

## PROTOTIPO DE UN RECTIFICADOR HOUSING PARA LA REPARACIÓN DE COMPONENTES DE MAQUINARIA PESADA

---

*Oralio Hernández Alvarado*

*Adolfo López Zavala*

*Joaquín Álvarez Álvarez*

*Cesar Chávez Olivares*

All content in this magazine is licensed under a Creative Commons Attribution License. Attribution-Non-Commercial-Non-Derivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).



**Resumen:** El presente proyecto de investigación tiene como objetivo obtener el diseño conceptual de una rectificadora para la reparación de componentes de maquinaria pesada, ya que este campo de la actividad económica existe muchas áreas de oportunidad para realizar desarrollos tecnológicos. Esto surge a raíz de la necesidad de reparar los alojamientos de los bujes que tienen las máquinas retroexcavadoras en las articulaciones de cada uno de los brazos, ya que debido al tipo de operación a la que se encuentran sometidas, reciben altos impactos y vibraciones, provocando el desgaste de estos alojamientos (*housing*), y para resolver este problema, normalmente aplican soldadura del tipo SMAW con un electrodo 7018, para rellenar el área desgastada y posteriormente rectificar el *housing*. La metodología implementada, corresponde a los métodos de ingeniería industrial tales como: Análisis morfológico para el diseño, modelo KANO, etc. El resultado obtenido, es un modelo virtual de la rectificadora, que posteriormente se manufactura, obteniendo un equipo funcional, pero sin embargo se encontraron áreas de oportunidad que requieren atenderse para cumplir con las necesidades del cliente, en la solución propuesta del rectificador de *housing*.

**Palabras Clave:** Rectificador, diseño mecánico, modelo Kano, modelo virtual.

## INTRODUCCION

En las actividades económicas primarias y de la construcción existe equipos de maquinaria pesada, las cuales se dividen en el sector agrícola, trilladoras, segadora y máquina para la preparación del terreno, este último sector es donde se encuentran las máquinas tipo retroexcavadoras con un 29.5%, también dicho porcentaje involucra que las personas que tienen una retroexcavadora la han tenido por un lapso de 10 hasta 15 años [1].

En México más del 50% de las retroexcavadoras se adquieren usadas, esto se debe a los altos precios que involucra una maquinaria nueva. México y Brasil son los principales consumidores de retroexcavadoras usadas [2]. Debido a esto, la gran mayoría de las máquinas adquiridas presentan fallas causadas por el tiempo de trabajo aproximadamente 18,000 horas de trabajo con un mantenimiento normal, a partir de dicho tiempo la máquina requiere de al menos 1 reparación cada 7 semanas, esto dependiendo de las fallas más comunes como: El desgaste de los empaques de los cilindros hidráulicos que se enfoca en los rangos de moderado, bajo y alto riesgo con un porcentaje de 27.5%, desgaste de pernos en articulaciones se encuentra dentro del rango de muy alto riesgo con un 25% ya que esto puede llevar a un mayor impacto y causar algún daño en la integridad del conductor, desgaste de neumáticos que se encuentra en el rango de moderado con un porcentaje de 7.7% que es el de menor frecuencia y por último el daño del motor que está en el rango de muy bajo peligro con una frecuencia de 37.5%. [3].

Las principales razones de la falla del *housing* del buje es debido a la fricción que tiene el perno con el buje, debido a este rozamiento el perno comienza a desgastar el buje y posteriormente desgasta el *housing*, ahí es donde radica este problema, otra razón es trabajar la máquina retroexcavadora en lugares con exceso de polvo, ya que, este factor disminuye la eficacia del material lubricante entre el perno y el buje reduciendo su vida útil de trabajo, un método preventivo para evitar este problema es el lubricar las zonas de articulación periódicamente dependiendo de la intensidad de trabajo [4].

Frecuentemente el operador de una retroexcavadora no se percata de la falta de lubricación en los pernos provocando el desgaste total de la pieza, una vez que se llega a este punto, la zona dañada ya no permite el

acoplamiento del casquillo circular, ya que, debido al desgaste ha perdido su forma. Para corregir este tipo de problema, CERVISIMAG (2014) propone distintos tipos de solución, uno de estos consiste en rectificar el buje y hacer el 'agujero' más grande tomando como referencia la parte más ovalada, es decir, hacer un casquillo a medida de las nuevas dimensiones [5]. Pero esta solución conlleva en disminuir el área efectiva del esfuerzo y con ello se puede provocar la falla más prematura.

Sin embargo, es importante resaltar que esta solución no es la única dentro de este campo de desarrollo tecnológico ya que, realizando la revisión de la literatura, se han encontrado la existencia un rectificador de dimensiones de 4 m. de largo, 1.5 m. de ancho y 1.6 m. de altura, aproximadamente, y esto hace que el rectificador sea una herramienta de estacionario y no móvil. La característica de transportable, es lo que se necesita en algunas reparaciones de las piezas de las máquinas retroexcavadoras.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En distintas zonas del país hacen uso de máquinas retroexcavadoras para diferentes actividades, que van desde levantamiento de cargas pesadas, movimiento de tierra y excavación. En el área de la construcción estas máquinas son muy recurrentes, y se encuentran sometidas a jornadas de trabajo de gran intensidad. Normalmente una retroexcavadora debe operar un máximo de 8 horas diarias; sin embargo, en algunas ocasiones este tiempo suele extenderse hasta 10 horas por día, provocando desgaste en las partes móviles, motor y sistema hidráulico, así como fallas en mangueras hidráulicas y accesorios [6].

En este sentido la parte que sufren con mayor frecuencia averías es la estructura de articulación, en particular, el mecanismo del brazo que conecta la pala o cuchara, ubicado

en la base del brazo. Esta falla se presenta debido a las altas cargas de impacto que se transmiten desde la pala, en combinación con las vibraciones internas del brazo, al no contar con ningún componente para amortiguar. Así pues las cargas se transmiten directamente al contacto entre el buje y Housing de la pluma o brazo de levantamiento. Esta falla comienza con la aparición de grietas que al alcanzar un tamaño crítico, provoca el desprendimiento y rotura total del brazo debido a un esfuerzo por fatiga. De tal manera se espera dar una respuesta a esta problemática, bajo el planteamiento: ¿Cómo lograr un rectificado homogéneo en el Housing del buje?

## **OBJETIVOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

Diseñar conceptualmente un rectificador del Housing para la estructura de articulaciones aplicado a una retroexcavadora.

## **METODOLOGÍA**

La metodología implementada es ingeniería concurrente, similar a la que proponen Gutiérrez, Hernández y Cabrera (2019) en su trabajo de investigación denominado "diseño mecánico ágil". Aquí se presenta toda la ruta de diseño utilizando las metodologías, técnicas y herramientas de ingeniería industrial, que a continuación se describen [7].

## **DEFINICIÓN DEL PRODUCTO: ANÁLISIS MORFOLÓGICO PARA EL DISEÑO**

En esta fase del proyecto, se definen los parámetros y determinantes de diseño del concepto a base del análisis contextual (ACO), tecnológico (ATE) y del producto (AP), tal como se muestra en la tabla 1. La primera categoría, se refiere al análisis contextual, en esta, se incluyen todos los aspectos de evaluación del medio cultural y geográfico en el que se desenvuelve el problema planteado,

y será siempre la primera categoría de aproximación por parte del diseñador. Esta categoría es la primera entidad que proporciona coherencia investigativa en la configuración de los cuadros morfológicos [8]. La segunda categoría se refiere al análisis tecnológico. En esta categoría se determina la evaluación de la materia prima, los procesos productivos y diferentes procesos de manufactura que son utilizados en la elaboración del producto. La tercera y última categoría se refiere al análisis del Producto. Esta categoría, se divide en dos subcategorías que se llamarán análisis del producto Simbólico (APS) y análisis del producto comercial (APC).

Las declaraciones o ideas generadas a partir de los tres tipos de análisis de la tabla 1, se utilizan para dar paso a la definición de las características técnicas específicas del diseño de un rectificador de housing para posteriormente identificar los parámetros y determinantes del diseño. Las primeras definen al nuevo concepto, mientras que las segundas se refieren a las actividades o experimentos que se tendrán que realizar para sustentar el proyecto de desarrollo tecnológico. Esta clasificación se muestra en la tabla 2.

En la segunda columna de izquierda a derecha, son las características que se deberá considerar para la propuesta del diseño conceptual de la rectificadora de housing, y servirán como datos de entrada o parámetros para obtener la voz del cliente. Esta información se obtiene mediante un cuestionario (instrumento de recolección de datos) que es analizado a través de la aplicación del modelo KANO, que a continuación se describe.

### **INTERPRETACIÓN DE LA VOZ DEL CLIENTE: MODELO KANO**

El modelo KANO, tiene por objetivo obtener la voz del cliente, a través de un

instrumento de recolección de datos [9] que se aplicó del 13 al 16 de marzo del 2020 en los municipios de Huejutla, Pisaflores, Tamazunchale y Tlanchinol. En estas localidades se encuentran los talleres de torno en los cuales se realizan las reparaciones del housing de las retroexcavadoras. También, se aplicaron a expertos en el área de metal mecánica en la Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense, y personal que tiene conocimiento acerca del rectificado con herramientas manuales. El 100 % de las personas encuestadas fueron del sexo masculino, con una edad promedio de 45 años quienes son los que principalmente ejercen esta profesión.

El instrumento de recolección de datos consta de 12 reactivos en las cuales se evalúan los parámetros encontrados con el método de análisis morfológico para el diseño. Los resultados se muestran en la tabla 3.

De acuerdo a la tabla 3, se observa que nueve primeros atributos fueron evaluados como atractivos, que provocan entusiasmo en los clientes potenciales, dando así, mayor certidumbre de éxito en el mercado para su venta. Los últimos tres atributos se clasifican como unidimensionales, que entre más se desarrolle su potencial, mayor satisfacción genera en el cliente. Por lo tanto, de acuerdo a esta evaluación, todos los atributos son considerados en el desarrollo del diseño conceptual. Los atributos deben pasar a una segunda evaluación cuantitativa a través del análisis estadístico, para dar certidumbre de los datos utilizados en el modelo KANO, y ser considerados como requerimientos o características del rectificador de housing utilizando el estadístico de Fong [10], que consiste en calcular la diferencia absoluta de las dos frecuencias más altas a través de la ecuación 1.

ACO	ATE	AP
Las piezas son de grandes dimensiones.	Rectificado con herramientas manuales para la reparación de esta pieza	Al modificar la estructura original de la pieza se debilitan las paredes del buje y pueden romperse.
Costo elevado de reparación	Métodos inadecuados de reparación del Housing.	El tipo de soldadura aplicada garantiza la vida útil de la pieza
Baja tecnificación del proceso de reparación	El tiempo de reparación y montaje de la pieza para el proceso de maquinado es de 10 horas.	El desarrollo de las reparaciones representa un costo elevado
Fallas en las zonas de trabajo (ríos, zonas de construcción, etc.)	Se necesitan de varios procesos para completar el ciclo de reparación.	No hay garantía de obtener el resultado ideal con el método manual
Técnicos empíricos en reparación de máquinas retroexcavadoras	Condiciones de trabajo extremadamente peligrosos	La adquisición de implementos nuevos es de alto costo (¿cuánto cuesta una silla nueva?)

Tabla 1-Método del análisis morfológico para el diseño.

Parámetros		Determinantes	
Las piezas son de grandes dimensiones.	Dimensionamiento en cuanto al tamaño de las piezas a reparar. Rigidez de la estructura de la máquina.	Ajuste de velocidades de corte.	Experimentación de la velocidad de corte óptimo.
Costo elevado de reparación.	Económico.	Costo elevado de reparación.	Caracterización de los procesos.
Baja tecnificación del proceso de reparación	Automatización.	Ajustable en altura.	Sistema que se adapte a las irregularidades del terreno.
Transportar el rectificador.	Transportable.	Buen acabado.	Calidad ideal.
Alta maniobrabilidad.	Agilización del traslado de la máquina.	Disminución de tiempo.	Experimentación con optimización de procesos.
De fácil operación.	Sencillo.	Máquina de alta durabilidad.	Experimentación de resistencia de materiales.
Rectificador desmontable.	Que sea práctico.	Velocidad de reparación.	Optimización del precio.
Rectificador desarmable.			
Rectificador ligero.	Mínimos componentes		
Eficiencia.	Alto desempeño		
Bajo costo de la máquina.	Económico		
Rectificador de alta calidad.	Inspección de dimensiones del housing		

Tabla 2-Clasificación de parámetros y determinantes del proyecto rectificador de housing.

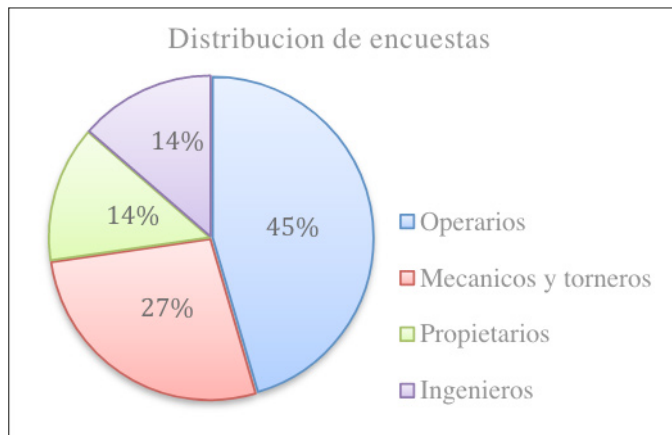


Figura 1. Distribucion de la aplicación de la encuesta del modelo KANO

Dimensionamiento y rigidez estructural.	36%	9%	9%	27%	5%	14%	100%	A
Automatización.	73%	5%	0%	9%	0%	14%	100%	A
Transportable.	32%	0%	0%	55%	0%	14%	100%	U
Fácil operación.	50%	9%	5%	5%	0%	32%	100%	A
Desmontable.	36%	5%	0%	23%	0%	36%	100%	A
Mínimos componentes.	41%	9%	0%	23%	0%	27%	100%	A
Máquina de alto desempeño.	45%	14%	0%	32%	0%	9%	100%	A
Económico.	27%	18%	0%	32%	0%	23%	100%	U
Buen índice de calidad.	18%	9%	0%	50%	0%	23%	100%	U
Adaptarse al terreno (ajustable).	36%	14%	0%	32%	0%	18%	100%	A
Amortiguamiento.	45%	14%	0%	23%	0%	18%	100%	A
Mantenimiento menor.	45%	9%	0%	14%	0%	32%	100%	A

Tabla 3- Evaluaciones de los atributos por el modelo KANO.

$$Q = \sqrt{\frac{(a+b)(2n-a-b)}{2n}} \quad (1)$$

Donde Q, es la diferencia absoluta entre las dos diferencias más altas, a y b frecuencias de las características más altas y n, número total de respuestas. Ahora entonces cuando diferencia absoluta Abs (a-b) es menor al valor Q, esto indica, que no hay una diferencia significativa entre las dos clasificaciones más frecuentes de cada pregunta. Este hecho indica que debe investigarse más a fondo, para descubrir la presencia de segmentos de mercado identificables o problemas en la formulación de la pregunta.

La valoración del mejor y peor ponderado en la encuesta se traduce en la existencia de mínimas diferencias en los siguientes parámetros de diseño: mínimos componentes, costo económico y presencia del sistema de amortiguamiento. Por lo anterior estos parámetros son descartados para el diseño conceptual de la rectificadora de housing.

De la figura 2, se destaca que es congruente la opinión del cliente ya que entre los coeficientes de mejor y peor evaluado hay una diferencia del 52.457 %. Este hecho indica que no existen contradicciones en la opinión del cliente, excepto para dos parámetros de diseño que corresponden a económico y buen índice de calidad que tiene una diferencia del 15% y 13%, respectivamente. De acuerdo a esta técnica, estos dos parámetros son descartados, quedando para la propuesta del diseño conceptual del rectificador los siguientes:

- Deber ser de mantenimientos menores. Abarca el engrasado de partes móviles, ajuste y colocación de herramientas de corte, etc.
- Deberá poseer un mecanismo de elevación de cada poste de soporte para poder nivelarse en caso de terrenos inclinados o irregulares.
- Deberá ser de alto desempeño, es

decir, deberá soportar ciclos de trabajo de 6 horas continuas y descansos de 20 minutos. Esto debido a que la rectificación debe realizarse en una jornada de trabajo. Un ejercicio para reparar las holguras, se realizó mediante la aplicación de soldadura SMAW, aplicando un volumen de material de aporte aproximadamente de entre 2.5 a 3.2 cm de espesor, por lo que desbastarlo requirió un tiempo promedio de entre 5 a 7 horas a una velocidad de 810 m/s, con avances de 0.3 mm/rev, y una profundidad de corte de 3.5 mm en el caso de desbaste.

- La máquina deberá ser, desarmable o desmontable para que se pueda transportar sin necesidad de un remolque especial. Por lo tanto, el ensamble tendrá que ser por sistemas: sistema de carro principal, sistema de carro longitudinal, sistema de corte y sistema de ajuste o nivelación. Lo anterior con el objetivo de que se pueda desarmar por sistemas, sin que estos excedan un peso mayor a 25 kg, para que el operador pueda realizar esta acción sin causar algún riesgo por lumbalgia.
- Deberá poseer el parámetro de fácil operación y que la comunicación hombre máquina sea sencilla y que no necesite más de 3 pasos para ponerla en marcha. Este requerimiento de diseño, es necesario debido a que del análisis contextual, los operadores son principalmente empíricos y cuentan con poca formación profesional, debido a la zona de influencia geográfica, tal como se analizó en la tabla 1 del método de análisis morfológico para el diseño.
- El equipo deberá operar de manera automática al menos para la selección

Parámetros	NI	M	P	C1	C2	Q	abs
Dimensionamiento en cuanto al tamaño y rigidez estructural.	0,86	0,7	-0,4	0,6	0,3	67,97	-3
Automatización.	0,95	0,8	-0,1	0,7	0,1	72,28	-14
Transportable.	0,945	0,86	-0,5	0,82	0,52	72,28	-12
Fácil operación.	0,900	0,57	-0,1	0,51	0,13	71,75	10
Desmontable.	0,90	0,59	-0,2	0,53	0,25	70,20	-3
Mínimos componentes.	0,891	0,64	-0,3	0,57	0,28	69,17	-1
Máquina de alto desempeño.	0,945	0,77	-0,4	0,73	0,43	71,05	5
Económico.	0,770	0,59	-0,5	0,46	0,39	66,58	-1
Buen índice de calidad.	0,827	0,68	-0,5	0,56	0,49	70,20	-6
Adaptarse al terreno (ajustable).	0,918	0,68	-0,4	0,63	0,42	69,17	-3
Amortiguamiento de vibraciones.	0,936	0,68	-0,3	0,64	0,34	69,17	-1
Mantenimiento menor.	0,909	0,59	-0,2	0,54	0,21	71,05	4

Tabla 4- Análisis estadístico de Fong de la evaluación de los parámetros del modelo KANO.

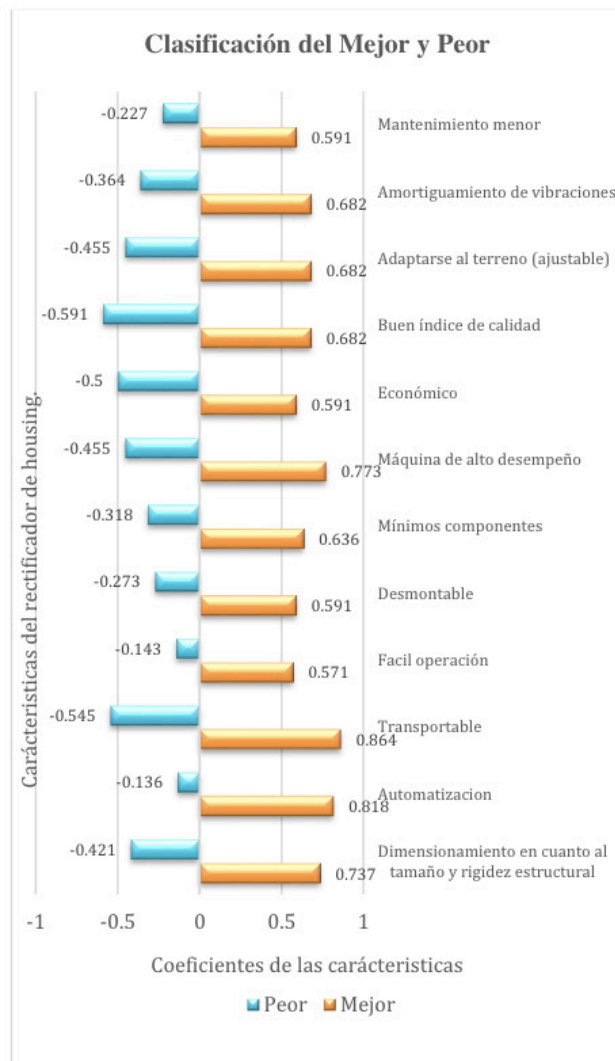


Figura 2. Evaluación a través del estadístico de Fong.



de la velocidad de avance y de desbaste dentro de la operación de rectificado.

- La estructura debe ser lo más compacta posible y que las dimensiones de los componentes no deberán exceder los 80 cm. de ancho, 140 cm. de largo y 120 cm de alto. Estas dimensiones son establecidas de acuerdo a las medidas antropométricas promedios de los operadores que se sometieron al estudio de la evaluación ergonómica del trabajo.

Una vez definidos los parámetros de diseño conceptual, se realiza la aplicación de la herramienta del QFD (Quality Function Deployment), analizando cada uno de los que's de los clientes, y proponiendo las características técnicas de la máquina en cada uno de los como's para resolver a los requerimientos del cliente. A través de la casa de la calidad los que's, se toman los resultados de la aplicación del modelo KANO y para cada que's se proponen los como's que a continuación se desglosa en la tabla 5:

El resultado de la evaluación por la herramienta del QFD, se utilizarán en la metodología del Datum para la selección de una de las tres propuestas que se plantean a continuación.

### **METODOLOGÍA DATUM: SELECCIÓN DE LA PROPUESTA DEL CONCEPTO DEL RECTIFICADOR DE HOUSING**

Una vez identificados los requerimientos de funcionalidad se procede a realizar los bocetos. Se proponen 3 conceptos diferentes en la cual se evalúan las características de funcionalidad requeridos [11]. A continuación, se describen cada una de los conceptos propuestos tratando de reunir las características obtenidos de la herramienta del QFD.

Boceto 1. Cuenta con una barra transversal giratoria de Cold rolled, con diferentes

posiciones para la herramienta de corte que es del tipo buril de tungsteno, dos chumaceras con extensión para una mayor estabilidad al momento de realizar el desbaste, en donde la primera está sujeta al sistema de avance, además cuenta con un sistema de avance manual por medio de roscas interior y exterior esto permite el avance del corte por medio de la barra transversal, tiene un taladro percutor de torque dual que brinda la potencia suficiente para hacer girar la barra a velocidades adecuadas para un buen desbaste interior.

Boceto 2. Cuenta con un motor monofásico que permite el movimiento rotatorio de la barra transversal (eje), una moto reductora que se encarga de reducir la velocidad y que tenga mayor torque, un sistema de avance de 1 m de longitud, una mesa de avance que permite sostener los dispositivos, una estructura permite ajustar a la altura de la pieza a maquinar, 1 un sistema de yugo que permite darle un cierto ángulo al momento de ajustarlo y alinearlos a las chumaceras. Esto además permite intercambiar la barra por una de distinto diámetro función.

Boceto 3. Cuenta con una pantalla de indicadores de calibración, un motor bifásico que permite el movimiento rotatorio de la barra transversal que a su vez cuenta con una herramienta de corte para el desbaste, el sistema es automático, cuenta con un portaherramientas para el fácil acceso de ellas.

Una vez realizados las propuestas, las características técnicas se consideran como criterios de evaluación de cada una de las propuestas, y se muestran en la tabla 6.

La escala de ponderación está definida por el método Datum y está definido en función del nivel de cumplimiento de cada propuesta a cada una de las características planteadas. Esta evaluación se realizó a través de un instrumento de evaluación de opción múltiple, aplicándose a las personas evaluadas en el modelo KANO

Parámetros o requerimientos del cliente (Que 's)	Características técnicas de la máquina para cada requerimiento (Como 's)
Dimensionamiento en cuanto al tamaño y rigidez estructural.	Rigidez de la estructura de los bastidores del sistema, Batidores de los sistemas que alojaran a las componentes unidas, mediante soldadura, Ensamble de sistemas por tornillos para la reducción de componentes de la máquina,
Automatización.	Mecanismos de ajuste de altura, Accionamiento sencillo por sistemas de accionamiento electromecánico, Fuente de potencia motor eléctrico
Transportable.	Componentes mínimos por sistema para asegurar el peso máximo de 25 kg, Rigidez de la estructura de los bastidores del sistema, Seguridad al operario
Fácil operación.	Accionamiento sencillo por sistemas de accionamiento electromecánico, Fuente de potencia motor eléctrico, Seguridad al operario
Desmontable.	Componentes de la máquina desmontables por sistemas, Componentes mínimos por sistema para asegurar el peso máximo de 25 kg, Batidores de los sistemas que alojaran a las componentes unidas, mediante soldadura, Ensamble de sistemas por tornillos para la reducción de componentes de la máquina,
Máquina de alto desempeño.	No requiere de procesos extras de corte para acabados óptimos, procesos de desbaste adecuados
Adaptarse al terreno (ajustable).	Mecanismos de ajuste de altura
Mantenimiento menor.	Accionamiento sencillo, mantenimientos básicos y ensamble de sistemas por tornillos

Tabla 6. Herramienta del QFD. Desglose de las soluciones para cada una de los requerimientos de la voz del cliente.

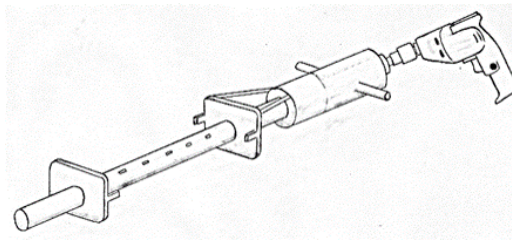


Figura 3. Boceto A del rectificador de housing.

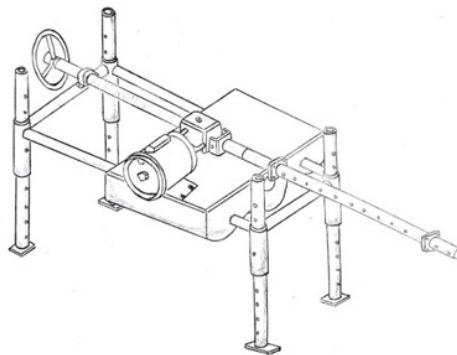


Figura 4. Boceto B del rectificador de housing.

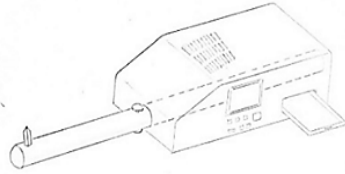


Figura 5. Boceto B del rectificador de housing.

Criterios de valoración	Método DATUM		
	A	B	C
Rigidez de la estructura de los bastidores del sistema	2	3	5
Ensamble de sistemas por tornillos para la reducción de componentes de la máquina.	3	5	4
Fuente de potencia motor eléctrico	3	5	5
Mecanismos de ajuste de altura.	1	3	1
Componentes de la máquina desmontables por sistemas	3	5	3
Accionamiento sencillo por sistemas de accionamiento electromecánico	4	5	5
Mantenimiento básico	5	5	3
Nivel de ruido aceptable dependiendo de los mecanismos.	4	4	5
Componentes mínimos por sistema para asegurar el peso máximo de 25 kg.	4	4	2
Proceso de desbaste interior adecuado	2	5	3
Batidores de los sistemas que alojaran a las componentes unidas, mediante soldadura.	1	4	3
Seguridad al operario	2	5	2
No requiere procesos extra de corte para un acabado optimo	3	5	4
Total	37	58	45
Porcentaje obtenido	26.42 %	41.42%	32.14%

Tabla 6. Método Datum para la selección del concepto.

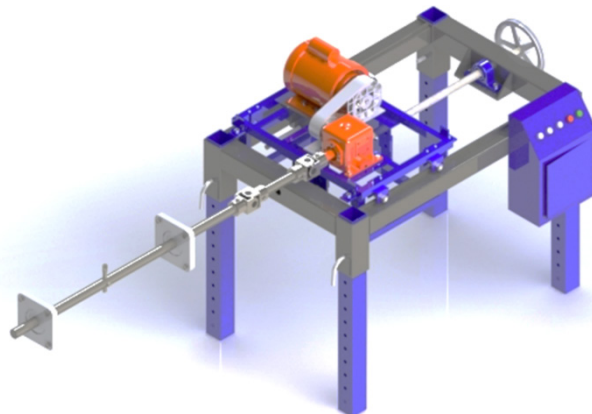


Figura 6. Modelo tridimensional de la máquina rectificadora de housing.

Y algunos expertos en el campo. De acuerdo a la tabla anterior, el concepto seleccionado es la opción B, el cual este modelo se procede a realizar el modelado a través de un software CAD. Este modelo se realiza a mayor detalle tal como se observa en la figura 6. De la misma forma fue implementado el AMFE para el análisis de modal de fallas y efectos de la maquina rectificadora pero no se incluye en este articulo y del cual resulta este modelo 3D.

### ANÁLISIS DEL EJE DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE LA MAQUINA RECTIFICADORA DE HOUSING

En este apartado solo se mostrarán algunos cálculos realizados para fundamentar la selección de los materiales y los elementos mecánicos. Por lo que se analiza la selección del acero y dimensionamiento del eje del sistema de transmisión. Es importante mencionar que dentro de la memoria de cálculos se realizaron varias iteraciones hasta llegar a la selección final, que es la que se presenta en esta sección.

La determinación del diámetro del eje del sistema de transmisión de la maquina se realiza primero mediante la teoría de la energía de deformación, por sus siglas en ingles DET. Este acero es la selección final, después de una serie de iteraciones en el cálculo para resistencias mecánicas versus rigidez y costes de obtención.

Para un eje de acero AISI 1080, debido que es un acero al alto carbono para resistir las fuerzas de impacto al momento del corte, por lo que la fuerza en el eje se determina a partir de la ecuación de la potencia.

$$P = \frac{Hp}{U} = \frac{1866.666w}{7/6 \text{ m/s}} = 1600 \text{ N} \quad (2)$$

Y el radio de corte se determina por la ecuación 3.

$$r = \frac{U}{w} = \frac{7 \text{ (m/s)}}{(297.089 \text{ rev/min})(2\pi/60)} = 0.0375 \text{ m} \quad (3)$$

El par de torsión es

$$T = Pr = (1600N)(0.0375m) = 60Nm \quad (4)$$

Aplicando el diagrama de cuerpo libre junto con las ecuaciones de equilibrio estático, y posteriormente se obtiene el momento flexionante máximo. Este resultado es utilizado para determinar los esfuerzos principales que se muestra en la ecuación 5.

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{\sigma_x}{2} \pm \sqrt{T_{xy}^2 + \frac{\sigma_x^2}{4}} = \frac{7680}{\pi d^3} \pm \frac{26727.184}{\pi d^3} \quad (5)$$

De acuerdo a la ecuación del esfuerzo de von Mises para un estado de esfuerzos biaxiales es

$$\sigma_e = (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2)^{1/2} = \frac{46925.57398}{\pi d^3} \quad (6)$$

Por lo que la DET predice el diámetro mínimo requerido para que no ocurra la falla utilizando un factor de seguridad de 2.5

$$d \geq 0.04614m = 46.14mm \quad (7)$$

Este diámetro mínimo requerido con el acero propuesto, es para cargas del tipo estático, sin embargo, la máquina se va someter a cargas dinámicas o de esfuerzo cíclico, por el cual se procede a realizarse el análisis por cargas dinámicas para obtener el diámetro mínimo requerido y que a continuación se detalla la descripción: Suponiendo que no existe una muesca que proporcione una concentración de esfuerzos. La confiabilidad debe ser de 99% y el factor de seguridad de 2.5 y 3.5. para el material de eje, nuevamente se propone un acero AISI 1080 estirado en frio o maquinado.

De acuerdo con la ecuación (8) y con la una resistencia a la ruptura de 615 MPa, el límite a la fatiga por flexión para el acero AISI 1080 es

$$S'_e = 0.5S_u = 0.5(615) = 307.5Mpa \quad (8)$$

El factor de acabado superficial para una superficie rectificada en  $S_{ut}=770Mpa$  es  $k_f=0.90$

Al evaluar el factor de tamaño se debe elegir un diámetro del eje propuesto, para ello

se propone  $d=30\text{mm}$ . Para cargas dinámicas, de acuerdo con la ecuación 9 se obtiene:

$$k_s = 1.189d^{-0.112} = 1.189(30)^{-0.112} = 0.8124 \quad (9)$$

Para una probabilidad de supervivencia de 99% el factor de confiabilidad  $k_r=0.82$

Sustituyendo estos valores en la ecuación (10) se obtiene el límite a la fatiga como,

$$S_e = k_f k_s k_r S'_e = 184.36\text{MPa} \quad (10)$$

Suponiendo que  $M_n=0$  y  $M_a=640\text{Nm}$ , entonces el diámetro mínimo requerido para cargas cíclicas utilizando la línea de Soderberg y DET

$$d = \left\{ \frac{32n_s}{\pi s_y} \sqrt{(M_m + \frac{s_y}{s_e} K_f M_a)^2 + T_m^2} \right\}^{1/3} = \left\{ \frac{32(2.5)}{\pi(380 \cdot 10^6)} \sqrt{(0 + \frac{(380 \cdot 10^6)}{(184.361994 \cdot 10^6)} (0.9)(640))^2 + (60)^2} \right\}^{1/3} = 43.02\text{mm} \quad (11)$$

Puesto que para obtener el diámetro mínimo por la DET-Soderberg, en la ecuación (11), se necesitó conocer el límite a la fatiga modificado, que a su vez requiere del cálculo del factor de tamaño (ecuación 10), ya para obtener el factor de tamaño de necesita proponer el diámetro inicial del eje (ecuación 9), por lo que se propuso un diámetro de 30 mm. Entonces, sustituyendo los valores solicitados en la ecuación 11, con un factor de seguridad de  $n_s=2.5$  se obtiene que el diámetro mínimo requerido es de 43.02 mm. Analizando el diámetro inicial propuesto en el cálculo del factor de tamaño y el diámetro mínimo requerido obtenido por la DET-Soderberg en la primera iteración, se evalúa que hay una diferencia del 13.02 mm de discrepancia, con un error entre datos del 30.26 % por lo que es necesario calcular de nuevo el factor de tamaño, utilizando el valor obtenido de 43.02 mm. De acuerdo con la ecuación (9) se obtiene el nuevo factor tamaño con una magnitud de  $k_s=0.782$ ,

Entonces nuevamente aplicando la ecuación 10 para el límite a la fatiga modificado resulta

ser de magnitud 177 MPa, y con ello se aplica la ecuación 11, para determinar nuevamente el diámetro mínimo requerido, el cual resulta un diámetro de 43.61 mm. Analizando nuevamente entre el diámetro propuesto y el diámetro obtenido, se encuentra que hay una diferencia de 0.59 mm, con un error de 1.352 %. Como se puede observar en los dos diámetros la variación es mínima por lo que ya no que se continua con la iteración de este proceso de cálculo, quedando definido el diámetro del eje de 43.61 mm.

## PRUEBAS DE FUNCIONALIDAD DE LA RECTIFICADORA DE HOUSING

Una vez justificado la selección de cada componente se realiza la manufactura de la máquina rectificadora de housing, en el taller maquinas-herramientas de la institución, para posteriormente realizar las pruebas de funcionamiento tal como se muestra en la figura 7.

Como se puede notar que el prototipo manufacturado cuenta con las características indicadas por los métodos de ingeniería industrial anteriormente mencionadas, en donde la maquina es altura ajustable, es eléctrica, es desmontable, es transportable ya que tuvo un peso final de 150 kg aproximado pero se desarmen en subsistemas, tales como son: los postes de soporte, la bancada, el carro longitudinal, el eje porta buril que se conecta a la salida del reductor de velocidad para poder obtener la velocidad de desbaste y acabado adecuados por el tipo de material a rectificar.

Los resultados de las pruebas de funcionamiento en como se observa en la figura 8, donde se muestra la herramienta de corte que es un buril de cobalto con punta de tungsteno.

De acuerdo a las pruebas realizadas, se detectan las siguientes áreas de mejora:

- Existe vibración de la máquina rectificadora



Figura 7. Rectificadora de housing terminado.



Figura 8. Visualización de la interfaz de contacto entre el housing y la herramienta de corte.

- La alineación requiere de un tiempo aproximado de 2 horas, debido a que se requiere soldar los soportes de los extremos del eje porta buril. 43 %
- Implementar un sistema eléctrico o electrónico de arranque suave del motor.
- Se necesita estabilizar la máquina durante el proceso de rectificado colocando una bancada para montar las piezas a rectificar o contar con un sistema de anclaje temporal lo suficientemente rígido.
- El ajuste de la profundidad de corte debe ser de manera automática y a distancia, y a que para esta actividad requiere de un 35% del total del proceso, debido a que se tiene que estar parando la máquina para ajustar la salida del buril.
- El desplazamiento del carro longitudinal para la velocidad de avance como se observa en la figura 7, es manual y se hace a través del maneral y eso provoca que no se lleve una velocidad adecuada por lo que se debe implementar un nuevo sistema motriz ya sea a través de una derivación de la fuente de potencia o un nuevo motor.
- Se necesita calcular la fuerza de corte o desbaste de la pieza reparada, ya que la temperatura afecta la resistencia del material debido al proceso de soldadura SMAW que se utiliza para reponer el material perdido por el desgaste.
- Instalar un variador de frecuencia para regular la velocidad de salida del eje de acuerdo a las necesidades de las condiciones de operación que se presenten.

Las fortalezas del prototipo desarrollado, se distinguen por:

1. Una potencia del motor adecuada, ya que no opera de manera forzada al momento del proceso de rectificado.

2. Una rigidez de la estructura principal que soporta todas las cargas vivas y muertas de los elementos que componen al rectificador de housing.

3. Una funcionalidad de la máquina adecuada, sin perder de vista los detalles descritos con anterioridad.

4. Un sistema de seguridad tanto mecánico como eléctrico, ya que cuenta con guardas de seguridad para que el operador no se exponga al momento de operar el equipo.

## RESULTADOS

Una vez terminado el diseño de la máquina rectificadora de housing, y haber realizado las pruebas de funcionamiento, se describen los resultados obtenidos.

La capacidad de producción con el método rústico es de uno a dos días para terminar en su total el rectificado y el ensamblado de la pieza a rectificar, mientras que la proyección de capacidad con la máquina rectificadora de housing se calcula entre 4 a 5 horas. El proceso incluye la inserción nuevamente de la pieza rectificada, con la ventaja de que esta no necesita ser extraída en su totalidad, debido a la versatilidad de la máquina rectificadora. En términos económicos, si el operador decidiera cobrar lo mismo por el servicio que anteriormente le costaba realizar entre uno y dos días de trabajo, se puede decretar un ahorro del 60% en tiempo, reflejándose en ganancias económicas para el taller u operador.

Para obtener un desbaste óptimo de la pieza de acuerdo a las tablas de especificaciones de la herramienta de corte, con un material de trabajo de fundición gris y que el housing a rectificar sea de aproximadamente de tres pulgadas, se estima que su velocidad de corte adecuada debe ser de 76 rpm para tener un buen desbaste. Ahora pues, para obtener un acabado final con los mismos parámetros,

se necesita aumentar la velocidad de trabajo a 102 rpm, este valor garantiza un buen funcionamiento de la máquina, sin embargo a gran velocidad la vida útil del cortador disminuye, de acuerdo con las pruebas de funcionamiento a que ha experimentado la máquina rectificadora de housing.

La barra de corte tiene un diámetro de 44 mm lo que garantiza que puede operar sin problemas en la rectificación de un housing de 3 pulgadas y en adelante. Aun así, en el caso de existir un diámetro mayor; la máquina rectificadora de housing está diseñada, para intercambiar fácilmente la barra por una de menor diámetro, garantizando la funcionalidad en cualquier rango que se requiera. Esta versatilidad representa una gran aportación en el presente trabajo.

Por otra parte la transmisión de los cortadores se realiza con una banda en V, esta transmisión tiene una relación de reducción, ya que, el motor de 3 HP brinda 1750 rpm mientras que para un óptimo acabado se requiere de 76 rpm. Para lograrlo es necesario hacer una reducción con poleas y un motor reductor en una relación de 40 a 1, y así garantizar que la velocidad de trabajo es óptima para el material a rectificar.

## CONCLUSIÓN

El método implementado en el desarrollo de investigación, destaca la importancia de elaborar proyectos con procedimientos definidos e integrales para obtener resultados favorables en cuanto a soluciones viables y optimizadas. La implementación de técnicas formales como el análisis morfológico para el diseño, modelo KANO, metodología Datum y AMFE, han mostrado su correcta aplicación en el desarrollo del diseño conceptual de la máquina rectificadora de housing; asegurando el cumplimiento del objetivo del presente proyecto de investigación.

Por lo anterior se puede concluir que con

el uso de la metodología y herramientas de ingeniería industrial aplicadas, fue posible obtener una máquina capaz de realizar un adecuado proceso de rectificación del housing de una retroexcavadora comercial. Este hecho brinda a los empresarios del ramo de la construcción, alternativas viables para dar solución a uno de los problemas más comunes en su maquinaria y/o equipos de trabajo.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos al taller y refaccionaria Ramírez, en la localidad de Colatlán del municipio de Ixhuatlán de Madero, estado de Veracruz, por todas las facilidades otorgadas para realizar las pruebas de funcionamiento de la máquina rectificadora de housing.

Agradecemos también a la Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense por el apoyo económico para trasladar el prototipo hasta el taller anteriormente mencionado.



## REFERENCIAS

- [1] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2017) Consultado 06-04-2019 en <http://www.inegi.org.mx/temas/maquinarias>.
- [2] CATERPILLAR Inc. (2018) Equipos Usados. Recuperado el 08-04-2016 en: [https://www.cat.com/es\\_MX/products/used](https://www.cat.com/es_MX/products/used).
- [3] Trujillo Corona Noria. T. (2014). Tribología: la clave para la correcta lubricación. Recuperado 08-04-2019 en: <http://noria.mx/lublearn>, CAMIONES Y VEHICULOS PESADOS; Reparación y Mantenimiento; Transmisión, Chasis, Equipo eléctrico; Edición 2003; CULTURAL S.A.
- [4] Entrevista al trabajador Contreras declaro recientemente las principales razones de la falla del housing y el buje. H. Contreras, comunicación personal, 11 de abril 2019
- [5] CERVISIMAG 2014. Mandrinaje. Recuperado de: <https://cervisimag.com/es/b/blog>
- [6] Ing. Walter Ibañez. Costos y Tiempos en Carreteras” 1ra Edición 1992
- [7] J.A Gutierrez Bravo, I. Hernandez Arriaga y J.G. Cabrera Lazarini. Diseño Mecánico Ágil: Nueva propuesta metodológica enfocada a proyectos de desarrollo tecnológico. Ingeniería mecánica, tecnología y desarrollo. Vol. 6 Núm. 4 (2018)
- [8] C. A Córdoba Cely. y H. Bonilla Mora, Análisis morfológico: una propuesta metodológica para el diseño. Actas de diseño encuentro latinoamericano de diseño. Universidad de Palermo. ISSN: 1850-2032. (2017).
- [9] Suerwein, E. (1996). The Kano model: How to delight your customers. International Seminar on Production Economics, pp. 313-327.
- [10] J.A León Duarte. Metodología para la detección de requerimientos subjetivos en el diseño de producto, Tesis doctorado, Universidad de Cataluña, España. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10803/6840>. (2005).
- [11] M. J. French, Conceptual design, 3rd Edition, London: Springer, 1999.
- [12] D. McKenna, The Art of Scrum, Pennsylvania, US: CA Press, 2016.
- [13] «SCRUM.ORG,» [En línea]. Available: <https://www.scrum.org/resources/what-is-scrum>.