



*Modelación matemática y simulación computacional para el diseño de un mecanismo agitador de pintura*

*Mathematical modeling and computational simulation for the design of a paint agitator mechanism*

*Modelagem matemática e simulação computacional para o projeto de um mecanismo agitador de tinta*

Miguel Ángel Escobar Guachambala <sup>I</sup>  
[maescobar@esPOCH.edu.ec](mailto:maescobar@esPOCH.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-9683-1479>

Jorge Sebastián Buñay Guaman <sup>II</sup>  
[jorge.bunay@esPOCH.edu.ec](mailto:jorge.bunay@esPOCH.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-8003-3619>

Edwin Rodolfo Pozo Safla <sup>III</sup>  
[edwin.pozo@esPOCH.edu.ec](mailto:edwin.pozo@esPOCH.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-8931-3577>

Sócrates Miguel Aquino Arroba <sup>IV</sup>  
[saquino@esPOCH.edu.ec](mailto:saquino@esPOCH.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-6393-9408>

**Correspondencia:** [maescobar@esPOCH.edu.ec](mailto:maescobar@esPOCH.edu.ec)

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
Artículo de Investigación

\* **Recibido:** 23 de marzo de 2022 \* **Aceptado:** 12 de junio de 2022 \* **Publicado:** 26 de julio de 2022

- I. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH, Facultad de Mecánica, Riobamba, Ecuador.
- II. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH, Facultad de Mecánica, Riobamba, Ecuador.
- III. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH, Facultad de Mecánica, Riobamba, Ecuador.
- IV. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH, Facultad de Mecánica, Riobamba, Ecuador.



## Resumen

En el presente trabajo investigativo se planteó el análisis dinámico de un agitador de pintura, para ello se realizó un estudio del estado del arte previo para su posible realización. Los pasos fueron el desarrollar la ingeniería que envuelve el desarrollo de este tipo de productos, después la adecuada selección de componentes así como el dimensionamiento de cada uno de los elementos constitutivos del agitador. Después se procedió a la verificación de las ecuaciones que nos permiten encontrar posiciones, velocidades, aceleraciones y torques. Y todas estas debidamente relacionadas con el tiempo según los ciclos que se deben realizar para garantizar la adecuada mezcla de la pintura. Para lograr esto, con las ecuaciones previamente establecidas se hizo la respectiva simulación en el Matlab, para ello se ocupan diferentes comandos como la resolución a través del método numérico de Newton Raphson, que nos permite derivar de una manera cíclica las expresiones que traducen el movimiento. Cuando ya se obtuvieron las diferentes gráficas se procedió a representar el mecanismo del agitador en un programa CAD como Solidworks, obteniendo un esquema dinámico del agitador, posteriormente para validar lo anteriormente encontrado se procedió a la simulación del prototipo en ANSYS, lo que nos permitió encontrar las curvas y el comportamiento del sistema. Finalmente se pudo concluir que la curva de torque está estrechamente ligada a las cargas y la etapa del ciclo de trabajo en que se encuentre, obteniendo así los máximos y mínimos críticos para el diseño.

**Palabras Clave:** Torque; velocidad; aceleración; posición; jacobiano; resistencia; diseño.

## Abstract

In the present investigative work, the dynamic analysis of a paint agitator was proposed, for which a study of the previous state of the art was carried out for its possible realization. The steps were to develop the engineering that involves the development of this type of product, then the appropriate selection of components as well as the dimensioning of each of the constituent elements of the agitator. Then we proceeded to verify the equations that allow us to find positions, velocities, accelerations and torques. And all these duly related to time according to the cycles that must be carried out to guarantee the adequate mixing of the paint. To achieve this, with the previously established equations, the respective simulation was made in Matlab, for which different commands are used, such as resolution through the Newton Raphson numerical method, which

allows us to derive from a cyclical manner the expressions that translate the movement . When the different graphs were obtained, the agitator mechanism was represented in a CAD program such as Solidworks, obtaining a dynamic diagram of the agitator, later to validate what was previously found, the prototype was simulated in ANSYS, which allowed us to find the curves and the behavior of the system. Finally, it was possible to conclude that the torque curve is closely linked to the loads and the stage of the work cycle in which it is found, thus obtaining the critical maximums and minimums for the design.

**Keywords:** torque; speed; acceleration; position; Jacobian; endurance; design.

## Resumo

No presente trabalho investigativo, foi proposta a análise dinâmica de um agitador de tinta, para o qual foi realizado um estudo do estado da arte anterior para sua possível realização. As etapas foram desenvolver a engenharia que envolve o desenvolvimento desse tipo de produto, em seguida a seleção adequada dos componentes, bem como o dimensionamento de cada um dos elementos constituintes do agitador. Em seguida, procedemos à verificação das equações que nos permitem encontrar posições, velocidades, acelerações e torques. E tudo isso devidamente relacionado ao tempo de acordo com os ciclos que devem ser realizados para garantir a mistura adequada da tinta. Para tal, com as equações previamente estabelecidas, foi feita a respectiva simulação em Matlab, para a qual são utilizados diferentes comandos, como a resolução através do método numérico de Newton Raphson, que permite derivar de forma cíclica as expressões que traduzem o movimento . Quando os diferentes gráficos foram obtidos, o mecanismo do agitador foi representado em um programa CAD como Solidworks, obtendo um diagrama dinâmico do agitador, posteriormente para validar o que foi encontrado anteriormente, o protótipo foi simulado no ANSYS, o que nos permitiu encontrar as curvas e o comportamento do sistema. Por fim, foi possível concluir que a curva de torque está intimamente ligada às cargas e à etapa do ciclo de trabalho em que se encontra, obtendo assim os máximos e mínimos críticos para o projeto.

**Palavras-chave:** torque; Rapidez; aceleração; posição; jacobiano; resistência; Projeto.

## Introducción

La utilización de agitadores de pintura en la actualidad es relativamente amplia, pero el problema radica en su costo, debido a que existe gran cantidad de distribuidores de estos productos con correderas deslizables, lo que complica el análisis tal como lo demuestra en su estudio (Khemili Imed, 2007), la tecnificación de estos dispositivos a permitido que los precios se disparen, incluso con nuevos materiales en juntas (Rong-FongFung, 1995), creando así una necesidad de desarrollar nuevos dispositivos que sean más económicos que los ya tecnificados, por esta razón el presente proyecto investigativo busca desarrollar y buscar un mecanismo que garantice la correcta mezcla de la pintura, así como que sea económico para su producción en masa por medio de análisis de elementos finitos propuestos como en (BenJonker, 2003), así como análisis dinámicos por medio de softwares de diseño como los utilizados en (Jih - Lian Ha, 2005). Los agitadores de pintura se usan con mucha frecuencia en la pequeña industria ecuatoriana, exactamente en pequeños locales de ventas de pintura. Existen varios tipos de agitadores, que por lo general se usan, van desde ya automatizados hasta los de varios tipos de mecanismo para cumplir con su función, en algunos casos dependiendo del tipo e agitador generan ruidos y vibraciones muy altas, debido al movimiento que generan para mezclar la pintura.

Los agitadores de pintura en la actualidad que más se utiliza son los de movimiento vertical, orbital y una combinación de ambos, esto depende del tipo de fluido a agitar ya que pueden existir materiales más pesados que la pintura donde necesita un mayor torque.

Estos mecanismos van desde los más automatizados y costosos, hasta los realizados mediante un diseño básico de un mecanismo de 4 barras como se realizará en este proyecto, con el objetivo de cumplir los requerimientos para dicha aplicación.

## **Materiales y Métodos**

Primero debemos tener en cuenta para que el mecanismo de 4 barras funcione debe cumplir con la teoría de Grashof que es la que vemos a continuación en la Fig.3. Dicha teoría nos sirve para dimensionar el mecanismo, para poder elegir las medidas que mejor se acoplen a nuestro requerimiento se lo dibujo en AutoCAD y se lo simulo en working model como vemos en la Fig.4, en donde podemos observar su trayectoria, para lo cual se dio algunas medidas antes de llegar a la medida adecuada, dichas medidas lo podemos observar en la Fig.5, donde todas sus medidas están en milímetros, el material a usar será acero A-36, para ver sus dimensiones en detalle se encuentran los planos en la parte de anexos.

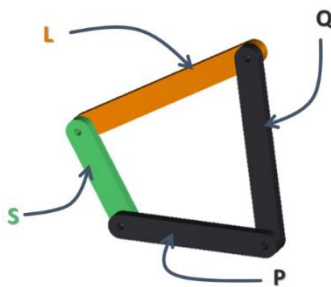


Fig 1. Teoría de Grashof.

Dimensionamiento del mecanismo.

A. Análisis cinemático

Para el cálculo de las velocidades, aceleraciones, reacciones y torque lo realizamos a través del MATLAB, para ello primero debemos realizar un análisis de posición lo cual lo vamos hacer por el método vectorial, las ecuaciones se describen a continuación.

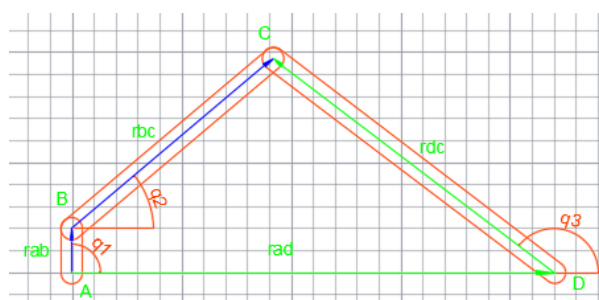


Fig 2. Diagrama vectorial de eslabones.

$$r_{ab} + r_{bc} = r_{ac} + r_{dc}$$

(Ec1)

$$ad * \cos(0) + dc * \cos(q3)$$

$$ab * \cos(q1) + bc * \cos(q2) =$$

(Ec2)

$$ad * \sin(0) + dc * \sin(q3)$$

$$ab * \sin(q1) + bc * \sin(q2) =$$

(Ec3)

B. Ecuaciones de posición.

$$-ad - dc * \cos(q3) = 0$$

$$ab * \cos(q1) + bc * \cos(q2)$$

(Ec4)

$$ab * \sin(q1) + bc * \sin(q2) - dc * \sin(q3) = 0$$

(Ec5)

C. Ecuaciones de velocidad al derivar la posición.

$$-ab * \sin(q1) * q1p - bc * \sin(q2) * q2p - 0 + dc * \sin(q3) * q3p = f1p \quad (\text{Ec6})$$

$$ab * \cos(q1) * q1p + bc * \cos(q2) * q2p - dc * \cos(q3) * q3p = f2p \quad (\text{Ec7})$$

D. Jacobiano

$$\begin{bmatrix} -bc * \sin(q2) & dc * \sin(q3) \\ bc * \cos(q2) & -dc * \cos(q3) \end{bmatrix} \begin{matrix} q2p \\ q3p \end{matrix} = \begin{matrix} ab * \sin(q1) * q1p \\ -ab * \cos(q1) * q1p \end{matrix} \quad (\text{Ec8})$$

E. Ecuaciones de aceleraciones.

$$-ab * \cos(q1) * q1p^2 - ab * \sin(q1) * q1pp - bc * \cos(q2) * q2p^2 - bc * \sin(q2) * q2pp + dc * \cos(q3) * q3p^2 + dc * \sin(q3) * q3pp = f1pp \quad (\text{Ec9})$$

$$-ab * \sin(q1) * q1p^2 + ab * \cos(q1) * q1pp - bc * \sin(q2) * q2p^2 + bc * \cos(q2) * q2pp + dc * \sin(q3) * q3p^2 - dc * \cos(q3) * q3pp = f2pp \quad (\text{Ec10})$$

F. Matriz global

$$\begin{bmatrix} -bc * \sin(q2) & dc * \sin(q3) \\ bc * \cos(q2) & -dc * \cos(q3) \end{bmatrix} \begin{matrix} q2pp \\ q3pp \end{matrix} = \begin{pmatrix} ab * \cos(q1) * q1p^2 + ab * \sin(q1) * q1pp & \dots & \dots \\ ab * \sin(q1) * q1p^2 - ab * \cos(q1) * q1pp & \dots & \dots \end{pmatrix} \begin{pmatrix} bc * \cos(q2) * q2p^2 - dc * \cos(q3) * q3p^2 \\ \dots \\ bc * \sin(q2) * q2p^2 - dc * \sin(q3) * q3p^2 \end{pmatrix} \quad (\text{Ec11})$$

Análisis dinámico

G. Fuerzas por secciones

Se escriben las siguientes ecuaciones del centro de gravedad de cada eslabón. Tramo A-B. Posición del centro de gravedad, la podemos observar en la figura.

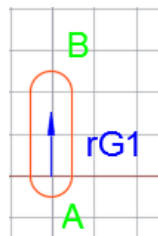


Fig 3. Centros de gravedad

$$r_{G_1} = \begin{bmatrix} r_{G_1} * \cos(q_1) \\ r_{G_1} * \sin(q_1) \end{bmatrix} \quad (\text{Ec12})$$

H. Velocidad del centro de gravedad.

$$r_{G_1p} = \begin{bmatrix} -r_{G_1} * \sin(q_1) * q_{1p} \\ r_{G_1} * \cos(q_1) * q_{1p} \end{bmatrix} \quad (\text{Ec13})$$

I. Aceleración del centro de gravedad.

$$= \begin{bmatrix} -r_{G_1} * \cos(q_1) * q_{1p}^2 - r_{G_1} * \sin(q_1) * q_{1pp} \\ -r_{G_1} * \sin(q_1) * q_{1p}^2 + r_{G_1} * \cos(q_1) * q_{1pp} \end{bmatrix} \quad (\text{Ec14})$$

$$a_{G_1} = r_{G_1pp} \quad (\text{Ec15})$$

J. Tramo B-C

Posición del centro de gravedad.

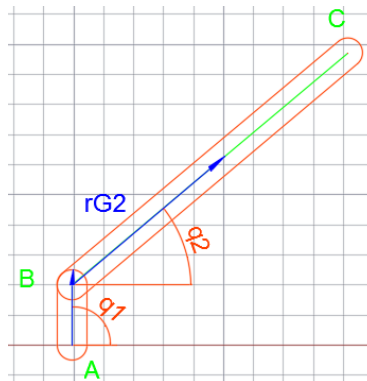


Fig 4. Centro de gravedad Rg2

$$r_{G_2} = \begin{bmatrix} ab * \cos(q_1) + r_{G_2} * \cos(q_2) \\ ab * \sin(q_1) + r_{G_2} * \sin(q_2) \end{bmatrix} \quad (\text{Ec16})$$

K. Velocidad en el centro de gravedad

$$r_{G_2p} = \begin{bmatrix} -ab * \sin(q_1) * q_{1p} - r_{G_2} * \sin(q_2) * q_{2p} \\ ab * \cos(q_1) * q_{1p} + r_{G_2} * \cos(q_2) * q_{2p} \end{bmatrix} \quad (\text{Ec17})$$

L. Aceleración del centro de gravedad

$$r_{G_2pp}$$

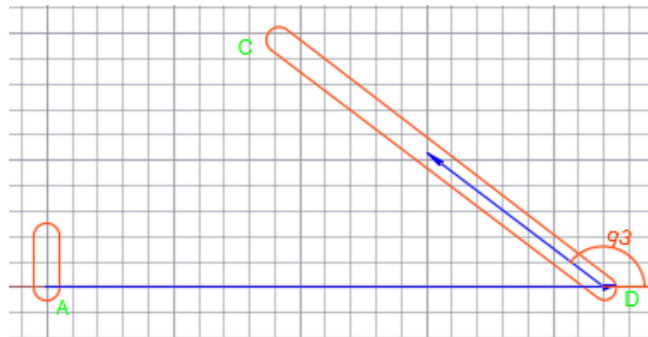


$$= \begin{bmatrix} -ab * \cos(q1) * q1p^2 - ab * \sin(q1) * q1pp & \dots \\ -ab * \sin(q1) * q1p^2 + ab * \cos(q1) * q1pp & \dots \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -rG_2 * \cos(q2) * q2p^2 - rG_2 * \sin(q2) * q2pp \\ -rG_2 * \sin(q2) * q2p^2 + rG_2 * \cos(q2) * q2pp \end{bmatrix} \quad (\text{Ec18})$$

$$aG_2 = rG_2pp \quad (\text{Ec19})$$

#### L. Posición en el centro de gravedad de C-D



**Fig 5.** Centros de gravedad rG3

$$rG_3 = \begin{bmatrix} ad + rG_3 * \cos(q3) \\ rG_3 * \sin(q3) \end{bmatrix} \quad (\text{Ec20})$$

$$rG_3 = \begin{bmatrix} ad * \cos(0) + rG_3 * \cos(q3) \\ ad * \sin(0) + rG_3 * \sin(q3) \end{bmatrix}$$

#### M. Velocidad del centro de gravedad

$$rG_3p = \begin{bmatrix} 0 - rG_3 * \sin(q3) * q3p \\ rG_3 * \cos(q3) * q3p \end{bmatrix} \quad (\text{Ec21})$$

#### N. Aceleración en el centro de gravedad

$$rG_3pp = \begin{bmatrix} -rG_3 * \cos(q3) * q3p^2 - rG_3 * \sin(q3) * q3pp \\ -rG_3 * \sin(q3) * q3p^2 + rG_3 * \cos(q3) * q3pp \end{bmatrix}$$

(Ec22)

$$aG_3 = rG_3pp \quad (\text{Ec23})$$

#### O. Diagramas de cuerpo libre.

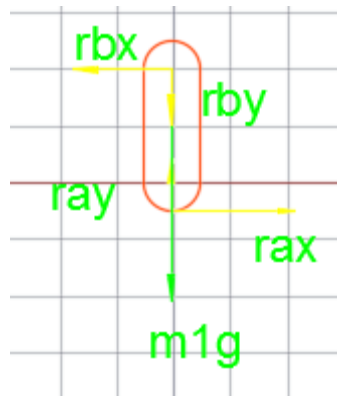


Fig 6. Diagrama de cuerpo libre

$$\Sigma F = ma \quad (\text{Ec24})$$

$$\begin{bmatrix} r_{ax} \\ r_{ay} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -m1g \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -r_{bx} \\ -r_{by} \end{bmatrix} = m1 * [a_{G1}]$$

$$r_{ax} - r_{bx} = m1(-r_{G1} * \cos(q1) * q1p^2 - r_{G1} * \sin(q1) * q1pp)$$

(Ec25)

$$r_{ay} - r_{by} = m1(-r_{G1} * \sin(q1) * q1p^2 + r_{G1} * \cos(q1) * q1pp) + m1g$$

(Ec26)

Tramo B-C

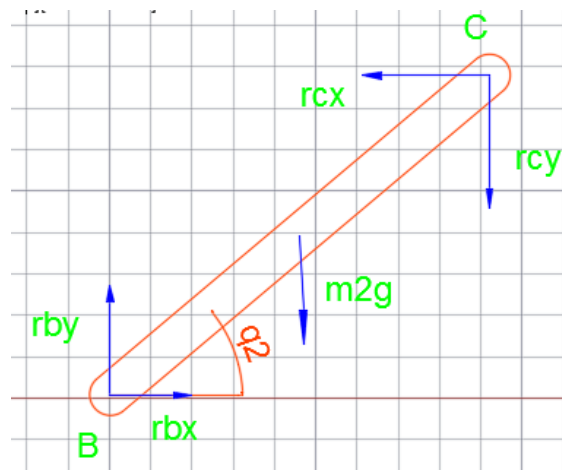


Fig 7. Diagrama de cuerpo libre.

$$\Sigma F = ma \quad (\text{Ec27})$$

$$\begin{bmatrix} r_{bx} \\ r_{by} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -m2g \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -r_{cx} \\ -r_{cy} \end{bmatrix} = m2 * [a_{G2}] \quad (\text{Ec28})$$

$$r_{bx} - r_{cx} = m2(-ab * \cos(q1) * q1p^2 - ab * \sin(q1) * q1pp - r_{G2} * \cos(q2) * q2p^2 - r_{G2} * \sin(q2) * q2pp)$$

(Ec29)

$$r_{by} - r_{cy} = m2(-ab * \sin(q1) * q1p^2 + ab * \cos(q1) * q1pp - rG_2 * \sin(q2) * q2p^2 + rG_2 * \cos(q2) * q2pp) + m_2g$$

(Ec30)

Tramo C-D

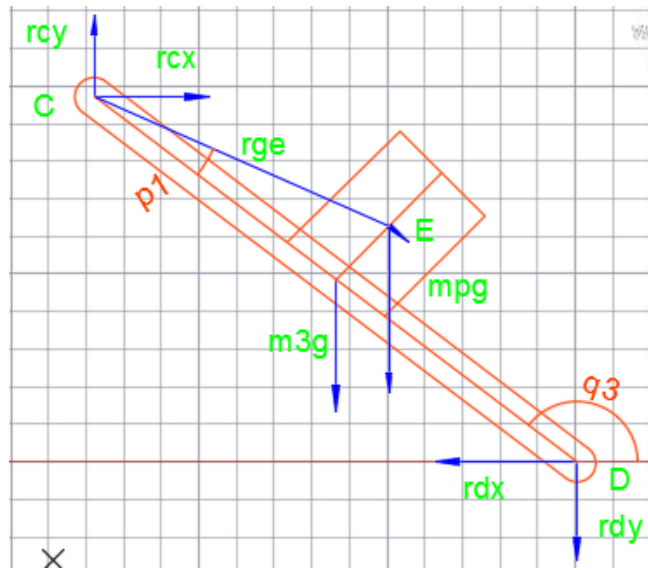


Fig 8. Diagrama de cuerpo libre.

$$\sum F = ma$$

$$\begin{bmatrix} r_{cx} \\ r_{cy} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -m_3g \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -r_{dx} \\ -r_{dy} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -m_p g \end{bmatrix} = m_3 * [aG_3] \quad (Ec31)$$

$$r_{cx} - r_{dx} = m_3(-rG_3 * \cos(q_3) * q_3p^2 - rG_3 * \sin(q_3) * q_3pp)$$

(Ec32)

$$r_{cy} - r_{dy} = m_3(-rG_3 * \sin(q_3) * q_3p^2 + rG_3 * \cos(q_3) * q_3pp) + m_3g + m_p g \quad (Ec33)$$

O. Cálculo de momentos

Tramo A - B

$$\sum M_A = I * \alpha \quad (Ec34)$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ M_A \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} rG_1 * \cos(q1) \\ rG_1 * \sin(q1) \\ 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 \\ -m_1g \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} ab * \cos(q1) \\ ab * \sin(q1) \\ 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} -r_{bx} \\ -r_{by} \\ 0 \end{bmatrix} = I_1 * q1pp \quad (Ec35)$$

Quedando la ecuación de la siguiente manera.

$$MA - ab * rby * \cos(q1) + ab * rbx * \sin(q1) - g * m1 * rg1 * \cos(q1) = I_1 * q1pp \quad (\text{Ec36})$$

Donde q1pp es cero porque la velocidad es constante.

Tramo B – C.

$$\sum M_B = I * \alpha$$

$$\begin{bmatrix} rG_2 * \cos(q2) \\ rG_2 * \sin(q2) \\ 0 \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} 0 \\ -m_2g \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} bc * \cos(q2) \\ bc * \sin(q2) \\ 0 \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} -r_{cx} \\ -r_{cy} \\ 0 \end{bmatrix} = I_2 * q2pp \quad (\text{Ec37})$$

Quedando la ecuación de la siguiente manera.

$$bc * rcx * \sin(q2) - bc * rcy * \cos(q2) - g * m2 * rg2 * \cos(q2) = I_2 * q2pp \quad (\text{Ec38})$$

Tramo C – D.

$$\sum M_C = I * \alpha$$

$$\begin{bmatrix} rG_3 * \cos(q3) \\ rG_3 * \sin(q3) \\ 0 \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} 0 \\ -m_3g \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} dc * \cos(q3) \\ dc * \sin(q3) \\ 0 \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} -r_{dx} \\ -r_{dy} \\ 0 \end{bmatrix} +$$

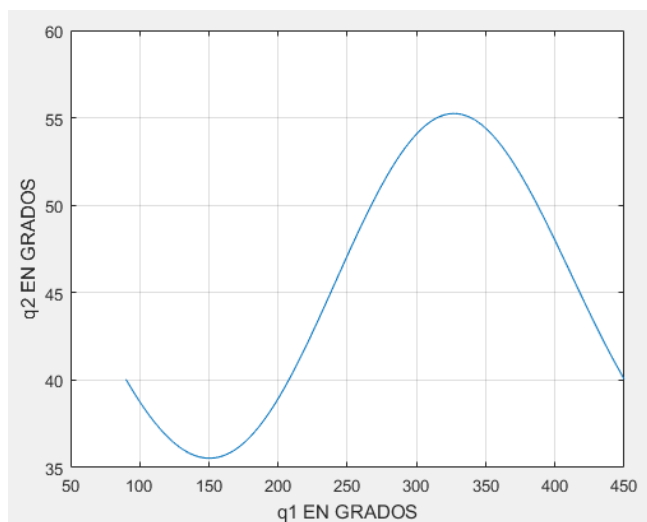
$$\begin{bmatrix} rG_e * \cos(q3 - p1) \\ rG_e * \sin(q3 - p1) \\ 0 \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} 0 \\ -m_p g \\ 0 \end{bmatrix} = I_3 * q3pp \quad (\text{Ec39})$$

Quedando la ecuación de la siguiente manera.

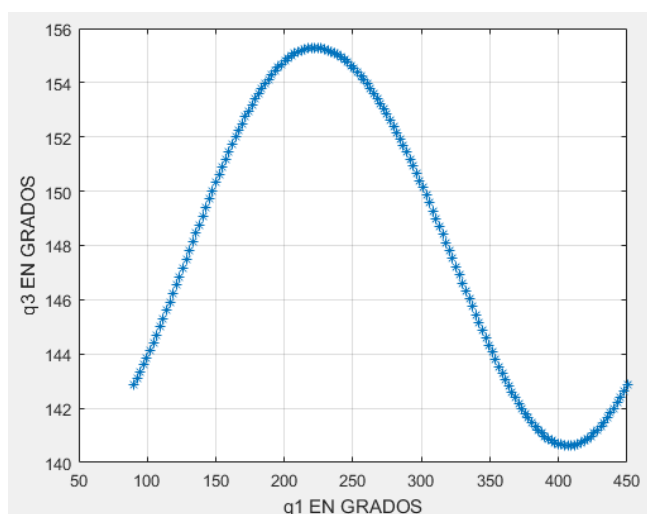
$$dc * rdx * \sin(q3) - dc * rdy * \cos(q3) - g * m3 * rg3 * \cos(q3) - mp * g * rge * \cosd(q3 - p1) = I_3 * q3pp \quad (\text{Ec40})$$

## Resultado y Discusión

Analizando con un software de elemento finito con ANSYS se pudo determinar que los esfuerzos mayores se encuentran en las partes indicadas a continuación. Además, que los perfiles de velocidades y toques son muy similares a los arrojados por el análisis numérico en Matlab. En las siguientes figuras se muestra un análisis del prototipo, pero hecho en secciones, dado que no se puede realizar en conjunto por lo aprendido en clases de dinámica de máquinas, pero se analizó de todos modos. Debajo se muestran los resultados del comportamiento del mecanismo en Matlab.



**Fig 9.** Comportamiento q1 Vs q2



**Fig 10.** Comportamiento q1 Vs q3

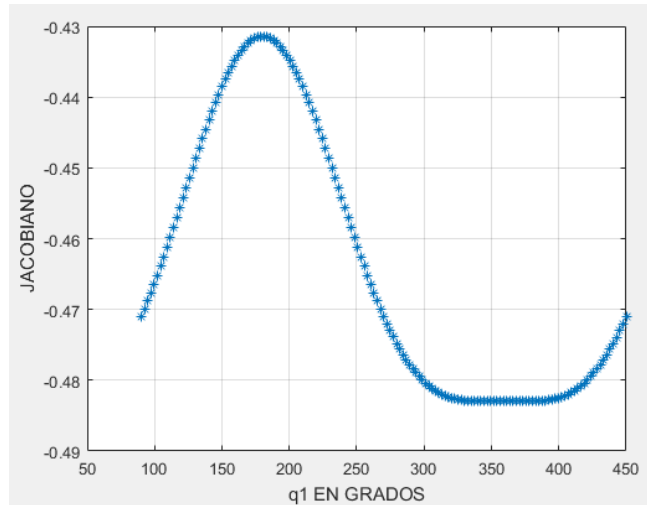


Fig 11. Comportamiento q1 Vs Jacobiano

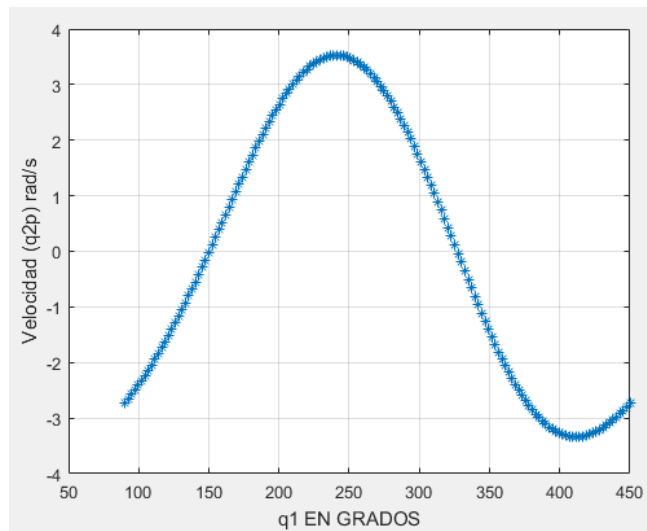
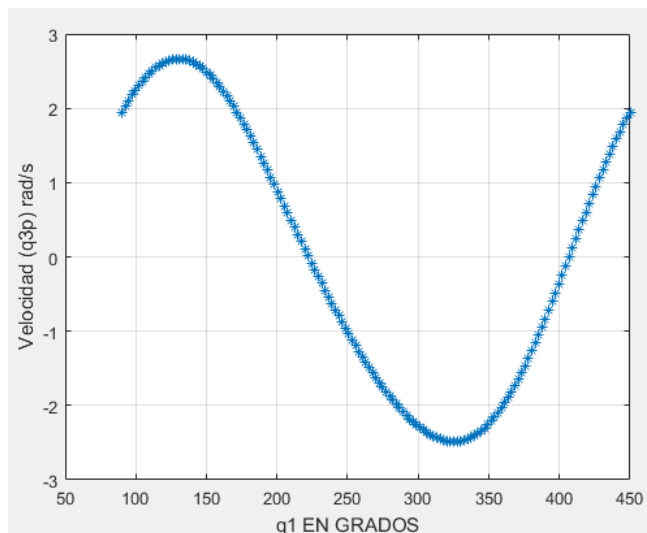
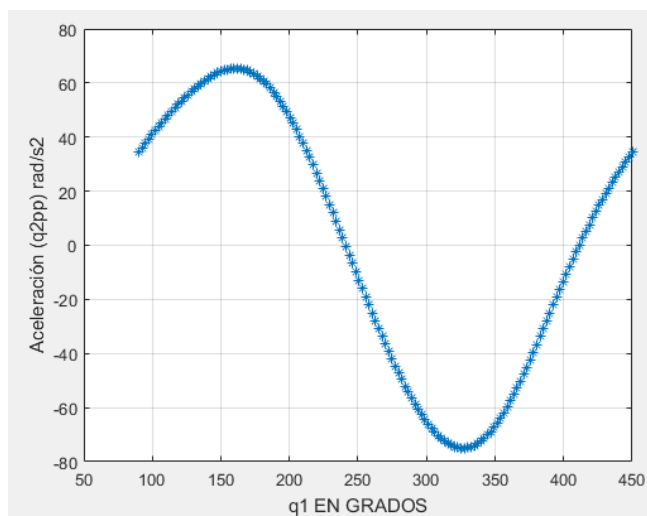


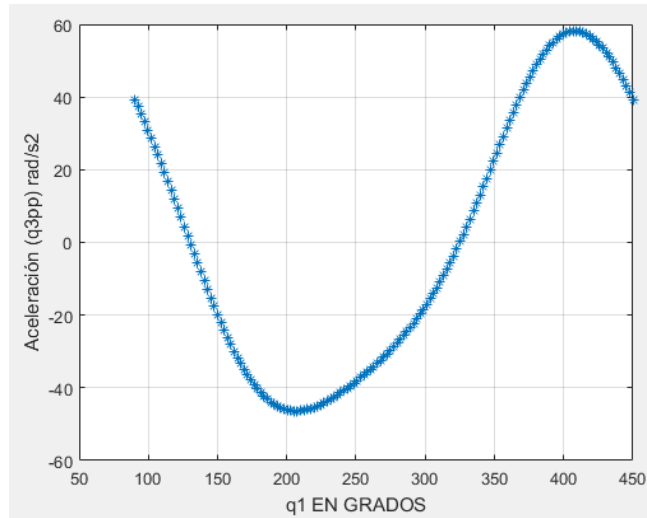
Fig 12. Comportamiento q1 Vs velocidad q2p



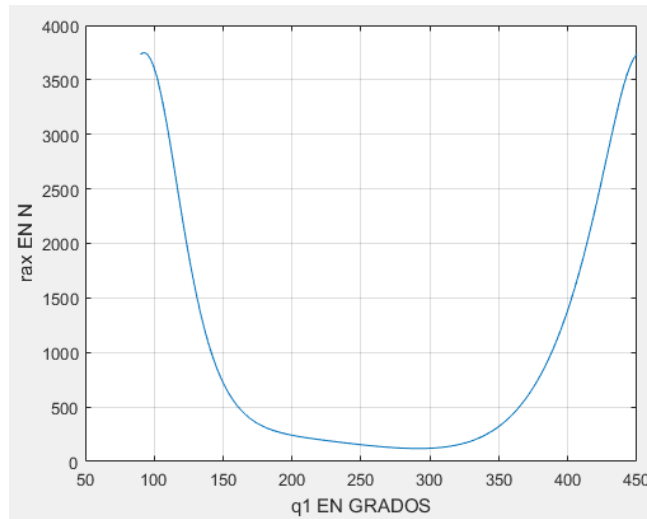
**Fig 13.** Comportamiento  $q_1$  Vs velocidad  $q_{3p}$



**Fig 14.** Comportamiento  $q_1$  Vs aceleración  $q_{2pp}$

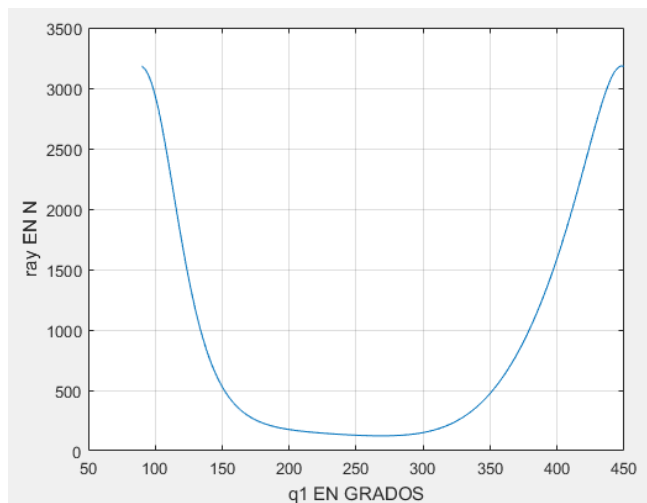


**Fig 15.** Comportamiento  $q_1$  Vs aceleración  $q_{3pp}$

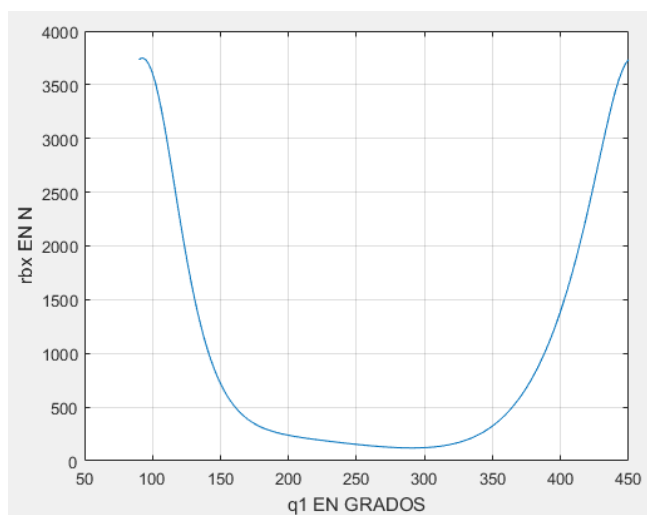


**Fig 16.** Comportamiento  $q_1$  Vs  $r_{ax}$  en  $N^*$





**Fig 17.** Comportamiento  $q_1$  Vs  $r_{by}$  en  $N^*$



**Fig 18.** Comportamiento  $q_1$  Vs  $r_{bx}$  en  $N^*$

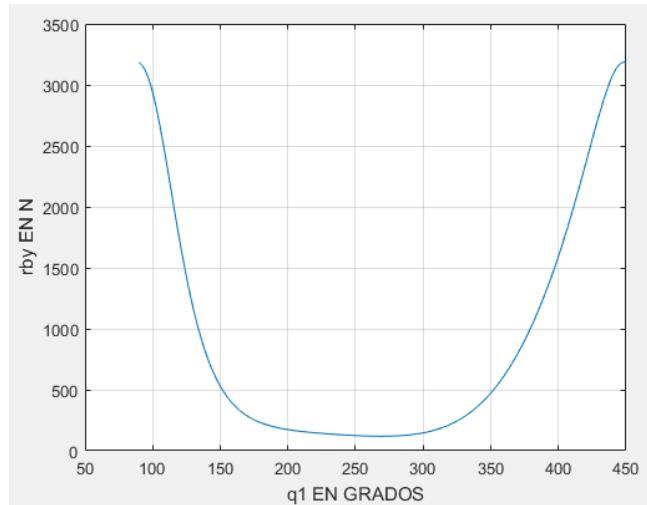


Fig 19. Comportamiento  $q_1$  Vs  $r_{by}$  en N\*

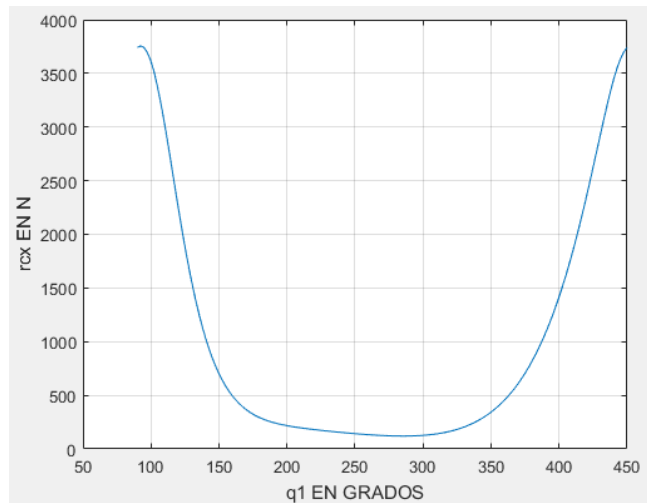


Fig 20. Comportamiento  $q_1$  Vs  $r_{cx}$  en N\*

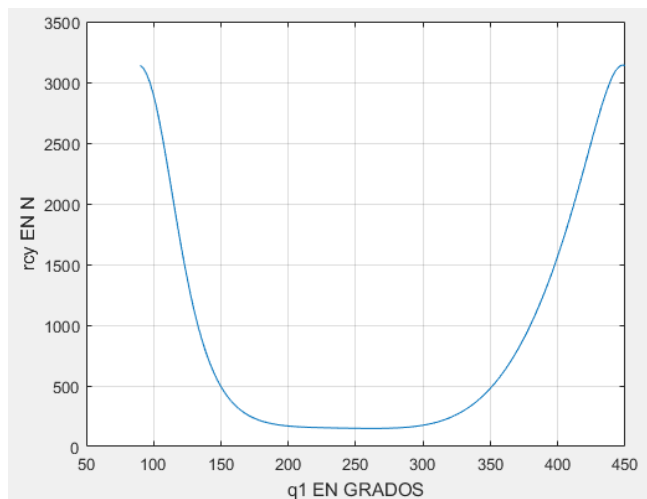


Fig 21. Comportamiento  $q_1$  Vs  $r_{cy}$  en  $N^*$

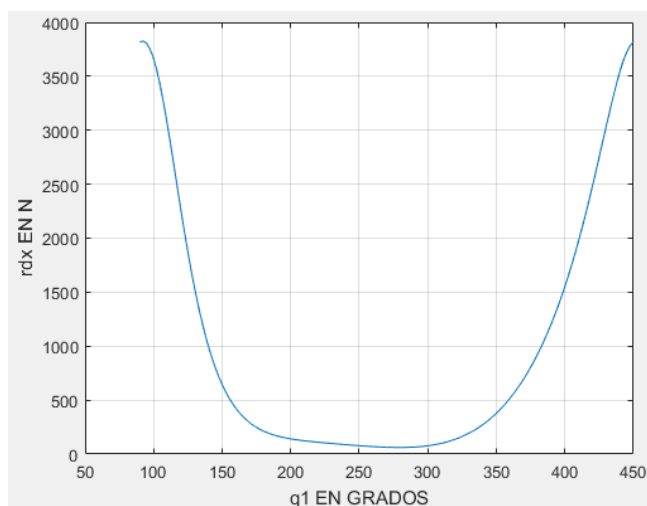
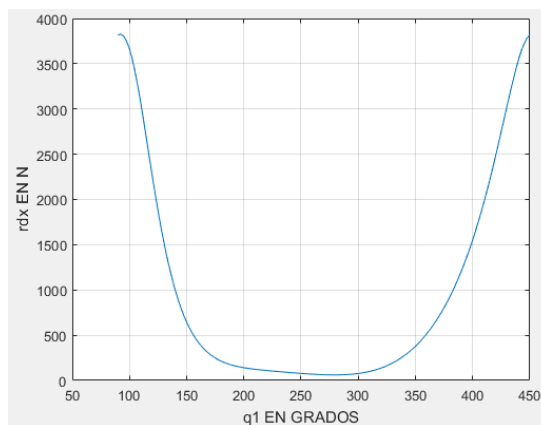
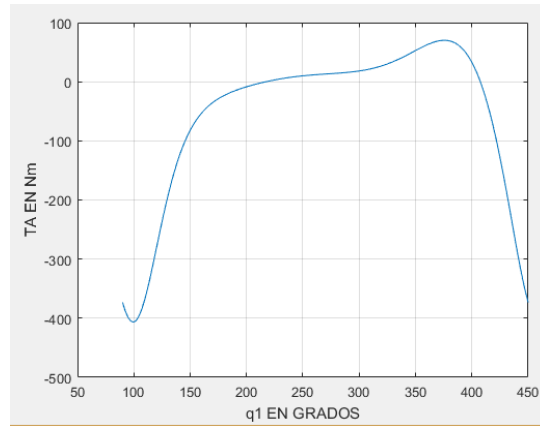


Fig 22. Comportamiento  $q_1$  Vs  $r_{dx}$  en  $N^*$



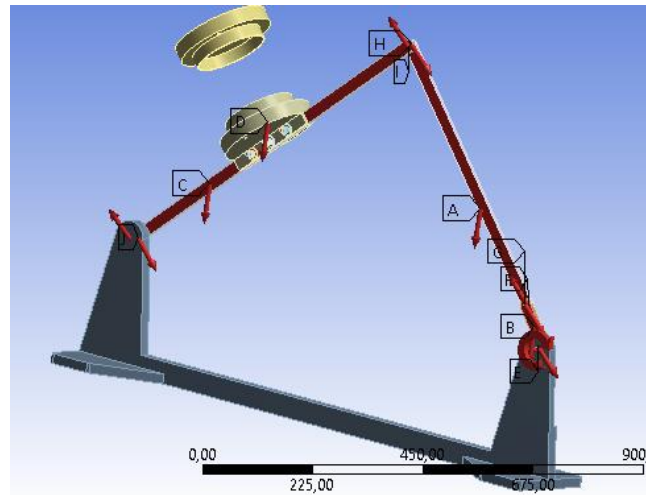
**Fig 23.** Comportamiento  $q_1$  Vs  $r_{dy}$  en  $N^*$



**Fig 24.** Comportamiento  $q_1$  Vs TA en Nm

### Análisis en ansis

Una vez obtenidos los valores de las reacciones y torque del motor, procedemos analizar el mecanismo ensamblado, por la teoría de elementos finitos con la ayuda del software ANSYS 18.2. Para lo cual vamos a colocar las reacciones en cada eslabón y el torque encontrado en el análisis de Matlab descrito en el ítem anterior. Ver figura 25



**Fig 25.** Reacciones del mecanismo en ANSYS

### Calidad de malla

Posterior procedemos a fijar la bancada y colocar el valor del peso en el porta pintura. Realizamos el mallado y verificamos la calidad de malla como se puede ver en la figura 26, es una malla aceptable, después de haber realizado algunas mejoras con el uso de la herramienta “sizing”.

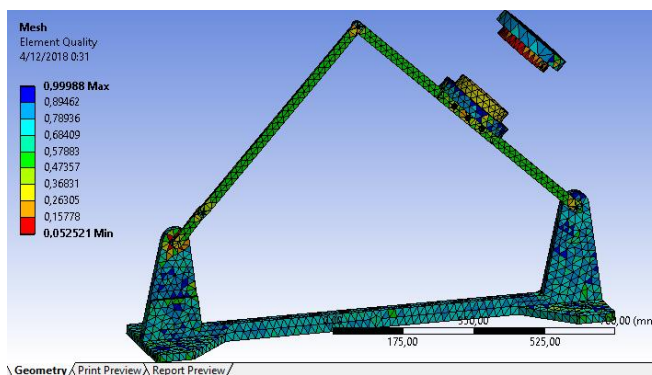


Fig 26. Calidad de malla del mecanismo

### Deformación total

Los resultados que se obtiene con el software muestra una deformación total máxima en el eslabón #2 de 3.72 mm, como se observa en la figura 27.

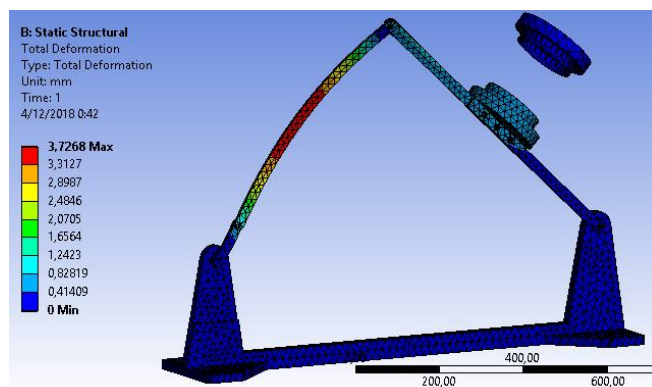


Fig 27. Deformación total.

## Máximo esfuerzo cortante

En el programa seleccionamos el máximo esfuerzo cortante de Von Mises, cuyo resultado nos da un valor máximo para el eje del eslabón #1, cuyos valores son despreciables. Ver figura 28.

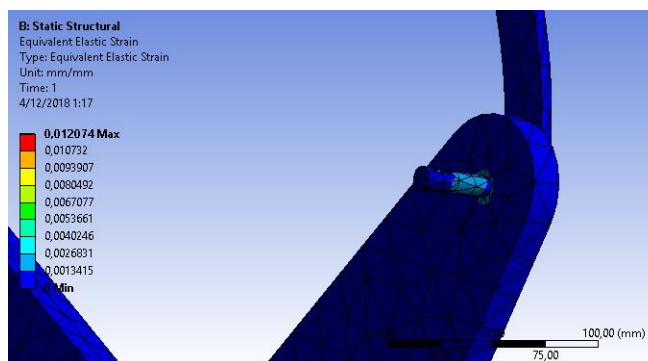


Fig 28. Esfuerzo cortante máximo

## Factor de seguridad

El cálculo del factor de seguridad para el mecanismo nos da la zona más crítica en el eje del eslabón #1, que está entre 0.143 a 1, que es lógico ya que esta parte recibe la fuerza del torque del motor, como se puede ver en la figura 29.

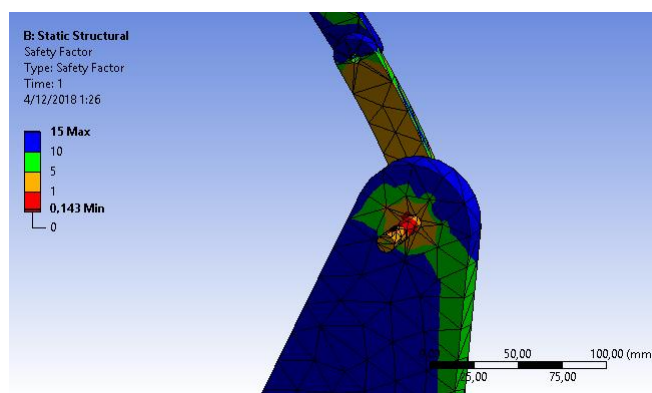


Fig 29. Factor de seguridad.

## Conclusiones

La potencia de los agitadores manuales es de 1600 Watts, dichos agitadores mezclan correctamente la pintura, el valor de potencia en este proyecto es de 8000 Watts por lo cual se considera que el mecanismo mezclara correctamente los componentes de cualquier clase de pintura. El mecanismo si se construyera sería muy económico y lo más importante muy funcional ya que cumpliría con

los requerimientos del cliente. Un punto crucial para el desarrollo del documento técnico del agitador de pintura fue la recopilación de literatura en libros, artículos, foros, revistas científicas, códigos y normas asociadas a este dispositivo, que a más de cumplir con el objetivo específico de recopilar y estudiar la literatura relacionada, ayudó a la comprensión global del tema y el lineamiento a seguir.

Después de haber recopilado y seleccionado la literatura pertinente para el diseño, se optó por la metodología descrita en el proyecto, la cual fue analizada según condiciones: económicas, funcionales, de actualidad, de calidad y específicas de éste agitador de pintura.

Durante la etapa de dimensionamiento mecánico se determinó la resistencia crítica del material, que garantiza la mezcla de la pintura; derivando en la obtención del diámetro mínimo para la aplicación de fuerza. Debido al peso de los componentes y de la pintura, los factores altura y diámetro interno estuvieron en función del lugar de instalación final del centroide, así como de las facilidades de construcción y transporte.

## Referencias

1. BenJonker. (2003). Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. ELSEVIER, 16.
1. 2.
2. Jih - Lian Ha, R. -R. (2005). Dynamic modeling and identification of a slider-crank mechanism. ELSEVIER, 20.
3. 4.
4. Khemili Imed, L. R. (2007). Dynamic analysis of a flexible slider-crank mechanism with clearance. ELSEVIER, 17.
5. 6.
6. Rong-FongFung. (1995). Dynamic responses of the flexible connecting rod of a slider-crank mechanism with time-dependent boundary effect. ELSEVIER, 14.
7. 8.

8. ASME, American Society of Mechanical Engineers. 2013. Code, Sec. VIII, Div. 1. 2013.
9. MP Bayas, GN Andrade, SMA Arroba, JG Carrión, “Kinetic Analysis Of An Ankle Rehabilitator Composed Of Two Parallel Delta Robots”. Memorias de Congresos UTP, (2018)
10. 11. JL Pulloquina, SM Aquino, ER Pozo, PJ Cruz, OI Zambrano, “Dynamic model of a parallel robot type 3UPS+ 1RPU for knee rehabilitation”. IEEE 2nd Colombian Conference on Robotics and Automation. (2018)
11. M Aquino, E Pozo, O Zambrano, W Venegas “Análisis cinemático y dinámico de un robot paralelo según el principio de trabajos virtuales para rehabilitación”. Proyecto PIMI. (2017)
12. ERP Safla, SMA Arroba, GGN Andrade, EAC Guevara “Simulación de esfuerzos mecánicos sobre las férulas para miembros superiores”. ConcienciaDigital. (2020)
13. M Aquino, I Caicedo, J Buñay, E Pozo “Estudio de diseño óptimo de una férula de miembro inferior con patrones de distintas geometrías” Polo del Conocimiento. (2022)
14. X Arias, S Balarezo, J Gavilanes, M Aquino, G Novillo, “Development of a Prototype to Rehabilitate Knee and Ankle Injuries, Using a Parallel Robot with 6 Degrees of Freedom” International Conference on Applied Technologies, (2020)
15. ERP Safla, SMA Arroba, MAO Viñán, “Ampliación de la realidad virtual en el mecanizado mediante torno CNC de un peón de ajedrez” Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional. (2021)
16. SMA Arroba, ERP Safla, LSC Chariguaman, EHM Quintero, “Análisis con MSC ADAMS de un dedo mecánico basado en mecanismos planos de cuatro barras” Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional. (2021)
17. LPT Pérez, SMA Arroba, ERP Safla, ESC Rivera, “Modelación matemática para el diseño mecánico de una plataforma autocargable”. Ciencia Digital. (2019)



18. M Pérez Bayas, G Novillo Andrade, SM Aquino Arroba, “Kinetic Analysis Of An Ankle Rehabilitator Composed Of Two Parallel Delta Robots”. Universidad Tecnológica de Panamá. (2018)
19. MA Escobar-Guachambala, SM Aquino-Arroba, ER Pozo-Safla, “Parametrización del proceso de inyección del polipropileno en el moldeo de un lateral de asiento de autobus”. Polo del Conocimiento. (2018)
20. E Granizo, F Escudero, R Pachacama, M Aquino, E Lozano, “Optoacoustic effect analysis by FEM” AIP Conference Proceedings. (2018)
21. P Tierra, SMA Arroba, ERP Safla, MÁE Guachambala, MAO Viñán, “Análisis cinemático de levas de baja velocidad, con leyes combinadas en base a métodos geométricos y matemáticos” Dominio de las Ciencias. (2018)
22. SM Aquino Arroba, ER Pozo Safla, “Modelo dinámico de un robot paralelo para rehabilitación de rodilla” Quito, (2017).
23. MAO Viñán, SMA Arroba, LSO Cantos, ERP Safla, EAJ Dominguez, “Modelización CFD para determinar el comportamiento del fluido en tuberías de PVC”. Dominio de las Ciencias. (2018)
24. S Balarezo, X Arias, K Espín, M Aquino, G Novillo, “Simulation System of a Tomato Sorting Process Using Artificial Vision”. XV Multidisciplinary International Congress on Science and Technology (2021)
25. S Choto, M Aquino, E Pozo, M Ordóñez, G Novillo, G Miño, M Escobar “Modelación y simulación por volúmenes finitos de un impulsor de una bomba centrífuga”. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. (2017)
26. CIP Tubon, ERP Safla, SMA Arroba “Análisis de lesiones en el conductor para impactos frontales por simulación computacional” Polo del Conocimiento. (2022)
27. MH Freire-Quintanilla, SM Aquino-Arroba, SM Yupangui-Yupangui "Simulación del Impacto Frontal para una Carrocería de Autobús”. Polo del Conocimiento para Determinar los Niveles de Seguridad. (2022)

28. MH Freire-Quintanilla, SM Aquino-Arroba, SF Martínez-Flores “Análisis de Impacto Frontal, Lateral y Posterior de un Chasis Tubular Tipo Formula Sae, para Determinar los Niveles de Seguridad” Polo del Conocimiento. (2022)
29. OF Balseca-Sampedro, SM Aquino-Arroba, SW Chela-Hinojosa, “Diseño de un prototipo de reactor de pirólisis térmica para la descomposición y aprovechamiento de residuos plásticos fabricados a partir de: PP, PE, Y PS” Polo del Conocimiento. (2021)
30. 31. CZ Oliva, ET Tamayo, AO Pazmiño, ER Pozo, MA Ordoñez, SM Aquino, “Mathematical modeling of the coal activation process in rotary cylindrical kiln” (2019)
31. A Arroba, S Miguel, “Diseño, Construcción y Pruebas de un Equipo Automático para el Sellado Térmico”. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. (2009)
32. P Tierra, M Aquino, E Pozo, J Jaramillo, “Simulación matemática de pruebas de impacto entre diferentes materiales, por medio de software para análisis no lineales” Dominio de las Ciencias. (2020)
33. JIC Reyes, JSB Guamán, SMA Arroba, “Análisis del comportamiento plástico del acero 1020 mediante ensayos de tracción” Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional. (2020)
34. SM Aquino-Arroba, MH Freire-Quintanilla, MA Ordoñez-Viñan, “Diseño y manufactura asistida por computadora en la fabricación de la” Kaplan Turbine Blade” Polo del Conocimiento. (2019)
35. MÁE Guachambala, SMA Arroba, ERP Safla, LSC Chariguaman, “Tecnología CAD CAM aplicada al diseño de robots de batalla” Ciencia Digital. (2019)
36. MÁE Guachambala, SMA Arroba, ERP Safla, LSC Chariguaman, “Determinación de los parámetros de diseño, manufactura y producción de sellos en plástico”. Ciencia Digital. (2019)
37. SMA Arroba, LPT Pérez, ERP Safla, ESC Rivera, “Modelación Matemática para la Dinámica de Mecanismos Hidráulicos Tipo Tijera”. Ciencia Digital. (2019)

© 2022 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).