

Metodología para el diseño y construcción de una máquina para medición del desgaste abrasivo basado en la norma ASTM G-65

A methodological approach an the design and fabrication of an abrasive wear machine and construction according to ASTM-G65 standard

M.Sc. Enrique Esteban Niebles Núñez Ph. D (c), M.Sc. Franz Quesada T.,
M.Sc. Henry Santamaria D. **, Daimer José Méndez Muñoz*, Andrés Armando Ruiz Rodríguez*

** Profesor Tiempo Completo Programa de Ingeniería Mecánica

*Candidatos a Ingeniero Mecánico.

Universidad Autónoma del Caribe- Grupo de Investigación de Materiales, Procesos y Tecnologías de Fabricación -IMTEF.
enrique.niebles@uac.edu.co, daimermendez@hotmail.com, minacion@hotmail.com

RESUMEN

Este artículo trata sobre el diseño y construcción de una máquina para la medición del desgaste abrasivo basado en la norma ASTM G65 [1]. El diseño toma como consideración lo expuesto por la norma y es complementado con metodologías de diseño y desarrollo concurrente de producto. En el diseño conceptual se establece las especificaciones iniciales requeridas; para el diseño funcional se formulan las funciones que la máquina debe realizar para cada requerimiento, las alternativas de diseño son evaluadas por el método de criterios ponderados, permitiendo establecer la mejor alternativa de diseño conceptual y funcional. Por último en la fase de diseño de detalle se definen los materiales y el dimensionamiento de las piezas estableciendo un factor de seguridad en los elementos que ameriten, para la fabricación y puesta en funcionamiento de equipo se usan procesos de mecanizado y de soldadura.

Palabras Clave: Resistencia abrasiva, Norma ASTM G65, diseño y desarrollo concurrente de producto, especificaciones deseadas, especificaciones requeridas, criterios ponderados.

ABSTRACT

This article discusses the design and construction of a machine for measuring the abrasive wear based on the ASTM G65. The design takes as its consideration the norm and is complemented with design methodologies and concurrent product development. The design concept provides the specifications required, and for the functional design makes the functions that the machine must be made for each feature, these methods are evaluated by of weighted criteria, allowing to establish the best option for conceptual design and functional. In the detailed design phase defines the material and sizing of parts providing a safety factor in elements that warrant for the manufacture and operation of process equipment used for welding.

Key words: Abrasive wear, specifications, desired specifications, conceptual design, functional design, detailed design, concurrent engineering.

Introducción

La industria en los países desarrollados en su afán por mejorar los procesos y teniendo en cuenta los elementos que aportan a este fin, ha identificado el deterioro superficial de los materiales como un problema que reduce considerablemente la vida útil de los elementos de las máquina, por lo cual se ha propuesto combatir los diferentes tipos de desgaste que presentan sus ma-

teriales y herramientas de trabajo, interesándose particularmente en el desgaste producido por la fricción entre los materiales [2], conocido como desgaste por abrasión

La tendencia frente al desgaste que asumen el sector industrial de la región, es reemplazar piezas desgastadas por nuevas o reconstruir las existentes con recubrimientos superficiales [3], pero se ha presentando

que al momento de calificar los procedimientos para la aplicación del recubrimiento, no se cuenta con la posibilidad de ensayar el depósito aplicado, por lo que se toma como base únicamente lo especificado por catálogos del fabricante de los materiales de aporte o el conocimiento empírico, conllevando esto a una no conformidad en la calificación del procedimiento, lo cual puede tener consecuencias legales.

En el ámbito mundial, se encuentran varios equipos que han sido diseñados para la verificación de la resistencia al desgaste por abrasión, tomando para ello las solicitudes particulares de clientes para los cuales se diseña; estas solicitudes varían dependiendo de las características en las que se está presentando el desgaste de los materiales de dichos clientes [2-4], lo cual genera variaciones en los equipos, los ensayos y por ende en los resultados obtenidos del coeficiente de resistencia a la abrasión.

En respuesta a esta problemática, la norma ASTM G65 plantea una estandarización del proceso de diseño, construcción y utilización de un equipo conocido como Máquina para la medición del desgaste por abrasión, [5]; dicho diseño y construcción es complementado en este trabajo con metodologías de diseño y desarrollo concurrente de productos.

1. Metodología para el diseño de la máquina para la medición del desgaste abrasivo

La ingeniería concurrente, la cual es una filosofía orientada a integrar sistemáticamente y en forma simultánea el diseño de productos y procesos [6], es la guía en cada una de las fases que se han fijado en el diseño, como lo son el diseño conceptual y funcional y diseño de detalle; todo esto con el fin de que se tengan en cuenta los requerimientos, piezas, funciones, fabricación y todo lo que conlleve a un diseño muy acercado a la realidad y por ende poder en el momento de la construcción materializar las ideas que en este se proponen.

1.1. Diseño conceptual y funcional

En esta fase se establece claramente la necesidad que se está presentando; esta el diseño y construcción de una máquina para la medición del desgaste por abrasión basada en la norma ASTM G65; a partir de esta necesidad se dan las especificaciones requeridas y deseadas, propuestas por el cliente y el ingeniero diseñador [7]. Se entiende por especificación requerida, aquella sin la cual la máquina pierde su objetivo, y por deseada, toda aquella que sin ser estrictamente necesaria, mejoraría algunos aspectos de la máquina.

Para hacer la lista de las especificaciones de una forma concisa y no tan extensa se presenta la tabla 1, donde se muestra un bosquejo de solo dos de los conceptos de

la máquina en un formato diseñado por el Dr. Charles Riba en su libro "Ingeniería Concurrente" [6].

Tabla 1. Especificaciones para el diseño
C: Cliente; I: Ingeniero; R: Requerido; D: Deseado.

U. Autónoma del Caribe	Fecha de inicio: 10/07/2008	Producto: MÁQUINA PARA LA MEDICIÓN DEL DESGASTE POR ABRASIÓN	
Empresa de ingeniería:	Última revisión:		
ESPECIFICACIONES INICIALES			
CONCEPTO	C/I	R/D	DESCRIPCIÓN
FUNCIÓN	I	R	Reproducir en ambientes controlados el proceso de desgaste por abrasión que experimentan los materiales.
	I	D	Detenerse automáticamente al momento de cumplir con el tiempo o número de revoluciones previamente seleccionado.
OPERACIONES NECESARIAS	I	R	Generar micro surcados en la probeta de ensayo.
	I	R	Desplegar una lectura de las RPM a las que esta rotando la máquina.
	I	D	Al transcurrir el tiempo de la prueba activarse el temporizador para el apagado automático de la máquina.
PRECISIÓN	I	R	La primera inspección de precisión se hace con los materiales y en tiempos que propone la norma.

Ya establecidas las especificaciones iniciales y apoyándose en la metodología de diseño de Palh y Beitz, se pasa a definir la estructura funcional del producto para cumplir con las especificaciones dadas [8]. Una de las formas de sistematizar el proyecto es la caja negra de funciones mostrada en la figura 1, este sistema es esencialista por excelencia, de ahí la bondad que presenta al momento de enfocarnos o concentrarnos en lo antes dicho. [9-10]

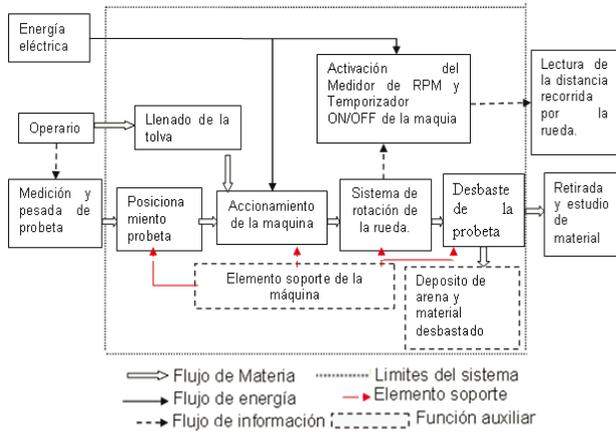
Figura 1. Caja negra de funciones. [11]



En la figura 1 se observa que el funcionamiento de la máquina inicia con el suministro de energía eléctrica y

la selección del número de revoluciones. Luego el material de ensayo, previamente medido y pesado entra al proceso de desbaste obteniéndose así un material con desgaste listo para medir, pesar y sacar conclusiones. Antes de la etapa de pesaje, durante el proceso de desbaste se obtiene una mezcla de la arena utilizada como abrasivo y pequeñas partículas del material de estudio. Así de manera abstracta queda explicado el funcionamiento de la máquina, para dar una mayor idea y entrar en detalles se observa la estructura funcional [11], en la figura 2 se explica en forma clara y concisa el funcionamiento de la máquina medidora del desgaste abrasivo.

Figura 2. Estructura funcional



El esquema mostrado en la figura 2 indica que el proceso se inicia con el cumplimiento de las funciones del operario, estas consisten en detectar las características importantes de la probeta para la prueba (dimensiones, masa, tipo de material y tipo de recubrimiento o tratamiento superficial), coloca la probeta en un porta espécimen y se asegura que fluya la cantidad de abrasivo recomendado (350 ± 50 gr. /min.).[5]

Luego se posiciona la probeta, teniendo en cuenta que esto conlleva a la colocación de las pesas en el brazo palanca y la alineación de la probeta con respecto al disco vulcanizado el cual comienza a dar sus giros controlado por un motor eléctrico, este motor a su vez estará siendo monitoreado por un sistema de sensores (parte electrónica) que miden las revoluciones por minuto y detienen la operación en el momento que se cumple con el tiempo de la prueba.

El proceso termina con la retirada y estudio del material ya desbastado y la lectura de la distancia lineal recorrida por el material, lo que ocasionó el desgaste. Ya establecidas las necesidades, funciones y secuencia de funciones, se utiliza la matriz morfológica; esto consiste en realizar una cuadrícula en la que la primera columna aparece con las funciones necesarias a cumplir y en la parte derecha de la cuadrícula se muestran las

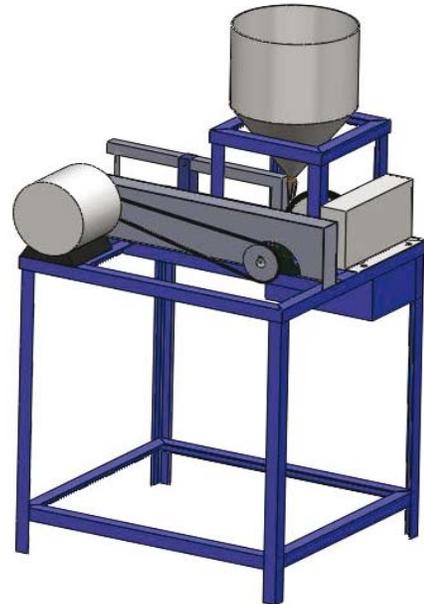
alternativas de solución con que se cuenta [12].

Tabla 2. Matriz Morfológica.

Función		Alternativas		
		1	2	3
Sistema de llenado (A)	Geometría de la tolva (A ₁)			
	Geometría del inyector (A ₂)			
Sistema de rotación de la rueda (B)	Fuerza motriz (B ₁)			
	Sistema de Transmisión (B ₂)			
Elemento soporte de la máquina (C)				
Colector de arena (D)			Sin colector	

De la matriz morfológica (tabla 2) se obtiene la tabla de alternativas en la tabla 3, cabe resaltar que solo se presentan una de las alternativas que se consideran.

Figura 3. Alternativa de diseño



La alternativa propuesta podría cumplir las especificaciones dadas por el cliente, el ingeniero diseñador y la Norma ASTM G65, pero para cuestiones de ser más rigurosos en el proceso de selección y de tener un diseño más acercado a la realidad es conveniente evaluar las alternativas con base a la evaluación cualitativa [12], bajo los siguientes criterios: Montaje, Desempeño, Mantenimiento, Accesibilidad de repuestos en el mercado local y costo, como se observa en al tabla 4.

Tabla 3. Criterios para evaluación cualitativa

No.	CRITERIO	CONCEPTO				
		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5
1	Montaje	7	7	8	7	8
2	Desempeño	8	8	8	8	8
3	Mantenimiento	7	8	8	8	8
4	Accesibilidad de repuesto y costo	8	5	5	5	5

Para un análisis más completo y una mejor elección entre las alternativas que se presentan, se toma como herramienta la matriz de criterios ponderados, la cual define los pesos de los criterios para la toma de decisión.

La comparación de criterios con sus valores ponderados definidos, versus las alternativas con su respectiva consideración en la concordancia del diseño se determina la mejor alternativa de diseño como se observa en la tabla 6.

Tabla 4. Selección de alternativas

Valor del criterio	Alternativa Criterio	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3		Alternativa 4		Alternativa 5	
		C	A	C	A	C	A	C	A	C	A
2.86	C1	7	0.20	7	0.20	8	0.23	7	0.20	8	0.23
5.03	C2	8	0.40	8	0.40	8	0.40	8	0.40	8	0.40
4.19	C3	7	0.29	8	0.33	8	0.33	8	0.33	8	0.33
4.70	C4	8	0.38	5	0.23	5	0.23	5	0.23	5	0.23
Calificación total		1.27		1.16		1.19		1.16		1.19	
		C: Calificación				A: Alternativa = (valor del criterio *C)/100					

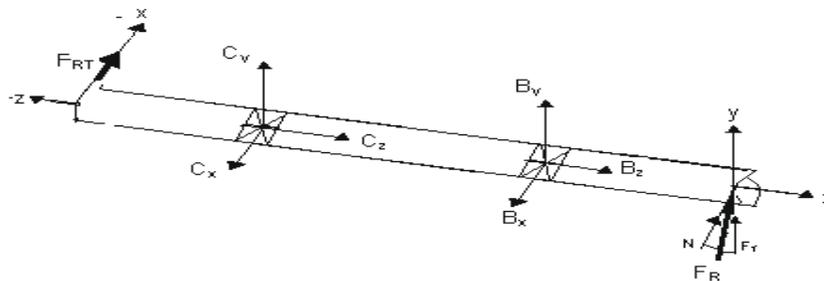
Con la utilización de la evaluación cualitativa se llega a la conclusión de que la alternativa 1 es la que más cerca está a cumplir estos criterios, por lo cual se toma esta alternativa como el diseño conceptual observado en la figura 2.

2. Diseño de Detalle

En el diseño de detalle se contemplan los criterios para establecer las dimensiones y características que deben tener las piezas que se están diseñando, de las diferentes piezas de la máquina se analizará el eje por ser la pieza de mayor aplicación del diseño de detalle.

Una flecha es un elemento rotatorio, por lo general, de sección transversal circular, que se emplea para transmitir potencia o movimiento [13], en la figura 4 se observa el diagrama de cuerpo libre del eje.

Figura 4. D.C.L del eje



Aplicando cálculos de resistencia de materiales, se obtienen los esfuerzos que se ejercen sobre el eje, se presenta una combinación [13].

$$\sigma'_a = 25,4MPa$$

Utilizando acero inoxidable 302 tipo mate se calcula la resistencia a la fatiga que presenta el material del eje con las dimensiones determinadas [13].

$$S_e = 196,2MPa$$

Con la resistencia a la fatiga y el esfuerzo combinado se determina el factor de seguridad del eje:

$$n = \frac{S_a}{\sigma_a}$$

$$n = 7,5$$

Este factor de seguridad indica que el acero inoxidable es una buena opción como material de fabricación.

3. Diseño para la manufactura y ensamble (DFMA)

El diseño para la manufactura y ensamble es una metodología, para un diseño óptimo, logrando ahorros de tiempo y materia prima [14], el DFMA se aplicó con el fin de simplificar las funciones del proceso, reduciendo el número de componentes y seleccionando de forma eficiente los materiales a utilizar [15]. Es de resaltar que aquí se considera las piezas de forma ya prefabricada.

El tiempo real de ensamble de la máquina se tomó por medio de cronómetros en segundos, para la determinación de la eficiencia y la complejidad del ensamble, como se observa en la tabla 7.

Tabla 7. Tiempo real de ensamble

Piezas	No de Piezas	Cantidad	Tiempo de manejo	Tiempo de inserción manual	Tiempo de operación	Piezas funcionales
Tolva	1	1	1	4	6	1
Cojinetes	2	2	4	10	10	1
Flecha	3	1	4	10	30	1
Rueda Metálica	4	1	2	5	20	1
Mesa Soporte	5	1	1	2	10	0
Poleas	6	2	1,4	26,84	27,24	1
Motor Eléctrico	7	1	5	30,6	30,6	1
Correa	8	1	6	30	30	1
Brazo Palanca	9	1	1,94	15,5	15,5	1
Pasador Pivote	10	1	1,94	2,4	28,74	1
Pernos	11	20	74,8	183	400	1
Cuñeros	12	1	1,56	2,6	12,34	1
Estructura soporte de la tolva	13	1	2,1	2	2	0
Guardas	14	2	4	15	15	0
				Total	637,58	11

Con el tiempo real de ensamble determinado se calcula la eficiencia de ensamble:

$$E = \frac{N_{min} * t_a}{t_m}$$

$$E = 0.78$$

Donde:

N_{min} : Número mínimo de piezas del ensamble, $N_{min}=14$
 t_a : Tiempo genérico de ensamble de una pieza, $t_a=35,54S$
 t_m : Tiempo estimado para el montaje real, $t_m=637,58S$

Con la eficiencia determinada se pasa a la fase de complejidad del ensamble

$$C_f = \sqrt[3]{N_p N_t N_i}$$

$$C_f = 17,53$$

Donde:

N_p : Número de partes, $N_p=14$
 N_t : Número de partes funcionales, $N_t=11$
 N_i : Número de interfaces, $N_i=35$

La eficiencia del ensamble es de 0,78 es bastante alta, la complejidad tiene un valor bastante elevado con 17,53, debido al diseño para la seguridad donde se le anexaron dos piezas.

4. Conclusiones

Con esta investigación se desarrolló una máquina medidora de desgaste bajo norma para obtener un óptimo desempeño, una fácil fabricación y ensamble y con alta seguridad. Todo esto para que los resultados de las pruebas a realizar tengan una fidelidad y exactitud como la norma ASTM G65.

La escogencia de la alternativa 1 valida la experiencia y los diseños de máquinas medidora de desgaste realizadas por otros investigadores, la cual coincide en muchos aspectos tanto estructurales como funcionales, y que muestra en la figura 2.

La determinación de la complejidad de la fabricación y ensamble es útil para determinar la viabilidad de la producción en serie de la máquina medidora de desgaste la cual es un equipo complementario en un laboratorio de resistencia de materiales y de metalografía.

5. Bibliográficas

[1] Universidad de Guadalajara, Máquina tribológica, División de Ingeniería Mecánica, EXPODIME – Febrero 2008.

[2] Vite M, Hurtado F, Nango J, Aguilar J., Diseño de la instrumentación asociada a una máquina tribológica para pruebas de desgaste abrasivo, Instituto Politécnico Nacional, México D.F. Documento obtenido de Internet del sitio: <http://proton.ucting.udg.mx/somi/memorias/electron/Ele-39.pdf>.

[3] Rodríguez C. Tratamientos superficiales contra el desgaste, Universidad de Oriente, Facultad de Ingeniería Mecánica, Grupo de Tribología.

[4] Microtest S.A., Equipo para ensayos de abrasión, Equipos para ensayos de materiales, Documento obtenido de Internet del sitio: <http://www.microtest-sa.com/lib/contenido.php?ID=tribometro>.

[5] Norma ASTM-G65. Disco metálico vulcanizado sobre arena seca.

[6] Mataix C., Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas segunda edición, ediciones del castillo S.A. 1986.

[7] GIRALDO Diego. Estudio del desgaste por deslizamiento en seco de algunos plásticos, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de ingenierías, Medellín. Guía del estudiante para experimentos, ¿Que es un microcontrolador?, versión en Castellano. Documento obtenido en Internet del sitio: http://www.parallax.com/dl/docs/books/edu/wamv1_1spanish.pdf.

[8] Pahl G, Beitz W. Engineering design, a systematic approach, Second edition. Springer-Vorlag, Berlin. 1995

[9] Amador E, Donado L., Diseño Funcional. Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Del Atlántico. Barranquilla – Atlántico. 2006.

[10] Álvarez V, Ramírez H. Diseño conceptual de una mesa de corte y mecanizado CNC como una solución integral para la empresa Servimet Ltda. Cuarta promoción de Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad del Norte- Barranquilla-Colombia.

[11] Aguayo F., Metodología del diseño industrial: un enfoque desde la ingeniería concurrente. Alfaomega. México. 2003.

[12] Hurtado C, Visbal R. Diseño conceptual, generación y evaluación de alternativa. Universidad del Atlántico.

[13] Shigley J, Mischke Ch. Diseño en ingeniería mecánica, Sexta edición. Mc Graw Hill. 2002

[14] Boothroyd G, Dewhurst P, Kingh W. Diseño de productos para la manufactura y ensamble. Marcel Dekker inc. 1994.

[15] Maury H, Niebles E, Torres J., Diseño para la manufactura y ensamble de productos soldados, un enfoque metodológico y tecnológico, ediciones Uninorte, Barranquilla, 2009.