

## **Diseño y manufactura de un equipo de desgaste acelerado según norma ASTM G-65 para aplicaciones de maquinaria agrícola.**



*Design and manufacture of a team of accelerated wear according to ASTM G-65 for applications of agricultural machinery.*

Víctor David Bravo Morocho.<sup>1</sup> Edison Marcelo Castillo Cárdenas.<sup>2</sup> Edgar Fabián Sánchez Carrión.<sup>3</sup> Edison Patricio Abarca Pérez.<sup>4</sup> Paul Alejandro Montufar Paz.<sup>5</sup> & Elvis Enrique Arguello.<sup>6</sup>

Recibido: 05-03-2017 / Revisado: 11-05-2017 Aceptado: 01-06-2018/ Publicado: 01-07-2018

### **Abstract.**

**DOI:** <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v2i3.143>

This work covers the design of a tribological machine for dry abrasion tests that complies with the parameters established by the ASTM G-65 standard. In such virtue the geometrical dimensions, speed of rotation of the abrasive disc, uniform flow of abrasive and hardness of the rubber coating of the disc, must be within the tolerances, these parameters are indispensable to fulfill the purpose of the norm. The work methodology consists of a deterministic analysis for the calculation and evaluation of the mechanical resistances, loads and stresses in order to determine the structural, physical and mechanical parameters that establish the design of the machine. Next, the construction materials were selected. And to validate the machine, its safety factor was obtained and the efforts and reactions were simulated according to the normal working conditions, characteristics of the materials and loads applied, using SolidWorks software. Finally, a machine was obtained with a square tube metal structure 38.1x3mm, an abrasive curtain of  $310 \pm 10$  g/min, a disk rotation of  $192 \pm 1$  rpm, and a hardness of the rubber coating of Shore A-60, prototype that meets the technical specifications of the standard.

<sup>1</sup> Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo, Ecuador, victor.bravo@esPOCH.edu.ec

<sup>2</sup> Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo, Ecuador, edison.castillo@esPOCH.edu.ec

<sup>3</sup> Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo, Ecuador, esanchez\_c@esPOCH.edu.ec

<sup>4</sup> Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo, Ecuador, edison.abarca@esPOCH.edu.ec

<sup>5</sup> Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo, Ecuador, paul.montufar@esPOCH.edu.ec

<sup>6</sup> Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo, Ecuador, earguello@esPOCH.edu.ec

**Keywords:** Wear, Machine, Standard, Tribology, Abrasion.

### **Resumen.**

Este trabajo abarca el diseño de una máquina tribológica para pruebas de abrasión seca que cumple con los parámetros establecidos por la norma ASTM G-65. En tal virtud las dimensiones geométricas, velocidad de rotación del disco abrasivo, caudal uniforme de abrasivo y dureza del recubrimiento de goma del disco, deben estar dentro de las tolerancias, estos parámetros son indispensables para cumplir con el propósito de la norma. La metodología de trabajo consiste en un análisis determinístico para el cálculo y evaluación de las resistencias mecánicas, cargas y esfuerzos a fin de determinar los parámetros estructurales, físicos y mecánicos que establecen el diseño de la máquina. Seguidamente, se seleccionó los materiales de construcción. Y para validar la maquina se obtuvo su factor seguridad y se simuló los esfuerzos y reacciones de acuerdo con las condiciones de trabajo normales, características de los materiales y cargas aplicadas, utilizando el software SolidWorks. Finalmente, se obtuvo una máquina de estructura metálica de tubo cuadrado de 38,1x3mm en su gran mayoría, cortina de abrasivo de  $310 \pm 10$  g/min, rotación del disco de  $192 \pm 1$  rpm, y dureza del recubrimiento de goma Shore A-60, prototipo que cumple con las especificaciones técnicas de la norma.

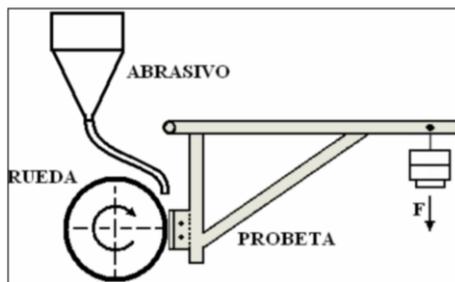
**Palabras Claves:** Desgaste, Maquina, Norma, Tribología, Abrasión.

### **Introducción.**

La tribología es la ciencia y tecnología que estudia la lubricación, la fricción y el desgaste de partes móviles o estacionarias, y ayuda a resolver problemas en maquinaria, equipos y procesos industriales tales como: motores eléctricos y de combustión, turbinas, compresores, extrusión, rolado, fundición, forja, procesos de corte, elementos de almacenamiento magnético y hasta prótesis articulares. El análisis del desgaste es importante porque junto con la fatiga y a la corrosión son los problemas que más fallas causan en las máquinas. De estos tres el menos estudiado ha sido el desgaste. La predicción del desgaste es difícil porque no es una propiedad intrínseca del material, sino que depende del tribosistema con el que interacciona el cuerpo que se desgasta.

La máquina bajo la norma ASTM G-65, es uno de los ensayos que se hacen a los materiales para conocer sus propiedades frente al desgaste. En el gráfico 1, se observa el esquema de una máquina de desgaste según norma ASTM G-65.

**Gráfico 1.** Esquema de la máquina de ensayos de abrasión según norma ASTM G-65.

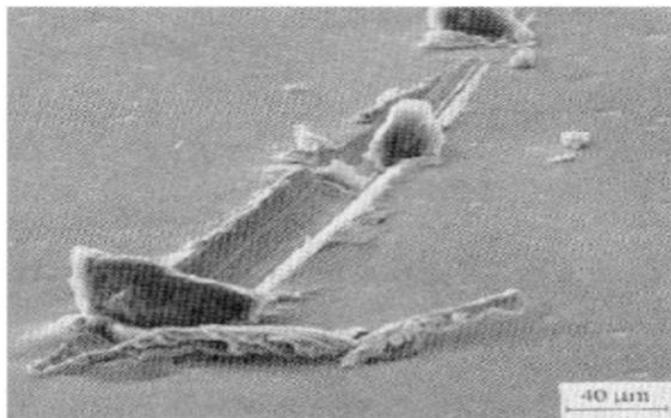


**Fuente:** Norma ASTM G-65.

El principio básico es hacer incidir un caudal de arena de sílice contra una probeta que es sometida a contacto con una rueda mientras esta gira. Los cálculos para el diseño del prototipo contemplan las indicaciones de la norma, y las fórmulas extraídas de libros de Diseño en ingeniería mecánica.

El desgaste por abrasión se da como la remoción del material de la superficie cuando permanecen atrapadas partículas duras entre las dos superficies en contacto que provocan el desprendimiento del material o la penetración en cualquiera de las superficies que tenga menor dureza, este desgaste puede darse en estado seco o húmedo como se puede ver en el gráfico 2, a continuación.

**Gráfico 2.** Superficie desgastada por abrasión.



**Fuente:** ASTM Internactional Handbook Committe, 1990.

### **Importancia del Problema.**

Las maquinas son las herramientas más fuertes creadas por los seres humanos, estas realizan trabajos que requieren de exactitud, fuerza, entre otras muchas características que el ser

humano sin su ayuda no lograría, el continuo avance requiere maquinas que tengan mejores cualidades en sus materiales, esto garantiza un mejor trabajo y una mayor durabilidad de las piezas que componen las maquinas, por esta razón, es necesario el conocimiento de las características mecánicas y las condiciones a las que van a estar sometidos los materiales.

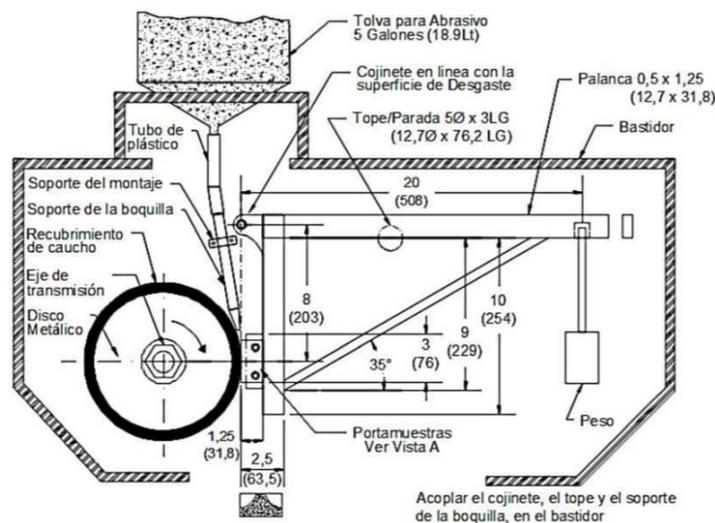
Uno de los grandes problemas que presentan las maquinas es el desgaste abrasivo, este factor se debe tener en cuenta para el diseño de una máquina, es decir, se debe conocer la resistencia a la fricción y al desgaste de los materiales a ser utilizados (tribología). Para una correcta selección de estos, se deben realizar ensayos, con lo que se pueden determinar los materiales óptimos a utilizar, y alargar la vida útil de los elementos de máquinas.

### Metodología.

Los diferentes materiales y métodos que se utilizó para diseñar y construir una máquina de desgaste acelerado se basan en la norma ASTM G-65, que permiten seguir un procedimiento estandarizado para adquirir resultados fiables y comparables con otras investigaciones relacionadas; se emplea un software de dibujo y simulación (SolidWorks), y equipos de laboratorio de materiales en general.

El diseño de la maquina está regida por la norma ASTM G-65, en cuanto a la arquitectura total sería difícil cambiar uno u otro componente ya que cada uno cumple una función específica en la máquina de desgaste, como se ve en el gráfico 3 a continuación.

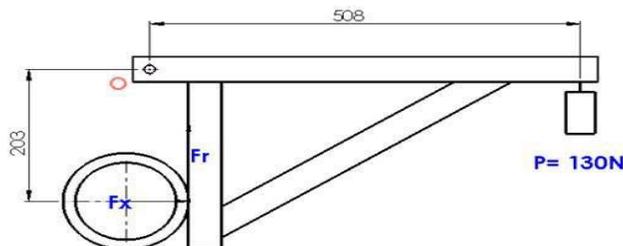
**Gráfico 3.** Esquema del equipo de abrasión según norma ASTM G-65.



**Fuente:** ASTM G-65.

La fuerza normal (FN), es la resultante de aplicar la carga P de 130N en el soporte de brazo de palanca del equipo como se puede ver a continuación en el gráfico 4 a continuación.

**Gráfico 4.** Soporte brazo palanca.



**Fuente:** Autores.

Por tanto:

$$\sum M_0 = 0 \quad \text{Ec. 1}$$

$$P(0,508\text{m}) - F_x (0.203\text{m}) = 0$$

$$F_x = (130\text{N} \cdot 0.503\text{m}) / 0.203\text{m} = 325\text{N}$$

La fuerza de rozamiento (FR), se opone al movimiento del disco giratorio y está dada por:

$$FR = \mu \cdot N \quad \text{Ec. 2}$$

Donde,  $\mu$  es el coeficiente de fricción entre la goma y el material de la probeta el cual es cercano al valor de 0,3 y N es la fuerza normal obtenida en el inciso anterior.

El valor del coeficiente de fricción entre caucho y acero se toma de la Tabla 1 a continuación:

**Tabla 1.** Coeficiente de fricción entre dos materiales.

Material de la banda de rodadura	Material base	Coefficiente de rozamiento
Acero forjado	Acero	0.019
Hierro fundido	Acero	0.021
Caucho duro	Acero	0.303
Poliuretano	Acero	0.03-0.057*
Nylon	Acero	0.027
Fenólicos	Acero	0.026
El poliuretano tiene un rango de valores de coeficientes dependiendo del material poli específico seleccionado		

**Fuente:** HAMILTON (2014).

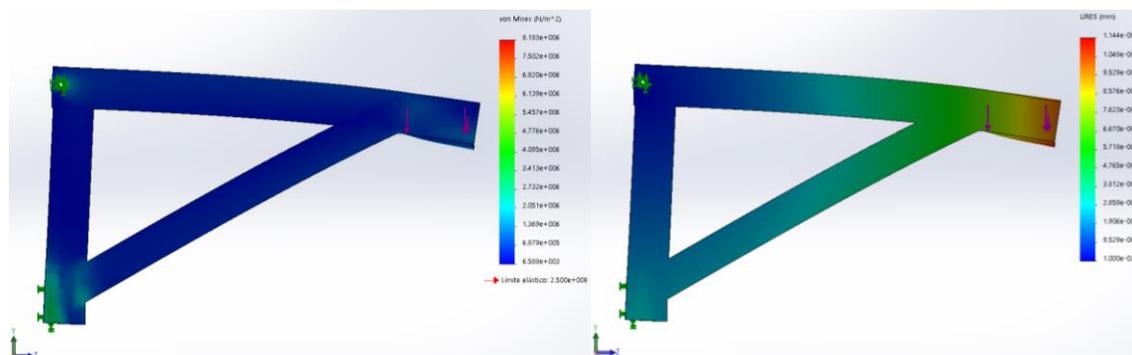
Por tanto:

$$FR = 0.3*(325 \text{ N})$$

$$FR = 97,5 \text{ N}$$

Siendo estos los valores principales para el diseño y cálculo de esfuerzos sobre la máquina y la probeta; los valores del peso del abrasivo y del moto-reductor se los obtuvo en una balanza siendo 490 y 147 N respectivamente.

**Gráfico 5.** Simulación de cargas sobre el brazo palanca.

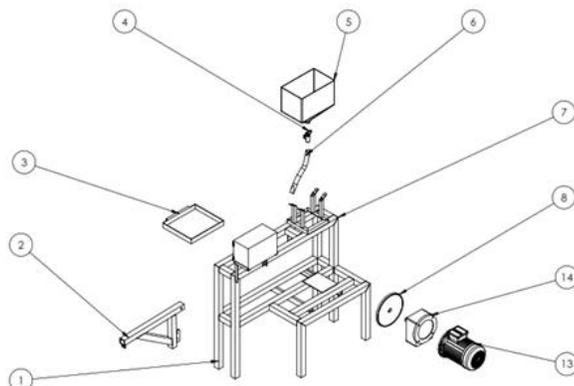


**Fuente:** Autores.

El esfuerzo de Von Mises resulta  $4,098 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  siendo muy inferior al límite elástico, la deformación máxima resulta  $1,144 \times 10^{-2} \text{ mm}$  y dando un factor de seguridad muy elevado (30).

Por tanto, la máquina de desgaste acelerado según norma se puede visualizar en la gráfica 6 a continuación.

Gráfico 6. Máquina de desgaste acelerado.

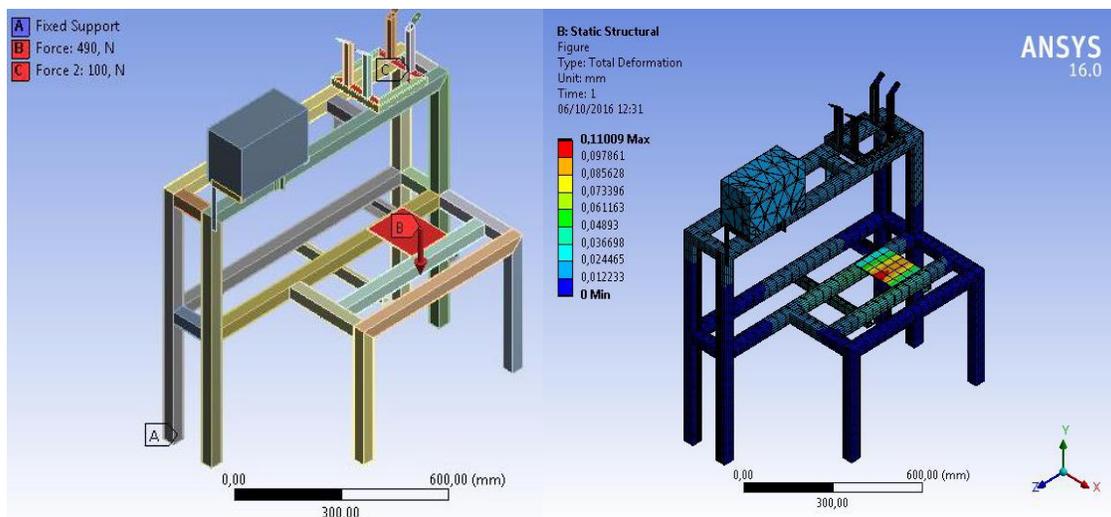


Fuente: Autores.

Siendo: 1 bastidor, 2 brazo palanca, 3 recolector de abrasivo, 4 llave de paso de abrasivo, 5 tolva, 6 boquilla de abrasivo, 7 soporte de tolva, 8 disco abrasivo, 13 motor de 1 Hp y 3600 rpm, 14 caja de reducción de  $i=18$ .

Seguidamente se diseñó la geometría de la estructura en un programa CAD, para insertar posteriormente las cargas y simular los esfuerzos de trabajo, siendo el perfil constructivo cuadrado de 2Plgx2mm de espesor. Se ingresan las cargas obtenidas, al pesar la tolva llena de abrasivo y del moto-reductor, siendo de 490N y 100N respectivamente como se observa en la gráfica 7 a continuación. El tipo de empotramiento es fijo con 0 grados de libertad.

Gráfico 7. Aplicación de cargas sobre el bastidor.



Fuente: Autores.

## Resultados.

Se ha construido una máquina de desgaste acelerado empleando la norma ASTM G-65 como se visualiza en la gráfica 8 a continuación, con las siguientes características:

- Cortina de abrasivo uniforme y constante con un caudal de  $310 \pm 10$  g/min.
- El disco de abrasión gira a 192 rpm estando dentro del rango permisible ( $200 \pm 10$  rpm)
- El diámetro del disco de abrasión es de 9 pulgadas acorde a la norma.
- La dureza del recubrimiento de caucho del disco de abrasión es Shore A-60, estando dentro del rango permisible por la norma.
- El abrasivo debe ser secado a  $100^{\circ}$  C por una hora en un horno y tamizada según ensayo AFS50, con una abertura de malla de 0.297 mm.

**Gráfico 8.** Maquina terminada.



**Fuente:** Autores.

Los elementos constituyentes están recubiertos con una antioxidante azul, la tolva no requiere un recubrimiento ya que está elaborada con láminas de metal inoxidable, es necesario un recolector de abrasivo debajo del disco de abrasión.

### Discusión.

Al tener un factor de seguridad alto, producto de la simulación en el software se puede decir que la maquina no perderá su integridad estructural con el trabajo contino por un periodo muy prolongado, es necesario mantener la maquina en un ambiente de trabajo adecuado para que la oxidación no ataque los elementos constituyentes, sin embargo, se debe realizar un mantenimiento de dichas partes cada seis meses.

El caudal de abrasivo, revoluciones del disco abrasivo, dureza del recubrimiento de goma, etc., están dentro del rango permisible en la norma, para tener un mejor entendimiento se detalla a continuación en la tabla 2.

**Tabla 2.** Comparación de variables a medir.

VARIABLES	VALORES	
	ASTM G-65	Obtenidos
Velocidad del disco abrasivo	200 ± 10 rpm	192 rpm
Dureza del recubrimiento de goma	58 a 62 Shore A	60,2 Shore A
Diámetro del recubrimiento de goma	9'' concentricidad ≤ 0,002	9'' concentricidad ≤ 0,001
Humedad del abrasivo	≤0,50%	≤0,40%
Tamaño de grano del abrasivo AFS 50/70	Tamiz 50: 5% máx. Tamiz 70: 95% min.	Tamiz 50: 4% máx. Tamiz 70: 96% min.
Caudal de abrasivo	250 – 350 g/min	310 g/min
Fuerza ejercida sobre la probeta	130 N 45 N	130 N 45 N
NOTA: Los valores pueden variar con las condiciones ambientales y altura sobre el nivel del mar.		

**Fuente:** Autores.

Los resultados en este trabajo concuerdan con investigaciones similares pudiendo validar la maquina al comparar con el artículo denominado: GUTIERRE W., OLAYA J., TORRES M., *Construcción de un equipo para desgaste abrasivo según norma ASTM G-65. Scientia et Technica Año XX, Vol. 20, No. 3, Septiembre de 2015.* Se ha comparado los resultados pudiendo encontrar lo siguiente:

**Tabla 3.** Comparación de variables a medir con la norma y trabajos similares.

VARIABLES	VALORES		
	ASTM G-65	Obtenidos	ARTICULO
Velocidad del disco abrasivo	200 ± 10 rpm	192 rpm	202 rpm
Dureza del recubrimiento de goma	58 a 62 Shore A	60 Shore A	60,25 Shore A
Diámetro del recubrimiento de goma	9'' concetricidad ≤ 0,002	9'' concetricidad ≤ 0,001	9'' concetricidad ≤ 0,001
Humedad del abrasivo	≤0,50%	≤0,40%	≤0,22%
Tamaño de grano del abrasivo AFS 50/70	Tamiz 50: 5% máx. Tamiz 70: 95% min.	Tamiz 50: 4% máx. Tamiz 70: 96% min.	Tamiz 50: 3% máx. Tamiz 70: 97% min.
Caudal de abrasivo	250 – 350 g/min	310 g/min	304,1 g/min
Fuerza ejercida sobre la probeta	130 N 45 N	130 N 45 N	130 N 45 N
NOTA: Los valores pueden variar con las condiciones ambientales, humedad del abrasivo y altura sobre el nivel del mar.			

**Fuente:** Autores.

Los resultados son análogos en magnitud y unidad, entre los valores de la norma ASTM G-65 y otros trabajos realizados con los mismos objetivos, por tal razón se puede emplear la maquina construida en otras investigaciones donde se requiera el uso de este equipo, siempre considerando un error relativo intrínseco en las máquinas de desgaste acelerado.

### Conclusiones.

- El equipo construido según la Norma ASTM G-65 cumple con todos los parámetros estandarizados que abraza dicha norma, y tiene las siguientes características: flujo de abrasivo es 310±10 g/min, la velocidad de rotación del disco abrasivo es 192 rpm, y la dureza del recubrimiento de caucho del disco de abrasión es Shore A60.
- Los resultados obtenidos en la máquina de abrasión pueden variar de 3 a 5%, dependiendo de la humedad del abrasivo y la temperatura del recubrimiento de goma del disco.
- Después de cada ensayo en la maquina se debe parar por al menos 5 minutos para que el recubrimiento de goma sobre el disco abrasivo se enfríe y no tener resultados errados.

### Referencias bibliográficas.

NORMA TÉCNICA ASTM G-65/00. Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus, American Society for Testing and Materials, 2000.

GUTIERRE W., OLAYA J., TORRES M., Construcción de un equipo para desgaste abrasivo según norma ASTM G-65. Scientia et Technica Año XX, Vol. 20, No. 3, septiembre de 2015.

MARULANDA J., ZAPATA A., ESTRADA C., Construcción de una máquina para ensayo en desgaste abrasivo; según norma técnica ASTM G-65. Scientia et Technica Año XV, No 41, Mayo de 2009

BHUSHAN B. (2001). Modern Tribology Handbook , Principles of tribology . Ohio: CRC Press

TORO A., MESA D., GUTIÉRREZ J. Evaluación de la resistencia al desgaste abrasivo en recubrimientos duros para aplicaciones en la industria minera. Revista Scientia et Technica, N°.25. agosto 2004.

FAIRES, VIRGIL MORING. Diseño de elementos de máquinas. 4ta edición. Argentina: Pomaire 1960.

RABINOWICZ, E. Friction and wear of materials, John Wiley, USA:1995

HAMILTON. (2014). Rolling resistance and industrial wheels. Obtenido de: <http://www.hamiltoncaster.com/Portals/0/blog/White%20Paper%20Rolling%20Resistance.pdf>

HUTCHINGS I. M. "Tribology Friction and wear of Engineering materials. Ed Edward Arnold. Obtenido de: <http://www.ingenierosdelubricacion.com/articulo.htm>

**Para citar el artículo indexado.**

Bravo v., Castillo E., Sánchez E., Abarca E., Montufar P. & Arguello E. . (2018). Diseño y manufactura de un equipo de desgaste acelerado según norma ASTM g-65 para aplicaciones de maquinaria agrícola. *Revista electrónica Ciencia Digital* 2(3), 148-159. Recuperado desde: <http://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/CienciaDigital/article/view/143/128>



El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Ciencia Digital**.

El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Ciencia Digital**.

