in some cases, prohibited by government entities due to the environmental damage they cause. The implementation of the technology described in this document presents a good solution to the mentioned problem. The methodology implemented in this work is the applied methodology since it seeks the application or use of knowledge, from one or several specialized areas, with the purpose of implementing them in a practical way to satisfy specific needs, providing a solution to problems in the social, industrial, or productive. As a conclusion, data of possible failures and recommendations that will be given through the inspections will be issued to improve the proposed design and process.

KEYWORDS: Design, installation, hydraulics, mechanics, quality tests, minin

Capítulo 1: Introducción

1.1. Introducción

En los alrededores de la ciudad de Guayaquil, principalmente en los sectores vía Daule y vía la Costa, existe una proliferación de canteras, en las cuales los procesos de extracción de materiales de construcción y de minería, son realizados de forma tradicional empleando explosivos para su desprendimiento, otra alternativa utilizada se basa en el empleo de martillos hidráulicos y la adaptación de estos en maquinarias de extracción tales como retroexcavadoras.

Ante esta realidad y tomando en cuenta que el crecimiento de la ciudad, acerca más las ciudadelas a las canteras. Los ruidos de las explosiones crean malestar a los habitantes al punto de que se generan reclamos ante las entidades encargadas de la regulación de procesos de extracción de material. Ante estos reclamos las autoridades competentes han procedido a limitar el uso de explosivos y en otros, al cierre de varias canteras. Como la utilización de explosivos fue limitada, las empresas mineras, se vieron en la necesidad de optar por el uso de maquinarias tales como martillos hidráulicos y retroexcavadoras, e incluso en algunos casos, por falta de presupuesto, realizar adaptaciones empíricas en las mismas, las cuales permitiesen fragmentar los volúmenes de materiales extraídos.

Estas soluciones tipo parche generan más perjuicios a la larga que las ventajas que estas ofrecen, ya que demandan monitoreos permanentes y reparaciones contantes las cuales se traducen en perjuicios económicos no solamente por el costo de las reparaciones sino por los costos de la para de producción. Por lo antes indicado, se plantea como solución técnica, un diseño técnico de adaptación de un sistema de martillo hidráulico a retroexcavadoras en el sector minero.

1.2. Planteamiento del problema

Las regulaciones establecidas para los procesos de extracción del sector minero que limitan la utilización de explosivos en sectores próximos a los complejos de vivienda, motivan a las empresas mineras a buscar alternativas que mantengan su producción y costos de extracción. La alternativa de adaptaciones se viene ya

realizando desde hace algunos años en varios equipos y canteras de la ciudad. Para estos se implementan varios procesos diferentes. La mayoría de estas instalaciones se realizan de forma empírica, es decir, sin una base fuerte de conocimientos técnicos de hidráulica o del equipo como tal. Como consecuencia de lo antes mencionado los resultados de la adaptación suelen ser negativos por causales como el tiempo que les toma realizar el proceso de cambio de cucharón a martillo hidráulico. La mayoría de las canteras se manejan como líneas de producción en las cuales es sumamente importante explotar al máximo el tiempo de producción de los equipos involucrados. Para que de esta manera evitar que se generen pérdidas económicas y de producción.

1.3. Hipótesis

El diseño y proceso de instalación presentado en este trabajo será la forma más idónea de adaptar nuestro accesorio hidráulico al equipo mencionado. Nos permitirá maximizar la producción de este, asegurando un funcionamiento continuo y nos ayudará a reducir el tiempo de para que requiera la instalación, convirtiéndolo en una herramienta útil para los operadores de maquinarias de excavación, que requieran realizar esta adaptación en trabajos de reducción de material en las canteras de Guayaquil, con la finalidad de cumplir con las regulaciones ecológicas establecidas para la extracción de material en el sector minero.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Diseñar un sistema eficaz y efectivo para reemplazar el cucharón de una retroexcavadora VOLVO 290 por un martillo hidráulico KOMAC KB3600.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Analizar las características técnicas de la solución propuesta mediante un estudio de factibilidad para la adaptación de un martillo hidráulico KOMAC KB3600 en una excavadora VOLVO 290.
- Establecer las herramientas y materiales necesarios a emplear en el proceso de adaptación y definir un protocolo de pasos a seguir para la instalación del sistema hidráulico que requiere la operación del martillo.
- Realizar un análisis comparativo de costos y de los beneficios que implique el costo total de operación vs el porcentaje de ganancia que esta solución

aportaría.

1.5. Alcance

Se desea implementar una solución para la extracción de material pétreo, empleando maquinaria que tenga la capacidad de adaptación para realizar varias tareas, entre ellas, excavación y perforación. Por lo tanto, se desarrollará un diseño de implementación para la adaptación de un martillo hidráulico, el cual contará con las siguientes características:

- Análisis técnico de características del martillo Komac KB3600, la excavadora Volvo EC290 y su funcionamiento.
- Diseño y descripción del proceso de adaptación del martillo detallando todos los pasos.
- Detalle de materiales insumos y herramientas a utilizarse en el proceso.
- Análisis de factibilidad del proyecto comparando los costos del mismo vs lo que puede producir.

1.6. Importancia y Justificación

El uso de accesorios o aditamentos hidráulicos en las canteras ecuatorianas se vuelve cada día más común ya que, en ciertos procesos, se muestra como una alternativa eco-amigable a el uso tradicional de explosivos para desprender el material de la montaña. En ciertas canteras ubicadas muy cerca de zonas urbanizadas el uso de explosivos es regulado y en ocasiones prohibido por las autoridades por lo que el uso de esta tecnología se vuelve un requisito.

El presente proyecto se orienta a definir las metodologías, teóricas y prácticas, para la adaptación de un martillo hidráulico KOMAC KB3600 a una retroexcavadora VOLVO 290 de oruga. De igual forma se orienta a establecer los instrumentos, materiales, y técnicas que requeriría este trabajo.

Logrando un diseño eficaz y efectivo se puede potenciar la utilización de esta tecnología en el sector minero del país. No solo por el hecho de que son una opción más económica en algunos casos, sino también por una disminución representativa en el impacto ambiental que los métodos tradicionales provocan.

1.7. Metodología de la investigación

1.7.1. Investigación aplicada

En este tipo de investigación, el objetivo es encontrar estrategias que puedan ser empleadas en el abordaje de un problema específico. La investigación aplicada se nutre de la teoría para generar conocimientos prácticos, y su uso es muy común en ramas del conocimiento como la ingeniería o la medicina.

De este modo, la investigación aplicada se centra en la resolución de problemas en un contexto determinado, es decir, busca la aplicación o utilización de conocimientos, desde una o varias áreas especializadas, con el propósito de implementarlas de forma práctica para satisfacer necesidades concretas, proporcionando una solución a problemas del sector social, industrial o productivo.

En este caso el problema o necesidad sería reemplazar el uso de dinamita o explosivos que son altamente contaminantes e incluso prohibidos en sectores cercanos a zonas urbanas, utilizando la investigación aplicada se presenta así una opción eco-amigable, económica y sostenible de extraer material de las canteras Guayaquileñas con la instalación u utilización de un martillo hidráulico en una excavadora.



Figura 1. 1: Gráfico de función de investigación aplicada

Fuente: (CRAI, 2016)

1.7.2. Investigación documental

La investigación documental es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas. Como en toda investigación, el propósito de este diseño de instalación es el aporte de nuevos conocimientos. En este trabajo muchos de los datos y conocimientos que se necesitarán para realizar la instalación serán obtenidos de catálogos y libros de mecánica.

1.7.3. Método Mixto

La investigación mixta es una metodología de investigación que consiste en recopilar, analizar e integrar tanto investigación cuantitativa como cualitativa. Este enfoque se utiliza cuando se requiere una mejor comprensión del problema de investigación, y que no se podría dar cada uno de estos métodos por separado. Los datos cuantitativos incluyen información cerrada como la que se utiliza para medir actitudes, por ejemplo, escalas de puntuación.

Los datos cualitativos son información abierta que el investigador suele recopilar mediante entrevistas, grupos de discusión y observaciones. El análisis de los datos cualitativos (palabras, textos o comportamientos) suele consistir en separarlos por categorías para conocer la diversidad de ideas reunidas durante la recopilación de datos.

Al realizar una investigación mixta, tanto de datos cuantitativos y cualitativos, el investigador gana amplitud y profundidad en la comprensión y corroboración, a la vez que compensa las debilidades inherentes del uso de cada enfoque por separado. Se considera que en este trabajo se utiliza una metodología mixta ya que se emplean los métodos cualitativos y cuantitativos.

Los datos cuantitativos se los obtiene al realizar pruebas de la instalación en las cuales se reflejan valores numéricos de presión y flujo del aceite hidráulico, se obtienen también en los catálogos que muestran las características técnicas como por ejemplo los niveles de carga de nitrógeno o niveles de torque en los pernos.

Los datos cualitativos se los obtiene principalmente en los catálogos de partes y manuales de operación de los equipos, ya que ahí se muestran los nombres y función de cada pieza y las correctas formas de operar el equipo. Se tienen también mediante la consulta externa a técnicos mecánicos que proporcionan información de las técnicas a utilizar para el montaje y desmontaje del martillo.

Capítulo 2: Fundamentación Teórica

Este capítulo tiene como finalidad detallar los conceptos a utilizarse durante el desarrollo de este trabajo. Se explicarán conceptos elementales de hidráulica y características de los equipos que participan en el proyecto.

2.1. Aceite hidráulico

El aceite hidráulico mineral es un líquido derivado del petróleo, por lo que también se lo conoce como óleo hidráulico. Es un fluido no comprensible que desempeña un papel fundamental para el buen funcionamiento de los sistemas hidráulicos. Su papel principal dentro del sistema es la transferencia de energía para mover estructuras, pero además de este cumple con varias funciones secundarias como: eliminación de la contaminación, sellado y lubricación.

El aceite hidráulico tiene una gran variedad de aplicaciones. Se utiliza para impulsar montacargas y actuadores, permite a pilotos controlar sistemas vitales de aeronaves y garantiza el correcto funcionamiento de motores.

2.2. Propiedades de los aceites hidráulicos

Los aceites hidráulicos cuentan con una gran variedad de propiedades según la aplicación que tendrán, entre las cuales, las más características de estos son:

2.2.1. Densidad

La densidad es una propiedad clave de un fluido y es dada por la razón entre su masa específica y su masa conocida donde:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

p: Densidad

m: Masa

V: Volumen

El agua, patrón de referencia, tiene una densidad de 1,000 Kg/m³, por definición. Los aceites varían entre los 700 y 950 Kg/m³. Esta es la razón por la cual la mayoría de los aceites flotan en el agua, son menos densos que ella. ³

2.2.2. Cavitación

El fenómeno de la cavitación, definido de manera sencilla como la formación de burbujas en un líquido, puede tener efectos negativos en una bomba hidráulica. En un sistema hidráulico mal diseñado, se puede generar un vacío que permite que el aire encerrado en el fluido sea extraído, formándose así pequeñas burbujas. Una variedad de factores en el sistema puede ocasionar este vacío. Cuando el fluido entra a la bomba y es comprimido, las pequeñas burbujas implosionan a nivel molecular. Estas implosiones pueden llegar a remover material interno de la bomba hasta impedir su funcionamiento apropiado. La cavitación puede destruir un equipo nuevo en minutos, dejando signos de daños físicos incluyendo patrones específicos.

La viscosidad en su definición más simple, puede ser el hecho de que tan fino o que tan grueso sea al tacto un determinado aceite. Para dar un concepto más técnico, es la resistencia que tiene un líquido al fluir y está relacionada directamente con la temperatura. A menor temperatura, mayor viscosidad y a mayor temperatura, menor viscosidad. Para seleccionar la viscosidad adecuada hay que tomar en cuenta la temperatura de trabajo y la recomendación del fabricante. La unidad de medida más utilizada para la viscosidad, son los Centistokes (cSt).

La numeración ISO de un aceite es su grado de viscosidad a 40°C. Quiere decir por ejemplo que un aceite ISO 68 es un aceite cuya viscosidad a 40°C es 68 cSt ($\pm 10\%$). La numeración SAE de un aceite es su grado de viscosidad a 100°C. Por ejemplo, todos los aceites SAE 40 deben tener entre 12.5 cSt y 16.3 cSt a 100°C.

2.3. Principios físicos de la hidráulica

2.3.1. Ley de Pascal

La presión en todo el fluido es constante: esta frase que resume de forma tan breve y concisa la ley de Pascal da por supuesto que el fluido está encerrado en algún recipiente, que el fluido es incompresible. El principio de Pascal puede comprobarse utilizando una esfera hueca, perforada en diferentes lugares y provista de un émbolo. Al llenar la esfera con agua y ejercer presión sobre ella mediante el émbolo, se observa que el agua sale por todos los agujeros con la misma presión. También podemos ver aplicaciones del principio de Pascal las prensas hidráulicas. La ecuación de Pascal se define de la siguiente manera:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

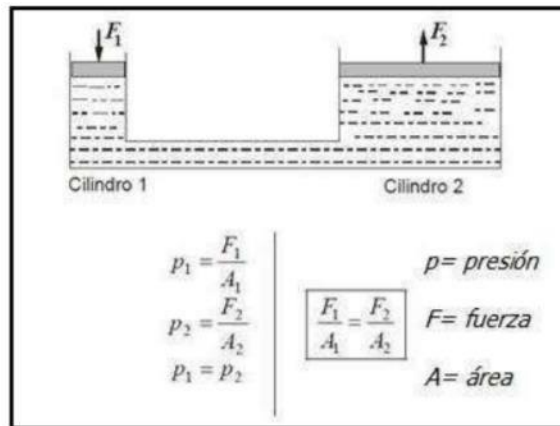


Figura 2. 1: Principio de la prensa hidráulica
 Fuente: (Hernandez G. , 2015)

2.3.2. Ley de Continuidad

Considerando a los líquidos como no comprensibles y con densidades constantes, por cada sección de tubo pasará el mismo caudal por unidad de tiempo. La ley de la continuidad se define en la siguiente ecuación: (Ver figura 2.2)

$$Q_1 = A_1 V_1 \qquad Q_2 = A_2 V_2$$

$$Q_1 = Q_2$$

Donde, V: Volumen; Q: Caudal; A: Área de sección

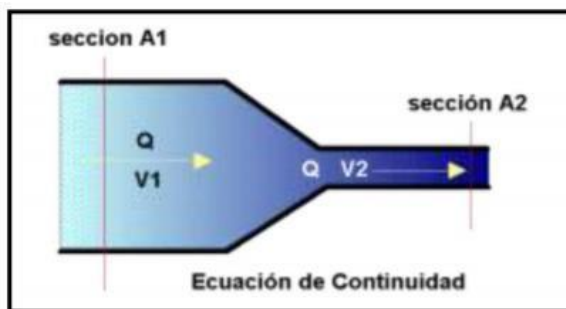


Figura 2. 2: Muestra de secciones de tubería
 Fuente: (Solórzano, 2015)

2.4. Componentes de un Sistema hidráulico

2.4.1. Bomba hidráulica

Una bomba hidráulica es una máquina que transforma la energía, generalmente mecánica, con la que es accionada en energía hidráulica del fluido incompresible que mueve, figura 2.3. Este fluido puede ser líquido o a puede ser una mezcla de líquidos

y sólidos como lo es el hormigón antes de fraguar. El movimiento de agua, otros líquidos y gases se produce creando una diferencia de presión entre dos puntos por vacío, compresión, succión, empuje y otros medios.

Generalmente, la utilización del término bomba es para referirse a las máquinas de fluido que transfieren energía, o bombean fluidos, y por lo tanto no alteran la densidad de su fluido de trabajo, a diferencia de otras máquinas como lo son los compresores, los cuales el campo de aplicación es la neumática y no la hidráulica. Pero también se encuentra el término bomba para referirse a máquinas que bombean otro tipo de fluidos, así como lo son las bombas de vacío o las bombas de aire.



Figura 2. 3: Bomba hidráulica tipo K3V
Fuente: (Kawasaki, 2018)

2.4.2. Actuador o Cilindro Hidráulico

El cilindro hidráulico consiste básicamente en dos piezas: un cilindro barril y un pistón -o émbolo móvil- conectado a un vástago. El cilindro barril, con forma de un tubo, tiene una superficie interior pulida y está cerrado por los dos extremos. En cuanto al pistón, es una pieza cilíndrica maciza que se mueve alternativamente en el interior del cuerpo del cilindro hidráulico, primero desplazándose para ejercer una fuerza al vástago y después para recibir de éste la fuerza necesaria para moverse en sentido contrario.

Finalmente, el vástago es una barra acoplada al émbolo, que efectúa el movimiento alternativo de ida y regreso. Como complemento podemos mencionar a los cabezales, boquillas y horquillas. Pero ¿de qué manera obtienen la fuerza? Lo común es que provenga de algún fluido hidráulico presurizado, conocido como aceite, que llega a través de una manguera y penetra en la cámara del cilindro. Así, la presión hace que se desplace el émbolo empujando el vástago (barra), el cual aplica una fuerza

al elemento que se desea mover. Para el retroceso del émbolo se corta la presión de entrada y el líquido retrocede por la manguera.

En la práctica, los cilindros hidráulicos tienen muchos usos como, por ejemplo, el elemento cilindro-pistón de un motor; los gatos hidráulicos y las prensas; pero, en este caso nos referimos al tipo de dispositivo que se emplea en numerosas máquinas para generar una fuerza que mueve una pieza o un mecanismo, generalmente por el principio de la palanca. (Hernandez, 2019)



Figura 2. 4: Cilindros de excavadora VOLVO
Fuente: (Marquez, 2018)

2.4.3. Tanque de aceite Hidráulico

El tanque o depósito cumple diferentes funciones. Por una parte, es el depósito de aspiración e impulsión del sistema de bombeo, además sirve de almacén y reserva de aceite. Por otra parte, tiene como misiones la separación del aire del líquido hidráulico en lo más posible, la refrigeración del aceite por simple transmisión de calor por sus paredes al exterior, la toma de contacto del aceite con la presión atmosférica y, por último, su estructura sirve como soporte de la bomba, del motor de accionamiento y de otros elementos auxiliares.

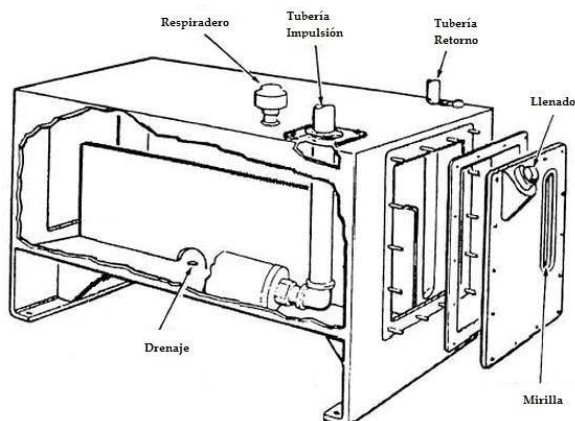


Figura 2. 5: Tanque de aceite hidráulico
Fuente (Parrales, 2011)

2.5. Consideraciones para escoger el motor hidráulico

2.5.1. Cálculos para satisfacer las necesidades motrices del sistema

Número de Reynolds: Para esta aplicación el número de Reynolds es calculado bajo la siguiente expresión:

$$Re = \frac{D_a^2 N \rho}{\mu}$$

Donde: D_a : Distancia entre aspas; N : Número de revoluciones por segundo; ρ : Densidad del fluido; μ : Viscosidad absoluta. Debido a que esta fórmula es adimensional, las cantidades deben encontrarse en el mismo sistema de medida.

Cálculo de la Potencia requerida del sistema: Para calcular la potencia se necesita conocer el número de Reynolds y el Número de potencia NP. Con lo anterior, se calcula finalmente la potencia requerida por el sistema motriz de esta aplicación con la expresión:

$$W_{out} = N * pN^3 * D_a^5$$

Donde: W_{out} es la potencia requerida por el sistema.

2.5.2. Cálculos para escoger el motor hidráulico

Todo motor tiene una potencia de salida, una potencia de entrada y una eficiencia. Debido a las condiciones de funcionamiento de estos aparatos, la potencia de entrada se convierte en la potencia mecánica de salida disponible y en una potencia perdida, que se manifiesta en calor y aumento de temperatura del fluido de trabajo.

Potencia de salida: La potencia de salida de un sistema rotatorio se considera como el producto de la velocidad angular por el torque disponible. Estas variables son las requeridas por la aplicación en su condición máxima de trabajo.

$$W_{out} = T\omega$$

Donde: T : Torque requerido (salida); ω : Velocidad Angular (salida)

Potencia de entrada: La potencia de entrada a un motor hidráulico se considera como el producto del caudal por la presión:

$$W_{in} = VP$$

Donde: V: Caudal; P: Presión

Eficiencia mecánica del motor: Con los datos anteriores, se calcula la eficiencia mecánica del motor:

$$\eta = \frac{W_{out}}{W_{in}} * 100\%$$

2.5.3. Cálculos para escoger la bomba hidráulica

Cálculo de la potencia de la bomba: La potencia entregada por la bomba se calcula con la siguiente expresión:

$$W_{out} = 0.0007PQ$$

Donde: W_{out} : Potencia de salida de la bomba en hp; P: Presión a la salida de la bomba en psi; Q: Caudal en gal/min

La potencia requerida por la bomba: Se calcula con la siguiente expresión:

$$W_{in} = \frac{W_{out}}{\eta_{bomba}}$$

Donde: W_{in} : Potencia de entrada o requerida de la bomba en hp; η_{bomba} : Eficiencia global de la bomba; W_{out} : Potencia de salida en hp.

2.6. Gas Nitrógeno

El nitrógeno es el componente principal de la atmósfera terrestre (78,1% en volumen). Se obtiene para usos industriales de la destilación del aire líquido. Al separarlo de los demás componentes de la atmósfera se obtiene de una forma molecular diatómica, es decir por dos átomos de nitrógeno y se comporta en forma de gas. Al ser el nitrógeno un gas, debe obedecer la ley de Boyle, la cual establece que la presión de un gas en un recipiente cerrado es inversamente proporcional al volumen del recipiente. Esto quiere decir que, si el volumen del contenedor aumenta, la presión en su interior disminuye y, viceversa, si el volumen del contenedor disminuye, la presión en su interior aumenta.

En los martillos hidráulicos se utiliza una carga de gas nitrógeno en el acumulador del equipo para darle más fuerza al golpe del martillo. Cuando el pistón sube y reduce el volumen del contenedor éste se comprime y al aumentar la presión empuja el pistón con fuerza hacia abajo. En la figura 2.6 se muestra la herramienta necesaria para la carga de gas nitrógeno.

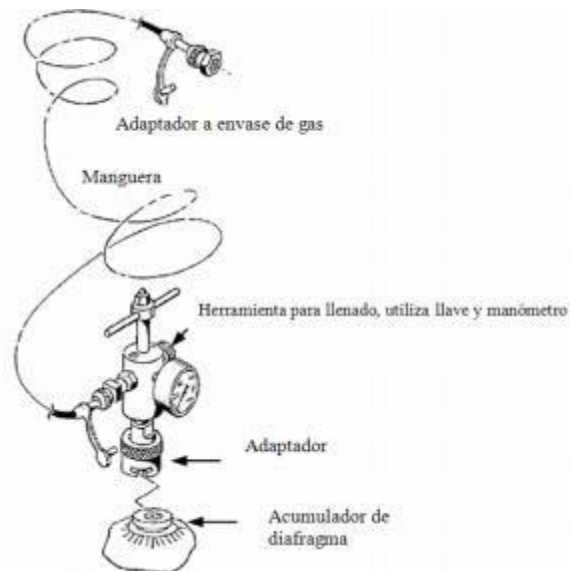


Figura 2. 6: Equipo para carga de nitrógeno
Fuente: (Lee, 2013)

2.7. Martillo Hidráulico Komac KB3600

El martillo Komac KB3600 es un accesorio de procedencia surcoreana con varias aplicaciones tanto en el sector minero como en el sector de construcción, principalmente para demolición o para romper suelos en pavimentaciones. Los martillos hidráulicos de tamaño mediano, llegan a pesar hasta los 550 kilogramos de peso, tienen una fuerza de aplicación desde los 900 hasta los 1200 caballos de fuerza, el martillo hidráulico que aplica una fuerza máxima hasta los 1200 caballos puede llegar a pesar hasta los 650 kg de peso.

Los martillos hidráulicos de tamaño grande, puede llegar a tener un peso equivalente a los 1900 kg de peso hasta los 2200 kg de peso, y pueden ejercer una fuerza de 3000 caballos hasta los 3500 de fuerza respectivamente. El tipo de maquinaria en los que se implementan estos martillos hidráulicos son las retroexcavadoras y excavadoras compactas y de oruga, que se utilizan para trabajos de eliminación de montañas rocosas en el caso de apertura de nuevas carreteras y creación de puentes generalmente.

Un martillo hidráulico se basa en los mismos principios que un martillo neumático, pero se acciona a través de un fluido especial, denominado "aceite hidráulico", que circula a presiones elevadas. Suele ser de grandes dimensiones, y generalmente debe acoplarse a una excavadora o tractor. Se emplean ampliamente en construcción y demolición. También se usan en minería, pues se pueden operar en paredes verticales y se recomiendan ampliamente por el margen de seguridad que proporcionan.

2.7.1. Componentes de Martillo

En la figura 2.7 se muestran los componentes principales del martillo KB3600. El ítem #200 se lo conoce como "Main Body" o cuerpo principal en español, dentro de éste se encuentran las partes que sirven para la operación del martillo como la punta, el pistón, aceite, acumulador, sellos, etc. Los componentes internos del cuerpo principal serán detallados más adelante.

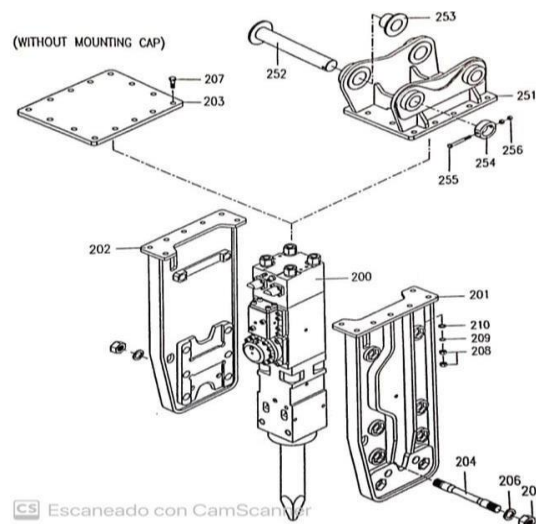


Figura 2. 7: Componentes externos de martillo
Fuente: (Lee, 2013)

Los ítems #201 y #202 son las "planchas" del martillo. Las planchas sirven para sostener el main body y para juntarlos con el "Mounting Cap" que es el ítem #251 que sirve como acople para montar el martillo al brazo de la excavadora. El mounting cap se acopla al brazo de la excavadora en remplazo del cucharón mediante pines o pasadores y bocines (ítems #252 y #253)

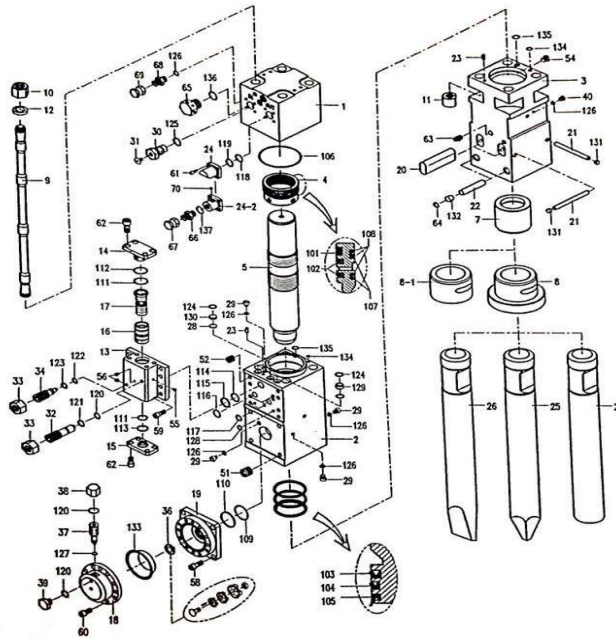


Figura 2. 8: Estructura interna del cuerpo principal

Fuente: (Lee, 2013)

En la figura 2.9 se muestran todos los componentes internos del cuerpo principal del martillo. Los componentes más importantes son los pernos principales (Trough bolts ítem #9), el back head (ítem #1), la válvula o conmutador (ítem#13), el cilindro o camisa (ítem#2), el acumulador (ítem#19), el pistón (ítem#5), el front head (ítem#3) y finalmente la punta (ítems #25, #26 y #27). El tipo de punta puede variar dependiendo de la superficie o material que va a romper el martillo. En la figura 2.10 se detallan los componentes principales del martillo:

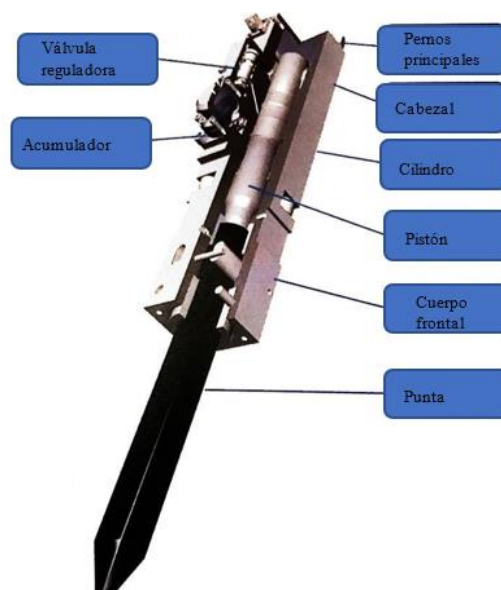


Figura 2. 9: Componentes principales de martillo

Fuente: (Lee, 2013)

- ✓ **Pernos principales:** Atraviesan todo el cuerpo del martillo y su función es asegurar y sostener juntos el back head, el cilindro y el front head. Se utilizan 4 pernos principales asegurados con 4 tuercas.
- ✓ **Back head o cabezal de martillo:** es el lugar donde se realizan las conexiones de entrada y salida del aceite hidráulico. Hay una pequeña acumulación de gas Nitrógeno para dar potencia al golpe del martillo. Cada vez que se llena de aceite el martillo el pistón sube y al encontrarse con la acumulación de nitrógeno sale disparado hacia abajo golpeando la punta generando el golpe del martillo. En el back head se encuentra la válvula que regula la frecuencia del golpe.
- ✓ **Cilindro o camisa:** En el cilindro se encuentra el circuito hidráulico mediante el cual sube y baja el pistón para generar el golpe a la punta. Este componente es el corazón del main body, dentro de él se desplaza el pistón hacia arriba y hacia abajo. Es importante asegurarse que el cilindro se encuentre siempre en buen estado para no causar daños al pistón internamente.
- ✓ **Acumulador:** Dentro del acumulador se encuentra la mayor parte de carga del gas Nitrógeno (N₂). El gas que se encuentra en el acumulador sirve para compensar la presión dentro del circuito hidráulico y generar un golpe más potente. Cuando no hay nitrógeno en el acumulador el martillo puede golpear, pero no con la suficiente fuerza para cumplir su función.
- ✓ **Cuerpo frontal o front head:** El front head o cuerpo frontal sirve como soporte para el peso de todo el martillo dentro de él se encuentra el bocin que sostiene la punta en su lugar. El bocín es un componente de desgaste por el constante movimiento de la punta.
- ✓ **Punta:** La punta es el componente que golpea directamente con el material a romper. Está hecha de un material extremadamente resistente y puede variar de tipo dependiendo de la función que se le da al martillo.

2.8. Excavadora

La excavadora hidráulica o retroexcavadora es una máquina pesada que dispone de diversos tamaños, un brazo hidráulico con una pala en la punta, destinada a desplazarse sobre ruedas o cadenas y además tiene la capacidad de girar 360° sobre su propio eje. Entre sus funciones se encuentran las siguientes

- ✓ Realiza arranque de material y carga este mismo en unidades de transporte
- ✓ También efectúa labores de zanjeo, manejo de cargas, así como demolición y

rotura de bloques cuando tiene incorporado un martillo hidráulico.

- ✓ Puede adaptarse a distintos alcances de brazo, capacidades de cucharón, suelos blandos o duros.
- ✓ Cuando existen durezas muy elevadas puede incorporar piezas de desgaste más resistentes.

Reinan en el sector minero desde que sus ancestros de comienzos del siglo XX evolucionaron y con el paso del tiempo incorporaron la hidráulica, los automatismos, la electrónica, la informática, etc. propios del desarrollo de la ingeniería y los materiales, y con ello ganaron prestaciones, capacidades y tamaño, convirtiéndose en auténticos gigantes que pueden llegar a pesar 1000 toneladas, como es el caso del modelo de mayor envergadura.



Figura 2. 10: Excavadora en trabajo minero
Fuente: (Martinez, 2016)

2.8.1. Componentes principales

Una excavadora está constituida por más de 25000 partes que en conjunto producirán un trabajo, conocer todas y cada una de las piezas que la conforman representaría una labor titánica, sin embargo, estos equipos se pueden desglosar de manera general en los siguientes componentes principales:

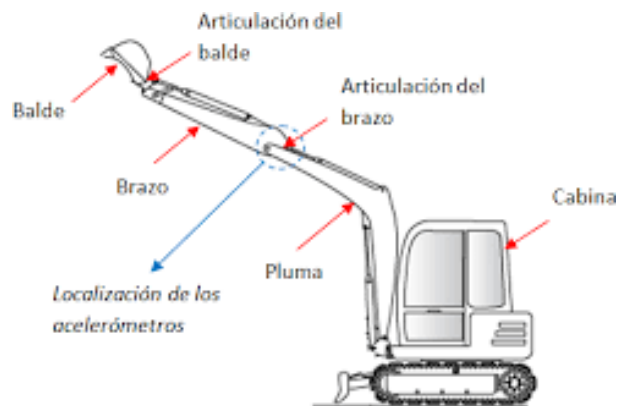


Figura 2. 11: Partes principales de excavadora
Fuente: (Hernandez F. , 2019)

- ✓ **Cucharón o balde:** es la parte de la excavadora que toma contacto con el material a movilizar o romper. Es un balde hecho de hierro cuyo tamaño mide en metros cúbicos ya va a variar dependiendo del tonelaje de la máquina.
- ✓ **Brazo:** es una estructura metálica alargada que conecta el cucharón con el boom o pluma de la máquina. Su función es darle a la extremidad de la excavadora la capacidad de realizar un movimiento hacia adelante y hacia atrás para poder recoger el material.
- ✓ **Boom o pluma:** es una estructura metálica que no es recta, sino que tiene un ángulo. Su función es elevar la extremidad de la máquina hacia arriba y hacia abajo para poder alcanzar objetos o materiales que se encuentran a diferentes alturas. Se la conoce en muchos lugares como “boom” ya que su forma se asemeja a la de un boomerang.
- ✓ **Cilindros hidráulicos:** son parte del sistema hidráulico de la excavadora y en la mayoría de estos equipos se identifica un total de 4 cilindros de los cuales dos de ellos han sido dispuestos en base de la pluma, 1 entre la pluma y el brazo y un cuarto entre el brazo y el cucharón. Dentro de cada cilindro hidráulico existirán componentes como pistones y rods que permiten el movimiento del brazo según la cantidad de aceite que es bombeado a través de ellos.
- ✓ **Cabina:** es el lugar donde se ubica el operador de la máquina y donde se encuentran los controles para activar todos los movimientos de la excavadora. Aquí están también los tableros de control para monitorear todos los parámetros como temperatura y presión del aceite mientras opera el equipo.
- ✓ **Bomba Hidráulica:** se lo puede describir como el “corazón” de la máquina. Su función es la de bombear el aceite hidráulico hacia un cuerpo de válvulas para que de ahí sea direccionado a los diferentes circuitos hidráulicos para accionar los movimientos de la máquina. Esta bomba es accionada por un eje que sale del motor de combustión.
- ✓ **Motor:** es un motor de combustión interna, el tamaño y la cantidad de pistones puede variar dependiendo del modelo y tonelaje de la máquina. Se localiza por lo general en la parte posterior de la cabina de operaciones. Tiene como única función convertir la energía de combustión en energía mecánica para hacer girar un eje y accionar la bomba hidráulica.
- ✓ **Tren de rodaje:** es la parte del equipo que lo ayuda desplazarse de un lugar a otro. En ciertos modelos utiliza llantas similares a la de un tractor,

principalmente en aplicaciones como la construcción ya que las llantas no dañan el terreno en el cual se desplaza. Para la minería generalmente se usan trenes de rodaje tipo oruga que está compuesta por una rueda guía y cadenas que le dan mayor tracción al equipo en terrenos irregulares.

- ✓ **Cuerpo de Válvulas:** el aceite sale del tanque a alta presión por medio de la bomba hidráulica y se dirige al cuerpo de válvulas, que es un bloque cuyo propósito es direccionar el aceite hacia los diferentes circuitos hidráulicos que cumplen varias funciones. Las válvulas se abren y se cierran dependiendo de la ordenes que les den los controles o joysticks de la cabina, por ejemplo, al mover el joystick hacia la derecha se abre la válvula del carrete que dirige el aceite del cuerpo hacia el motor de giro provocando la activación de este y generando el movimiento de rotación de la máquina. El mismo proceso sucede para todos los movimientos de la excavadora. En la figura 9 se puede ver el cuerpo de válvulas que se utiliza en la VOLVO 290 que será utilizada en el proyecto.

2.9. Sonómetro digital

Un sonómetro es un instrumento, normalmente portátil, diseñado para medir niveles sonoros de forma normalizada. Responde al sonido aproximadamente del mismo modo que el oído humano y proporciona medidas objetivas y reproducibles de los niveles de presión sonora. La unidad con la que trabaja el sonómetro es el decibel. Los sonómetros se utilizan para medir y adoptar medidas de gestión del ruido procedente de distintas fuentes sonoras; por ejemplo, plantas industriales, tráfico rodado y ferroviario y obras de construcción, por no hablar de situaciones urbanas típicas, como encuentros deportivos, conciertos al aire libre o parques de atracciones. Las fuentes sonoras son increíblemente variadas y plantean una problemática compleja a los profesionales que las evalúan.

2.9.1. Funcionamiento del sonómetro

Un sonómetro está formado por un micrófono, un preamplificador, un sistema de procesamiento de señal y una pantalla. El micrófono convierte una señal sonora en una señal eléctrica proporcional. El tipo de micrófono más adecuado para los sonómetros es el de condensador, ya que ofrece una buena combinación de precisión, estabilidad y fiabilidad.

La señal eléctrica que genera el micrófono tiene un nivel muy bajo; por ello, se hace pasar por un preamplificador antes de enviarla al procesador principal. El procesamiento incluye aplicar a la señal ponderaciones frecuenciales y temporales, conforme a lo que especifican las normas internacionales que deben cumplir los sonómetros; por ejemplo, la norma IEC 61672-1.

2.9.2. Ponderación temporal

La ponderación temporal (o ponderación de tiempo) especifica cómo reacciona el sonómetro a los cambios en la presión sonora. Es una media exponencial de una señal fluctuante y proporciona un valor más fácil de leer. El sonómetro aplica ponderaciones Fast, Slow e Impulse (o “F”, “S” e “I”), que son las que exigen la mayoría de las normas y directrices nacionales e internacionales. Las normas de evaluación ambiental suelen especificar la ponderación de tiempo que debe utilizarse.

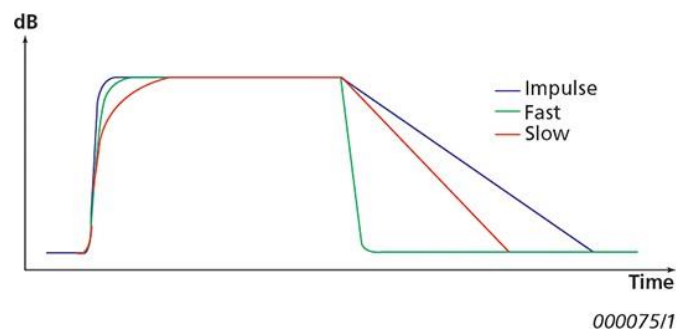


Figura 2. 12: Gráfica de ponderación temporal

La señal se procesa empleando filtros de ponderación y el nivel de presión sonora resultante se muestra en la pantalla del sonómetro, expresado en decibelios (dB) referenciados a 20 μ Pa. Los valores de nivel de la presión sonora se actualizan como mínimo una vez por segundo.

Los niveles de ruido que presentan fluctuaciones se evalúan a partir de valores promedio. El parámetro promediado más importante en todo el mundo es el “nivel sonoro continuo equivalente”, L_{eq} . L_{eq} es el nivel que, si fuera estable durante el periodo de medida, representaría la cantidad de energía presente en el nivel de presión sonora fluctuante medido. Es una medida de la energía promedio que está presente en un nivel sonoro variable. L_{eq} puede medirse directamente con la mayoría de los sonómetros profesionales (a veces también llamados sonómetros integradores). Si se utiliza un filtro de ponderación A, este nivel se expresa como L_{Aeq} , es decir, el nivel

sonoro continuo equivalente registrado con una red de filtros con ponderación A.

2.9.3. Ponderación Frecuencial

La ponderación frecuencial (o ponderación de frecuencia) ajusta la respuesta del sonómetro a sonidos con diferentes frecuencias. Esta ponderación es necesaria porque la sensibilidad del oído humano al sonido varía en función de la frecuencia. La norma IEC 61672-1 define las ponderaciones de frecuencia A, C y Z. Ocasionalmente se utilizan otras ponderaciones de frecuencia en aplicaciones especializadas.

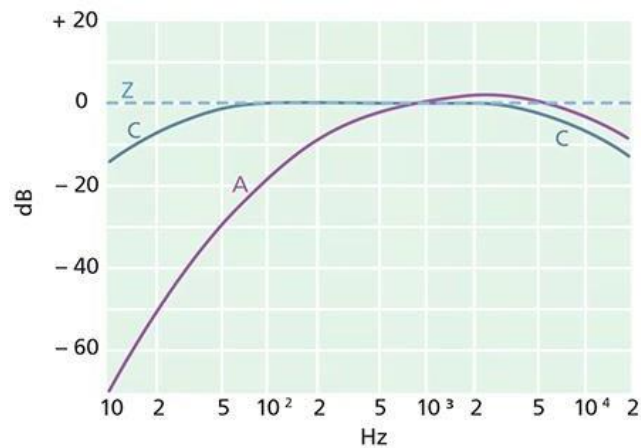


Figura 2. 13: Gráfica de Ponderación Frecuencial

✓ Ponderación A – dBA/dB

La ponderación A ajusta la señal del modo que más se asemeja a la respuesta del oído humano a los niveles sonoros medios. Se basa en la curva de igual sonoridad de 40 dB. Los símbolos de los parámetros de ruido suelen incluir la letra "A" (por ejemplo, LAeq) para indicar que la medida incluye una ponderación frecuencial. La ponderación A es la que se emplea en casi todas las medidas de ruido ambiente y de ruido en el lugar de trabajo, y es la que especifican diversas normas y directrices nacionales e internacionales. Los filtros de ponderación A cubren un espectro de 10 Hz a 20 kHz; es decir, todo el espectro auditivo que percibe el ser humano.

2.9.4. Análisis de frecuencia

Cuando se necesita información más detallada sobre un sonido complejo, el espectro de frecuencias puede dividirse en secciones o "bandas". Para ello se utilizan filtros electrónicos o digitales, que eliminan todas las frecuencias que quedan fuera de la banda seleccionada. Estas bandas suelen tener un ancho de banda de una octava o de un tercio de octava.

pérdida significativa de precisión o de datos.

IEC 61672

La norma “IEC 61672, Electroacústica. Sonómetros” (disponible en español) es la norma internacional que deben cumplir los sonómetros para, a su vez, cumplir la mayoría de los reglamentos modernos. Especifica "tres tipos de instrumentos de medición del sonido": sonómetros "convencionales", sonómetros integradores-promediadores y sonómetros integradores. La norma consta de tres partes:

- ✓ Parte 1: Especificaciones: define las prestaciones y la funcionalidad de los sonómetros de clase 1 y 2.
- ✓ Parte 2: Ensayos de evaluación de modelo: proporciona detalles sobre los ensayos necesarios para verificar la conformidad con todas las especificaciones obligatorias que figuran en la norma IEC 61672-1. Es de utilidad para los laboratorios de ensayos que se encargan de garantizar que los instrumentos cumplen efectivamente lo que declaran los fabricantes.
- ✓ Parte 3: Ensayos periódicos: describe los procedimientos de los ensayos a los que se deben someter periódicamente los sonómetros que cumplen los requisitos de clase 1 o clase 2 de la norma IEC 61672-1.

Esta norma define la terminología básica, incluidos los parámetros de evaluación de niveles más importantes, y describe las mejores prácticas para evaluar el ruido ambiental.

2.10. ISO 1996 – Evaluación de Ruido Ambiental

La norma ISO 1996 "Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental" es una norma básica para la evaluación del ruido ambiental. Se considera una norma de referencia en la materia, y muchas normas y reglamentos regionales se basan en ella. La norma ISO 1996 se divide en dos partes:

- ✓ Parte 1 2016: Magnitudes básicas y procedimientos de evaluación
- ✓ Parte 2 2017: Determinación de niveles de presión sonora

Capítulo 3: Desarrollo del diseño de instalación

3.1. Especificaciones técnicas de Martillo KB3600

A continuación, en la tabla 1 se muestran las especificaciones técnicas del martillo hidráulico Komac KB3600:

Tabla 3. 1: Especificaciones técnicas de martillos Komac

Item/Modelo	Unidad	KB 400V	KB 1000V	KB 1500V	KB 2000V	KB 3600V	KB 4200V	
Máquina Seleccionada	ton	6 - 11	9 - 16	13 - 18	18 - 26	27 - 35	34 - 47	
	lbs	13.228 - 24.251	19.842 - 25.274	28.660 - 39.683	39.683 - 57.320	59.525 - 77.162	74.957 - 103.617	
Peso de Operación (incl. montaje y herramientas)	kg	505	865	1,325	1.720	2.300	3.150	
	lbs	1,113	1,907	2,921	3,792	5,071	6,945	
Peso del cuerpo principal	kg	284	430	500	710	930	1.290	
	lbs	626	948	1,102	1,565	2.050	2,844	
Caudal de Aceite requerido	lit/min	45-85	80-100	30-120	125-150	160-190	190-250	
Ajuste de presión (Máquina)	bar	195	210	210	210	230	240	
	psi	2,828	3,046	3,046	3,046	3,336	3,481	
Presión de Operación del Martillo	bar	130-150	150-170	150-170	160-180	160-180	170-190	
	psi	1.885 - 2.176	2.176 - 2.466	2.176 - 2.466	2.321- 2.611	2.321 - 2.611	2.466 - 2.756	
Tasa de impacto	bpm	400-800	450-700	400-900	400-800	360-700	240-500	
Punta/Cinzel	Diam.	mm	85	100	120	135	150	155
		pulg	3,35	3,94	4,72	5,31	5,91	6,10
	Long	mm	800	1.000	1.100	1.200	1.300	1.500
		pulg	31,5	39,37	43,31	47,24	51,18	59,06
Clase de Energía de Impacto	kg f-m	140	265	280	430	625	1.040	
	General	julio	1,373	2,599	2,746	4,217	6,129	10,199

Fuente Breaker Training Data, David Lee (2016)

El equipo está diseñado para ser utilizado en una máquina de entre 27 y 35 toneladas de peso. En este caso será adaptado a una Volvo 290 (29 Toneladas). El peso del equipo es de 2300Kg incluyendo el cuerpo y la punta. Para poder operar este accesorio requiere un flujo de aceite de entre 160 y 190 lts/min. La presión de aceite a la que debe operar la excavadora para que el martillo funcione correctamente es de 230 bar (kg/cm²). El rango de impacto de la punta es de entre 360 y 700 golpes por minuto, la frecuencia del golpeo puede ser regulada por unas válvulas que serán detalladas más adelante que controlan el flujo de aceite dentro del martillo. La punta del KB3600 tiene un diámetro de 5.91 pulgadas y una longitud de 51.18 pulgadas.

Tabla 3. 2: Niveles de Carga de Nitrógeno

MODEL	Carga de Gas N2	
	Acumulador	Back Head
KB100	No Disponible	16 Kg/cm ² ± 0.5 Kg/cm ²
KB150	No Disponible	16 Kg/cm ² ± 0.5 Kg/cm ²
KB200	No Disponible	16 Kg/cm ² ± 0.5 Kg/cm ²
KB250	No Disponible	16 Kg/cm ² ± 0.5 Kg/cm ²
KB300	No Disponible	16 Kg/cm ² ± 0.5 Kg/cm ²
KB350	No Disponible	16 Kg/cm ² ± 0.5 Kg/cm ²
KB400	No Disponible	16 Kg/cm ² ± 0.5 Kg/cm ²
KB1000	No Disponible	16 Kg/cm ² ± 0.5 Kg/cm ²
KB1500	60 Kg/cm ²	6 Kg/cm ² ± 0.5 Kg/cm ²
KB2000	60 Kg/cm ²	6 Kg/cm ² ± 0.5 Kg/cm ²
KB3600	60 Kg/cm ²	6 Kg/cm ² ± 0.5 Kg/cm ²
KB4200	60 Kg/cm ²	16 Kg/cm ² ± 0.5 Kg/cm ²

Fuente Breaker Training Data, David Lee (2016)

En la tabla 2 se indican las cargas de nitrógeno necesarias en Kg/cm² o bar para la operación del martillo. Las cargas necesarias son 60bar en el acumulador y 6bar con una variación máxima de 0.5bar en el back head dependiendo de la fuerza que se le quiera dar al golpe del martillo. Estos parámetros de carga son vitales para el correcto funcionamiento del equipo y deben ser revisadas siempre antes de la instalación.

3.2. Funcionamiento de Martillo

El martillo hidráulico funciona mediante un pistón interno que se mueve hacia arriba y hacia abajo golpeando la punta y esta a su vez golpea el pavimento o el material a romper. El pistón se mueve gracias a la entrada y salida de aceite hidráulico ISO-68 junto con una carga de gas Nitrógeno (N₂). Esta gama de aceites para sistemas hidráulicos ISO VG 46 e ISO VG 68 han sido desarrollados para ser usados en sistemas industriales de lubricación de tipo circulatorio, por anillos o salpicado, y en la lubricación de transmisiones a cadena en caja cerrada. En general se recomienda para

ser usado en sistemas hidráulicos debido a sus propiedades antioxidantes que protegen contra herrumbre y desgaste. Disponibles en baldes de 20lts y tambores de 205lts.

A continuación, una secuencia de diagramas en las cuales se puede ver de forma más gráfica el circuito que recorre el aceite hidráulico dentro del martillo para generar el golpe:

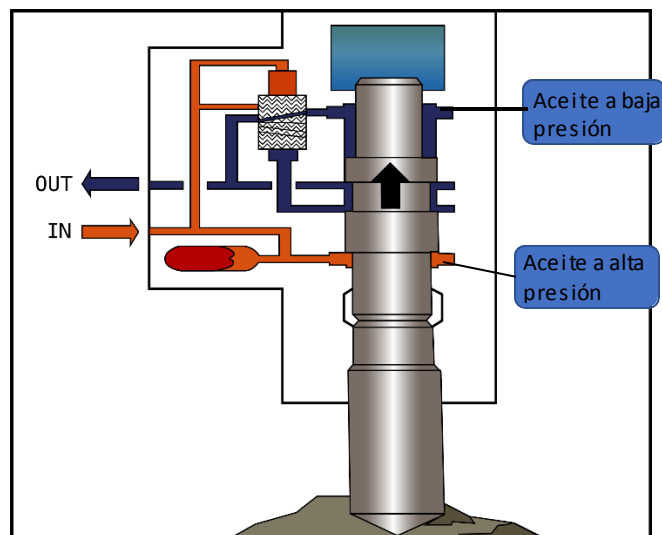


Figura 3. 1: Posición inicial de martillo
Fuente: (Lee, 2013)

En la Figura 3.1 se puede ver el circuito interno del aceite dentro del martillo en su posición inicial, es decir, al momento que se acciona el martillo y el aceite entra a alta presión al martillo. Al momento que el líquido ingresa, la camisa interna comienza a llenarse de aceite y el pistón comienza a elevarse.

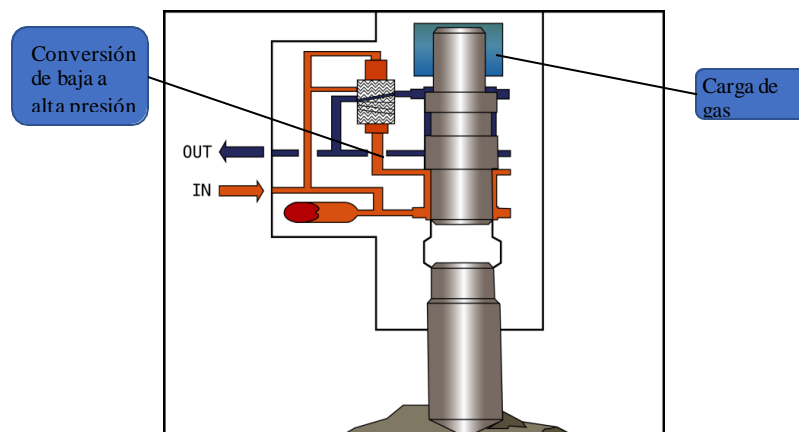


Figura 3. 2: Posición de pistón al ingresar el aceite
Fuente: (Lee, 2013)

En la figura 3.2 se puede apreciar el circuito al momento que el aceite ya entró a

alta presión por la manguera de entrada del aceite, elevando el pistón preparándolo para el golpe. En este punto la punta superior del pistón topa con el acumulador, donde está comprimido el gas Nitrógeno. El gas sirve como un impulso adicional para agregar fuerza al golpe del martillo, cuando la carga de nitrógeno es insuficiente o inexistente el martillo puede golpear, pero no con la suficiente fuerza como para romper el material.

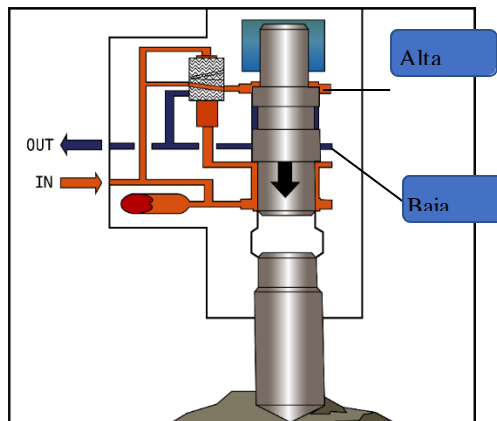


Figura 3. 3: Pistón al hacer contacto con la carga de Nitrógeno
Fuente: (Lee, 2013)

Ahora en la Figura 3.3 el conmutador cambia el circuito para que el flujo de alta presión (mostrado de color naranja) entre a la parte superior del pistón, y juntándose con la fuerza de propulsión que genera la carga de gas nitrógeno impulsan el pistón hacia abajo.

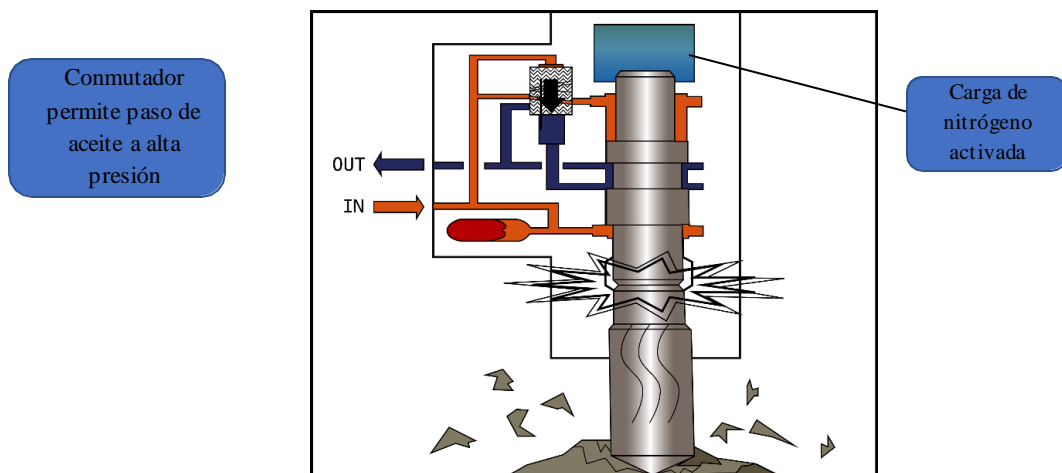


Figura 3. 4: Circuito al momento del golpe de martillo
Fuente: (Lee, 2013)

En este punto el pistón baja con fuerza y golpea la punta del martillo, generando así el golpe de la punta al material. En ese momento el conmutador y los circuitos de aceite vuelven a su posición inicial.

3.3. Características Técnicas de Excavadora Volvo 290

- ✓ Peso **28.6 Ton**
- ✓ Capacidad cuchara **1,7 m³**
- ✓ Mecanismo de dirección **LC**
- ✓ Anchura orugas **600 mm**
- ✓ Max. Alcance lateral **9,62 m**
- ✓ Profundidad de excavación **6,69 m**
- ✓ Fuerza de rotura **167,2 kN**
- ✓ Ancho cuchara **3,19 m**
- ✓ Fabr. del motor **Volvo**
- ✓ Modelo de motor **D 7 D-EAE 2**
- ✓ Rendimiento de motor **143 kW**
- ✓ Cilindraje **7110cc**
- ✓ Revoluciones **1400 rpm**
- ✓ Bomba Hidráulica **Kawasaki K3V130**

3.4. Funcionamiento de excavadora

La esencia de su funcionamiento son una bomba hidráulica de gran potencia y la válvula de control principal o MCV que se encarga de distribuir el aceite a presión a las diferentes partes que lo necesitan (cucharón, brazo, oruga, etc) para generar el movimiento de dichas partes. Desde los diferentes mandos de la cabina el operario manda el fluido a las partes deseadas para producir el movimiento y, dependiendo de la cantidad de movimiento que se desee, se enviará más o menos fluido a ese punto (lo que hace que tenga movimientos precisos).

Para desplazarse por el suelo las excavadoras utilizan o bien ruedas para superficies más sólidas, o bien la oruga para superficies menos estables y, para generar el movimiento en estas se usan motores de explosión convencionales. Para rotar sobre su eje 360°, ya entra en juego su sistema hidráulico: La cabina cuenta en su parte inferior con un engranaje que engrana interiormente a otro exterior situado en la caja de maquinaria. Así pues, para girar, el operador tira de la palanca que suministra aceite a presión a un motor hidráulico que a través de un sistema de engranajes hace que el engranaje mayor situado en la parte inferior de la cabina rote respecto al de la caja de

maquinaria, produciéndose un giro (de la cabina y brazo).

Para manejar el brazo el sistema es un poco más complejo: Para subir y bajar la pluma un par de cilindros de doble efecto son los encargados de este trabajo. Cuando el operador acciona la palanca, el aceite a presión llega al cilindro, desplazando el vástago y elevando la pluma. Para mover el brazo el sistema usa un cilindro y una articulación (como nuestro brazo y el codo) para moverse, cuando en el vástago se produce el avance es como cuando doblamos el codo, la articulación hace que el brazo de la excavadora se doble (y descienda) y cuando el vástago retrocede es como cuando lo estiramos, es decir el brazo de la excavadora se eleva y se pone en línea con la parte superior de la pluma.

Un sistema similar se usa para controlar la cuchara, con un cilindro sobre el brazo y una articulación que lo une a la cuchara (cuyos símiles humanos serían el antebrazo, muñeca y mano). Con el movimiento de avance en el vástago la cuchara descendería y al retroceder ascendería.

3.5. Funcionamiento de maquinaria después de la instalación.

Los comandos son ejecutados por movimientos de los joystick y pedales que se encuentran en la cabina del operador abren y cierran carretes en válvulas solenoides que se encuentran debajo de la cabina, estas válvulas dan la señal con aceite a baja presión para que se abran y cierren carretes en el cuerpo de válvulas para direccionar el aceite de alta presión hacia los cilindros que generan diferentes movimientos de la máquina. Para la operación del martillo hidráulico se debe instalar un pedal adicional conectado eléctricamente a un solenoide que abre el carrete para el paso del aceite a una línea hidráulica adicional que debe ser instalada y su detalle se encuentra más adelante en el documento.

Para el martillo solo se adiciona un pedal adicional en la cabina que vaya conectado a la válvula solenoide de 3 carretes. La válvula viene con 3 carretes de fábrica, una para la traslación hacia adelante, otro para la traslación hacia atrás y uno adicional para que se pueda conectar un accesorio adicional. Así mismo en el cuerpo de válvulas ya hay carretes adicionales para que el aceite de alta presión se dirija hacia las líneas hidráulicas que activarán la operación del martillo.

En la figura 3.5 se pueden visualizar los pedales que salen en el catálogo original del equipo, se puede ver como las líneas van hacia la válvula solenoide de 3 carretes (en la figura descrita como T1) y que dirige el recorrido del aceite hacia el cuerpo de válvulas. Como se mencionó con anterioridad a la figura se le agregaría un pedal adicional con una línea que se conecte al mismo solenoide T1 en el carrete que viene libre de fábrica.

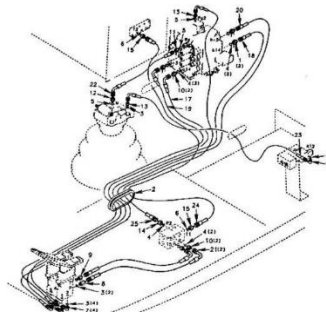


Figura 3. 5: Diagrama de pedales en cabina hacia el cuerpo de válvulas
Fuente: (Lee, 2013)

3.6. Herramientas a utilizarse

- ✓ Llaves de corona 65mm y de 75mm
- ✓ Combo
- ✓ Válvula para carga de nitrógeno y su manguera
- ✓ Manómetro de presión
- ✓ Tanque de gas nitrógeno
- ✓ Juego de llaves Allen de 8, 10, 12, 14 y 16mm
- ✓ Torquímetro
- ✓ Sacabocados (Para sacar los pines)
- ✓ Llave de boca y corona de 36, 38, 40, 65 y 75mm

3.7. Análisis de Costo-Beneficio

Se realizará un análisis en el cual se detallan los costos de la instalación y se los compara versus los beneficios y utilidad económica que representa una instalación correcta del martillo. Adicionalmente se agrega una tabla de amortización de retroexcavadora sin martillo vs maquinaria con la instalación realizada.

3.7.1. Costos de la instalación

- ✓ Costo de carga de gas nitrógeno \$40
- ✓ Costo de mano de obra de técnicos \$25 por hora

Tomando en cuenta que se necesitan 2 mecánicos para realizar la instalación y un tiempo aproximado de 6 horas se calcula un costo aproximado de \$300 por instalación. En este caso también se considera que el cliente o el dueño del martillo se encarga de la movilización del martillo y la logística.

3.7.2. Beneficios y utilidades económicas de instalación

- ✓ Precio de carga de gas nitrógeno \$180
- ✓ Precio por hora de técnicos \$25-30 dependiendo si son técnicos propios de la empresa o un servicio tercerizado.
- ✓ El alquiler de una excavadora con un martillo hidráulico instalado tiene un valor de \$125 dólares la hora aproximadamente.
- ✓ Un equipo bien operado y con una instalación correcta puede extraer entre 200 y 300m³ cúbicos de material de la montaña dependiendo del tipo de material.

Tomando en cuenta los datos antes mencionados el precio aproximado de la instalación del martillo está en \$540 aproximados, lo que representa una utilidad de \$240 vs su costo. Adicionalmente se indican los parámetros de producción del equipo, resaltando la importancia de una instalación que asegure el rendimiento prolongado de la máquina para poder así explotar al máximo sus capacidades y generar el mayor provecho económico posible.

3.7.3. Tabla de amortización de maquinaria nueva vs maquinaria con martillo instalado

En la tabla 3.3 de amortización podemos ver el flujo y la inversión de una maquinaria nueva sin martillo vs una maquinaria con la instalación realizada. Se puede apreciar que el saldo de la operación de una maquinaria con un martillo hidráulico instalado es de \$43,290.00 cuando el de una maquinaria sin martillo es de \$17,550.00. Lo que quiere decir que con la instalación del martillo se recuperaría en tan solo 8 meses del valor total de la inversión.

Tabla 3. 3: Tabla de amortización

TABLA DE AMORTIZACION Y FLUJO DE EXCAVADORA VS EXCAVADORA CON MARTILLO HIDRAULICO.													
COSTO DE EXCAVADORA NUEVA	\$145.000,00												
INTERESES DE FINANCIAMIENTO 16%	\$23.200,00												
TOTAL INVERSION	\$168.200,00												
PAGOS MENSUALES		MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12
		\$14.016,00	\$14.016,00	\$14.016,00	\$14.016,00	\$14.016,00	\$14.016,00	\$14.016,00	\$14.016,00	\$14.016,00	\$14.016,00	\$14.016,00	\$14.016,00
INGRESOS MENSUALES.													
15 HORAS DIARIASx\$555 CADA HORA 26 DIAS AL MES DE TRABAJO		\$21.450,00	\$21.450,00	\$21.450,00	\$21.450,00	\$21.450,00	\$21.450,00	\$21.450,00	\$21.450,00	\$21.450,00	\$21.450,00	\$21.450,00	\$21.450,00
COSTO DE OPERACIÓN													
\$ 10 x HORA OPERADOR Y CONSUMIBLES.		\$3.900,00	\$3.900,00	\$3.900,00	\$3.900,00	\$3.900,00	\$3.900,00	\$3.900,00	\$3.900,00	\$3.900,00	\$3.900,00	\$3.900,00	\$3.900,00
SALDO DE OPERACIÓN		\$17.550,00	\$17.550,00	\$17.550,00	\$17.550,00	\$17.550,00	\$17.550,00	\$17.550,00	\$17.550,00	\$17.550,00	\$17.550,00	\$17.550,00	\$17.550,00
SUPERAVIT/DEFICIT		\$3.534,00	\$3.534,00	\$3.534,00	\$3.534,00	\$3.534,00	\$3.534,00	\$3.534,00	\$3.534,00	\$3.534,00	\$3.534,00	\$3.534,00	\$3.534,00
COSTO DE EXCAVADORA NUEVA	\$145.000,00												
COSTO DE MARTILLO HIDRAULICO	\$30.000,00												
INTERESES DE FINANCIAMIENTO 16%	\$28.000,00												
TOTAL INVERSION	\$203.000,00												
PAGOS MENSUALES		MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12
		\$16.916,66	\$16.916,66	\$16.916,66	\$16.916,66	\$16.916,66	\$16.916,66	\$16.916,66	\$16.916,66	\$16.916,66	\$16.916,66	\$16.916,66	\$16.916,66
INGRESOS MENSUALES.													
15 HORAS DIARIASx\$125 CADA HORA 26 DIAS AL MES DE TRABAJO		\$48.750,00	\$48.750,00	\$48.750,00	\$48.750,00	\$48.750,00	\$48.750,00	\$48.750,00	\$48.750,00	\$48.750,00	\$48.750,00	\$48.750,00	\$48.750,00
COSTO DE OPERACIÓN													
\$ 14 x HORA OPERADOR Y CONSUMIBLES		\$5.460,00	\$5.460,00	\$5.460,00	\$5.460,00	\$5.460,00	\$5.460,00	\$5.460,00	\$5.460,00	\$5.460,00	\$5.460,00	\$5.460,00	\$5.460,00
SALDO DE OPERACIÓN		\$43.290,00	\$43.290,00	\$43.290,00	\$43.290,00	\$43.290,00	\$43.290,00	\$43.290,00	\$43.290,00	\$43.290,00	\$43.290,00	\$43.290,00	\$43.290,00
SUPERAVIT/DEFICIT		\$26.373,34	\$26.373,34	\$26.373,34	\$26.373,34	\$26.373,34	\$26.373,34	\$26.373,34	\$26.373,34	\$26.373,34	\$26.373,34	\$26.373,34	\$26.373,34

Fuente: El Autor

3.8. Proceso de instalación de Martillo

En esta parte del documento se describe de forma detallada el proceso y pasos a seguir para lograr una exitosa instalación de un martillo hidráulico a una excavadora. Cada paso con una imagen para poder entender de forma más gráfica el procedimiento a seguir.

3.8.1. Pruebas Previas

Antes de iniciar con la instalación del martillo debemos verificar que los equipos se encuentren en óptimas condiciones y que trabajen bajo los parámetros correspondientes para la correcta operación del martillo según sus características técnicas. En la excavadora se debe constatar que la bomba sea capaz de generar una presión de aceite de por lo menos 230 bar. Esto se puede revisar en un manómetro ubicado en la parte interior de la cabina que muestra la medición de presión de aceite en la salida de alta presión. Se enciende la excavadora, y al momento de operar se revisa la marca del manómetro. Se debe revisar también el nivel del aceite en el tanque hidráulico, se puede ver en un medidor ubicado en la parte lateral del tanque, en el caso de la Volvo 290 se ubica del lado derecho. Éste debe tener como mínimo $\frac{3}{4}$ de su capacidad lleno de aceite para poder operar.



Figura 3. 6: Tanque de gas nitrógeno conectado a acumulador

Fuente: El Autor

En el martillo se debe verificar primeramente la carga de gas Nitrógeno (N₂) tanto en el acumulador (ver figura 3.6) como en el cabezal. Los valores de las cargas se pueden validar en la tabla 2. En caso de que sea necesario se debe hacer una recarga del gas para que llegue a sus valores operacionales, esto se realiza conectando un tanque de Nitrógeno mediante una manguera a una boquilla ubicada en el acumulador.

En el extremo de la manguera que va al martillo se ubica una válvula con un manómetro para verificar el nivel de carga al mismo tiempo que se inyecta el gas (Ver figura 3.7).



Figura 3. 7: Manómetro de válvula marcando 60mbar

Fuente: El autor

Por último, se debe verificar el torque aplicado a las tuercas que sujetan los pernos con los cuales esta ensamblado el martillo. Para esta prueba se utiliza un torquímetro. Éste paso es sumamente importante para asegurarnos que no habrá problemas durante la operación del martillo, de ser muy bajo el torque alguna parte del martillo puede estar suelta generando vibraciones que pueden fisurar componentes principales del equipo como el main body que son extremadamente costosas y de ser muy alto puede romper los “trough bolts” o pernos transversales y habría que parar el equipo. En la figura tabla 3.4 se indican los niveles de torque para las diversas tuercas a ajustarse en el martillo.

Tabla 3. 4: Niveles de Torque para pernos

NIVELES DE TORQUE				
MODELO	TUERCA DE PERNO DE LA TORRE	PERNO PRINCIPAL O PASANTE	PERNO DE ADAPTADOR HIDRÁULICO	PERNO DE SOPORTE DE VÁLVULA
KB1500	1500 N.m	1830 N.m	200 N.m	600 N.m
	150 Kg.m	183 Kg.m	20 Kg.m	60 Kg.m
KB2000	1500 N.m	2500 N.m	200 N.m	600 N.m
	150 Kg.m	250 Kg.m	20 Kg.m	60 Kg.m
KB3600	1600 N.m	3200 N.m	200 N.m	450 N.m
	160 Kg.m	320 Kg.m	20 Kg.m	45 Kg.m
KB4200	2200 N.m	3900 N.m	200 N.m	350 N.m
	220 Kg.m	390 Kg.m	20 Kg.m	35 Kg.m

MODELO	PERNO SOPORTE DE VÁLVULA REGULADORA	PERNO SOPORTE DE ACUMULADOR	PERNO TAPA DE ACUMULADOR	PERNO SOPORTE DE MARTILLO
KB1500	450 N.m	600 N.m	450 N.m	2150 N.m
	45 Kg.m	60 Kg.m	45 Kg.m	215 Kg.m
KB2000	450 N.m	600 N.m	450 N.m	2500 N.m
	45 Kg.m	60 Kg.m	45 Kg.m	250 Kg.m
KB3600	450 N.m	600 N.m	450 N.m	3200 N.m
	45 Kg.m	60 Kg.m	45 Kg.m	320 Kg.m
KB4200	350 N.m	600 N.m	350 N.m	3600 N.m
	35 Kg.m	60 Kg.m	35 Kg.m	360 Kg.m

Fuente: Breaker Training Data, David Lee (2016)

3.8.2. Instalación de líneas hidráulicas

Para la operación del martillo se debe instalar un circuito hidráulico adicional para la activación del accesorio. Este circuito normalmente no viene pre-instalado en las excavadoras, a menos que se especifique a fábrica que lo incluya al momento de importar la maquinaria. En la mayoría de los casos se lo debe instalar para poder adaptar el martillo. Las líneas se conectan a la salida del cuerpo de válvulas de la excavadora, en la figura 3.8 se puede visualizar la salida de aceite que va conectada al cuerpo. Se instalan 2 tuberías una de salida y otra de retorno al tanque hidráulico. Las tuberías se pueden solicitar por catálogo en el caso de la VOLVO 290 o se pueden mandar a hacer localmente indicando las medidas que también están en el catálogo.

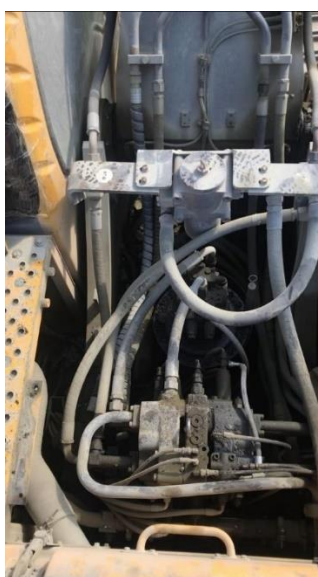


Figura 3. 8: Salidas de aceite de alta presión del cuerpo de válvulas

Fuente: El Autor

Se instalan 2 mangueras metálicas que van desde el cuerpo de válvulas, suben por el boom o pluma, y terminan en 2 válvulas ubicadas en la parte lateral del brazo de la excavadora. Éstas 2 válvulas se conectan a las mangueras de entrada y salida de aceite del martillo. En las siguientes figuras se visualizan las secciones de manguera para el circuito adicionado para la operación del martillo.

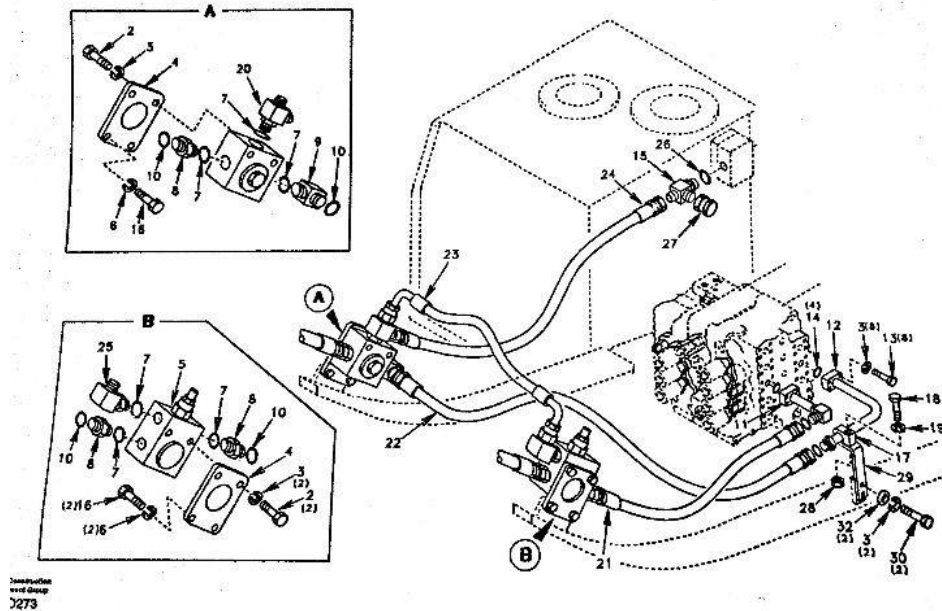


Figura 3. 9: Sección de línea que sale del cuerpo de válvulas y retorna al tanque
Fuente: (Harper, 2010)

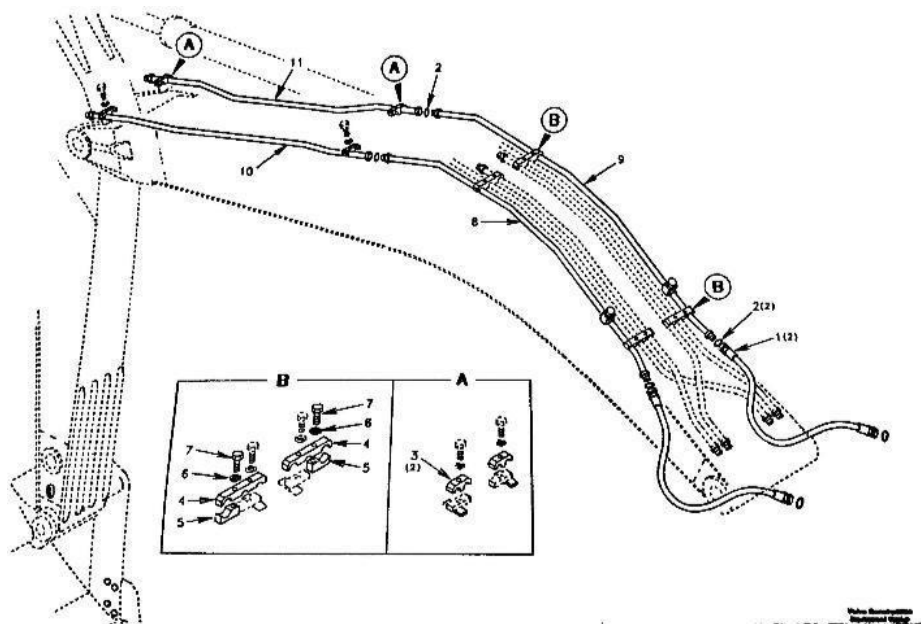


Figura 3. 10: Sección de línea que sube por el boom
Fuente: (Harper, 2010)

3.8.3. Montaje de Martillo a brazo de excavadora

Una vez que ya están instaladas las líneas para la operación del martillo se procede con el montaje de éste al brazo de la excavadora. Primeramente, se retira el cucharón. Todas las extremidades de la excavadora están conectadas mediante un pin, que es un cilindro de acero lubricado en su superficie, que pasa a través de un bocín, que es una pieza de desgaste que se cambia periódicamente por el roce del movimiento con el pin. Los pines se retiran empujándolos lateralmente con un tubo metálico golpeado con un combo, para hacer esto el cucharón debe estar asentado en la tierra y el brazo en posición vertical.

Para montar el martillo al brazo se pueden utilizar los mismos pines del cucharón, ya que tienen que pasar por el mismo bocín y deben tener el mismo diámetro. El martillo debe estar acostado en el suelo en la misma dirección que el boom y el brazo, con las entradas y salidas de aceite apuntando hacia arriba. Bajando el brazo en posición vertical se empatan los orificios del brazo con los de la tapa o mounting cap del martillo. Primero se pasa el pin del bocín que ubicado en la parte final del brazo. Tal como se muestra en la figura 3.11.



Figura 3. 11: Martillo en posición para insertar pin inferior

Fuente: El Autor

Luego de esto se levanta el martillo y se baja el cilindro donde va el pin superior, que normalmente mueve el cucharón, para empatarlo con el otro bocín del martillo. En las figuras 3.12 y 3.13 se puede visualizar el proceso de ingreso del pin. Con esto ya el martillo está asegurado y montado de forma segura a la excavadora.



Figura 3. 12: Martillo en posición para insertar pin superior
Fuente: El autor



Figura 3. 13: Martillo con ambos pines asegurados

3.8.4. Conexión de líneas hidráulicas

En el cuerpo principal del martillo se encuentra la entrada y la salida del aceite hidráulico. A estos puntos deben conectarse 2 mangueras de caucho flexible recubiertas de alambre de aluminio para protegerlas contra cortes ocasionados por el material que se desprende de la cantera, estas mangueras se pueden apreciar en la Figura 3.14. Estas mangueras tienen dos salidas tipo macho que se enroscan con una llave de tuercas al martillo y a las válvulas de la línea hidráulica instalada para la operación del martillo con un acople. En la parte lateral del brazo de la excavadora se encuentran las 2 válvulas de salida y retorno del aceite. Estas válvulas se abren y se cierran con una llave de tuercas, como se muestra en las figuras 3.14 y 3.15 y se ajustan uno de los extremos de la manguera. Una vez que están conectadas las mangueras a la línea hidráulica adicional podemos proceder con las pruebas del equipo.



Figura 3. 14: Mangueras de entrada y salida de aceite
Fuente: El autor



Figura 3. 15: Conexión de manguera a líneas adicionales de excavadora
Fuente: El autor



Figura 3. 16: Ajuste de pernos de manguera a válvula
Fuente: El autor

3.8.5. Pruebas de Calidad

Para poder decir que la instalación del martillo está terminada se debe asegurar que todo el sistema se encuentre funcionando correctamente. La prueba de calidad se realiza poniendo a operar el martillo por unos minutos. Se activa el accionamiento del martillo presionando el pedal en la cabina del operador. Mientras el martillo trabaja se puede apreciar la velocidad de golpeo y el recorrido del pistón, que determina la fuerza del golpe, por el sonido que hace el accesorio al trabajar. Esto se puede calibrar según la necesidad del cliente apretando o aflojando 2 pernos que se encuentran en la tapa del acumulador del martillo.

Una vez que se calibró la velocidad y fuerza requerida para el martillo, luego de por lo menos operarlo durante unos 10 minutos, se colocó el martillo en el suelo nuevamente y se verificó que no haya ninguna fuga de aceite en la línea que alimenta al martillo o en las mangueras del martillo. Cuando se haya verificado que no hay ninguna señal de fugas de aceite, se da las recomendaciones respectivas al operador de la forma correcta de operar el equipo y una tabla con la planificación de engrases y mantenimiento del equipo calculada según sus horas de trabajo. Con esto se puede dar por terminada la instalación del martillo.

3.9. Prueba de contaminación por ruido de martillo hidráulico

Con el objetivo de corroborar la diferencia del impacto ambiental que representa la utilización del martillo hidráulico con la que representa el uso de explosivos en las canteras de Guayaquil, se realizó una prueba de medición de ruido utilizando un sonómetro marca ELICROM modelo CENTER 390 Datalogger. El equipo antes mencionado viene con instalador para el software SE390, que sirve para graficar, clasificar y separar por intervalos de tiempo los datos recolectados por el sonómetro.

3.9.1. Sonómetro digital CENTER 390

Es un sonómetro digital de origen norteamericano que trabaja bajo las siguientes especificaciones:

- ✓ **Norma aplicada:** IEC61672-1 Clase 2, ANSI S1.4 Tipo2.
- ✓ **Rango de frecuencias:** 20Hz ~ 8KHz
- ✓ **Rango de lectura:** 30 ~ 130dB
- ✓ **Display digital:** 4 dígitos



Figura 3. 17: Sonómetro CENTER 390
Fuente: El autor

3.9.2. Software SE390

Es un software para PC que se utiliza para administrar los datos que recolecta sonómetro. Entre sus funciones principales de encuentran:

- ✓ Realiza gráficos bidimensionales de datos
- ✓ Registra la medición máxima, medición mínima y medición promedio
- ✓ Separa la muestra en un intervalo de tiempo determinado

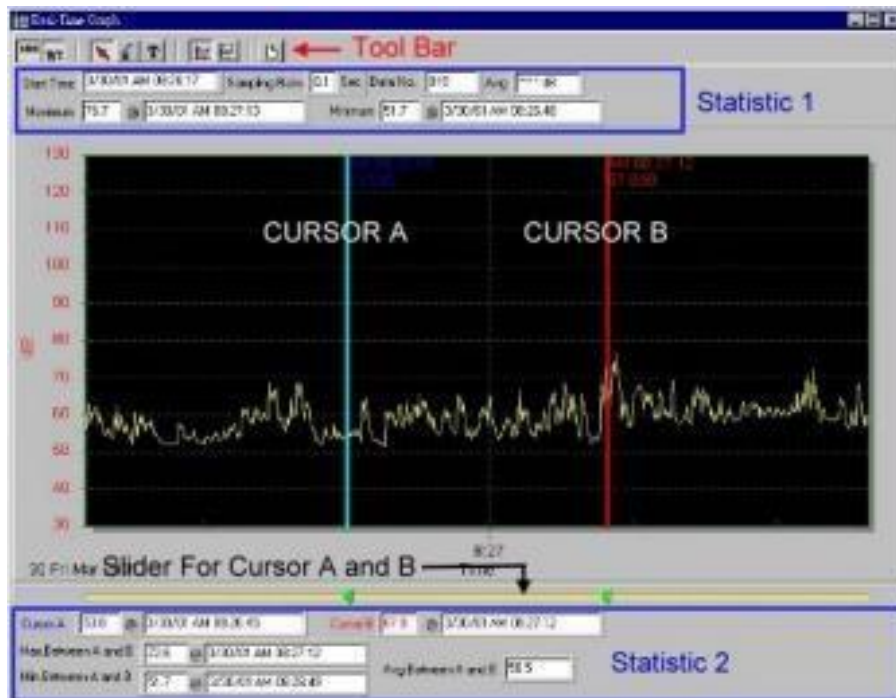


Figura 3. 18: Interfaz de software
Fuente: Manual de operación de software



Figura 3. 19: Sonómetro conectado a PC con el software activo

3.9.3. Medición de ruido de martillo

La medición fue realizada en la cantera del Relleno Sanitario Las Iguanas en el Km 14.5 Via a Daule. El objetivo de esta es determinar el nivel de ruido (medido en decibeles) de un martillo hidráulico en operación durante un intervalo de 5 minutos.



Figura 3. 20: Prueba de campo en cantera de Consorcio Las Iguanas

Primero se realizó la medición del fondo, es decir una muestra del ruido con la maquinaria apagada, para poder contrastarla con el ruido con la maquinaria encendida y la diferencia es la cantidad de ruido que genera la operación del martillo. Durante la medición se registró un fondo de 61 dBa.



Figura 3. 21: Medición de ruido de fondo en cantera

Una vez que se determinó el ruido de fondo, se encendió la maquinaria y empezó a operar. Se registró el ruido durante un intervalo de 5 minutos con el instrumento de medición, a una distancia de 50m del martillo. Una vez concluida la toma de la muestra se utilizó el software SE390 del equipo para generar una gráfica y analizar los datos obtenidos. Lo resultados de la prueba fueron los siguientes:

- ✓ Tiempo de inicio: 04/03/2022 9:25:20
- ✓ Cursor A: 66.5dBa @ 04/03/2022 9:28:27
- ✓ Cursor B: 69.7dBa @ 04/03/2022 9:31:36
- ✓ Medición máxima entre A y B: 88.2dBa @ 04/03/2022 9:28:52
- ✓ Medición mínima entre A y B: 61.5dBa @ 04/03/2022 9:30:41
- ✓ Medición promedio entre A y B: 71.9 dBa

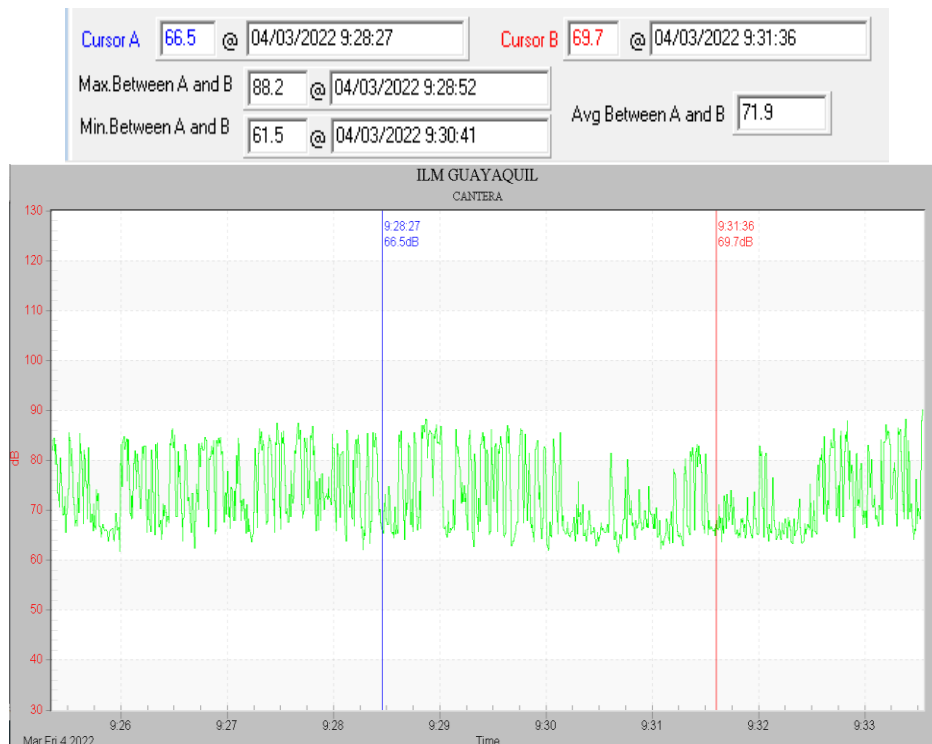
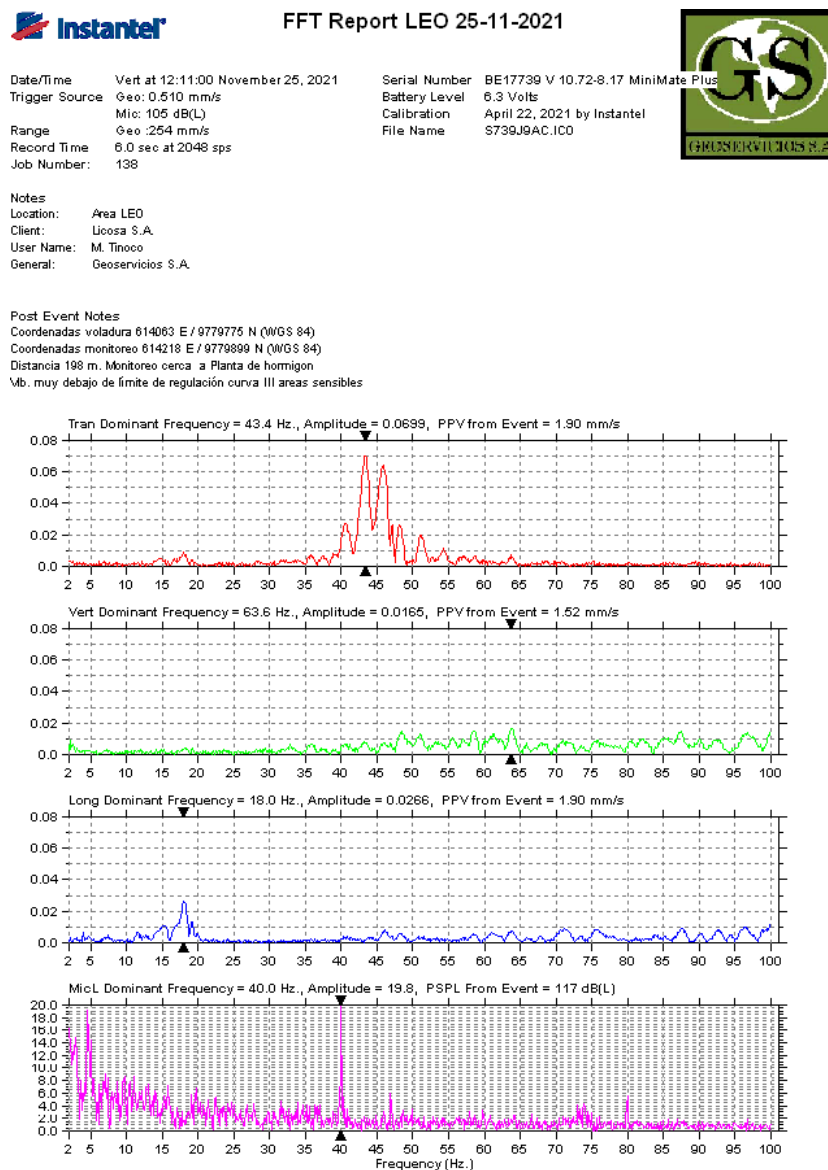


Figura 3. 22: Resultados de prueba graficados en Software SE390

Contrastando la medición máxima obtenida (88.2dBa) con la muestra de fondo (61dBa) se puede determinar que el ruido neto generado por la operación del martillo es de 21.2dBa.

3.10. Prueba de contaminación por ruido de voladura con explosivos

En la cantera de la compañía LICOSA S.A se realizó una medición de ruido con un sonómetro de una voladura para extracción de material, con el objetivo de registrar el nivel de ruido en decibeles. La muestra fue registrada en un intervalo de 6seg con un sonómetro digital marca Instantel modelo MiniMate Plus a una distancia de 198m. Los resultados obtenidos de la prueba fueron los siguientes:



Printed: November 25, 2021 (V 6.01 - 6.01)

Format Copyrighted 1996-2004 Instantel Inc.

Figura 3. 23: Resultados de medición de ruido de voladura en Licosa S.A

En la figura se puede visualizar que el resultado de la prueba da un nivel de presión sonora (PSPL) de 117dBa.

Capítulo 4: Conclusiones y Recomendaciones

4.1. CONCLUSIONES

Se puede concluir con que las instrucciones presentadas en este trabajo, si son seguidas al pie de la letra, aseguran el óptimo funcionamiento del equipo y permite la explotación de sus capacidades de producción al máximo. Este trabajo representa también una opción viable, rentable y ecológica para la explotación de recursos mineros en las canteras ecuatorianas. Los proyectos y proceso ecológicos se vuelven cada vez más necesarios por el fuerte impacto que tiene la existencia humana en nuestro planeta.

Se cumplieron a cabalidad los objetivos específicos propuestos en este trabajo. Se realizó un análisis técnico de las características y funcionamiento de los equipos a utilizarse, se definió una lista de materiales y un proceso a seguir detallado para la instalación de un Martillo Hidráulico Komac KB3600 a una excavadora VOLVO 290 y se realizó un análisis de costo-beneficio con una tabla de amortización de la compra de una maquinaria nueva sin martillo vs la propuesta de la instalación de este.

De esta forma este trabajo cumple con la función de ser un apoyo y una guía para los técnicos e ingenieros que deseen implementar el uso de este equipo, ya sea en el sector minero, industrial o el sector constructor.

4.2. Recomendaciones

Se recomienda realizar una capacitación previa a los técnicos que realizaran la instalación sobre los principios básicos de hidráulica y sobre las características y funcionamiento de los equipos. Adicionalmente se recomienda que estén siempre supervisados por un ingeniero que tenga amplio conocimiento del tema, para evitar así cualquier error al momento de realizar la instalación que podría ocasionar una para del equipo que descuadraría el flujo de caja para la operación

Como cambio para mejorar el diseño propuesto se podría adicionar la utilización de un “Acople rápido” que es un equipo hidráulico que libera el cucharón y agarra el martillo y viceversa con una pinza, con esa implementación se ahorraría tiempo ya que no sería necesario retirar y e insertar los pines para montar y desmontar el cucharón o

martillo, simplemente con un comando hidráulico desde la cabina se abriría y cerraría la pinza del acople. Sin embargo, este acople tiene un costo aproximado de \$15000 contando la instalación ya que se tendrían que instalar líneas adicionales hidráulicas en el cuerpo de válvulas y la cabina para poder accionar el acople, pero ya que solo se lo instala 1 vez si ayudase a ahorrar tiempo al momento de montar y desmontar el martillo.

Se recomienda a los técnicos que pongan en práctica los conocimientos impartidos en este documento, que se aseguren de que el operador del equipo esté capacitado sobre el correcto uso de este. De esta forma se pueden evitar futuros problemas como paras del equipo por daños ocasionado por la mala operación del equipo.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, T. (2018) *Aceite hidráulico 68 (ISO 68, 46 o 32) AW*. Obtenido de <https://www.luboks.com.ar/aceite-hidraulico-ISO-68-ISO-46.html>.
- CRAI. (2016). *Centro de Recursos y Aprendizaje para la Investigación*. Harper, E. (2010). *Catálogo de partes de VOLVO*.
- Fernandez, C. (2017) *Cranes and Machinery*. «EXCAVADORA Hidráulica, ¿Qué es y cómo funciona? partes y modelos». Obtenido de <https://www.gruasyaparejos.com/retroexcavadoras/excavadora-hidraulica/>.
- Fernández, E. (24 de junio de 2019). *El Telégrafo*, «Extinción de canteras en vía a la Costa, en manos del Cabildo». Obtenido de <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/guayaquil/1/guayaquil-ordenanza-canteras>.
- Galíndez, M (14 de abril de 2021) *Investigación mixta. Qué es y tipos que existen*. Obtenido de <https://www.questionpro.com/blog/es/investigacion-mixta/>.
- González, M. (2019) *Herramientas para Trabajo*. «El Martillo Hidráulico: Partes y Reparación». Obtenido de <https://herramientasparatrabajo.com/como-funciona-un-martillo-hidraulico/>.
- Gutiérrez, C. (29 de julio de 2021). *Tipos de investigación*. Obtenido de <https://www.significados.com/tipos-de-investigacion/>.
- Hegas, F. (s.f.) *Análisis de la densidad del aceite: cuándo y por qué hacer*. Obtenido de <https://www.alsglobal.com/%2Fes-co%2Fnews%2Farticulos%2F2018%2F09%2Fanalisis-de-la-densidad-del-aceite-cundo-y-por-qu-hacer>.
- Hernández, G. (3 de Septiembre de 2015). *La física para todos*. Obtenido de <http://lafisicaparatodos.wikispaces.com/>
- Hernández, F. (23 de Abril de 2019). *Rumbo minero*. Obtenido de <https://www.rumbominero.com/revista/informes/cilindros-hidraulicos-mecanismo-que-genera-energia/>
- Kawasaki. (27 de Julio de 2018). *PHP Passion for Qualyified Hydraulics*. Obtenido de <http://www.hydraulic-pump-china.com/piston-pump/hydraulic-piston-pump/k3v-hydraulic-pump.html>
- Lee, D. (2013). *Breaker Training Data*. Seoul.
- Mancheno, F (2016) *Ley de Pascal*. Obtenido de

<https://www.expociencias.net/assets/2014-un-mar-de-ideas.pdf#page=42>.

- Marquez, R. (12 de Febrero de 2018). *Bombas y pistones*. Obtenido de <https://bombasypistones.com/tienda/cilindros/cilindros-excavadoras-volvo/>
- Martinez, P. (9 de Mayo de 2016). *Seijiro Yazawa*. Obtenido de <https://www.seijiroyazawaiwai.com/nueva-excavadora-liebherr-de-60-toneladas/>
- Panchana, M. (18 de septiembre de 2018) *Partes principales de una Excavadora*, Obtenido de <https://ventamaquinaria.mx/partes-principales-una-excavadora/>.
- Parrales, S. (2011). *Automatizacion industrial*. Obtenido de <http://industrial-automatica.blogspot.com/2011/06/deposito-hidraulicos.html>
- Rosales, V. (2019) *Excavadoras hidráulicas, el brazo multiusos*. Obtenido de <https://tecnoblogueando.blogspot.com/2013/06/excavadoras-hidraulicas-el-brazo.html>.
- Solórzano, D. (12 de Agosto de 2015). *Hidraulic and Pneumatics*. Obtenido de hidandpneumatics.us
- Solorzano, R. (2016) *Hydraulics & Pneumatics, Cavitación En Un Sistema Hidráulico*. Obtenido de <https://www.hydraulicspneumatics.com/hp-en-espanol/article/21886592/cavitacin-en-un-sistema-hidrulico>.
- Turner, E. (29 de julio de 2021) *Módulo 4: Métodos de Recaudación de Información - Sección 1 | ORI - The Office of Research Integrity*. Obtenido de <https://ori.hhs.gov/m%C3%B3dulo-4-m%C3%A9todos-de-recaudaci%C3%B3n-de-informaci%C3%B3n-secci%C3%B3n-1>.
- Valdivieso, G. (2020) *Widman International. «Indice de Viscosidad»*. Obtenido de <https://www.widman.biz/Seleccion/Seleccion///Seleccion/iv.html>.
- Villacreses, H. (2017) *Maquinaria Pesada repuestos en general*. Obtenido de <http://maquinariapesadalima.blogspot.com/2017/12/definicion-martillo-hidraulico-m.html>.



**Presidencia
de la República
del Ecuador**



**Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes**



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Salazar Cobo, Fernando Andrés** con C.C: 0921164182 autor del Trabajo de Titulación: **Diseño de un sistema de adaptación de martillo hidráulico a excavadoras en el sector minero**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Eléctrico-Mecánico** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 9 de marzo del 2022

Salazar Cobo, Fernando Andrés

C.C: 0921164182



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TEMA Y SUBTEMA:	Diseño de un sistema de adaptación de martillo hidráulico a excavadoras en el sector minero		
AUTOR(ES)	Salazar Cobo, Fernando Andrés		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	M. Sc. Philco Asqui, Luis Orlando		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería en Eléctrico Mecánica		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero en Eléctrico Mecánica		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	9 de marzo del 2022	No. DE PÁGINAS:	50
ÁREAS TEMÁTICAS:	Mecánica de fluidos, Máquinas Eléctricas, Hidráulica de potencia		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Diseño, instalación, hidráulica, mecánica, pruebas de calidad, minería		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>El presente trabajo tiene como objetivo determinar un proceso de instalación de un martillo hidráulico Komac modelo KB3600 a una excavadora VOLVO 290. Este proceso debe asegurar el correcto funcionamiento de ambos equipos para poder así aumentar su tiempo de trabajo ininterrumpido y generar la mayor cantidad de utilidad posible. Este tipo de instalaciones se vuelven cada vez más necesarias en la ciudad de Guayaquil debido a que en el sector minero se utilizan explosivos en sus procesos de extracción de material, los cuales cada vez son más regulados y en algunos casos prohibidos por entidades gubernamentales debido al daño ambiental que provocan. La implementación de la tecnología descrita en este documento presenta una buena solución al problema mencionado. La metodología implementada en este trabajo es la metodología aplicada ya que busca la aplicación o utilización de conocimientos, desde una o varias áreas especializadas, con el propósito de implementarlas de forma práctica para satisfacer necesidades concretas, proporcionando una solución a problemas del sector social, industrial o productivo. Como conclusión se emitirán datos de posibles fallas y recomendaciones que se darán a través de las inspecciones para poder mejorar el diseño y proceso propuestos.</p>			
ADJUNTO PDF:	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593 99 833 3983	E-mail: fsalazarcob@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Palacios Meléndez, Edwin Fernando		
	Teléfono: +593-967608298		
	E-mail: edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			