



REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
FACULTAD DE METALURGIA Y ELECTROMECAÁNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO DE DIPLOMA

**en opción al título de
Ingeniero Mecánico**

**Título: Diseño de un sistema Cable-Torque de cuatro brazos
para el sedimentador 109 A de la UEB Lixiviación y
Lavado**

Autor: Alexander Rodríguez Castillo

**Tutor: Inst. Ing. Dannys Alfredo Berrío Landa
Ing. Ramón Baquero Arias**

Moa, 2014

**Tesis presentada en opción al
título de
INGENIERO MECÁNICO**

**TÍTULO: Diseño de un sistema Cable-Torque de
cuatro brazos para el sedimentador 109
A de la UEB Lixiviación y Lavado**

AUTOR: Alexander Rodríguez Castillo

**TUTORES: Inst. Ing. Dannys Alfredo Berrío Landa
Ing. Ramón Baquero Arias**

Moa, 2015
“Año 56 de la Revolución”

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo, Alexander Rodríguez Catillo, autor de este Trabajo de Diploma, y los tutores, Inst. Ing. Dannys Alfredo Berrío Landa e Ing. Ramón Baquero Arias, certificamos su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMMM) "Dr. Antonio Núñez Jiménez", el cual podrá hacer uso del mismo con la facultad que estime conveniente.

Alexander Rodríguez Castillo
Diplomante

Inst. Ing. Dannys Alfredo Berrío Landa
Tutor

Ing. Ramón Baquero Arias
Tutor

PENSAMIENTO

El socialismo es inconcebible sin técnicas edificadas según las últimas palabras de las más nuevas ciencias. Sin una organización estatal planificada, que subordine a decenas de millones de personas a una rigurosa observancia de una norma única en lo concerniente a la producción y distribución de los productos.

“Vladimir Ilich Lenin”

DEDICATORIA

Para triunfar en la vida se requiere de mucho esmero, dedicación y apoyo de personas sinceras y respetuosas, es por eso que agradezco en primer lugar a:

- ✓ A la revolución, por permitirme forjarme como profesional en estos tiempos de lucha y sacrificios.
- ✓ A mi novia por su dedicación y ayuda en mis estudios.
- ✓ A mis padres Roger Rodríguez Navarro y Maritza Castillo Ricardo que han dado todo para obtener el triunfo y objetivo de mi vida.
- ✓ A mis compañeros de estudio que me brindaron su amistad.
- ✓ A mis tutores por no escatimar tiempo ni esfuerzo en este trabajo de diploma.

AGRADECIMIENTOS

A todos los profesores, que de una manera u otra me han transmitido sus conocimientos durante el desempeño de toda mi carrera.

A mis tutores, por su apoyo y la confianza depositada en mí para la realización de este trabajo, al Ing. Dannys Alfredo Berrío Landa y al Ing. Ramón Baquero Arias.

A mis familiares, en especial a mi padre y mi madre, quienes en todo momento depositaron su fé y confianza para que yo siguiera adelante.

A mis amigos que siempre me apoyaron, incluso cuando todo parecía imposible.

A todos aquellos que de una forma u otra me ayudaron y apoyaron en la realización de este trabajo.

A la Revolución, por darme la posibilidad de convertirme en profesional.

A todos,

Muchísimas Gracias

RESUMEN

En el presente trabajo se efectuó el cálculo del mecanismo de accionamiento y la simulación computacional de los brazos de arrastre y suspensión, así como las cuchillas raspadoras del sistema Cable-Torque para el Sedimentador 109 A de la UEB Lixiviación y Lavado de la empresa “Cmdte. Ernesto Che Guevara”. Para ello se utilizó un procedimiento de cálculo y una aplicación informática sustentados en el análisis particular de las situaciones físicas que se presentan durante la implementación del proceso. Los parámetros obtenidos en el cálculo del mecanismo de accionamiento fue necesario la selección de un nuevo motor eléctrico de 7.92 kW de potencia. En los resultados de la simulación de los brazos de suspensión largos y cortos se obtuvieron valores de deformación de 71.8 mm y 65.7 mm respectivamente, y en los brazos de arrastre largos y cortos los valores obtenidos en la deformación se destacan entre 533.3 y 765.6 mm. Además, se efectuó un análisis económico donde se llegó a los resultados obtenidos en los diferentes aspectos de la fabricación con un costo total de fabricación de 146 725.84 pesos. Finalmente se realizó un análisis del impacto ambiental en el que se tuvo en cuenta la incidencia de los gases tóxicos sobre el hombre y el entorno.

ABSTRACT

In the present work came into effect the calculation of the operation mechanism and the computational simulation of the dragging and suspension arms, as well as the scrapers blades of the Cable-Torque system's for the thickener 109 A of the Lixiviation and Leachig UEB at the "Cmdte. Ernesto Che Guevara" company. A procedure of calculation and an information-technology application held in the particular analysis of the physical situations that it encounter during the implementation of the process were used for it. The selection of 7,92 kW's new electric motor of potency was the parameters obtained in the calculation of the mechanism of working necessary. They obtained values of deformation of 71,8 mm and 65,7 mm respectively results of the simulation of the long and short suspension arms, and in the trawling long and short arms the values obtained in deformation stand out between 533.3 and 765.6 mm. Besides, a cost-reducing analysis where it took place to the results once 725,84 pesos were obtained in the different aspects of the manufacture with a total cost of manufacture of 146 725.84 pesos took effect. Finally an analysis of the environmental impact in which the incidence of the poison gases on the man and the surroundings were had in account came true.

INDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1	
MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.1 Introducción.....	4
1.2 Los equipos o depósitos de sedimentación.....	4
1.2.1 Peculiaridades de los tanques sedimentadores de la UEB Lixiviación y Lavado	4
1.3 Separación de sistemas heterogéneos.....	5
1.3.1 Métodos hidromecánicos de separación	5
1.3.2 Sedimentación gravitacional	5
1.4 Estudios precedentes relacionados con los procesos de sedimentación	7
1.4.1 En suspensiones finas	8
1.4.2 En suspensiones gruesas	11
1.5 Modos de sedimentación	12
1.5.1.1 Sedimentación y nivel de descripción.	12
1.5.1.2 Sedimentación y grado de dispersión.	12
1.5.1.3 Caída libre o sedimentación individualizada:	13
1.6 Tipos de sedimentadores	14
1.6.1 Sedimentadores.....	15
1.6.2 Sedimentadores a Cable-Torque	16
1.7 Descripción del proceso tecnológico UEB Lixiviación y Lavado.....	16
1.7.1 Separación entre el sólido y el licor dentro del sedimentador:	17
1.7.2 Mecanismo de Accionamiento del SD 109 A.....	17
1.8 Simulación computacional de procesos industriales	18
1.8.1 El método de elementos Finitos.....	19
1.8.2 Principio de funcionamiento del método.....	20
1.9 Conclusiones del capítulo	20
CAPÍTULO 2.	
MATERIALES Y MÉTODOS	22
2.1 Introducción.....	22
2.2 Calculo del Mecanismo de Accionamiento.	22
2.2.1 Cálculo geométrico del tornillo sinfín.....	22
2.2.1.1 Diámetro primitivo del tornillo.....	23
2.2.1.2 Diámetro primitivo de la rueda	23
2.2.1.3 Diámetro exterior de la rueda.	23
2.2.1.4 Distancia interaxial.	23
2.2.1.5 Precisión de la distancia interaxial	24
2.2.1.6 Diámetro del tornillo sinfín.....	24
2.2.1.7 Diámetro de los vértices del tornillo sinfín (da_1) y de la rueda (da_2)	24

2.2.1.8	Diámetro de las cavidades:.....	24
2.2.1.9	Longitud de la parte tallada del tornillo sinfín	24
2.3	Transmisión corona piñón	25
2.3.1	Condición de resistencia al contacto.....	25
2.4	Cálculo de los parámetros principales de la transmisión por cadena.....	27
2.4.1	Distancia entre los ejes de rotación de la rueda.	28
2.4.2	Número requerido de eslabones.....	28
2.4.3	Distancia entre los ejes de las ruedas según el número requerido de eslabones de la cadena.....	29
2.4.4	Velocidad media de la cadena.....	29
2.4.5	Número de choque de la cadena.....	29
2.5	Cálculo del momento torsor que actúa en los brazos del Sedimentador y de la potencia de accionamiento del mecanismo.....	30
2.5.1	Para los brazos largos.	30
2.5.1.1	Volumen del brazo largo.....	30
2.5.2	Para los brazos cortos.....	31
2.5.2.1	Volumen del brazo corto	31
2.5.3	Momento torsor para los cuatros brazos.....	31
2.6	Cálculo de la potencia de accionamiento para el mecanismo.	32
2.6.1	Selección del motor reductor.	32
2.7	Metodología secuencial para la simulación del comportamiento de los brazos.	32
2.7.1	Obtención de la geometría básica.....	32
2.7.2	Discretización de los elementos a simular	33
2.7.2.1	Brazos de Suspensión	33
2.7.2.2	Brazos de arrastre.....	34
2.7.2.3	Aplicación de cargas dinámicas al modelo	34
2.7.2.4	Separación en elementos finitos	35
2.8	Conclusiones del Capítulo.....	36

CAPÍTULO 3.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	37	
3.1	Introducción.....	37
3.2	Resultados principales de las relaciones geométricas en las transmisiones por tornillo sinfín.....	37
3.2.1	Determinación de la tensión admisible por contacto a la tracción	38
3.3	Resultados principales de las relaciones geométricas en las transmisiones corona piñón.	39
3.3.1	Determinación del límite de fatiga de las capas superficiales de los dientes	39
3.4	Resultados principales de las relaciones geométricas en las transmisiones por cadenas.....	40
3.4.1	Determinación del coeficiente de explotación.....	40
3.5	Cálculo del momento torsor que actúa en los brazos del sedimentador y de la potencia de accionamiento del mecanismo.....	41

3.5.1	Resultados principales del cálculo del momento torsor que actúa en los brazos cortos del Sedimentador.	41
3.5.2	Resultados principales del cálculo del momento torsor que actúa en los cuatros brazos del Sedimentador.	42
3.5.3	Resultados principales del cálculo de la potencia de accionamiento para el mecanismo.	42
3.5.3.1	Selección del motor reductor.	42
3.6	Resultados obtenidos en la simulación	43
3.6.1	Brazos de suspensión	43
3.6.2	Brazos de arrastre.	44
3.6.3	Cuchillas raspadoras	44
3.7	Valoración económica	45
3.8	Efecto de las averías del sistema Cable-Torque sobre el medio ambiente.	48
3.8.1	Efectos sobre el organismo del escape de amoníaco gaseoso	49
3.8.2	Riesgo para el trabajador por las averías del sistema Cable-Torque	49
3.9	Conclusiones del capítulo	49
	CONCLUSIONES GENERALES	51
	RECOMENDACIONES	52
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
	ANEXOS	

INTRODUCCIÓN

La industria del níquel fue sometida durante el decenio de los años noventa a un amplio y profundo proceso de transformación productiva, tecnológicas y organizacionales, las cuales posibilitaron un amplio salto cualitativo y productivo de la misma, al tiempo que su efecto multiplicador hacia el resto de la economías e incrementó sustancialmente en el período referido.

Actualmente nuestro país se ha visto en la necesidad de actualizar su modelo económico con el objetivo de garantizar la continuidad e irreversibilidad del Socialismo, el desarrollo económico de la nación y la elevación del nivel de vida de la población. Para ello se aprobaron los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución entre los que se destacan los relacionados con la política industrial.

Entre las tareas priorizadas está el mejoramiento de la posición de la industria del níquel en los mercados, mediante el incremento de la producción, elevación de la calidad de sus productos y reducción de los costos, logrando una mejor utilización de los recursos minerales y mejorar la reparación y el mantenimiento de las instalaciones industriales, de acuerdo con el programa aprobado.

La producción de níquel representa una de las mayores posibilidades para el desarrollo de la economía cubana, ya que su precio tiene gran auge en el mercado internacional. La empresa Comandante Ernesto Che Guevara, de Moa, figura entre las fábricas niquelíferas de mayor tradición con un peso importante en el aporte económico al país.

La UEB¹ Lixiviación y Lavado de mencionada empresa cuenta con 19 Sedimentadores de ellos 9 de Lixiviación. El sistema de arrastre presente en uno de

¹ Unidad Empresarial de Base.

ellos, el 109 A, de fabricación brasileña; cuenta con un conjunto de brazos encargados de arrastrar las cuchillas para la sedimentación.

Situación problemática

La excesiva densidad del licor lixiviado en el sedimentador 109 A de la UEB Lixiviación y Lavado de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara y las cargas continuas a las que están sometidos los brazos del mencionado sedimentador. Esto genera una fuerza excesivamente grande en las paradas y arranques del sistema de rotación, lo que da al traste con la rotura frecuente de los brazos. Las roturas señaladas implican la salida de funcionamiento del sedimentador y por ende disminución de los **parámetros** de eficiencia de la UEB.

De lo anterior se infiere como **Problema de la Investigación:**

¿Cómo diseñar un sistema Cable-Torque de cuatro brazos de arrastre para el sistema de espesamiento de las pulpas Lixiviadas en la UEB Lixiviación y Lavado de la Empresa “Cmdte. Ernesto Che Guevara”?

Cómo **Objeto de Estudio** se plantea:

Sistema cable-torque del Sedimentador 109 A de la empresa “Cmdte Ernesto Che Guevara”

Y su **Campo de Acción** es:

Diseño de sistemas de elevación y arrastre de brazos de sedimentadores.

Se define como **Objetivo General:**

Diseñar un sistema de Cable-Torque de cuatro brazos de arrastre para el Sedimentador 109 A de la empresa “Cmdte. Ernesto Che Guevara” que permita operar con eficiencia.

A partir del objetivo general declarado se establece la siguiente **Hipótesis**

Si se diseña un sistema Cable-Torque para el Sedimentador 109 se podrán elevar los parámetros de eficiencia en la UEB Lixiviación y Lavado de la Empresa “Cmdte Ernesto Che Guevara”

Para dar cumplimiento al objetivo general se declaran como **Objetivos específicos**

- ✓ Desarrollar el marco teórico necesario para el diseño sistemas Cable-Torque
- ✓ Calcular los parámetros de elementos que componen el mecanismo de accionamiento para el sistema Cable-Torque de mencionado sedimentador
- ✓ Simular mediante el Método de Elementos Finitos el sistema objeto de estudio

En aras de cumplir de los objetivos específicos planteados se desarrollarán las siguientes **Tareas**

- ✓ Actualizar el estado del arte con relación a la temática estudiada
- ✓ Determinar las características mecánicas del mecanismo de accionamiento del sistema Cable-Torque
- ✓ Calcular los parámetros mecánicos del sistema Cable-Torque
- ✓ Simular mediante Método de Elementos Finitos el sistema Cable-Torque

CAPITULO 1. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Introducción

En los sedimentadores, equipos principales del circuito de lixiviación y lavado, la densidad de la pulpa influye decisivamente en el proceso de sedimentación, ya que durante el proceso la pulpa se hace estable y la sedimentación lenta. En los estudios se ha puesto de manifiesto que los minerales de diferentes zonas de yacimientos presentan diferencias significativas tanto en velocidad de sedimentación como en la compactación del sólido espesado. También las mezclas de los diferentes minerales en dependencia de la zona de donde proceden presentan un comportamiento diferente.

El objetivo de este capítulo está dirigido a establecer los fundamentos teóricos necesarios del proceso de sedimentación del mineral laterítico, mediante el desarrollo del marco teórico de la investigación.

1.2 Los equipos o depósitos de sedimentación.

Los depósitos de sedimentación han sido, y son aun, muy utilizados en la práctica. Su modo de operar se ajusta al descrito: Una vez lleno el depósito, se deja reposar el lodo durante el tiempo necesario. El material espesado puede descargarse por el fondo del depósito mediante una válvula, o la solución clarificada de decanta, bien sea bajando el extremo de un sifón flexible o por la abertura sucesiva de orificios de salida, situados en las paredes, comenzando por el más elevado. Cuando la solución decantada comienza a mostrar señales de la presencia de lodos, turbidez, o aparece el propio nivel de los mismos, se detiene la decantación.

1.2.1 Peculiaridades de los tanques sedimentadores de la UEB Lixiviación y Lavado

Los tanques sedimentadores entran dentro del grupo de equipos de separación líquido-sólido de modo continuo. Estos equipos por su importancia son valorados en

la UEB² Lixiviación y Lavado como un equipo de primera categoría. Como equipos principales del circuito de lixiviación y lavado, cumplen la importante función de espesar las pulpas y clarificar el licor.

1.3 Separación de sistemas heterogéneos

1.3.1 Métodos hidromecánicos de separación

Entre las operaciones hidromecánicas de separación de sistemas heterogéneos tenemos la sedimentación de partículas suspensas en un fluido por la acción de la fuerza de gravedad y por fuerzas centrífugas, filtrado de fluidos bajo presión, mezclado, etc.

El proceso de sedimentación consiste en la separación de sistemas heterogéneos sólido-líquido bajo la acción de la fuerza de la gravedad, en el que se obtiene dos productos; un fluido claro que sobre nada y un producto espesado cuya concentración de partículas sólidas aumenta (Banchemo, 1985; Burger, 2004)

La teoría de separación sólido líquido mediante la sedimentación se basa en la mecánica de interacción de un sólido y un flujo que se encuentra en movimiento relativo. Cuando una partícula se desplaza en un medio fluido o cuando este último la contornea, la interacción entre ambas se manifiesta en la aparición de ciertas fuerzas y resistencias que tienden a arrastrar el cuerpo sólido o retardar su movimiento según sea el caso.

1.3.2 Sedimentación gravitacional

La sedimentación de partículas en un fluido no es un fenómeno nuevo, ya que ha sido utilizado con fines prácticos desde épocas muy remotas por la humanidad y actualmente juega un rol de especial relevancia para la industria de tecnologías de descontaminación, farmacéutica, de procesos, en la elaboración de revestimientos de todo tipo, de materiales cerámicos de alta resistencia, concentración se

² Unidad Empresarial de Base

suspensiones minerales, entre otras aplicaciones, de acuerdo con las fuentes bibliográficas consultadas (Cerpa, 1993 Novoa, 1976).

En la sedimentación de micro partículas en que la fuerza dominante es generada por el campo gravitatorio, es posible modelar el comportamiento de una partícula rígida, de forma esférica, la que se sumerge en un fluido viscoso desde una posición dada con una velocidad inicial nula, al aplicar a ésta la ecuación de D'Alambert, considerando sólo los términos de cambio de cantidad de movimiento, el peso de la partícula, la fuerza de flotación y la de arrastre viscoso que se ejercen sobre la partícula, lo que da lugar a la siguiente ecuación:

$$m_p \cdot a(t) = W_{particula} - F_{flotación} - F_{arrastre} \quad (1.1)$$

Todo movimiento de un sólido, en este caso una partícula esférica, en un medio viscoso, presenta una primera fase de movimiento, en que existe una aceleración y por lo tanto la velocidad de la partícula es variable con respecto del tiempo y la posición. A medida que la partícula se sumerge en el fluido, ésta tiende a un estado de equilibrio dinámico, donde el peso de la partícula es compensado por la acción de las fuerzas de flotación y arrastre, de modo que la partícula alcanza una velocidad de sumergimiento constante a la que se le denomina velocidad terminal o de Stokes.

Sin embargo, su estudio teórico siempre ha confrontado dificultades, el problema estriba en la naturaleza hidrodinámica del desplazamiento de una partícula a través de un fluido, lo cual, en principios, de evaluar matemáticamente la solución de la ecuación (1.1), fue resuelto analíticamente por Stokes, considerando un tiempo que tienda al infinito y una partícula esférica y rígida, la expresión permite determinar la velocidad de sumergimiento terminal de la partícula, a la que se le denomina velocidad de Stokes y la cual se expresa mediante la fórmula:

$$V_{sed} = \frac{d^2(\rho_c - \rho_f)g}{18\mu} \quad (1.2)$$

Sin embargo, esta solución tiene una muy importante restricción, la que se refiere a que el régimen de escurrimiento por sobre la esfera debe no solo ser laminar, sino que además su Número de Reynolds debe ser menor a 0,25, a fin de asegurar la exactitud en el valor del coeficiente de arrastre para una esfera rígida según es indicado por la literatura (Robinsón, 1926 Hawkley, 1950, Kynch, 1952)

1.4 Estudios precedentes relacionados con los procesos de sedimentación

La sedimentación está enmarcada dentro de los procesos gravitacionales, sujeto a consideraciones teóricas con carácter de hipótesis. Se encontraron un grupo nutrido de investigaciones teóricas encaminadas a describir el comportamiento de la velocidad de sedimentación, y se han determinado dos direcciones científicas sobre la velocidad de desplazamiento de los granos o partículas; la determinista y la probabilística estadística (Beyris, 1997).

Se han llevado a cabo numerosos intentos para predecir la velocidad aparente de sedimentación de una suspensión concentrada. Robinsón (1926), estudio el efecto de diversos factores en la velocidad de sedimentación de suspensiones concentradas y sugirió una modificación de la ley de Stokes, ecuación (1.2), y utilizando la densidad (ρ_c) y la viscosidad (μ_c) de la suspensión en lugar de las propiedades del fluido, de esta manera:

$$V_{sed} = \frac{kd^2(\rho_s - \rho_c)g}{\mu_c} \quad (1.3)$$

Donde:

k - es una constante:

Robinsón determino experimentalmente la viscosidad (μ_c) de la suspensión, pero puede obtenerse de forma aproximada por la siguiente ecuación de Einstein (1906).

$$\mu_c = \mu(1 + kC) \quad (1.4)$$

Donde:

k – es una constante para una forma dada de una partícula (2,5 para esferas).

C – es la concentración volumétrica de partículas,

μ – es la viscosidad del fluido.

La ecuación de Einstein es válida para valores de C hasta 0,02, para suspensiones más concentradas, Vand (1948) en su tratado sobre la viscosidad de soluciones y suspensiones sugiere la siguiente expresión:

$$\mu_c = \mu \frac{kc}{(1-aC)} \quad (1.5)$$

Donde:

a – constante, igual a 0,61 para las esferas.

1.4.1 En suspensiones finas

COE y Clevenger (1916), en su investigación sobre la viscosidad en tanques, estudiaron la sedimentación de pulpa procedente de la industria metalúrgica, llegando a la conclusión que una suspensión de partículas concentradas puede sedimentar en una de las dos formas siguientes:

Después de un breve periodo de aceleración inicial, la interface entre el líquido claro y la suspensión se desplaza hacia abajo con velocidad constante, formándose una capa de sedimento en el fondo del recipiente. Cuando la interfaces se ha aproxima a la capa de sedimento la velocidad a la que desciende disminuye hasta alcanzar el “punto crítico de sedimentación”, cuando se forma una interface directamente en el sedimento y el líquido claro.

Una segunda modalidad de sedimentación, menos corriente, es la que se obtiene cuando una gama de tamaño de las partículas es muy grande. La velocidad de sedimentación disminuye progresivamente durante toda la operación, sin existir ninguna zona de composición constante y extendiéndose la zona de compresión desde la interface superior hasta la capa de sedimento.

Las principales razones de la modificación de la velocidad de sedimentación de las partículas en una suspensión concentrada son las siguientes:

- ✓ Las partículas grandes sedimentan con relación a una suspensión de partículas más pequeñas, por lo que la densidad efectiva y la viscosidad del fluido aumentan.
- ✓ La velocidad ascendente del fluido desplazado durante la sedimentación es notable en una suspensión concentrada, y la velocidad aparente de sedimentación es menor que la velocidad real relativa al fluido.
- ✓ Los gradientes de velocidad en el fluido cercano a las partículas aumentan como resultado del cambio en el área y en forma de los espacios de flujo.
- ✓ Las partículas más pequeñas tienden a ser arrastradas hacia abajo por el movimiento de las partículas, experimentando por tanto una aceleración.
- ✓ Como en una suspensión concentrada las partículas se encuentran más juntas, la floculación es más acentuada en un disolvente ionizado, aumentando el tamaño efectivo de las partículas pequeñas.

Steinour (1944), obtuvo la expresión de la velocidad de la partícula con relación al fluido en su estudio de la tasa de sedimentación de pequeñas partículas uniformes, adoptando un enfoque similar, utilizando la viscosidad del fluido, la densidad de la suspensión y una función de la porosidad de la suspensión para tener en cuenta de los espacios de flujo:

$$V_p = \frac{d^2(\rho_s - \rho_c)g}{18\mu} f(e) \quad (1.6)$$

Consecutivamente, la fracción del área disponible para un flujo del fluido desplazado es e (porosidad de la suspensión), su velocidad ascendente es V_{sed} $(1-e)/e$. de manera que la ecuación (1.6) se puede expresar de la siguiente forma:

$$V_p = V_{sed} + V_{sed} \frac{1-e}{e} = \frac{V_{sed}}{e} \quad (1.7)$$

Steinour a partir sus experimentos de sedimentación de tapioca en aceite, obtuvo la expresión una función de la porosidad de la suspensión, de esta manera:

$$f(e) = 10^{-1.82(1-e)} \quad (1.8)$$

Hawksley (1950), en su investigación sobre el efecto de la concentración en el establecimiento de suspensiones y flujo a través de medios porosos también utilizó un método parecido y obtuvo la expresión.

$$v_p = \frac{v_{sed}}{e} = \frac{d^2(\rho_s - \rho_c)g}{18\mu} \quad (1.9)$$

En los casos anteriores se ha supuesto correctamente que el empuje ascendente que actúa sobre las partículas está determinado más por la densidad de la suspensión que por la del fluido. La utilización de una viscosidad efectiva, sin embargo, es válida únicamente para una partícula que sedimenta en una suspensión fina. En la sedimentación de partículas uniformes, el aumento del rozamiento puede atribuirse a los pronunciados gradientes de velocidad más que a un cambio en la viscosidad.

La velocidad de sedimentación de partículas finas resulta difícil de predecir debido al gran número de factores que implica.

1.4.2 En suspensiones gruesas

Durante la sedimentación de partículas relativamente grandes en presencia de pequeñas (100 o más veces mayores que otras) puede considerarse que las primeras caen en una suspensión o sea, se considera el líquido con una determinada densidad y viscosidad determinada por las partículas pequeñas que le comunican sus propiedades.

Richardson y Zaki (1954) en su estudio de la sedimentación de partículas uniformes ($>100 \mu\text{m}$), suficientemente grande para que los efectos viscosos anómalos y floculación pueden ser despreciables, utilizaron datos sobre sedimentación y fluidización para establecer los efectos de la concentración y de las paredes del recipiente sobre las velocidades de sedimentación, obteniendo la ecuación de la velocidad de sedimentación en función de la velocidad de las partículas relativas al fluido por:

$$\frac{v_{sed}}{v_i} = e^n \quad (1.10)$$

La velocidad de caída de las partículas grandes en la suspensión no estructurada se puede determinar aproximadamente según las investigaciones del Instituto Mejano por:

$$v_{sed} = v_{ct} \frac{(\rho_s - \rho_p) \rho_m}{\rho_s - \rho_p \rho m} \quad (1.11)$$

Donde:

Vct: - velocidad de caída contrariada: m/s

ρ_s ; densidad el sólido; kg/m³

ρ_p ; densidad de la pulpa: kg/m³

Alexander Rodríguez Castillo

Pág. 11

Diseño de un sistema Cable-Torque de cuatro brazos para el sedimentador 109 A de la Empresa

“Cmdte. Ernesto Che Guevara”

pm; densidad de la pulpa compuesta solo de aquellas partículas cuya velocidad se determina por la concentración volumétrica de las partículas en suspensión. kg/m^3 .

1.5 Modos de sedimentación

1.5.1.1 Sedimentación y nivel de descripción.

Si la sedimentación es un caso particular del flujo relativo de cuerpos sumergidos, este es, a su vez, un caso particular del flujo multifásico con transporte viscoso. Aunque es bien sabido para los amables lectores que recuerdan ó están acostumbrados a estos fenómenos, cabe reiterar que la sedimentación es una operación basada en el transporte molecular de energía mecánica entre fase con distinta movilidad, y que el desplazamiento macroscópico no molecular de materia de una región a otra es una consecuencia de este fenómeno substancial y primario.

En el mismo nivel de descripción, la fenomenología de la sedimentación está relacionada con la de las demás operaciones basadas en la actuación simultánea o dominante de fuerzas, como es el caso de la centrifugación o de la impactación también en el campo mecánico o la electro-migración en presencia de campos electromagnéticos. En un nivel de descripción más profundo (partículas de tamaño coloidal e inferior) las fuerzas mecánicas son del orden de magnitud, o inferiores, a las fuerzas electromagnéticas que condicionan las interacciones moleculares, por lo que los modelos que describen la movilidad de partículas enlazan los meramente hidrodinámicos con los difusionales, pasando por los modelos que describen los fenómenos foréuticos.

1.5.1.2 Sedimentación y grado de dispersión.

Las condiciones de flujo y la concentración las principales determinantes de la fenomenología de la sedimentación, la importancia de la concentración es más perceptible en el desarrollo de modelos, puesto que el concepto de flujo relativo permite unificar, por simetría fenomenológica, el tratamiento de situaciones tan

diferentes en la práctica como el arreste, la fluidización o la propia sedimentación, así como el espesamiento y el flujo a través de lechos porosos.

1.5.1.3 Caída libre o sedimentación individualizada:

Las partículas sedimentadas dependiendo de una fuerza uniforme impulsora, cual es su peso excluido el empuje accesimal por flotación, equilibrada con la resultante activa de fuerzas de rozamiento de superficies y forma que dependen del movimiento relativo respecto del fluido.

Este modo de sedimentación, descrito en sus elementos básicos, se da en los clarificadores de cabecera, como es en el caso de los desarenadores en el tratamiento de aguas.

Sedimentación coalescente o difusa: Las partículas interfieren entre ellas, y la velocidad de sedimentación depende de varios factores más (grado de agregación, y concentración tamaños y características superficiales de las partículas). Este modo se da en la sedimentación primaria.

Sedimentación masiva o impedida, de flujo de pistón: Las partículas interaccionan entre ellas de tal forma que sus posiciones se mantienen prácticamente fijas, unas con respecto a las otras, sedimentando el conjunto en forma de enjambre, con una velocidad global que algunos modelos suponen idéntica para todas las partículas. Este modo, descrito en sus elementos básicos, se da en los sedimentadores secundarios.

Sedimentación en comprensión o espesamiento: La interacción entre las partículas es total, las partículas no solo son soportadas de forma hidráulica, sino que en parte son soportadas por otras partículas, por lo que se producen reducciones de volumen debidas a la evacuación del fluido floculado. Este modo se da en la fase de sedimento de sedimentadores.

1.6 Tipos de sedimentadores

El equipo que se emplea para sedimentación tiene ciertas variaciones, aunque todos tienen los mismos componentes básicos. Como primera clasificación los sedimentadores pueden ser de forma circular o de forma rectangular.

Otra clasificación es la manera en que se distribuye y colecta el agua en el sedimentador. Por ejemplo, en un sedimentador circular la alimentación puede ser periférica y la colección del agua es en el centro del sedimentador o puede ser en forma invertida, esto es, la alimentación es al centro y la colección del efluente es en la periferia.

Sedimentador de placas inclinadas: En este sedimentador se encuentran dispuestas un cierto número de placas paralelas inclinadas para conseguir la máxima superficie de decantación en cualquier espacio de suelo disponible. De este modo, es posible reducir al mínimo el tamaño y el coste del decantador por gravedad mediante el acercamiento de los requisitos de clarificación y espesamiento. (Véase Anexo 1)

Unidades de flujo horizontal.

Estos sedimentadores se clasifican, de acuerdo con la forma de su planta, en rectangulares, circulares y cuadrados

Sedimentadores rectangulares: Los sedimentadores rectangulares tienen la forma y características detalladas en la figura 7-17, con la ventaja de que permiten una implantación más compacta, aunque su costo es más elevado. Normalmente, tienen una relación longitud/ancho comprendida entre 3 y 6 y una profundidad de 2,50 a 4,00 metros. (Véase Anexo 2)

Sedimentadores de forma circular o cuadrada: disponen normalmente de una zona de entrada ubicada en el centro de la unidad. Están provistos generalmente de una pantalla deflectora que desvía el agua hacia el fondo de la unidad. El flujo en la

zona de sedimentación es horizontal. Están provistos de canaletas (periféricas y/o radiales) para la recolección de agua sedimentada. El fondo es inclinado hacia el centro de la unidad, donde se ubica un sumidero para la recolección de lodos. La profundidad normal de estas unidades está comprendida entre 2,00 y 3,50 metros. (Véase Anexo 3)

Unidades de flujo vertical. Estas unidades tienen forma cilíndrica (figura 7-19). La entrada del agua cruda se realiza por el centro de la unidad en forma descendente. En la parte inferior está ubicada la zona de lodos, que tiene forma cónica con pendiente de 45° a 60° , según la naturaleza del agua y el tratamiento aplicado. La recolección del agua sedimentada se realiza en la parte periférica superior de la unidad. (Véase Anexo 4)

Unidades de flujo helicoidal. Para tratar aguas con alto contenido de materiales en suspensión o flóculos con alta velocidad de sedimentación, se recurre al uso de sedimentadores de flujo helicoidal. Estas unidades tienen forma circular, el flujo tangencial se logra mediante la combinación de una tubería y canales periféricos con orificios de entrada de agua. Los orificios son dimensionales y se disponen espaciados para permitir una distribución uniforme del agua en el sedimentador. El canal recolector de agua sedimentada está ubicado en el centro del sedimentador o en la periferia. Generalmente, una pantalla vertical contribuye a lograr una mejor distribución y a evitar corto circuitos. Es muy importante tener en cuenta que se trata de unidades poco conocidas y, por ende, existe una carencia de datos operacionales fidedignos.

1.6.1 Sedimentadores

En la planta de lixiviación y lavado de la Empresa “Comdte Ernesto Ché Guevara”, existen 20 sedimentadores, de los cuales 10 pertenecen a la parte de lixiviación y 10 a la de lavado. En la planta hay variedades de sistemas de batimiento y mecanismos en los sedimentadores, los mismos están expuestos de la siguiente forma:

- Mecanismo y brazos Ruso: 10

- Mecanismo Ruso y Brazos Cable-Torque: 6
- Mecanismo y Brazos Alemán: 2
- Mecanismo y brazos Brasileños: 1
- Desarmado (pendiente inversión)

1.6.2 Sedimentadores a Cable-Torque

El sistema Cable-Torque se introduce en el año 1996 en la planta de lixiviación y lavado de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara. Se montan primera mente uno de ellos en la primera etapa de lavado y otro en la primera etapa de lixiviación sin afectar la base del sistema motriz (sistema Ruso).

El mecanismo motriz Ruso es capaz de transmitir alrededor de 40 000 kgf/ cm², y en la práctica se comprobó que podía mover fácilmente el sistema de brazos Cable-Torque con todos sus aditamentos, puesto que además este sistema articula en los ejes $(x; y)$, es decir que los brazos y raspadores de este sistema poseen la misma efectividad que los rusos e incluso tienen cualidades más ventajosas como la propia articulación, además de la facilidad para el mantenimiento puesto que abarata los costos, disminuye el tiempo de trabajo manteniendo un tiempo superior de trabajo dentro del sedimentador.

Es propósito de la planta es continuar aplicando este sistema de batimiento dentro del sedimentador en el mayor número posible de estos equipos puesto que ha sido probado con creses y demostrada su factibilidad. Además de esta manera se logra estandarizar el equipamiento principal de la planta.

1.7 Descripción del proceso tecnológico UEB Lixiviación y Lavado

Las funciones fundamentales de esta planta son las de lixiviación del níquel y cobalto del mineral reducido en los hornos de reducción, lavar las pulpas lixiviadas para recuperar el níquel disuelto, y enviar el licor producto rico en níquel y el sólido de cola

a la planta de recuperación de amoníaco donde se recupera el amoníaco y el dióxido de carbono para ser utilizado en el proceso nuevamente.

El proceso de sedimentación consiste en separar y obtener mediante el uso de un disolvente los componentes o elemento de una mezcla que sea soluble en dicho disolvente. Que en el casos del níquel y del cobalto del mineral reducido, se emplea una mezcla de hidróxido y carbono de amonio y como agente extrayente el oxígeno, el cual se le inyecta a la pulpa mediante aire de baja presión en los turboaireadores.

Dentro de la planta de lixiviación y lavado encontramos varios sedimentadores, siendo el sedimentador uno de los equipos de la planta de lixiviación y lavado de carácter muy importante. Es el proceso de separación de la parte sólida de la pulpa como resultado del precipitado de las partículas sólidas la acción de la fuerza de la gravedad, obteniéndose sedimento compacto con una alta densidad un líquido que rebosa (licor de reboso).

1.7.1 Separación entre el sólido y el licor dentro del sedimentador:

La rapidez en la separación de la fase sólida de la líquida contenida en la pulpa de entrada al sedimentador, viene dada por la velocidad de sedimentación que tengan las partículas; para lograr estos objetivos se instala en la línea de alimentación de la pulpa electroimanes, los cuales ejercen su influencia a la pulpa dada las características magnéticas de éstas. Se incrementa la velocidad de sedimentación y por ende la separación entre el licor y el mineral.

1.7.2 Mecanismo de Accionamiento del SD 109 A

El mecanismo central es accionado por una unidad de accionamiento, siendo esas unidades accionadas por motor eléctrico ZG 5 KMR112 M4 de 6.6 kW que alimenta a un reductor muy potente (reductor diferencial, reductor tornillo sinfin y piñón-corona) que, mediante una transmisión por cadenas, hace girar la cercha central que es donde se encuentran los brazos.

El dimensionamiento básico basado en pruebas y en la previa experiencia industrial determinó que el factor K recomendado era igual a 40. Esto corresponde a un torque de 1.100.000 lb-p o 1.491.000 N·m.

La rotación prevista es de 3,5 RPH debiendo ser considerada la posibilidad de variación de 2,5 a 4,5 RPH. El accionamiento deberá tener control de torque, que actuará sobre un sistema de levantamiento que permitirá elevar los brazos raspadores por lo menos 600 mm.

La pulpa que llega de la lixiviación alimenta el Sedimentador 109-A³, que posee un mecanismo con raspador cuyo objeto es promover la separación de las fases sólidas y líquidas del efluente. El tiempo de residencia en el sedimentador SD-109 A será de 214 minutos (3h 34min.).

Proponemos para el accionamiento del mecanismo motriz, un motor que debe ser mayor o igual 6.6 Kw. El sedimentador posee un motor que es capaz de accionar a un reductor principal con Salida a dos reductores verticales de mayor fuerza.

1.8 Simulación computacional de procesos industriales

Existen en el mercado de los sistemas computacionales diversos tipos de software de simulación, tanto para la simulación discreta como continua. Entre los de simulación de procesos se destacan Promodel y Arena para la simulación discreta, y en la simulación continua resalta el MATLAB⁴ con Simulink; National Instrument contribuye con LabView⁵ y Swanson Analysis Systems asiste con el ANSYS⁶. Los mencionados softwares son preferidos por los ingenieros de diseño, control, mecatrónica, mecánica, aeronáutica, entre otros. En cuanto a software libre, Scilab y

³ SD-109 A

⁴ *MATLAB*. Abreviatura de MATrix LABoratory, "Laboratorio de Matrices". Disponible para las plataformas Unix, Windows y Mac OS X

⁵ *LabVIEW*. Herramienta gráfica para pruebas, control y diseño mediante la programación

⁶ ANSYS desarrolla, comercializa y presta soporte a la ingeniería a través de software de simulación para predecir cómo funcionará y reaccionará determinado producto bajo un entorno real.

Xcos son la mejor opción, por una parte, por su similitud con MATLAB, de Simulink, y por otra por el soporte que proporciona el consorcio Scilab y Digiteo. Además la disponibilidad y facilidad para acceder a su uso así como el que sea libre y gratuito, dan la oportunidad de incursionar en el campo de la simulación discreta o continua con Scilab.

Un gran campo de aplicación de la simulación se encuentra en los procesos industriales y en el estudio académico de tales procesos. No se trata de la simulación de sistemas estoicos, también de la simulación dinámica de procesos continuos como los que existen en la industria química y alimentaria. Esta es la parte que interesa en esta investigación. Modelar tales procesos puede resultar muy complicado, y tal complicación puede llegar a hacer que la simulación resulte más costosa incluso que ciertos tipos de instalaciones. De aquí se desprende la pregunta ¿por qué simular? En primera instancia, con la computación y su estado actual, resulta accesible para instituciones académicas y pequeñas empresas realizar simulación con propósitos de optimización de recursos, estudios de diseños, adiestramiento de personal y se ahorra en adquisición de equipo.

1.8.1 El método de elementos Finitos

El Método de Elementos Finitos⁷ es un método de cálculo numérico basado en ecuaciones diferenciales para resolver problemas relacionados con la ingeniería. Este método ha sido aplicado con notable éxito a prácticamente cualquier área de la ciencia e ingeniería como son: problemas de estructuras, mecánica de fluidos, propagación de ondas, problemas de conducción de calor, procesos de difusión-convección, procesos de reacción-difusión y problemas de campos electromagnéticos, permitiendo simular y realizar gran cantidad de análisis en componentes y estructuras complejos, difícilmente calculables por los métodos analíticos tradicionales.

⁷ Método de Elementos Finitos. Por sus siglas en español MEF

Dicho método tiene un número significativos de ventajas que lo han hecho muy difundidos, estas incluyen la capacidad de modelar cuerpos con formas complejas y manipular condiciones de carga generales con relativa facilidad; además de modelar cuerpos complejos de diferentes materiales debido a que las ecuaciones de elementos son evaluadas individualmente. También manipular un ilimitado número y tipos de condiciones de fronteras, variar las dimensiones de los elementos y usar elementos pequeños donde sea necesario. Es fácil y barato alterar el modelo de elementos finitos y se pueden incluir efectos dinámicos. Además soluciona problemas de no linealidad del material y geométrica con grandes de deformaciones y rotación con una mejor facilidad de implementación en un programa computacional.

La utilización del método de elementos finitos para el caso de los brazos del sedimentador, se realiza con el objetivo de determinar aquellas zonas donde las tensiones locales pudieran ser mayores, para prevenir una futura rotura de los mismos y darles la mayor confiabilidad de trabajo.

1.8.2 Principio de funcionamiento del método

Para aplicar el Método de Elementos Finitos para efectuar una simulación se sigue una secuencia de paso lógicos que permite el análisis de cada uno de los elementos que se desea simular:

1. Discretización y selección de la función de interpolación para la incógnita
2. Obtención de las matrices de respuestas de los elementos finitos y ensamblaje de las matrices de los elementos finitos.
3. Obtención de la matriz de comportamiento del modelo completo, la resolución y obtención de resultados.

1.9 Conclusiones del capítulo

- ✓ El desarrollo del marco teórico de la investigación permitió establecer los fundamentos necesarios para la comprensión y el estudio del diseño de sedimentadores, para ello se consideraron, entre otros aspectos, los

mecanismos de sedimentación, la clasificación de los sedimentadores o espesadores y las generalidades de la simulación de procesos industriales.

- ✓ El diseño de sedimentadores es una temática que ha sido poco estudiado, se destacan algunos trabajos para las condiciones objetivas de la región de Moa, estos abordan los aspectos tecnológicos, experimentales y empíricos del proceso pero no consideran con rigurosidad la simulación computacional del mismo.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Introducción

Para desarrollar la simulación computacional del secado natural de las minas lateríticas es necesario calcular varios parámetros del proceso. Los modelos satisfactorios para este propósito fueron establecidos en investigaciones precedentes (Rodríguez, 2009). Sin embargo, en la presente investigación se requiere utilizar las ecuaciones establecidas con anterioridad, es por ello que el objetivo de este capítulo es: exponer los procedimientos y los modelos apropiados para la simulación computacional del objeto de estudio.

2.2 Cálculo del Mecanismo de Accionamiento.

2.2.1 Cálculo geométrico del tornillo sinfín.

Para la realización de este cálculo se ha tenido en cuenta la metodología de cálculo para las transmisiones por tornillo sinfín que refiere, (Reshetov, 1987)

La relación de transmisión (i_1) del engranaje de tornillo sinfín se determina por la condición de que por cada vuelta del tornillo sinfín la rueda gira en el número de dientes igual al de los filetes del tornillo sinfín.

$$(i_1) = \frac{n_1}{n_s} = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (2.1)$$

Donde:

Z_1 : número de filetes del tornillo sinfín.

Z_2 : número de dientes de la rueda.

Casi siempre $Z_1 = 1, 2, 4$

2.2.1.1 Diámetro primitivo del tornillo

$$d_1 = m \cdot q \quad (2.2)$$

Coeficiente del diámetro del tornillo sin fin $q = 10$: para cálculos preliminares (Tabla No 2.3, según González y Rodríguez 2009).

2.2.1.2 Diámetro primitivo de la rueda

$$d_2 = m \cdot Z_2 \quad (2.3)$$

2.2.1.3 Diámetro exterior de la rueda.

$$da_{m2} = da_2 + \left[6 \cdot \frac{m}{(Z_1 + 2)} \right] \quad (2.4)$$

2.2.1.4 Distancia interaxial.

$$a_w \geq \left(\frac{Z_2}{q} + 1 \right) \cdot \sqrt[3]{ \left(\frac{540}{[\sigma]_r \cdot \frac{Z_2}{q}} \right)^2 \cdot K \cdot M_{tor2} } ; cm \quad (2.5)$$

$$[\sigma]_r = [\sigma]_r^0 \cdot \sqrt[8]{ \frac{10^7}{N_E} } ; kgf/cm^2 \quad (2.6)$$

Tornillo de acero 45.

Temple superficial.

Dureza *HRC* : 45 – 65

Rueda helicoidal: bronce al estaño fosfórico.

Donde:

$[\sigma]$: Tensión admisible a la tracción ; kgf/cm^2

El momento torsor se calcula de la forma siguiente:

$$M_{tor_2} = \frac{N_2}{W_2} \quad (2.7)$$

$$W_2 = \frac{(n_2 \cdot \pi)}{30} \quad (2.8)$$

2.2.1.5 Precisión de la distancia interaxial

$$a_w = 0.5 \cdot m(Z_2 + q) \quad (2.9)$$

2.2.1.6 Diámetro del tornillo sinfín

$$d_1 = 2 \cdot a_w - d_2 \quad (2.10)$$

2.2.1.7 Diámetro de los vértices del tornillo sinfín (da_1) y de la rueda (da_2)

$$da_1 = m \cdot (q + 2) \quad (2.11)$$

$$da_2 = m \cdot (Z_2 + 2) \quad (2.12)$$

2.2.1.8 Diámetro de las cavidades:

Tornillo sinfín

$$df_1 = m \cdot (q - 2.4) \quad (2.13)$$

Rueda

$$df_2 = m \cdot (Z_2 - 2.4) \quad (2.14)$$

2.2.1.9 Longitud de la parte tallada del tornillo sinfín

$$b_1 \geq (C_1 + C_2 \cdot Z_2) \cdot m \quad (2.15)$$

para $Z = 1; 2$ $C_1 = 11$ y $C_2 = 0.6$

La anchura de la rueda (b_2) se elige en función del diámetro de la circunferencia de los vértices del tornillo sinfín.

$$b_2 \leq 0.75 \cdot da_1 \quad (2.16)$$

2.3 Transmisión corona piñón

Para la realización de este cálculo se utilizó metodología de cálculo para las transmisiones por engranajes cilíndrico de dientes rectos, oblicuos y cónicos, de la bibliografía Reshetov, (1987), Diseño de Elementos de Máquinas II.

$$Z_{\text{piñón}} = 16 \quad i - \text{relación de transmisión}$$

$$Z_{\text{corona}} = 170$$

$$i = 10.625$$

2.3.1 Condición de resistencia al contacto

El cálculo de la tensión a tracción se reduce a satisfacer la condición, según la cuál las tensiones de contacto no deben superar las admisibles (Reshetov, 1987).

Se representará la fórmula en la forma más cómoda para su uso en la práctica:

$$\sigma_T = \frac{1085 \cdot Z_E}{a_w \cdot i} \sqrt{\frac{(i+1)^3 \cdot K \cdot M_{tor2}}{b}} \leq [\sigma]_T \quad (2.17)$$

Para determinar la condición de resistencia al contacto debemos conocer la distancia entre los ejes y se determina por la siguiente ecuación:

$$a_w \geq (i+1) \sqrt{\left(\frac{1085 \cdot Z_E}{[\sigma]_T} \right)^2 \frac{k \cdot M_{tor2}}{\varphi_\alpha}} \quad (2.18)$$

La tensión admisible por contacto $[\sigma]_T$ durante un trabajo prolongado y con un diámetro $(da) \leq 700 \text{ mm}$ se obtiene por la ecuación:

$$[\sigma]_T = \frac{\sigma_{0T} \cdot Z_R}{n} ; \text{kgf/cm}^2 \quad (2.19)$$

Donde:

σ_{0T} - el límite de fatiga de las capas superficiales de los dientes por contacto que se determina por la dureza media (Tabla 2.2) según Gonzales y Rodríguez (2009);

n - es el coeficiente de seguridad que puede tomarse para consecuencias graves de fallos entre (1,2 - 1,35).

Z_R - es el coeficiente que considera la aspereza de las superficies (Tabla No 2.3) según González y Rodríguez (2009).

$$M_{tor} = \frac{N_2}{W_2} \quad (2.20)$$

$$W_2 = \frac{n \cdot \pi}{30} \quad n - \text{numero de revoluciones igual a } 0.038$$

$$k = 1.4 \quad \varphi_\alpha = 0.54$$

Teniéndose todos los datos necesarios para calcular la distancia interaxial obtenemos que: $a_w = 12 \text{ cm}$; normalizado, (Reshetov, 1987).

Para comprobar la condición de resistencia al contacto debemos calcular el ancho de la corona:

$$b = \varphi_\alpha \cdot a_w \quad (2.21)$$

Esta transmisión corona piñón posee una eficiencia de un 98 % según datos técnicos del Sedimentador.

2.4 Cálculo de los parámetros principales de la transmisión por cadena

Para la realización de este cálculo utilizamos la metodología de las transmisiones por cadenas de los autores I. Rodríguez y R. González.

En el accionamiento de destino general (para transportadores, máquinas agrícolas y de construcción, extractores de carbón) y otras máquinas se emplean generalmente las cadenas de rodillos y dentadas de transmisión.

En el caso simple la transmisión por cadena consta de una cadena y dos ruedas de estrellas: la conductora con número de dientes Z_1 y la conducida con un número de dientes Z_2 . La rotación del árbol conducido se efectúa por el conductor mediante el engranaje a cuenta del tensado de la cadena producido por la rueda de estrella conductora.

Por datos técnicos del Sedimentador:

$$Z_1 = 19$$

$$Z_2 = 21, 30, \text{ y } 37$$

Relaciones de velocidades: 1.05, 1.57, y 1.94

Paso: 25.4 mm

El coeficiente de explotación K_e puede representarse como el producto de coeficientes particulares.

$$K_e = K_{cd} \cdot K_a \cdot K_i \cdot K_r \cdot K_l \cdot K_{reg} \quad (2.22)$$

Donde: K_{cd} - coeficiente de le cargas dinámicas

K_a - coeficiente que toma en consideración la distancia entre los ejes.

K_i - coeficiente que depende de la posición de la cadena.

K_r - coeficiente que tiene en cuenta la posibilidad de regular la distancia entre los ejes.

K_l - coeficiente que depende de la lubricación.

2.4.1 Distancia entre los ejes de rotación de la rueda.

La distancia mínima entre los ejes se determina por la condición de que el ángulo de abrazado por la cadena en la rueda menor no debe ser menor de 120° .

Con $i \leq 3$

$$a_{\min} = \frac{D_1 + D_2}{2} (30 \dots 50); \text{ mm} \quad (2.23)$$

Donde: D_1 – diámetro del pasador

D_2 – diámetro del rodillo

Estos diámetros se encuentran en la tabla No. 1.4 Folleto de transmisiones mecánicas (González y Rodríguez, 2009)

Distancia optima entre los ejes

$$a = (30 \dots 50) \cdot t \quad (2.24)$$

t – es el paso de cadena.

Generalmente la distancia entre los ejes se recomienda limitarla por el valor:

$$a_{\max} = 80 \cdot t \quad (2.25)$$

2.4.2 Número requerido de eslabones

El número requerido de eslabones de una cadena (W) se determina por la distancia entre los ejes previamente seleccionada, generalmente se toma la distancia óptima, por el paso y los números de dientes de la ruedas Z_1 y Z_2 .

$$W = \frac{Z_1 + Z_2}{2} + \frac{2 \cdot a}{t} + \left(\frac{Z_2 - Z_1}{2\pi} \right)^2 \cdot \frac{t}{a} \quad (2.26)$$

2.4.3 Distancia entre los ejes de las ruedas según el número requerido de eslabones de la cadena.

$$a = \frac{t}{4} \cdot \left[W - \frac{Z_1 + Z_2}{2} + \sqrt{\left(W - \frac{Z_1 + Z_2}{2} \right)^2 - 8 \left(\frac{Z_2 - Z_1}{2\pi} \right)^2} \right] \quad (2.27)$$

A fin de asegurar la flecha de la cadena, la distancia entre los ejes se reduce en:

$$a_r = a - (0.002 \dots 0.004) \cdot a \quad (2.28)$$

2.4.4 Velocidad media de la cadena

La velocidad de la cadena se limita por el desgaste de la primera, ya que al aumentar la velocidad aumenta también la distancia de rozamiento por unidad de tiempo y la fuerza de choque de la cadena contra la rueda.

La velocidad media de la cadena se determina por:

$$v = \frac{Z \cdot n \cdot t}{60000}; \quad m/s \quad (2.29)$$

n - frecuencia de rotación de la estrella; en *r.p.m*

2.4.5 Número de choque de la cadena

$$g = \frac{4 \cdot Z_1 \cdot n_1}{60 \cdot W} \leq [g] \text{ en } 1/s \quad (2.30)$$

$[g]$ - tabla N₀ 1.5 según el paso de la cadena.

$$[g] = 20 \quad 1/s$$

El esfuerzo tangencial para las cadenas de rodillos coronales, normales y reforzados que actúa sobre la cadena viene dada por:

$$F_t = \frac{1000 \cdot N_1}{v}; N \quad (2.31)$$

N_1 - potencia a transmitir por la estrella; en kW

2.5 Cálculo del momento torsor que actúa en los brazos del Sedimentador y de la potencia de accionamiento del mecanismo.

Para la realización de este cálculo debemos conocer que el sedimentador está compuesto por cuatro brazos, dos largos y dos cortos.

2.5.1 Para los brazos largos.

$$P = V_L \cdot \gamma \quad (2.32)$$

Donde:

P – carga que actúa sobre los brazos;

V_L – volumen del liquido; m^3

ρ_{liq} – densidad del liquido; Kg / m^3

γ - peso específico

2.5.1.1 Volumen del brazo largo

$$V_L = (\pi \cdot r^2 \cdot h) - V_{bl} \quad (2.33)$$

Donde: r - Radio del Tanque

h altura del brazo.

V_{bl} - es volumen de los brazos cortos

El peso específico es: $\gamma = g \cdot \rho_{liq}$

$$P = g \cdot \rho_{liq} \cdot V_L$$

esta carga es para un solo brazo.

$$M_{tor} = P \cdot L \quad (2.34)$$

L - longitud del brazo; m

El momento torso total para los dos brazos largos es:

$$M_{tor} = 1892000 \cdot 2$$

2.5.2 Para los brazos cortos

2.5.2.1 Volumen del brazo corto

$$V_L = (\pi \cdot r^2 \cdot h) - V_{bc} \quad (2.35)$$

Donde: V_{bc} - es volumen de los brazos cortos

$$P = g \cdot \rho_{liq} \cdot V_L$$

esta carga es para un solo brazo

$$M_{tor} = P \cdot L$$

Donde: L - longitud del brazo; m

El momento torsor total para los dos brazos cortos es:

$$M_{tor} = 905100 \cdot 2$$

2.5.3 Momento torsor para los cuatro brazos

Este momento torsor es igual a la suma del momento torsor para los brazos largos más el momento torsor para los brazos cortos.

$$M_{total} = 1892000 \text{ N} \cdot m + 905100 \text{ N} \cdot m \quad (2.36)$$

2.6 Cálculo de la potencia de accionamiento para el mecanismo.

Esta potencia de accionamiento es la potencia que necesita el motor reductor para accionar el mecanismo cuando se incrementa el sedimento.

$$N_{acc} = M_{total} \cdot W \quad (2.37)$$

N_{acc} – potencia de accionamiento de motor reductor.

$$W = \frac{n\pi}{30}$$

2.6.1 Selección del motor reductor.

Para la selección del motor reductor se utilizaron catálogos de moto reductores, pero primero se calcula nuevamente la potencia de accionamiento mediante la potencia de trabajo.

$$N_{acc} = (1.1-1.2) \cdot N_{TRAB} \quad (2.38)$$

N_{TRAB} - potencia con la que está trabajando.

Para seleccionar el motor reductor se convierte la potencia de kW a HP .

donde: $1HP = 0.746 kW$

Con esta potencia de accionamiento de $5.9 HP$ se selecciona el motor reductor.

2.7 Metodología secuencial para la simulación del comportamiento de los brazos.

2.7.1 Obtención de la geometría básica

Para modelar la geometría del sistema Cable-Torque se utilizó el software Mechanical Desktop 2005. Se recurrió a las herramientas especiales para la edición de sólidos en 3D, utilizando las dimensiones reales del sistema y las mediciones efectuadas *in-situ* (Véase Anexo 6) se logró obtener la geometría con altos niveles de

precisión. Las dimensiones esenciales del sistema se comportan como ilustra la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Dimensiones fundamentales del sistema

Nombre	Valor	Magnitud Física
CERCHA CENTRAL		
Altura	7.557	m
Ancho	2.410	m
Peso total	7 076.40	kg
Altura	5.00	m
Material	AISI 1020	-
BRAZOS		
Altura respecto al piso del SD	5.594	m
Largo de los brazos	Largo 9.302 Corto 4.785	m
Material	AISI 1020	
CUCHILLAS RASPADORAS		
Cuchillas rectas	76	U
Cuchillas curvas	4	U
Largo de los soporte de las cuchillas	Largo 23 Corto 10	m

2.7.2 Discretización de los elementos a simular

Para llevar a cabo la simulación del sistema Cable-Torque del Sedimentador 109 A de la UEB Lixiviación y Lavado fue necesario discretizarlo. El sistema fue separado en seis elementos o partes componentes. A continuación se efectúa un análisis individualizado de cada uno de estas partes componentes.

2.7.2.1 Brazos de Suspensión

Este elemento, fundamental del sistema Cable-Torque analizado está compuesto por 3 barras huecas de sección transversal circular intersectadas de forma diagonal en un ángulo de 25° sexagesimales. Estas barras poseen un diámetro exterior 426 mm, de diámetro interior de 410 mm y un espesor de 16 mm. (Véase Anexo 8 y Anexo 9). Este modelo a cuatro brazos posee dos brazos cortos y dos largos separados a una distancia de 90° entre si.

2.7.2.2 Brazos de arrastre

Los brazos de arrastre soportan las 80 cuchillas raspadoras de la pulpa dentro del sedimentador, de ellas 76 rectas y 4 curvas (figura 3.x). Por su ubicación y frecuente contacto con la pulpa están fabricados de AISI 1020. Poseen un diámetro exterior de 273 mm, diámetro interior de 259,3 mm y un espesor de 12,7 mm. Al igual que para los brazos de suspensión este diseño de Cable-Torque posee 2 brazos de arrastre cortos y 2 brazos de arrastre largos. Los brazos cortos soportan 11 cuchillas raspadoras rectas y 1 curva; por su parte los brazos de arrastre largos soportan 27 cuchillas raspadoras rectas y una curva (Véase Anexo 6 y Anexo 7)

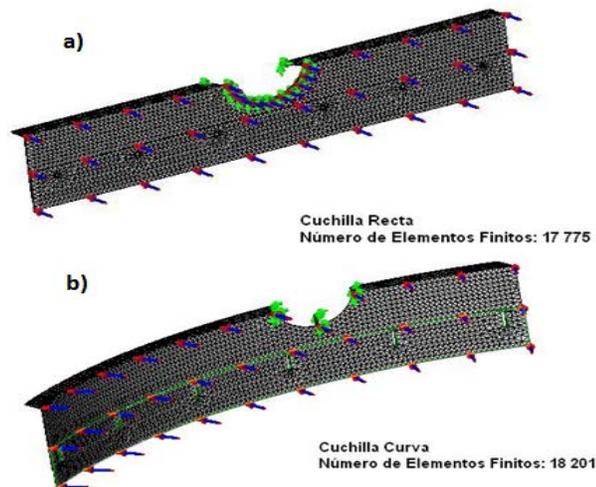


Figura 2.1 Cuchillas del brazo de arrastre.
a) Cuchilla recta, b) Cuchilla Curva

Fueron incluidas para simular las 80 cuchillas raspadoras rectas y las 4 cuchillas raspadoras curvas del brazo de arrastre. Para la obtención de los resultados y en vista de optimizar el proceso de simulación se analizaron estos elementos de forma individual en el Cosmos Design Star 4.5. (Véase Anexo 8 E y Anexo 8 F)

2.7.2.3 Aplicación de cargas dinámicas al modelo

Durante este proceso se aplicaron a los modelos las cargas presentes en el transcurso de la sedimentación. Se tuvieron en cuenta valores como:

- Torque que se le aplica a la cercha central de sedimentador
- Tensión en los cables de arrastre

- Resistencia a la rotación en las cuchillas
- Resistencia a la rotación que ejerce la pulpa sobre el brazo de arrastre

Cada una de estas fuerzas fue obtenida mediante cálculos empíricos y comprobados con mediciones realizadas en la UEB Lixiviación y Lavado de la Empresa “Cmdte Ernesto Che Guevara”. El Anexo 8 muestra la distribución de las cargas en el sistema.

2.7.2.4 Separación en elementos finitos

Luego de aplicar las cargas a los elementos componentes del sistema previamente discretizados se obtuvieron seis ficheros de análisis que fueron posteriormente sometidos al proceso de separación en elementos finitos (mallado) de forma satisfactoria. (Véase Anexo 8) Estos fueron separados en 155 516 elementos finitos que se distribuyen de la siguiente forma:

Tabla 2.4. Distribución de elementos finitos por partes componentes

Parte componente	Número elementos finitos
Brazo de suspensión largos	32 813
Brazo de suspensión cortos	26466
Brazo de arrastre largos	35 776
Brazos de arrastre cortos	24485
Cuchilla Recta	17 775
Cuchilla Curva	18 201

Posteriormente se procedió a efectuar la simulación de cada una de las partes componentes, proceso en el que se tuvieron en cuenta los materiales que las componen, la temperatura de trabajo así como los parámetros mencionados en el epígrafe anterior. Los resultados de mencionada simulación serán analizados en el próximo capítulo.

2.8 Conclusiones del Capítulo

- Quedó establecida la metodología para el cálculo del mecanismo de accionamiento del SD 109 A de la UEB de Lixiviación y Lavado.
- Se expusieron los fundamentos necesarios para efectuar el proceso de simulación mediante el Método de Elementos Finitos tales como:
 - Separación en elementos finitos
 - Aplicación de cargas dinámicas al modelo
 - Discretización de los elementos a simular
 - Obtención de la geometría básica

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.1 Introducción

En este capítulo se exponen los resultados derivados obtenidos por medio del análisis experimental cuyos resultados tienen su base en expresiones matemáticas que nos darán un indicador del comportamiento desde el punto de vista del cálculo para el accionamiento, así como la evaluación crítica de los resultados obtenidos por medio del método de elementos finitos. Teniendo la modelación del mismo, se representan las principales tensiones y donde ejercen su máximo esfuerzo por lo que tendremos una bastante aproximación del comportamiento de los brazos del sistema Cable-Torque para el sedimentador 109 A. También se llevará a cabo la valoración económica teniendo en cuenta los factores que ejercen su influencia directa o indirecta en el proceso productivo sin dejar atrás el impacto medioambiental, en lo cual debemos ser muy cuidadosos ya que es un objetivo primordial como futuros profesionales velar por el cumplimiento de las normas establecidas que garanticen un buen desempeño en el entorno que nos rodea, para que todas las operaciones realizadas tengan la calidad y el éxito que se espera.

Este capítulo tiene como **objetivo**:

Realizar la valoración crítica de los resultados y a través de ella, explicar los fundamentos científicos que dan solución al problema planteado según la interpretación de las regularidades observadas.

3.2 Resultados principales de las relaciones geométricas en las transmisiones por tornillo sinfín.

En la tabla 3.1 se muestran los resultados de las dimensiones principales de las relaciones geométricas en las transmisiones por tornillo sinfín, donde para la obtención de estos valores se tiene en cuenta el número de filetes del tornillo sinfín $Z_1 = 2$, número de dientes de la rueda $Z_2 = 60$ y módulo normal 15 mm.

Tabla 3.1. Resultados de las dimensiones principales para el cálculo de las transmisiones por tornillo sinfín

NOMBRE	ECUACIÓN	VALOR	UNIDAD DE MEDIDA	DESIGNACIÓN
Relación de transmisión del engranaje de tornillo sinfín	(2.1)	30	<i>mm</i>	(i_1)
Diámetro primitivo del tornillo	(2.2)	150	<i>mm</i>	d_1
Diámetro primitivo de la rueda	(2.3)	900	<i>mm</i>	d_2
Diámetro exterior de la rueda	(2.4)	952.5	<i>mm</i>	da_2
Distancia interaxial	(2.5)	440	<i>mm</i>	a_w
Momento torsor	(2.7)	1659	<i>Nm</i>	$Mtor_2$
Velocidad angular	(2.8)	3.97	<i>rad/seg</i>	W_2
Precisión de la distancia interaxial	(2.9)	525	<i>mm</i>	a_w
Diámetro del tornillo sinfín	(2.10)	640	<i>mm</i>	d_1
Diámetro de los vértices del tornillo sinfín y de la rueda	(2.11); (2.12)	180 y 930	<i>mm</i>	(da_1) y (da_2)
Diámetro de las cavidades para el tornillo y la rueda	(2.13); (2.14)	114 y 864	<i>mm</i>	df y df_2
Longitud de la parte tallada del tornillo sinfín	(2.15)	220	<i>mm</i>	(b_1)
Ancho de la rueda	(2.16)	135	<i>mm</i>	(b_2)

3.2.1 Determinación de la tensión admisible por contacto a la tracción

La tensión admisible por contacto según el tipo de material a la fatiga superficial se determina por la ecuación (2.6), por lo que calculando $[\sigma]_r^0 = (0.75...0.9) \cdot \sigma_{res}$, aquí σ_{res} es el límite de resistencia a la tracción por el material de la rueda (Tabla No 2.3) según González y Rodríguez (2009), entonces $[\sigma]_r^0 = 24 \text{ kgf/cm}^2$ para rueda helicoidal de bronce al estaño fosfórico, el número equivalente de ciclos de carga que se adopta $\leq 25 \cdot 10^7$, según González y Rodríguez (2009), $N_E = 2.7 \cdot 10^7$, con éste valor, finalmente se obtiene como resultado la tensión admisible a la tracción $[\sigma]_r = 28.268 \text{ kgf/cm}^2$.

3.3 Resultados principales de las relaciones geométricas en las transmisiones corona piñón.

En la tabla 3.2 se muestran los resultados de las dimensiones principales de las relaciones geométricas en las transmisiones corona piñón, donde para la obtención de estos valores se tiene en cuenta el número de dientes del piñón, $Z_{\text{piñón}} = 16$, la corona $Z_{\text{corona}} = 170$ y la relación de transmisión de la misma $i = 10.625$.

Tabla 3.2. Resultados de las dimensiones principales para el cálculo de la transmisión corona piñón

NOMBRE	ECUACIÓN	VALOR	UNIDAD DE MEDIDA	DESIGNACIÓN
Distancia entre los ejes	(2.18)	12	cm;	a_w
Tensión admisible al contacto	(2.19)	7423	kgf/cm ²	$[\sigma]_T$
Momento torsor	(2.20)	1659	kgf/cm ²	M_{tor}
El ancho de la corona	(2.21)	5.4	cm	b

3.3.1 Determinación del límite de fatiga de las capas superficiales de los dientes

Para el caso $[\sigma]_T = 7423 \text{ kgf/cm}^2$ es acero 40x y dureza 45HRC, entonces el límite de fatiga es $\sigma_{0T} = 170HRC + 2000; \text{ kgf/cm}^2$, (Tabla No 2.2), según González y Rodríguez (2009) y $Z_r = 1$, con el número de revoluciones $n = 0.038$ finalmente con estos valores se determina la ecuación (2.19) y $\sigma_{0T} = 9650 \text{ kgf/cm}^2$. Para la determinación de la velocidad angular, el número de revoluciones $n = 0.038$ se sustituye en la siguiente ecuación: $W_2 = n \cdot \pi / 30$ y se obtiene como resultado $W_2 = 0.00398 \text{ rad/seg}$.

Una vez calculado todos los datos necesarios para el cálculo de la resistencia al contacto se realiza el cálculo de esta y se obtiene como resultado:

$$\sigma_T = 147.345 \text{ kgf/cm}^2$$

Este resultado nos demuestra que se cumple la condición de resistencia.

3.4 Resultados principales de las relaciones geométricas en las transmisiones por cadenas

En la tabla 3.3 se muestran los resultados de las dimensiones principales de las relaciones geométricas en las transmisiones por cadenas, donde para la obtención de estos valores se tiene en cuenta las dos ruedas de estrellas: la conductora con $Z_1 = 19$ y la conducida con rueda $Z_2 = 37$, los diámetros exteriores de la rueda de estrella D_1 diámetro del pasador igual a 7.95 mm y D_2 diámetro del rodillo igual a 15.88 mm , la relación de velocidades 1.05, 1.57, 1.94 y el paso de la cadena $t = 25.4 \text{ mm}$.

Tabla 3.3. Resultados de las dimensiones principales para el cálculo de las transmisiones por cadenas

NOMBRE	ECUACIÓN	VALOR	UNIDAD MEDIDA	DESIGNACIÓN
Distancia mínima entre los ejes	(2.23)	357.45	mm	a_{\min}
Distancia optima entre los ejes	(2.24)	762	mm	a
Distancia máxima entre los ejes	(2.25)	2032	mm	a_{\max}
El número requerido de eslabones de una cadena	(2.26)	90	U	W
Distancia entre los ejes de las ruedas	(2.27)	784.02	mm	a
Distancia entre los ejes reducida	(2.28)	780.887	mm	a_r
Velocidad media de la cadena	(2.29)	0.9	m/s	v
Número de choque de la cadena	(2.30)	$11.259 \leq [g]$	-	g
Esfuerzo tangencial para la cadena	(2.31)	7332	N	F_t

3.4.1 Determinación del coeficiente de explotación

Para el desarrollo el coeficiente de explotación K_e en la ecuación (2.22) es necesario conocer coeficiente tales como, coeficiente de las cargas dinámicas para carga de choque $K_{cd} = 1.3$, coeficiente que toma en consideración la distancia entre los ejes $K_a = 1$, el coeficiente que depende de la posición de la cadena $K_i = 1$ ya que la línea

de centro está inclinada menor que 60^0 , coeficiente que tiene en cuenta la posibilidad de regular la distancia entre los ejes $K_r = 1$, como también es el coeficiente que depende de la lubricación $K_l = 1.5$ lubricación periódica ($v > 4.5 m/s$) y el coeficiente del régimen de trabajo de la transmisión $K_{reg} = 1.45$ para tres turnos de trabajo. Conocidos los coeficientes particulares, finalmente se sustituyen estos valores en la ecuación (2.22) planteada anteriormente y se obtiene $K_e = 2.82$.

3.5 Cálculo del momento torsor que actúa en los brazos del sedimentador y de la potencia de accionamiento del mecanismo.

Primero se hace necesario poseer varios factores para la obtención del momento torsor para los brazos largos tales como; la carga que actúa sobre los brazos que se determina por la ecuación (2.32), donde el volumen del líquido ecuación (2.33) $V_L = 2356 m^3$, el peso específico $\gamma = g \cdot \rho_{liq}$, en la cual la densidad del líquido $\rho_{liq} = 1.780 Kg/m^3$ y la gravedad $g = 9.8$, se sustituyen en la ecuación (2.32) anteriormente planteada y se obtiene $P = 41140 N$, esta carga es para un solo brazo. Para el desarrollo del momento torsor por la ecuación (2.34), se sustituye la carga que actúa sobre un solo brazo $P = 41140 N$ y la longitud del brazo $L = 23 m$, se obtiene $M_{tor} = 946100 N \cdot m$, entonces el momento torsor para los dos brazos largos es: $M_{tor} = 1892000 N \cdot m$

3.5.1 Resultados principales del cálculo del momento torsor que actúa en los brazos cortos del Sedimentador.

Para los brazos cortos es el mismo procedimiento que para los brazos largos, donde cambian algunos los valores como: el volumen del líquido $V_L = 2356 m^3$, la carga que actúa sobre un solo brazo $P = 41140 N$ y la longitud del brazo $L = 10 m$, con estos valores se tiene el momento torsor para un solo brazo $M_{tor} = 452500 N \cdot m$, entonces el momento torsor total para los dos brazos cortos es: $M_{tor} = 905100 N \cdot m$.

3.5.2 Resultados principales del cálculo del momento torsor que actúa en los cuatros brazos del Sedimentador.

Con la determinación del valor del momento torsor total para los dos brazos largos $M_{tor} = 1892000 \text{ N} \cdot \text{m}$, el momento torsor total para los dos brazos cortos es $M_{tor} = 905100 \text{ N} \cdot \text{m}$, se sustituye en la ecuación (2.36) y se obtiene $M_{total} = 2797000 \text{ N}$.

3.5.3 Resultados principales del cálculo de la potencia de accionamiento para el mecanismo.

Con los valores del momento torsor total para los cuatro brazos $M_{total} = 2797000 \text{ N}$, el número de revoluciones $n = 0.038 \text{ r.p.m}$ y la velocidad angular $W = 0.00397 \text{ rad / seg}$ se sustituye en la ecuación (2.37), se obtiene $N_{acc} = 9.12 \text{ kW}$.

3.5.3.1 Selección del motor reductor.

Para la selección de del motor reductor se tuvo en cuenta la ecuación (2.38) donde se sustituye el valor de la potencia con la que está trabajando $N_{TRAB} = 6.6 \text{ kW}$ obteniendo $N_{acc} = 7.92 \text{ kW}$, entonces se convierte la potencia de kW a HP y se obtiene $N_{acc} = 5.9 \text{ HP}$, por lo que con esta potencia de accionamiento de 5.9 HP se selecciona el motor reductor que cuenta con las siguientes características:

1. Tipo: C802 S4 M4 LA4
2. Velocidad del motor: 1750 r.p.m
3. Potencia: 7.92 kW
4. Velocidad de salida: 39 r.p.m
5. Torque: 1848 $\text{N} \cdot \text{m}$
6. Voltaje: 460 volts
7. Frecuencia: 60 Hz
8. Factor de servicio: 1.29

3.6 Resultados obtenidos en la simulación

3.6.1 Brazos de suspensión

La simulación de los brazos de suspensión y de arrastre permitió determinar el comportamiento de los mismos bajo las solicitaciones que tienen lugar dentro del sedimentador. Para efectuar el proceso de análisis por el Método de Elementos Finitos se tuvieron en cuenta cada una de las cargas y tensiones a las que están sometidos mencionadas partes del Sistema Cable-Torque. El estudio realizado a ambos brazos arrojó los siguientes resultados (Véase Anexo 9 y Anexo 10)

Tabla 3.4 Resultados de la simulación de los brazos

PARÁMETRO	BRAZOS DE SUSPENSIÓN LARGO	BRAZOS DE SUSPENSIÓN CORTO	MAGNITUD FÍSICA
Tensiones de Von Mises	2.18818×10^8	3.42142×10^8	N/m ²
Esfuerzo Equivalente	0.00101787	0.00204789	
Deformación	71.8291	65.7025	mm
Módulo de Elasticidad	2×10^{11}		N/m ²
Coefficiente de Poisson	0.29		
Módulo de flexión	7.7×10^{10}		N/m ²
Densidad Másica	7900		kg/m ³
Resistencia a la tension	4.2051×10^8		N/m ²
Límite de Fluencia	3.5157×10^8		N/m ²
Coefficiente de expansión Térmica	1.5×10^5		Kelvin
Conductividad Térmica	47		W/(m·K)

Como se observa los resultados obtenidos como fruto de la simulación de los brazos se encuentran dentro de los parámetros de normalidad pues la deformación es mínima en el orden de las décimas de metro. Si se compara el límite de fluencia con las tensiones máximas de Von Mises, se observará que estas últimas se encuentran por debajo del límite por tanto el elemento no sufre ninguna rotura.

3.6.2 Brazos de arrastre

Tabla 3.4 Resultados de la simulación de los brazos

PARÁMETRO	BRAZOS DE ARRASTRE LARGO	BRAZOS DE ARRASTRE CORTO	MAGNITUD FÍSICA
Tensiones de Von Mises	8.53093×10^{10}	2.47404×10^{10}	N/m ²
Esfuerzo Equivalente	0.742283	0.13984	
Deformación	533.3	765.6	mm
Módulo de Elasticidad	2×10^{11}		N/m ²
Coefficiente de Poisson	0.29		
Módulo de flexión	7.7×10^{10}		N/m ²
Densidad Másica	7900		kg/m ³
Resistencia a la tensión	4.2051×10^8		N/m ²
Límite de Fluencia	3.5157×10^8		N/m ²
Coefficiente de expansión Térmica	1.5×10^5		Kelvin
Conductividad Térmica	47		W/(m·K)

Como se observa los resultados obtenidos como fruto de la simulación de los brazos se encuentran dentro de los parámetros de normalidad pues la deformación es mínima en el orden de las décimas de metro. Si bien es válido señalar que se corroboraron deformaciones en la estructura estas no implican ninguna rotura en la misma. Si se compara el límite de fluencia con las tensiones máximas de Von Mises, se observará que estas últimas se encuentran por debajo del límite por tanto el elemento no sufre ninguna rotura.

3.6.3 Cuchillas raspadoras

Después someter a estudio, mediante el Método de Elementos Finitos, las cuchillas raspadoras; teniendo en cuenta las diversas solicitaciones a que están sometidas las mismas, (figura 3.1) se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 3.3. En la tabla siguiente se exponen los resultados de las simulaciones efectuadas, bajo las solicitaciones a las que se someten en el proceso de sedimentación, a las cuchillas raspadoras rectas y curvas.

Tabla 3.3. Resultados de la simulación de las cuchillas raspadoras

PARÁMETRO	CUCHILLA RECTA	CUCHILLA CURVA	MAGNITUD FÍSICA
Tensiones de Von Mises	1.87211×10^{10}	3.40136×10^{10}	N/m ²
Esfuerzo Equivalente	0.0935299	0.209742	
Deformación	0.41742	165.02	mm
Módulo de Elasticidad	2 x 1011		N/m ²
Coeficiente de Poisson	0.29		
Módulo de flexión	7.7 x 1010		N/m ²
Densidad Másica	7900		kg/m ³
Resistencia a la tensión	4.2051 x 108		N/m ²
Límite de Fluencia	3.5157 x 108		N/m ²
Coeficiente de expansión Térmica	1.5 x 105		Kelvin
Conductividad Térmica	47		W/(m·K)

Como se puede apreciar los valores de Deformación y de Tensiones de Von Mises se encuentran dentro del rango permitido. Mediante la simulación fueron obtenidos los comportamientos de ambas cuchillas en función de la Fuerza Equivalente y Desplazamiento. (Ver Anexo 17 y 18)

3.7 Valoración económica

Los SD por sistema Cable-Torque como toda maquinaria industrial poseen un programa de mantenimiento y reparación, A continuación se analizan los parámetros económicos del SD 109 A de la UEB de Lixiviación y Lavado de la fábrica Cmdte. Ernesto Che Guevara. En la tabla siguiente se muestran los costos que genera la sustitución de las partes componentes o piezas del sedimentador 109 A de mencionada UEB. Resaltar que han sido tenidos en cuenta los costos por concepto de capital humano vinculados al proceso de reparación y/o mantenimiento de citado sedimentador.

Tabla 3.1 Costo de fabricación de los elementos del SD 109 A.

NO	DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA	CANTIDAD	PRECIO (CUC)	IMPORTE (CUC)
1	Brazos Cable-Torque	4	14 628.32	58 513.28
2	Cercha Cable-Torque	1	50 615.7	50 615.7
3	Feed-Well ⁸ inoxidable Cable-Torque	1	8 910.6	8 910.6
4	Cuchillas rectas Cable-Torque	76	289.25	21 983
5	Cuchillas curvas Cable-Torque	4	500.9	2 003.6
6	Raspadores Cable-Torque	8	380.93	3 047.44
TOTAL	-	-	-	145 073.62

Tabla 3.2 Costo de reparación del SD 109 A.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (CUP)	VALOR EJECUTABLE (CUP)
Forros para piso(chapa 5; 1-6mm)	2.61	189.14	493.66
Chapas 5; (1-6mm)	2.61	255.15	665.94
Soportes con planchuelas soldadas	3.63	1 134.38	4 117.80
Piezas de conexión de tuberías	16	8.82	141.12
Arme y desarme de andamio	120	2.28	273.60
Montaje de barandas	168	7.29	1224.72
Feed-Well	1	356.47	356.47
Nivelación de Feed-Well	130.57	2	261.14
Montaje de brazos	545.47	1	545.47
Tensor los cables	24	185.86	4 460.64
Desmontaje de brazos	4	341.97	683.94
Restablecer techo del TK	83.80	30	2514
SUBTOTAL			15 738.5
SUMINISTRO CALIENTE			
Viga C 160	2	583.53	1 167.06
Angular 50x50	135	32.98	4450.66
Angular 75x75	25	54.91	1372.75
Angular 65x65	20	51.54	1030.80
Angular 100x100	9	93.636	842.72
Rejilla para piso 30x30	42	166.845	7007.49
Electrodo E-316 de 4 mm	5	13.76	68.80

⁸ Canal de distribución de la pulpa, a la entrada del sedimentador.

Tabla 3.2 Costo de reparación del SD 109 A. (Continuación)

Electrodo E-316 de 4 mm	5	6.72	33.60
Electrodo E-316 de 3.2 mm	5	12.11	60.55
Electrodo de carbón de 8 mm	300	0.30	90
Platillo diámetro 350 mm	4	62.35	249.40
Platillo diámetro 325 mm	4	81.6	326.40
Platillo diámetro 400mm	4	53.55	214.20
Válvula de diámetro 350 mm	2	11 236.95	22473.90
SUBTOTAL			39 388.33
SUMINISTRO A LA ECRIN			
Andamios metálicos	120	1.8900	226.80
Electrodo 7018 de 4 mm	300	3.113524	934.06
Acetileno	40	38.17	1526.80
Oxígeno	118	10.12	1194.16
Electrodo 7018 de 3.2 mm	200	3.2417	648.34
SUBTOTAL			4 530,16
Total de costo directo			52 072.37
Gastos directos a la obra	9.5%		4 946.88
Gastos indirectos	8.5%		4 426.15
Subtotal de gasto	12.36%		7 594.65
Transportación			0.00
Imprevistos debido a portadores de corriente			5.00
Presupuesto total de independientes	8.92%		6 163.37
Costo total			75 203.42
Utilidad	20%		4 805.52
Total de servicio			80 008.94
RECURSOS MANO DE OBRA			
Ayudante de construcción del grupo salarial	513.16	1.91	980.14
Armador de estructura del grupo salarial	4.89	2.44	11.94
Auxiliar de Mto. de sistema de acueducto	6.00	2.12	12.72
Instalador de tuberías del grupo salarial	119.14	2.72	324.06

Tabla 3.2 Costo de reparación del SD 109 A. (Continuación)

Mecánico de mantenimiento del grupo salarial	0.63	3.42	2.15
Mecánico de mantenimiento del grupo salarial	8.16	2.93	23.91
Mecánico de mantenimiento del grupo salarial	23.23	2.72	63.19
Mecánico montador del grupo salarial IV	133.60	3.42	456.91
Mecánico montador del grupo salarial V	82.00	2.44	200.08
Pailero del grupo salarial IX	19.60	3.42	67.03
Pailero del grupo salarial VI	50.12	2.72	136.31
Pailero del grupo salarial IV	41.60	2.29	95.26
Operario de const. y mtto y reparación de acueducto	6.00	2.29	13.74
Soldador del grupo salarial VII	17.78	2.93	52.11
Soldador del grupo salarial VI	13.88	2.72	37.75
Soldador del grupo salarial V	11.70	2.44	28.55
SUBTOTAL	1051.50		2505.88
RECURSOS DE EQUIPOS			
Camión plancha	1.05	15.03	15.71
Grúa de izaje 14ton	144.94	21.27	3082.79
Grúa de izaje 45ton	26.00	44.48	1156.48
Soldador eléctrico por motor	21.88	4.14	90.58
Soldador elect. arco por transf	21.48	1.98	42.54
Soldador autógeno y equipo oxicornador	49.98	3.32	165.93
SUBTOTAL	265.32		4554.03

Luego de los resultados obtenidos en los diferentes aspectos de la fabricación obtenemos como costo total de fabricación 146 725.84 pesos.

3.8 Efecto de las averías del sistema Cable-Torque sobre el medio ambiente

A causa de las averías que sufre el sistema Cable-Torque situado en el sedimentador 109 A, son notables los daños causados al medio ambiente debido al aumento del ruido causado por las vibraciones. El motor consume gran cantidad de energía eléctrica, lo que aumenta la cantidad de petróleo que se utiliza para producir dicha energía, es preciso tener en cuenta que el petróleo es un combustible fósil agotable en el planeta y su continua extracción amenaza con su extinción. Con el aumento de la durabilidad del sistema Cable-Torque se crea un uso más racional de

los recursos que son empleados para la construcción de sus repuestos, en su mayoría aceros aleados que provienen de minerales extraídos de la corteza terrestre, en los que el hombre invierte dinero y recursos en la tala indiscriminada de los árboles que conducen a la desertificación de los suelos afectando el sistema ecológico del planeta.

3.8.1 Efectos sobre el organismo del escape de amoníaco gaseoso

El amoníaco gaseoso tiene gran acción irritante en cualquier tejido húmedo, la taquicardia y la taquipnea, son algunos síntomas originados por la irritación de las vías respiratorias pudiendo llegar hasta retener la respiración. Debido a la alta solubilidad del amoníaco este tiene gran facilidad para disolverse en el sudor del cuerpo humano.

3.8.2 Riesgo para el trabajador por las averías del sistema Cable-Torque

Para cada avería del sistema Cable-Torque los trabajadores que operan en la planta están propensos a sufrir producto a la emanación de gas, una intoxicación aguda o crónica ya que la fuga de este gas puede originar una severa acción corrosiva sobre la garganta, boca y estómago.

El amoníaco en estado gaseoso provoca irritación en cualquier tejido humano o asfixia por exposición de gases amoniacales. Inhalando, solo produce efecto sobre tejidos superficiales ya que no es absorbido por el organismo.

3.9 Conclusiones del capítulo

- A través de las metodologías de cálculo empleadas, se obtuvieron los parámetros del mecanismo de accionamiento del SD 109 A de la UEB Lixiviación y Lavado.
- Mediante la obtención de los parámetros antes mencionados, se realizó la simulación computacional por medio del COSMOS Design STAR 4.5 de los elementos fundamentales del mecanismo del Sedimentador 109 A de la UEB Lixiviación y Lavado.

- Se realizó la valoración económica, obteniendo los datos de fabricación y reparación del mecanismo del Sedimentador 109 A de la UEB Lixiviación y Lavado, obtenidos en el departamento de mantenimiento de dicha UEB.
- Brindamos un análisis del impacto ambiental, basándonos principalmente en el estado crítico del medio ambiente y en los daños ocasionados al organismo humano, a través los gases y desperdicios sólidos y líquidos.

CONCLUSIONES GENERALES

- El procedimiento de cálculo expuesto permitió la determinación de los parámetros necesarios para la simulación computacional de los brazos de suspensión y arrastre del sistema cable torque. El mismo se obtiene del análisis particular de las situaciones físicas que se presentan durante la implementación del objeto de estudio en la UEB Lixiviación y Lavado de la Empresa “Comdte Ernesto Che Guevara”.
- La metodología de cálculo para el mecanismo de accionamiento del sistema Cable-Torque para el Sedimentador 109 A demostró que se hace necesario un motor eléctrico de 7.92 kW de potencia para operar el sistema.
- En las condiciones analizadas en las simulaciones el sistema Cable-Torque para cuatro brazos sufre deformaciones en los brazos de suspensión de 71.8 mm y 65.7 mm, en los brazos de arrastre las deformaciones se destacan entre 533.3 y 765.6 mm por lo que estos valores están por debajo de las deformaciones reales del sistema por lo que se reduce la posibilidad de averías en el Sedimentador
- Las averías de estos equipos en el proceso productivo traen consigo serias afectaciones al medio ambiente y a los operarios de la planta.

RECOMENDACIONES

- Implementar en la UEB Lixiviación y Lavado de la empresa “Cmdte. Ernesto Che Guevara” los resultados obtenidos mediante la simulación para mejorar la eficiencia en la producción.
- Continuar utilizando la aplicación informática COSMOS Design Star 4.5 en futuras investigaciones donde se requiera el cálculo de los parámetros fundamentales del proceso de objeto de estudio.
- Emplear el presente informe como material de consulta en las actividades docentes afines a la temática estudiada.
- Continuar el desarrollo de la presente investigación mediante:
 - ✓ La incorporación de la simulación continua del proceso analizado y,
 - ✓ La implementación de sistemas de control histórico de variables;

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aneiros, J. M. Problemas de Diseño de Elementos de Máquinas, 1987.
2. Baranón, G. G. Teoría de los Mecanismos. Editorial MIR, Moscú. 1985.
3. Balandín, C. M. 1988: Filtrovaniegrubodispersnijmaterialov. Nedra, Moskva, 104 p.
4. Berres, S.; Bürger, R.; Karlsen, K. H. & Tory, E. M. 2003: Strongly degenerate parabolic-hyperbolic systems modeling polydisperse sedimentation with compression. J. Appl. Math 64(1): 41-80.
5. Beyris P.E. y Ferrer, E. 1996. Comportamiento de distintos tipos de iones durante el proceso de sedimentación de las pulpas lateríticas. Minería y Geología XXIII (2) :75-77.
6. Beyris M. P.E. y J. Falcón H. 2000: Consideraciones del efecto de la composición granulométrica en el proceso de sedimentación. Evento CINAREM'2000.
7. Botey J. Caracterización del mecanismo Cable-Torque de la Planta de Lixiviación y Lavado de la Empresa Cmdte. Ernesto Che Guevara. Tesis de ingeniería.
8. Brown, G. G. 1965: Operaciones básicas de la ingeniería química. Instituto Cubano del Libro. La Habana, 269 p.
9. Bürger, R.; Concha, F. & Karlsen, K. N. 2001: Phenomenological model of filtration processes: 1. Cake formation and expression. Chemical Engineering Science 56: 4537-4553.
10. B.J. Gladman, S.P. Usher, P.J. Scales. Understanding the Thickening Process. Dept. of Chemical and Biomolecular Engineering, The University of Melbourne, Australia, 2006
11. Carman, P. C. 1997: Fluid flow through granular beds. JUBILEE SUPPLEMENT-Trans IChemE, Vol 75 (December) :S32-S48.

12. Chuianov, G. G. 1987: Obezvoshivanie, pileulavlivanieiojranaokrushaiusheicredi. Nedra, Moskva, 200 p. Costa Lopez, J. "Curso de Química Técnica" Ed. Reverté (1991)
13. Coe, H. S., and Clevenger, G. H. (1916). "Methods for determining the capacities of slime-settling tanks."Trans. Am. Inst. of Mining, Metallurgical and Petr. Engrs., 55, 356.
14. Colectivo de autores. Atlas de diseño de elemento de máquina, Tomo I y II. 1986.
15. Coulson J.M. y Richardson J.F. "Ingeniería Química"Vol 1 y 2. Ed. Reverté (1979-81).
16. Dobrovolski, R. Elementos de Máquinas. Editorial MIR, Moscú, 1980.
17. Falcón J., Beyris P., Ferrer E. y Montero M. 1997. Sedimentación de las pulpas crudas de minerales lateríticos de la planta Moa Nickel S.A. Minería y Geología XIV (1):31 - 36.
18. Falcón J. Hernández A. 1987. Influencia de la composición iónica de la pulpa limonítica sobre la velocidad de sedimentación Minería y GeologíaV(3):67-80.
19. Falcón J., Beyris P., Ferrer E. y Montero M. 1997. Sedimentación de las pulpas crudas de minerales lateríticos de la planta Moa Nickel S.A. Minería y GeologíaXIV (1):31 - 36.
20. Feodosiev, V. I, Resistencia de Materiales. Editorial Mir. Moscú ,1985.
21. Fernández, L.G. Resistencia de los materiales. Editorial Pueblo y Educación. La Habana.Cuba.1986.511 p.
22. Garcell, L.,A y Cerpa N. 1993. Caracterización reológica de las pulpas de limonita de Moa. Tecnología Química. XIII(2) : 30-41
23. Garrido, P.;Concha, F. &Bürger, R. 2003: Settling velocities of particulate systems: 14 Unified model of sedimentation, centrifugation and filtration of flocculated suspension. Int. J. Miner. Process [en línea] 72: 57-74. Consulta: 10 enero 2010. Disponible en: www.sciencedirect.com
24. González, I., Folleto de Transmisiones Mecánicas. ISMMM, 2009.

25. Hernández Muñoz A. "Depuración de aguas residuales" Col. Ing. Caminos Canales y Puertos. Colección Senior^a 9. (1990)
26. Joanna R. Karl J. R. y Wells S. A. Numerical model of sedimentation/thickening with inertial effects. The Journal of Environmental Engineering. Portland State Univ., Portland
27. Kasatkin, A. G. 1987: Operaciones Básicas y Aparatos en la Tecnología Química. Ed. Pueblo y Educación, La Habana, 2t.
28. Kynch, G.J. (1952) A theory of sedimentation, Trans. Faraday Soc. 48, 166-176.
29. Lu. W. M.; Tung, K. L.; Pan, C. H. & Hwang, K. J. 1998: The effect of particle sedimentation on gravity filtration. Separation Science and Technology(12): 1723-1746.
30. Metcalf & Eddy, Inc. (1991). Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, and Reuse. McGraw- Hill, Inc., New York.
31. Mariño, A. 2002: Variables para el control de la concentración de sólidos alcanzable por sedimentación gravitacional. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa [Tesis doctoral] 100 p.
32. Mariño, A.; Falcón, J.; Sales-Valadao. E. & Almenares R. S. 2007: Nuevo enfoque para el pronóstico de la concentración de sólidos en lodos obtenidos por sedimentación gravitacional. Minería y Geología [en línea] 23 (3) Consulta: 15 enero 2014. Disponible en: [http:// www.ismm.edu.cu/sites/revistamg](http://www.ismm.edu.cu/sites/revistamg)
33. Mariño, A.; Falcón, J. & Sales-Valadao, E. S. 2001: Predicción de los valores máximos de concentración de sólidos en el producto espesado. Información tecnológica 12 (3): 181-188.
34. Mariño P. A., Falcon Hernández J. y Sales Valadao G. E. Correlación teórica entre las concentraciones de sólidos en el lodo sedimentado por gravedad y en la la torta sin escurrir. Minería y Geología. Vol. 26 n.4/ octubre-diciembre de 2010 / p.79-103
35. McCabe W.L. y Smith J.C. "Operaciones Básicas de Ingeniería" Ed Reverté (1969).

36. Mott L. R. Diseño de elementos de máquinas. Cuarta Edición. Prentice Hall, México. 2006.
37. Nebot, Miguel. 1969. Prueba de sedimentación con pulpas sometidas a un campo magnético. Trabajo de investigación. E.C.P.S.A. Moa.
38. Niemann, G. Elementos de Máquinas Ed. S. A. Barcelona, España, 1987.
39. Niemann, G. Tratado teórico práctico de Elementos de Máquinas. Ed. Labor S.A Barcelona, España, 1967.
40. Novoa Ortega, R. Influencia del pH y otros factores de la sedimentación de la pulpa mineral. Revista Cenic, 7, Feb1976.
41. Perry D.H. y Chilton C.H. "Manual del Ingeniero Químico" Ed. Mc Graw-Hill (1982).
42. Quintana Puchol. 1984. Estudio de la pulpa cruda del mineral laterítico del yacimiento Moa. (I): Análisis granulométrico. Minería y Geología. II (3):135-1461984.
43. Quintana Puchol. 1985. Estudio de la pulpa cruda del mineral laterítico del yacimiento Moa (II): Análisis físico mineralógico. Minería y Geología. III(1) :95-104.
44. Ramalho R. S. "Tratamiento de aguas residuales" Ed. Reverté (1991)
45. Ramalho, R. S. (1977). Introduction to Wastewater Treatment Processes. Academic Press.
46. Reshetov, D. Elementos de Máquinas Editorial Pueblo y Educación, 1987. La Habana Cuba.
47. Richardson, J.F. and Zaki, W.N. (1954) Sedimentation and fluidization: Part I. Trans. Instn. Chem. Engrs. (London) 32, 35-53.
48. Rivero L, G. Determinación del factor de contacto entre los flancos del tornillo sin-fin con perfil derivado de cono. Dr. Ing. Luis Martínez Delgado (tutor). Tesis en opción al título de Doctor en Ciencias Técnicas. Facultad de Ingeniería Mecánica. CUJAE. Ciudad de la Habana. 2002.
49. Robinson, C.S. (1926) Some factors influencing sedimentation, Ind. Eng. Chem. 18, 869-871.

50. Rodríguez, G. I. Folleto de transmisiones mecánicas. ISMMM 2009
51. Rodríguez, H. O. Dibujo Aplicado para Ingenieros, Tomo II, 2000.
52. Rojas Purón L. D. Accionamiento eléctrico asincrónico para transporte eficiente de pulpa laterítica. Tesis Doctorado en Ciencias Técnicas. Cujae- ISMMM. 2006.
53. Rojas Purón, L.A y P.E. Beyris. 1994. Influencia de la composición mineralógica en la sedimentación del material limonítico de frentes de explotación de la industria “Pedro Sotto Alba”. Minería y Geología.XI(1). Pág. 13-17
54. Rudenko, K. G. & Shemajanov, M. I. 1981: Obeznozhivanie i pileulavlivanie. Nedra, Moskva, 350 p.
55. Shigley, J.E; Mischke, C.R. Diseño en Ingeniería Mecánica. Editorial MC Graw Hill, 2001.
56. Steinour, H.H. (1944a) Rate of sedimentation. Non-flocculated suspensions of uniform spheres. Ind. Eng. Chem.36, 618-624.
57. Shushikovb. A., 1971: Filtrovaniye, teoriya i praktika razdeleniya suspensii. Ed. Jimia, Moskva, 440 p.
58. Smiles, D. E. 1975: Sedimentation and self-weight filtration in industrial slurries. Process Chem. Eng. 28: 13-16. Sincero 2002 –Wastewater Treatment 1
59. Talmadge, W. P. and E. B. Fitch (1955). Ind. Eng. Chem. 47, 38.
60. Tillerf. M., & Yeh, CH. S. 1987: Compressibility of particulate structures in relation to thickening, filtration and expression – A review. Separation Science and Technology 22(2 y 3): 1037-1063
61. Vian A. "Elementos de Ingeniería Química" Ed. Alhambra (1975).
62. Yanqiu, Zhang, etc. (1988). “Amendment of Design of Secondary Settling Tank”, Environmental Engineering. Vol 16, No 6, Ministry of Industry, Beijing, China.

**Tesis presentada en opción al
título de
INGENIERO MECÁNICO**

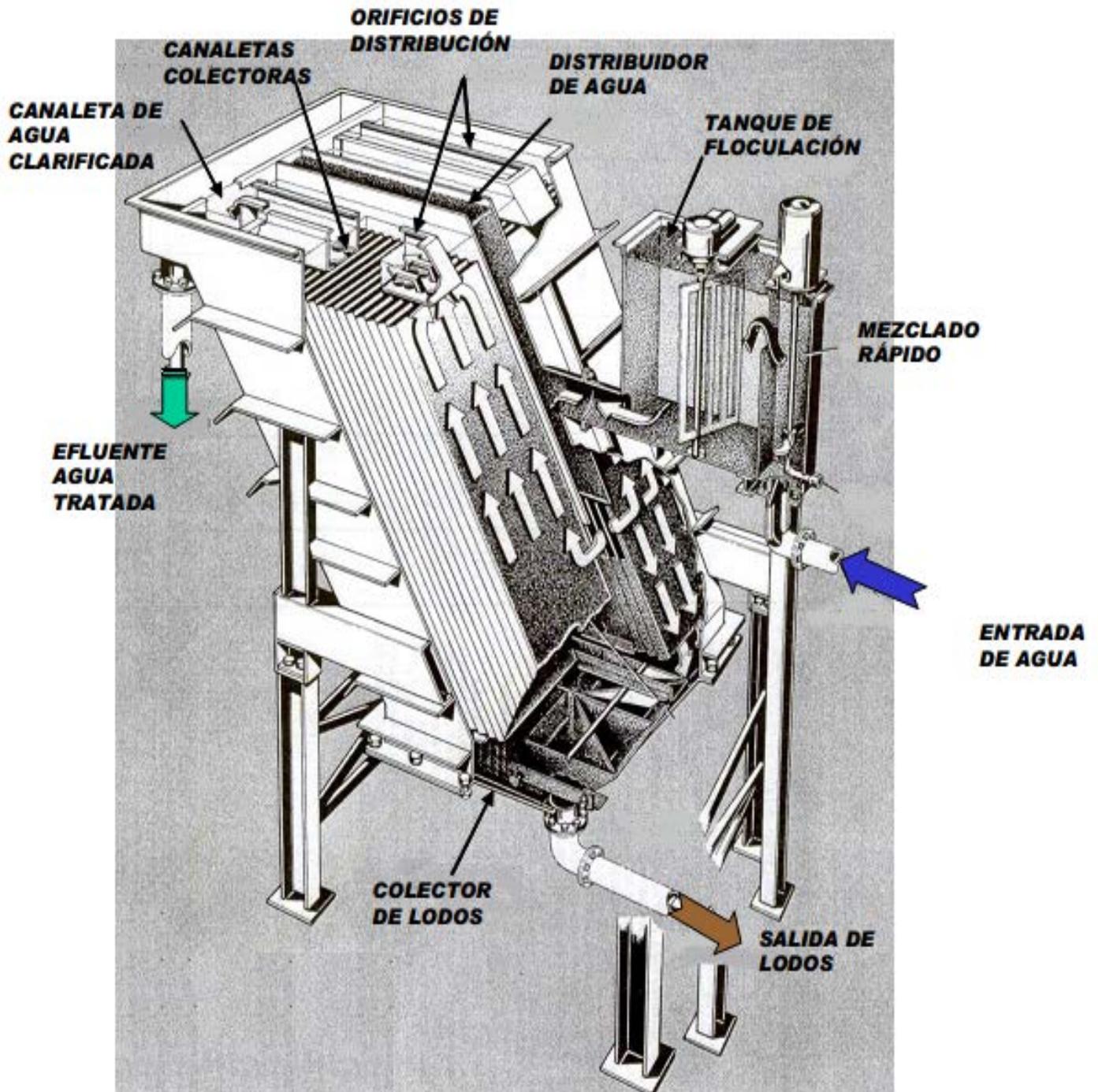
**TÍTULO: Diseño de un sistema Cable-Torque de
cuatro brazos para el sedimentador 109
A de la UEB Lixiviación y Lavado
(ANEXOS)**

AUTOR: Alexander Rodríguez Castillo

**TUTORES: Inst. Ing. Dannys Alfredo Berrío Landa
Ing. Ramón Baquero Arias**

Moa, 2015
"Año 56 de la Revolución"

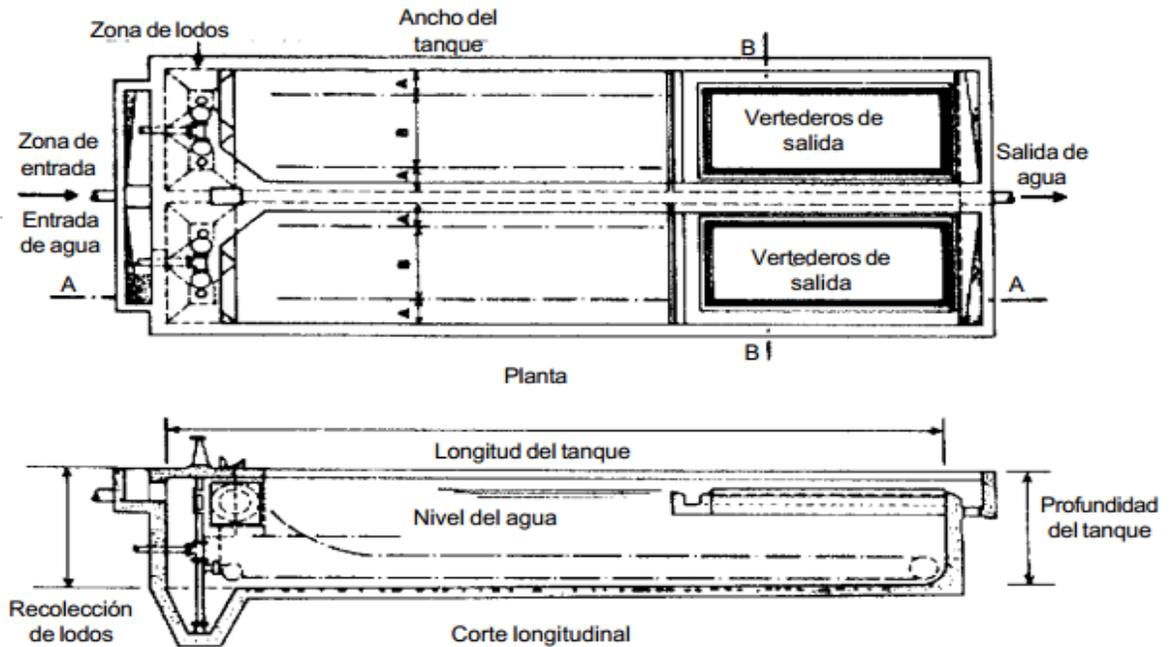
ANEXO 1. SEDIMENTADOR DE PLACAS INCLINADAS DE ALTA EFICIENCIA DE LODO



Alexander Rodríguez Castillo

Diseño de un sistema Cable-Torque de cuatro brazos para el sedimentador 109 A de la Empresa
"Cmdte. Ernesto Che Guevara"

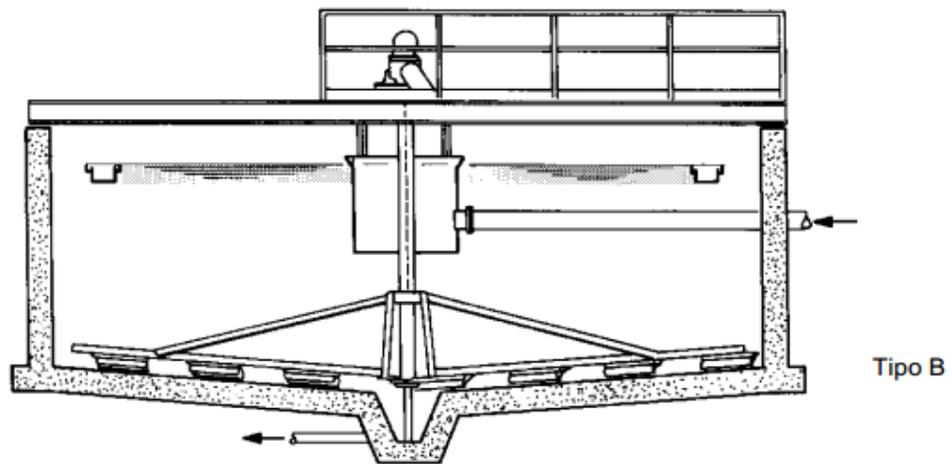
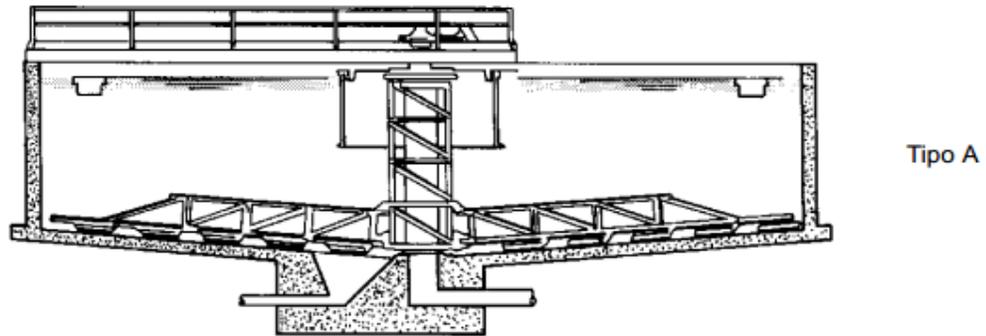
ANEXO 2. SEDIMENTADORES ESTÁTICOS HORIZONTALES DE FORMA RECTANGULAR



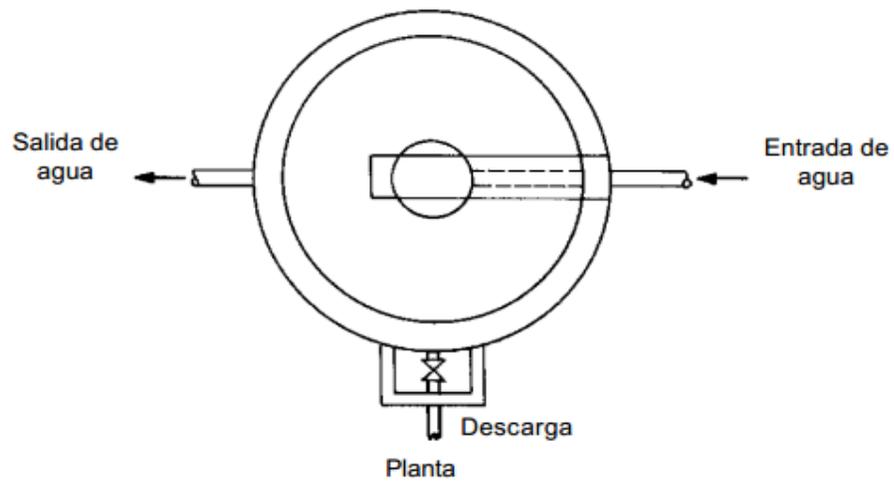
Alexander Rodríguez Castillo

Diseño de un sistema Cable-Torque de cuatro brazos para el sedimentador 109 A de la Empresa
"Cmdte. Ernesto Che Guevara"

ANEXO 3. SEDIMENTADORES O DECANTADORES ESTÁTICOS CIRCULARES.



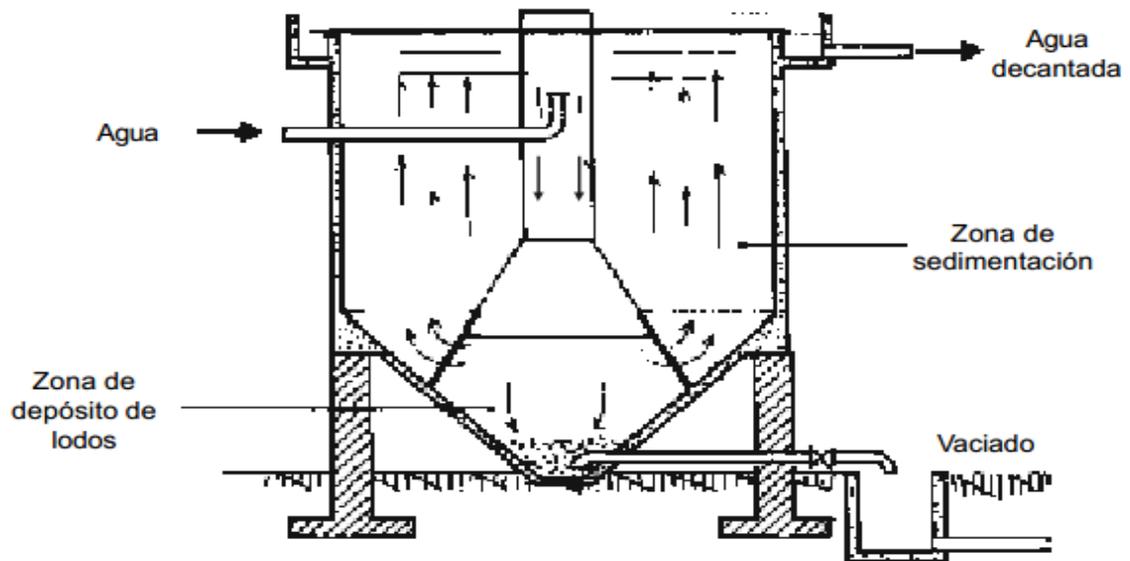
Cortes típicos



Alexander Rodríguez Castillo

Diseño de un sistema Cable-Torque de cuatro brazos para el sedimentador 109 A de la Empresa "Cmdte. Ernesto Che Guevara"

ANEXO 4. SEDIMENTADOR ESTÁTICO DE FLUJO VERTICAL.



Alexander Rodríguez Castillo

Diseño de un sistema Cable-Torque de cuatro brazos para el sedimentador 109 A de la Empresa "Cmdte. Ernesto Che Guevara"

CÁLCULO DEL SISTEMA DE ACCIONAMIENTO

Cálculo geométrico del tornillo sinfín (2.1)

donde $Z_1 := 2$ número de filetes del tornillo sinfín el módulo $m := 15$
 $Z_2 := 60$ número de dientes de la rueda

$$i_1 := \frac{Z_2}{Z_1} \quad i_1 = 30$$

Diámetro primitivo del tornillo (2.2)

$q := 10$ para cálculos preliminares

$$d_1 := m \cdot q \quad d_1 = 150 \text{ mm}$$

Diámetro primitivo de la rueda (2.3)

$$d_2 := m \cdot Z_2$$

$$d_2 = 900 \text{ mm}$$

Diámetro exterior de la rueda (2.4)

$$da_2 := 93(\text{mm}) \quad m := 15$$

$$dma_2 := da_2 + \left(6 \cdot \frac{m}{Z_1 + 2} \right)$$

$$dma_2 = 952.5 \text{ mm}$$

Distancia interaxial (2.5)

donde $NE := 2.7 \cdot 10^6$ Número equivalente de ciclos de carga. Se adopta $NE \leq 25 \cdot 10^7$

(σT_0) Tensión admisible a la tracción.

aw Distancia interaxial

$\sigma_{res} := 30$ Límite de resistencia a la tracción para el Bronce al estaño fosforoso

Tensión admisible a la tracción (2.6)

donde $\sigma_{res} := 30 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$ límite de resistencia a la tracción

$$\sigma T_0 := (0.8) \cdot \sigma_{res}$$

$$\sigma T_0 = 24 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$(\sigma T) := \sigma T_0 \cdot \sqrt[8]{\frac{10^7}{NE}}$$

$$(\sigma T) = 28.268 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Momento torsor (2.7)

donde $N_2 := 6600$ W Potencia del Motor 2
 $n_2 := 38$ rpm Número de revoluciones

$$W_2 := \frac{n_2 \cdot \pi}{30} \quad W_2 = 3.979 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

$$M_{\text{tor}2} := \frac{N_2}{W_2}$$

$$M_{\text{tor}2} = 1.659 \times 10^3 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Distancia interaxial (2.5)

donde para cargas continuas el coeficiente de concentracion de la carga $K\beta := 1$
 el coeficiente de velocidad $K\nu := 1.3$

$$K := K\beta \cdot K\nu$$

$$K = 1.3$$

$$a_w := \left(\frac{Z_2}{q} + 1 \right) \cdot \sqrt[3]{\left[\frac{540}{(\sigma_T) \cdot Z_2} \right]^2 \cdot K \cdot M_{\text{tor}2}}$$

$$a_w = 42.166 \text{ cm}$$

Precisión de la distancia interaxial (2.9)

$$a_w := 0.5 \cdot m \cdot (Z_2 + q)$$

$$a_w = 525 \text{ mm}$$

Diametro del tornillo sin fin (2.10)

$$d_1 := |2 \cdot a_w - d_2|$$

$$d_1 = 815.669$$

Diámetro de los vértices del tornillo sin fin y de la rueda (2.11) y (2.12)

$$d_{a_1} := m \cdot (q + 2)$$

$$d_{a_2} := m \cdot (Z_2 + 2)$$

$$d_{a_1} = 180 \text{ mm}$$

$$d_{a_2} = 930 \text{ mm}$$

Diámetro de las cavidades (2.13) y (2.14)

$$\text{Tornillo sin fin} \\ df_1 := m \cdot (q - 2.4)$$

$$df_1 = 114 \text{ mm}$$

$$\text{Rueda} \\ df_2 := m \cdot (Z_2 - 2.4)$$

$$df_2 = 864 \text{ mm}$$

Longitud de la parte tallada del tornillo (2.15)

$$C_1 := 11 \quad C_2 := 0.06$$

$$b_1 := (C_1 + C_2 \cdot Z_2) \cdot m$$

$$b_1 = 219 \text{ mm}$$

Ancho de la rueda helicoidal (2.16)

$$b_2 := 0.75 \cdot da_1$$

$$b_2 = 135 \text{ mm}$$

TRANSMISIÓN CORONA PIÑÓN:**Condición de resistencia al contacto (2.19)**

donde $k := 1.4$ coeficiente de carga para los calculos preliminares

$b := 5.4 \text{ cm}$ anchura

$i := 10.625$ relacion de transmision

$n := 0.038 \text{ rpm}$ número de revoluciones

$N_2 := 6.6$

$$W_2 := \frac{n \cdot \pi}{30} \quad W_2 = 3.979 \times 10^{-3} \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

$$M_{tor} := \frac{N_2}{W_2}$$

$$M_{tor} = 1.659 \times 10^3 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$$\sigma_T := \frac{1000}{aW \cdot i} \cdot \sqrt{\frac{(i+1)^3 \cdot k \cdot M_{tor}^2}{b}} \leq (\sigma_T)$$

$$\sigma_T = 147.345 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Tensión admisible por contacto (2.19)

donde $Z_R := 1$ coeficiente que considera la apereya de la superficie

$$HRC := 45$$

$$\varphi_a := 0.54$$

$n_{\text{m}} := 1.30$ coeficiente de seguridad que puede tomarse entre (1.2-1.35)

$$\sigma_{0T} := 170 \cdot HRC + 2000$$

$$\sigma_{0T} = 9.65 \times 10^3 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$(\sigma_T) := \frac{\sigma_{0T} \cdot Z_R}{n}$$

$$(\sigma_T) = 7.423 \times 10^3 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$a_{w\text{m}} := (i + 1) \cdot \sqrt{\left(\frac{1000}{\sigma_T \cdot i}\right)^2 \cdot \frac{k \cdot M_{\text{tor}2}}{\varphi_a}}$$

$$a_w = 9.665 \text{ cm}$$

Cálculo de los parametros principales de la transmisión por cadena:

donde $Z_1 := 19$ número de dientes de la rueda conductora

$Z_2 := 37$ número de dientes de la rueda conducida

$K_{cd} := 1.3$ coeficiente de las cargas dinámicas

$K_a := 1$ coeficiente que toma en consideración la distancia entre los ejes

$K_i := 1$ coeficiente que depende de la posición de la cadena

$K_r := 1$ coeficiente que tiene en cuenta la posibilidad de regular la distancia entre los ejes

$K_l := 1.5$ coeficiente que depende de la lubricación

$K_{reg} := 1.45$ coeficiente del régimen de trabajo de la transmisión

$$K_e := K_{cd} \cdot K_a \cdot K_i \cdot K_r \cdot K_l \cdot K_{reg}$$

$$K_e = 2.828$$

Distancia entre los ejes de rotación de la rueda (2.23)

donde D1 diámetro del pasador

D2 diámetro del tornillo

Con $i \leq 3$

D1 := 7.95 mm D2 := 15.88 mm

$$a_{\min} := \frac{D1 + D2}{2} \cdot (30)$$

$a_{\min} = 357.45$ mm

Distancia óptima entre los ejes (2.24)

$t := 25.4$

$a := 30 \cdot t$ $a = 762$ mm

Distancia entre los ejes:

$a_{\max} := 80 \cdot t$

$a_{\max} = 2.032 \times 10^3$

Número requerido de eslabones (2.26)

$$W := \frac{Z_1 + Z_2}{2} + \frac{2 \cdot a}{t} + \left(\frac{Z_2 - Z_1}{2 \cdot \pi} \right)^2 \cdot \frac{t}{a}$$

$W = 88.274$ Este valor se redondea a un número par de eslabones

$W := 90$

Distancia entre los ejes de las ruedas según el número requerido de eslabones (2.27)

$$a := \frac{t}{4} \cdot \left[W - \frac{Z_1 + Z_2}{2} + \sqrt{\left(W - \frac{Z_1 + Z_2}{2} \right)^2 - 8 \cdot \left(\frac{Z_2 - Z_1}{2 \cdot \pi} \right)^2} \right]$$

$a = 784.0$ mm

A fin de asegurar la flecha de la cadena, la distancia entre los ejes se reduce en:

$a_r := a - (0.004) \cdot a$ $a_r = 780.887$ mm

Velocidad media de la cadena (2.29)

donde $n := 1200 \text{ min}^{-1}$ frecuencia de rotación de la estrella

$t := 25.4$ mm paso de la cadena

$Z := 1.772$

$$v := \frac{Z \cdot n \cdot t}{60000} \quad v = 0.9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Número de choques de la cadena (2.30)

$$(\theta) := 20 \frac{1}{s} \quad n_1 := 800 \text{ rpm} \quad \text{Seleccionado según Norma Soviética. Tabla 1.2 Folleto de Transmisiones Mecánicas. I. González 2007}$$

$$Z_1 := 19$$

$$\theta := \frac{4 \cdot Z_1 \cdot n_1}{60 \cdot W}$$

$$\theta = 11.259 \quad \text{return OK if } \theta \leq (\theta)$$

Los esfuerzos tangenciales para las cadenas de rodillos coronales, normales y reforzados que actúan sobre la cadena viene dada por:

$$F1 := \frac{1000 \cdot N_1}{v} \quad N_1 := 6.6$$

$$F1 = 7.332 \times 10^3$$

Cálculo del momento torsor que actúa en los brazos del Sedimentador y de la potencia de accionamiento del mecanismo**PARA BRAZOS LARGOS**

donde $r := 25 \text{ m}$ radio del tanque

$L := 23 \text{ m}$ longitud de los brazos cortos

$h := 1.2 \text{ m}$ altura de los brazos

$\rho_{\text{liq}} := 1.780 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ densidad del líquido

$V_{\text{bl}} := 0.41 \text{ m}^3$ volumen de los brazos largos

$g := 9.81$ fuerza de gravedad

Volumen del líquido

$$V_L := (\pi \cdot r^2 \cdot h) - V_{\text{bl}}$$

$$V_L = 2.356 \times 10^3 \text{ m}^3$$

Peso específico

$$\gamma := g \cdot \rho_{\text{liq}}$$

$$\gamma = 17.462$$

Carga que actúa sobre los brazos :

$$P := \gamma \cdot V_L$$

$$P = 4.114 \times 10^4 \text{ N} \quad \text{esta carga es para un solo brazo}$$

Momento torsor :

$$\underline{M_{tor}} := P \cdot L$$

$$M_{tor} = 9.461 \times 10^5 \text{ N}\cdot\text{m}$$

El momento torsor total para los dos brazos es:

$$\underline{M_{tor}} := (P \cdot L) \cdot 2$$

$$M_{tor} = 1.892 \times 10^6 \text{ N}\cdot\text{m}$$

PARA BRAZOS CORTOS

donde $V_{bc} := 0.18 \text{ m}^3$ volumen de los brazos cortos

$\underline{L} := 11 \text{ m}$ longitud de los brazos cortos

Volumen del líquido

$$\underline{V_L} := (\pi \cdot r^2 \cdot h) - V_{bc}$$

$$V_L = 2.356 \times 10^3 \text{ m}^3$$

Carga que actúa sobre los brazos

$$\underline{P} := \gamma \cdot V_L$$

$$P = 4.114 \times 10^4 \text{ N} \quad \text{esta carga es para un solo brazo}$$

Momento torsor

$$\underline{M_{tor}} := P \cdot L$$

$$M_{tor} = 4.525 \times 10^5 \text{ N}\cdot\text{m}$$

El momento torsor total para los dos brazos es

$$\underline{M_{tor}} := (P \cdot L) \cdot 2$$

$$M_{tor} = 9.051 \times 10^5 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Momento torsor para los cuatros brazos (2.36)

$$M_{ttotal} := 1.892 \times 10^6 + 9.051 \times 10^5$$

$$M_{ttotal} = 2.797 \times 10^6 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Selección del motor reductor (2.38)

donde $N_{trab} := 6.6 \text{ kW}$ potencia con que esta trabajando

$$N_{acc} := 1.2 \cdot N_{trab}$$

$$N_{acc} = 7.92 \text{ kW}$$

Para seleccionar el motor reductor se convierte la potencia de kW a HP donde:

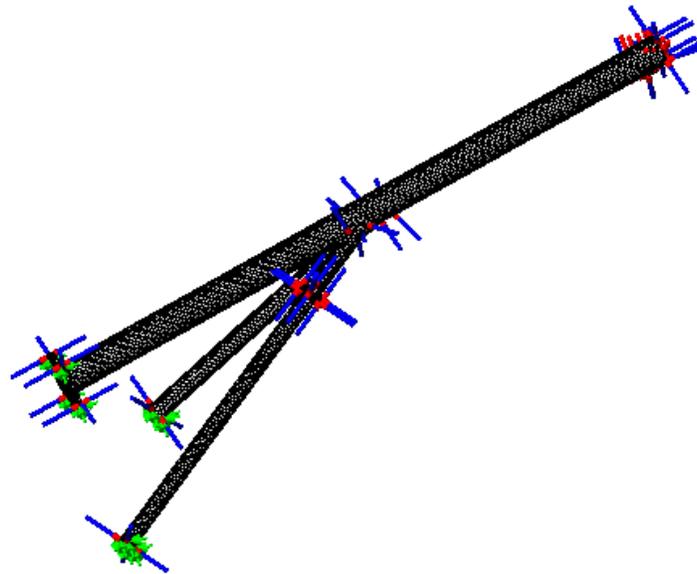
$$1 \text{ HP} := 0.746 \text{ kW}$$

$$N_{\text{acc}} := 7.92 \cdot 0.746$$

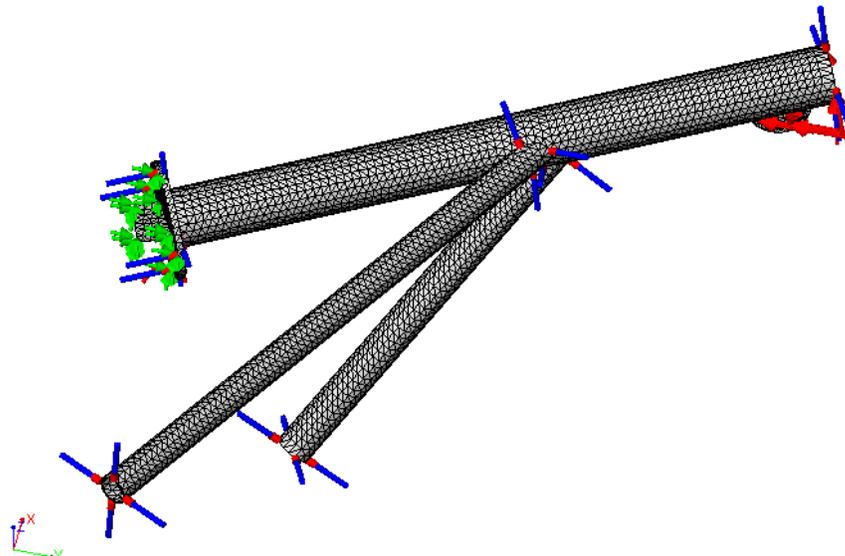
$$N_{\text{acc}} = 5.908 \text{ HP}$$

ANEXO 8. DISTRIBUCIÓN DE CARGAS

A. Brazo de suspensión largo



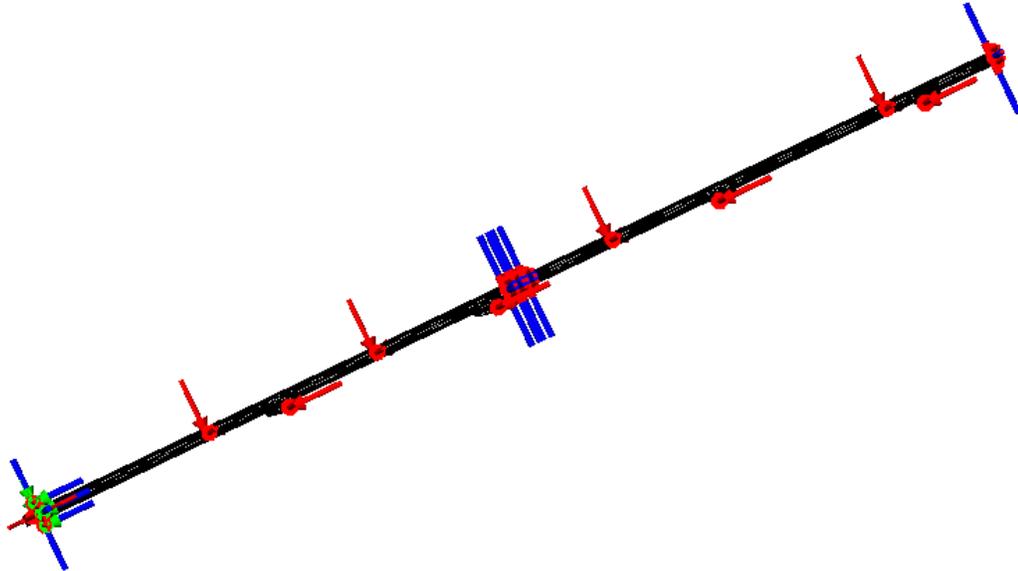
B. Brazo de suspensión corto



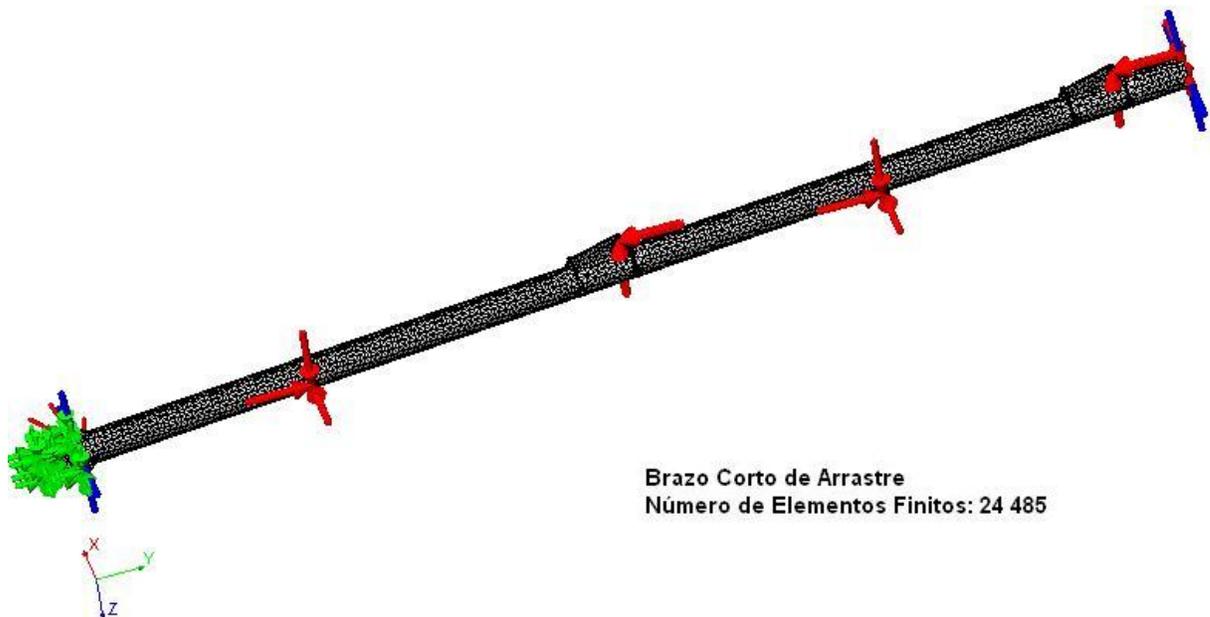
Alexander Rodríguez Castillo

Diseño de un sistema Cable-Torque de cuatro brazos para el sedimentador 109 A de la Empresa
"Cmdte. Ernesto Che Guevara"

C. Brazo de arrastre largo



D. Brazo de arrastre corto

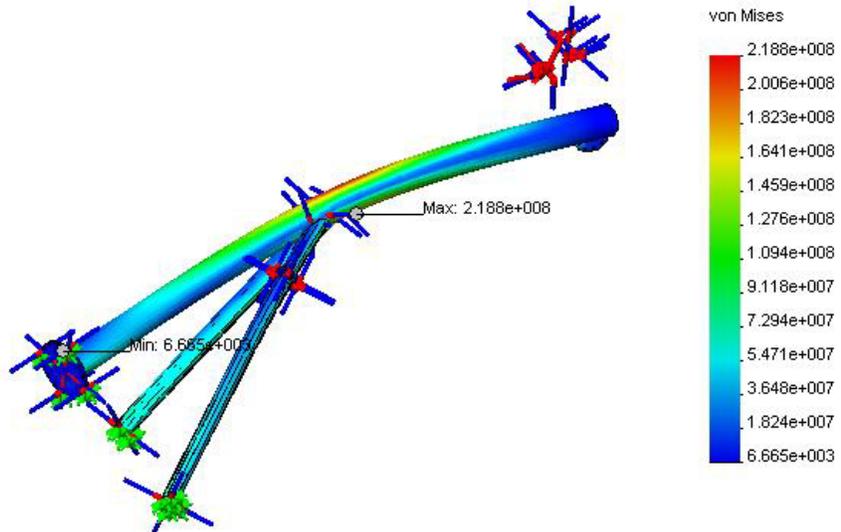


Alexander Rodríguez Castillo

Diseño de un sistema Cable-Torque de cuatro brazos para el sedimentador 109 A de la Empresa
"Cmdte. Ernesto Che Guevara"

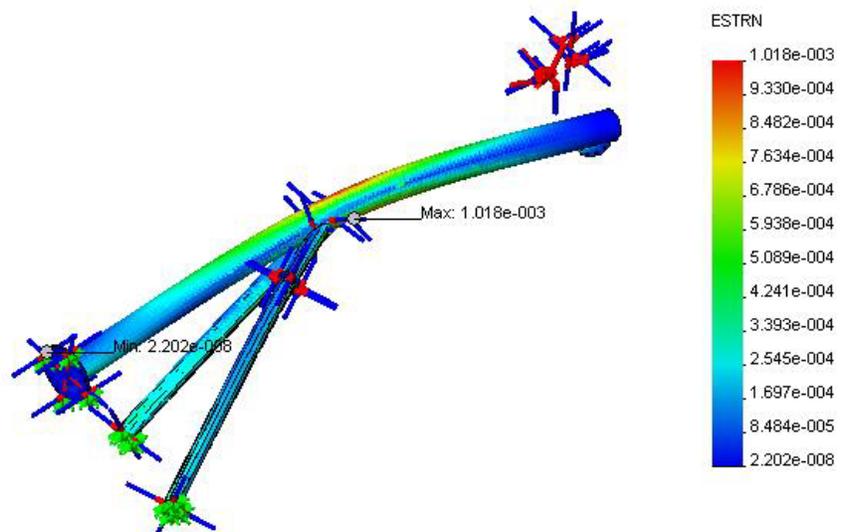
ANEXO 9. MODELOS OBTENIDOS EN LA SIMULACIÓN DE LOS BRAZOS DE SUSPENSIÓN LARGOS

Brazo de Suspensión-Brazo de Suspensión :: Static Nodal Stress
 Units : N/m² Deformation Scale 1 : 15.9755



A. Tensiones en los brazos largos de suspensión

Brazo de Suspensión-Brazo de Suspensión :: Static Strain
 Deformation Scale 1 : 15.9755

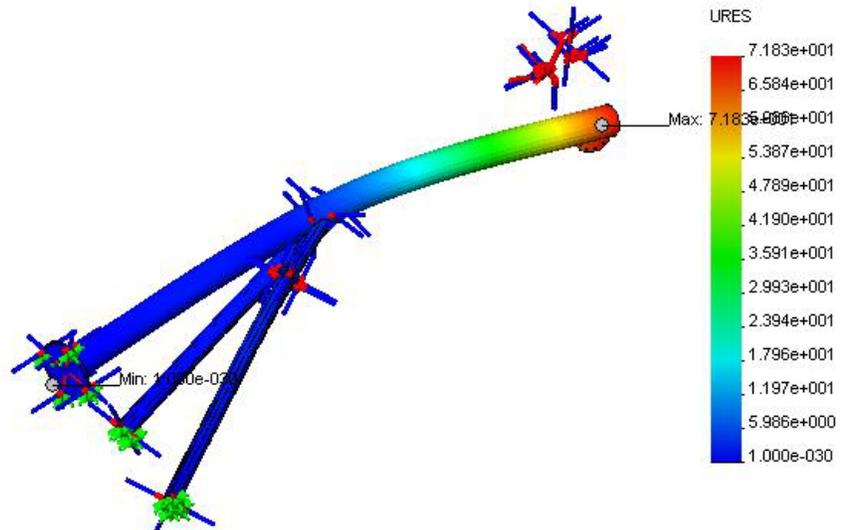


B. Fuerza en los brazos largos de suspensión

Alexander Rodríguez Castillo

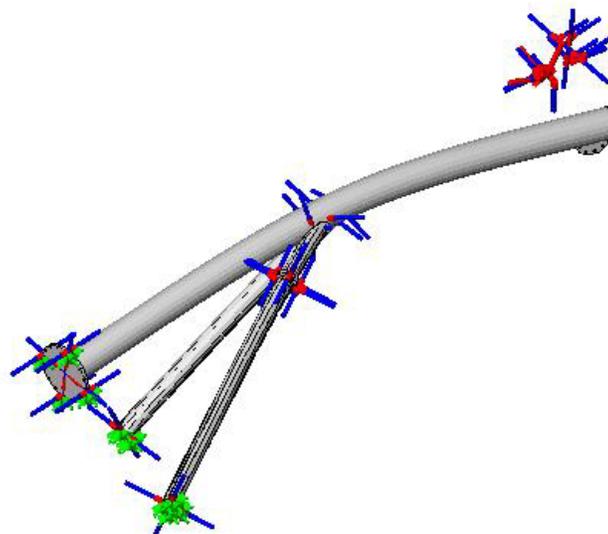
Diseño de un sistema Cable-Torque de cuatro brazos para el sedimentador 109 A de la Empresa
 "Cmdte. Ernesto Che Guevara"

Brazo de Suspensión-Brazo de Suspensión :: Static Displacement
 Units: mm Deformation Scale 1 : 15.9755



C. Desplazamiento en los brazos largos de suspensión

Brazo de Suspensión-Brazo de Suspensión :: Deformed Shape
 Deformed Shape Deformation Scale 1 : 15.9755



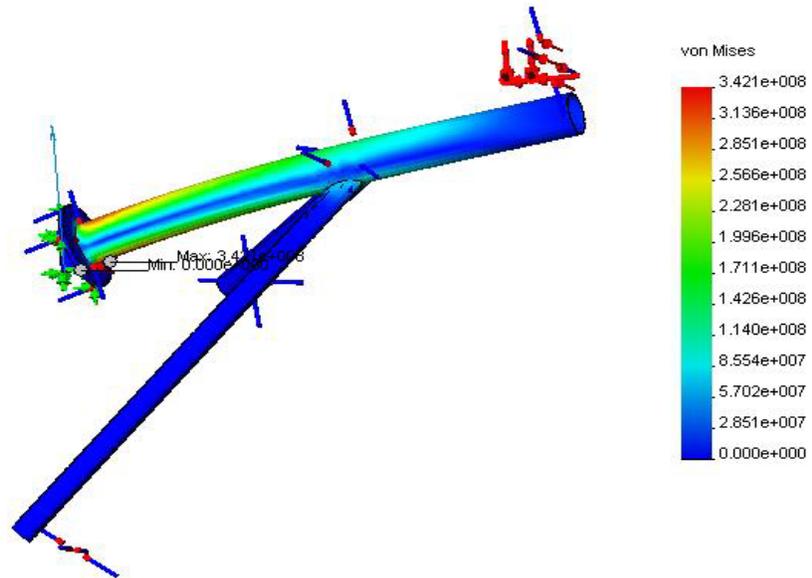
D. Deformación en los brazos largos de suspensión

Alexander Rodríguez Castillo

Diseño de un sistema Cable-Torque de cuatro brazos para el sedimentador 109 A de la Empresa
 "Cmdte. Ernesto Che Guevara"

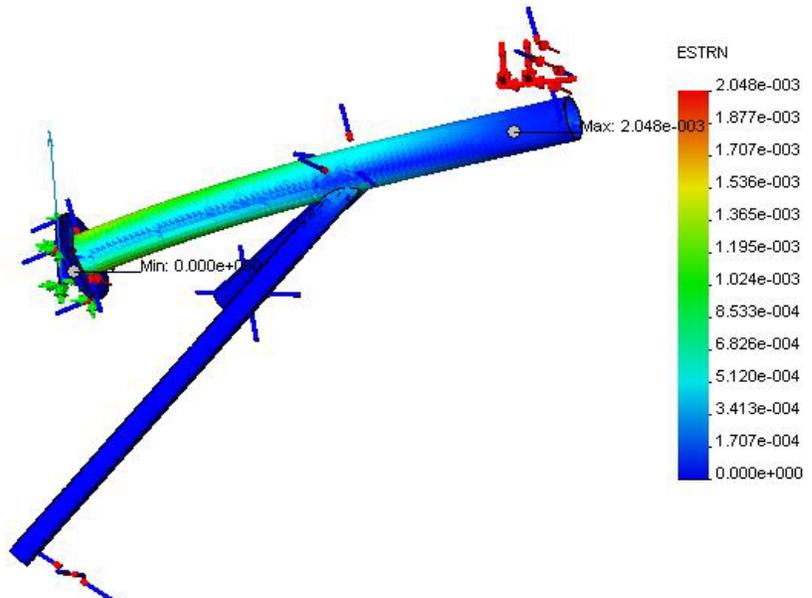
ANEXO 10. MODELOS OBTENIDOS EN LA SIMULACIÓN DE LOS BRAZOS DE SUSPENSIÓN CORTOS

Brazo corto de suspensión-Brazo Corto de Suspensión :: Static Nodal Stress
 Units : N/m² Deformation Scale : 1 : 8.98972



A. Tensiones en los brazos cortos de suspensión

Brazo corto de suspensión-Brazo Corto de Suspensión :: Static Strain
 Deformation Scale : 1 : 8.98972

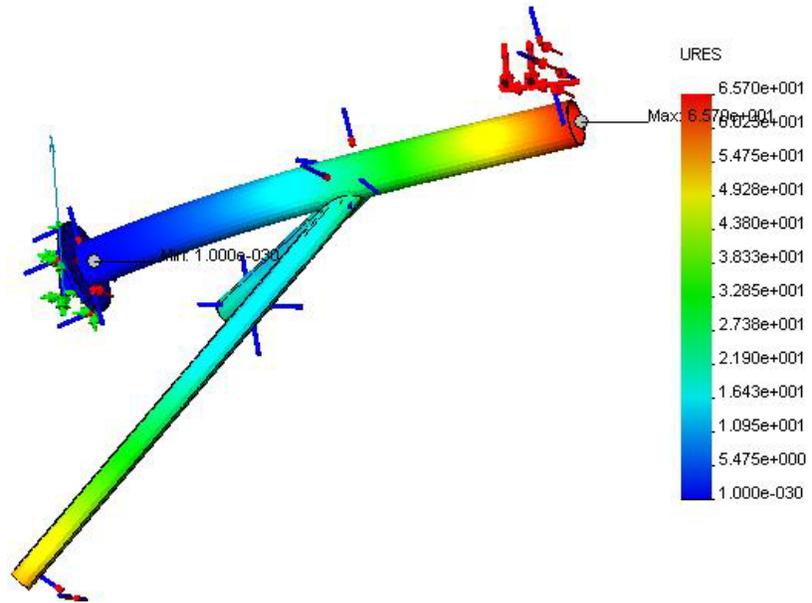


B. Fuerza en los brazos cortos de suspensión

Alexander Rodríguez Castillo

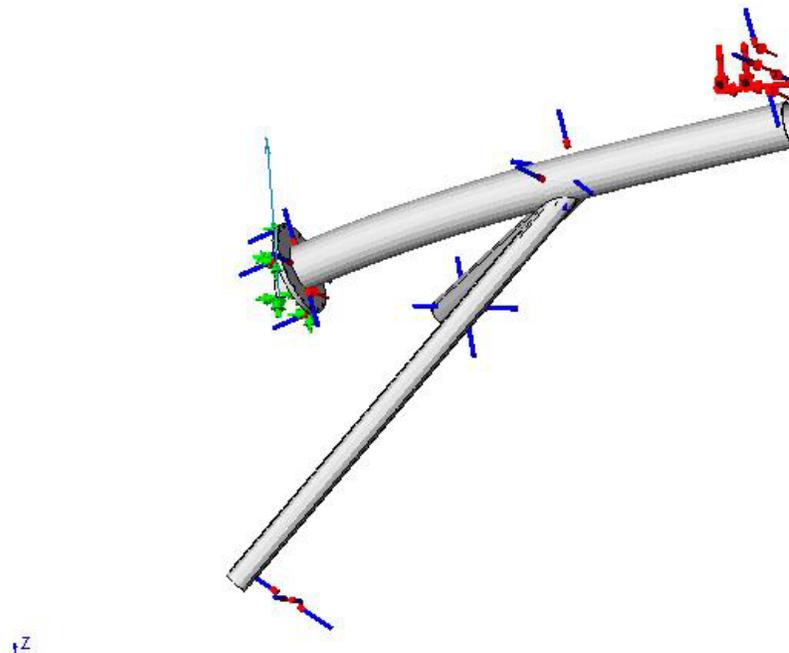
Diseño de un sistema Cable-Torque de cuatro brazos para el sedimentador 109 A de la Empresa
 "Cmdte. Ernesto Che Guevara"

Brazo corto de suspensión-Brazo Corto de Suspensión :: Static Displacement
 Units : mm Deformation Scale 1 : 8.98972



C. Desplazamiento en los brazos cortos de suspensión

Brazo corto de suspensión-Brazo Corto de Suspensión :: Deformed Shape
 Deformed Shape Deformation Scale 1 : 8.98972



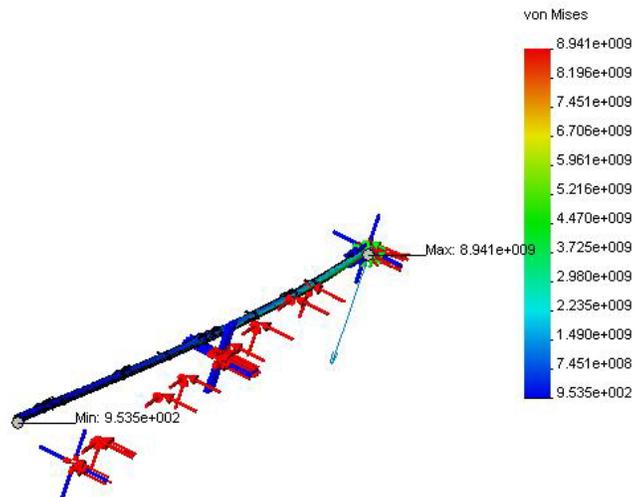
D. Deformación en los brazos cortos de suspensión

Alexander Rodríguez Castillo

Diseño de un sistema Cable-Torque de cuatro brazos para el sedimentador 109 A de la Empresa
 "Cmdte. Ernesto Che Guevara"

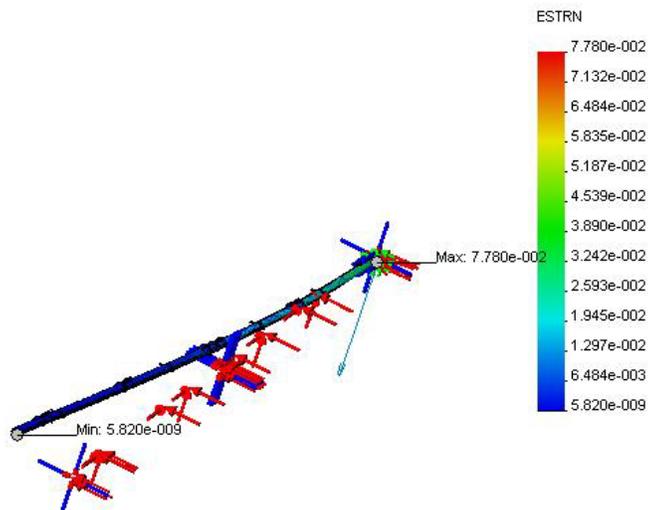
ANEXO 11. MODELOS OBTENIDOS EN LA SIMULACIÓN DE LOS BRAZOS DE ARRASTRE LARGOS

Brazo de Arrastre sat-Brazo de Arrastre :: Static Nodal Stress
 Units : N/m² Deformation Scale 1 : 0.0659295



A. Tensiones en los brazos de arrastre largos

Brazo de Arrastre sat-Brazo de Arrastre :: Static Strain
 Deformation Scale 1 : 0.0659295

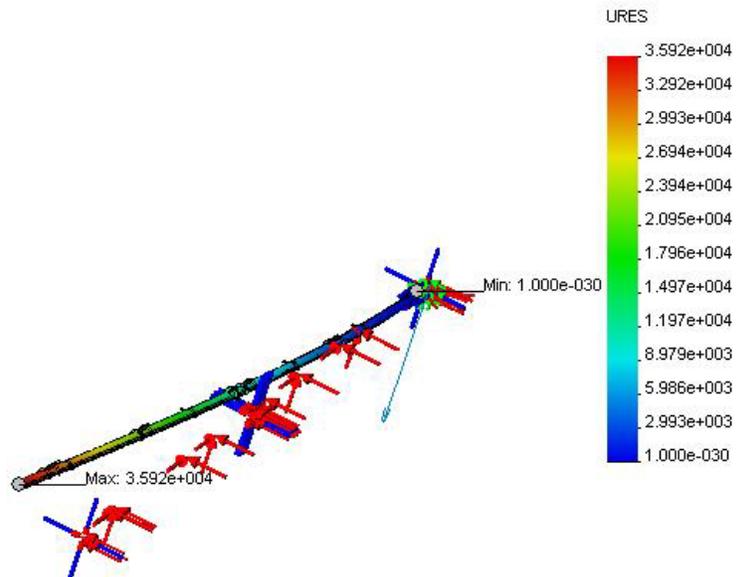


B. Fuerza en los brazos de arrastre largos

Alexander Rodríguez Castillo

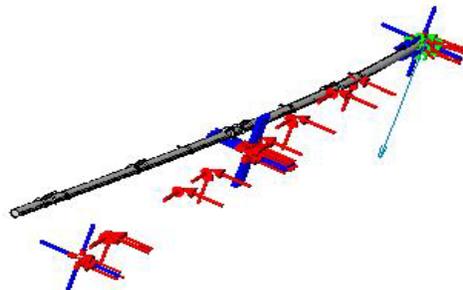
Diseño de un sistema Cable-Torque de cuatro brazos para el sedimentador 109 A de la Empresa
 "Cmdte. Ernesto Che Guevara"

Brazo de Arrastre sat-Brazo de Arrastre :: Static Displacement
 Units : mm Deformation Scale 1 : 0.0659295



C. Desplazamiento en los brazos de arrastre largos

Brazo de Arrastre sat-Brazo de Arrastre :: Deformed Shape
 Deformed Shape Deformation Scale 1 : 0.0659295



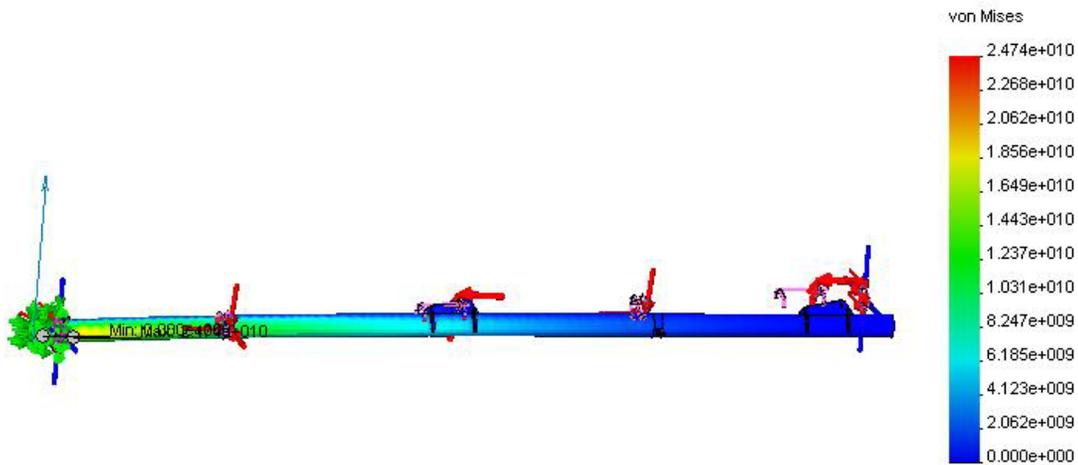
D. Deformación en los brazos de arrastre largos

Alexander Rodríguez Castillo

Diseño de un sistema Cable-Torque de cuatro brazos para el sedimentador 109 A de la Empresa
 "Cmdte. Ernesto Che Guevara"

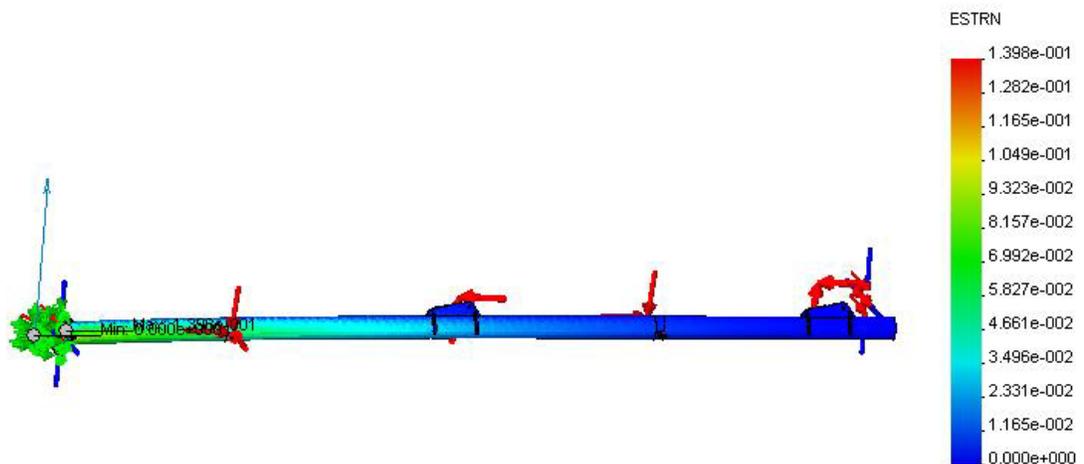
ANEXO 12. MODELOS OBTENIDOS EN LA SIMULACIÓN DE LOS BRAZOS DE ARRASTRE CORTOS

Brazo corto de arrastre-Fuerzas Corto Arrastre :: Static Nodal Stress
 Units : N/m² Deformation Scale 1 : 0.0569089



A. Tensiones en los brazos de arrastre cortos

Brazo corto de arrastre-Fuerzas Corto Arrastre :: Static Strain
 Deformation Scale 1 : 0.0569089

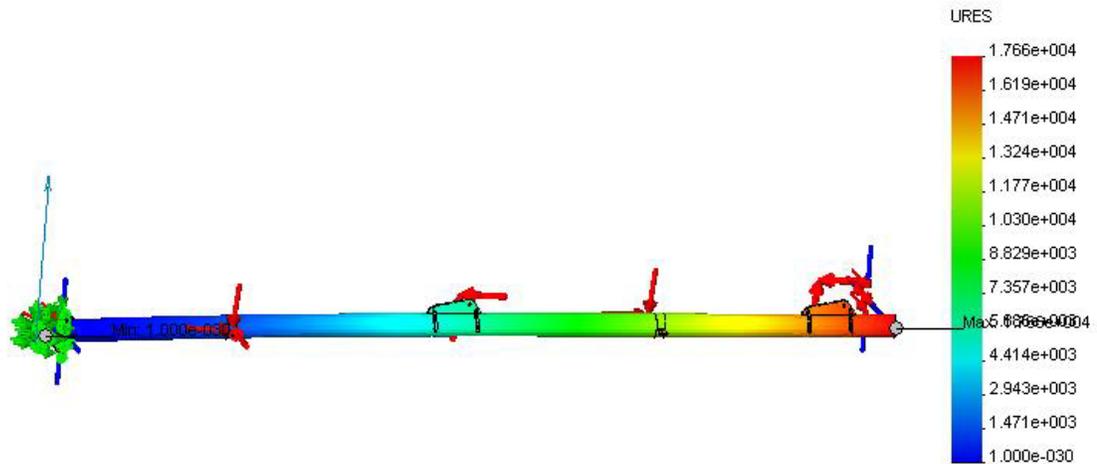


B. Fuerza en los brazos de arrastre cortos

Alexander Rodríguez Castillo

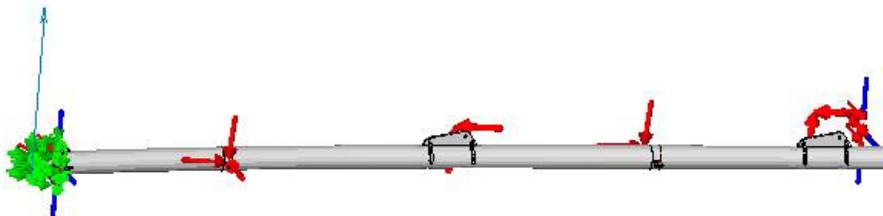
Diseño de un sistema Cable-Torque de cuatro brazos para el sedimentador 109 A de la Empresa
 "Cmdte. Ernesto Che Guevara"

Brazo corto de arrastre-Fuerzas Corto Arrastre :: Static Displacement
 Units : mm Deformation Scale 1 : 0.0569089



C. Desplazamiento en los brazos de arrastre cortos

Brazo corto de arrastre-Fuerzas Corto Arrastre :: Deformed Shape
 Deformed Shape Deformation Scale 1 : 0.0569089



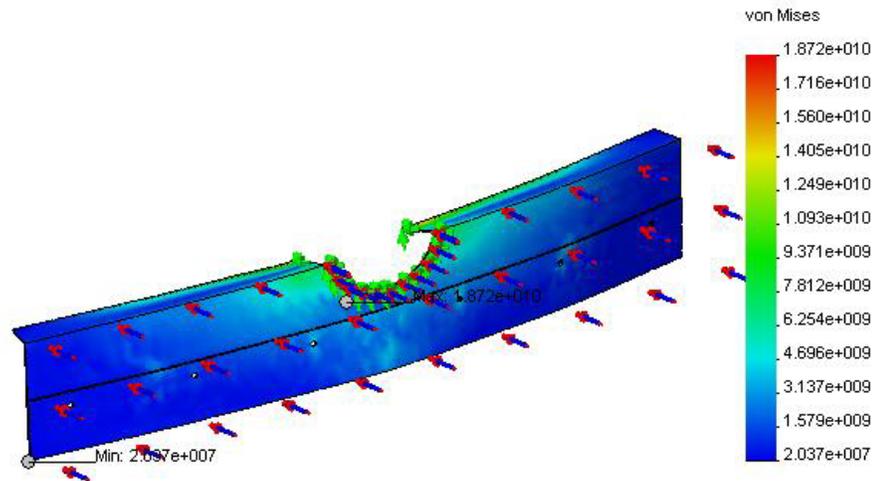
D. Deformación en las cuchillas rectas

Alexander Rodríguez Castillo

Diseño de un sistema Cable-Torque de cuatro brazos para el sedimentador 109 A de la Empresa
 "Cmdte. Ernesto Che Guevara"

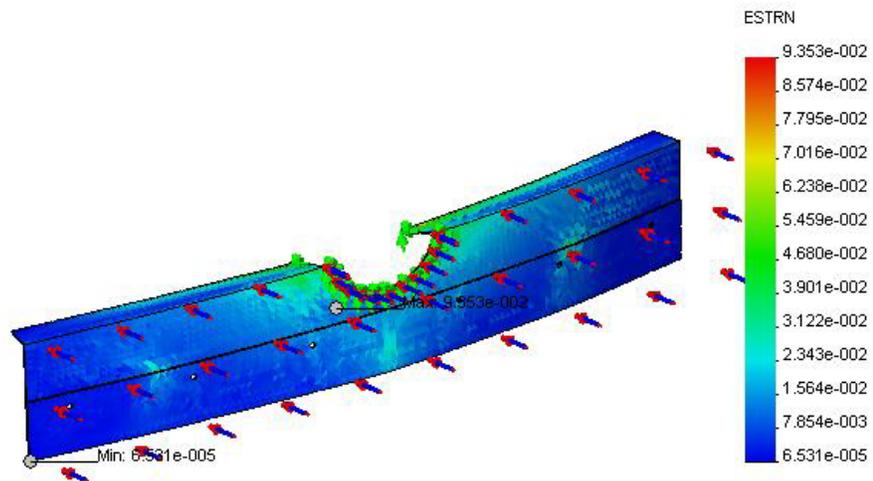
ANEXO 13. MODELOS OBTENIDOS EN LA SIMULACIÓN DE LAS CUCHILLAS RECTAS

cuchilla-Fuerza en la cuchilla :: Static Nodal Stress
 Units : N/m² Deformation Scale 1 : 0.448927



A. Tensiones en las cuchillas rectas

cuchilla-Fuerza en la cuchilla :: Static Strain
 Deformation Scale 1 : 0.448927

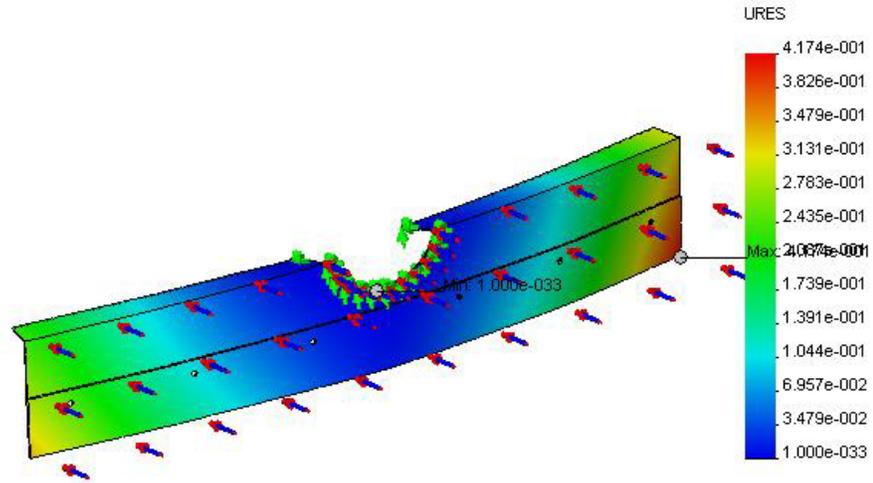


B. Fuerza en las cuchillas rectas

Alexander Rodríguez Castillo

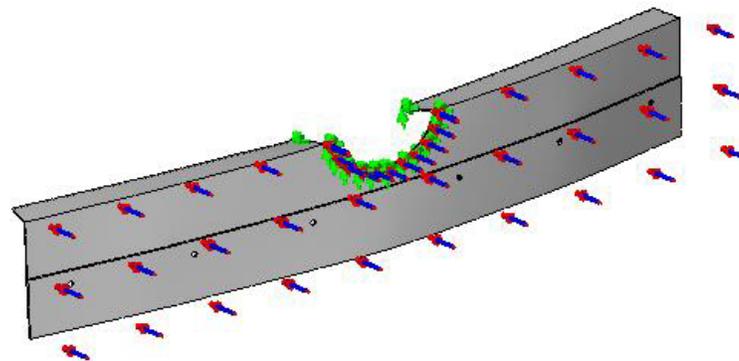
Diseño de un sistema Cable-Torque de cuatro brazos para el sedimentador 109 A de la Empresa
 "Cmdte. Ernesto Che Guevara"

cuchilla-Fuerza en la cuchilla :: Static Displacement
 Units: m Deformation Scale 1 : 0.448927



C. Desplazamiento en las cuchillas rectas

cuchilla-Fuerza en la cuchilla :: Deformed Shape
 Deformed Shape Deformation Scale 1 : 0.448927



D. Deformación en las cuchillas rectas

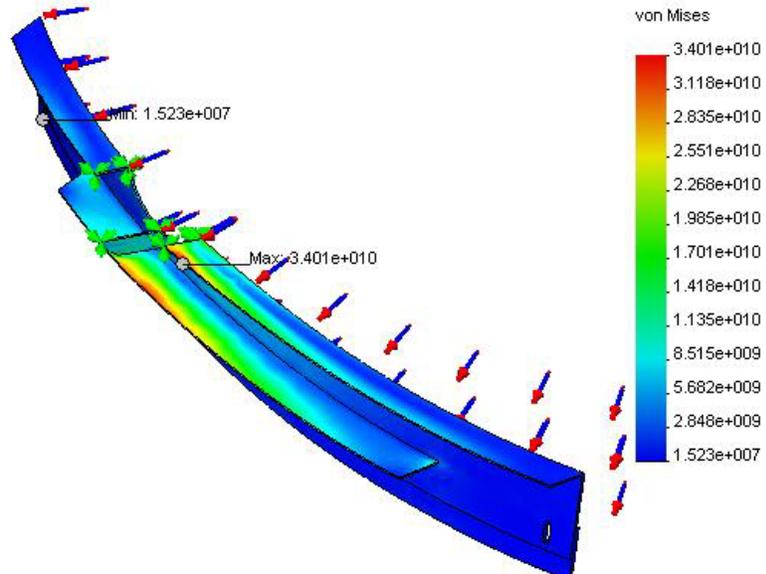
Alexander Rodríguez Castillo

Diseño de un sistema Cable-Torque de cuatro brazos para el sedimentador 109 A de la Empresa
 "Cmdte. Ernesto Che Guevara"

ANEXO 14. MODELOS OBTENIDOS EN LA SIMULACIÓN DE LAS CUCHILLAS CURVAS

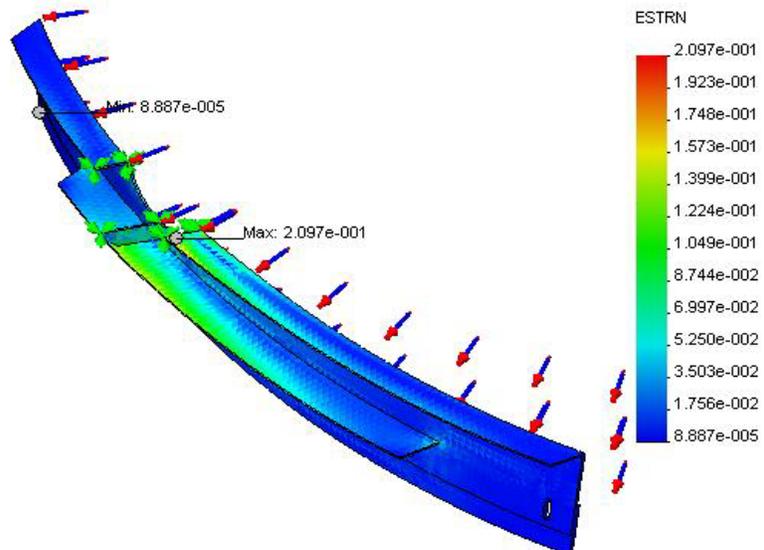
CURVAS

CUCHILLA curva-Fuerza en la cuchilla curva :: Static Nodal Stress
 Units : N/m² Deformation Scale 1 : 0.118086



A. Tensiones en las cuchillas curvas

CUCHILLA curva-Fuerza en la cuchilla curva :: Static Strain
 Deformation Scale 1 : 0.118086

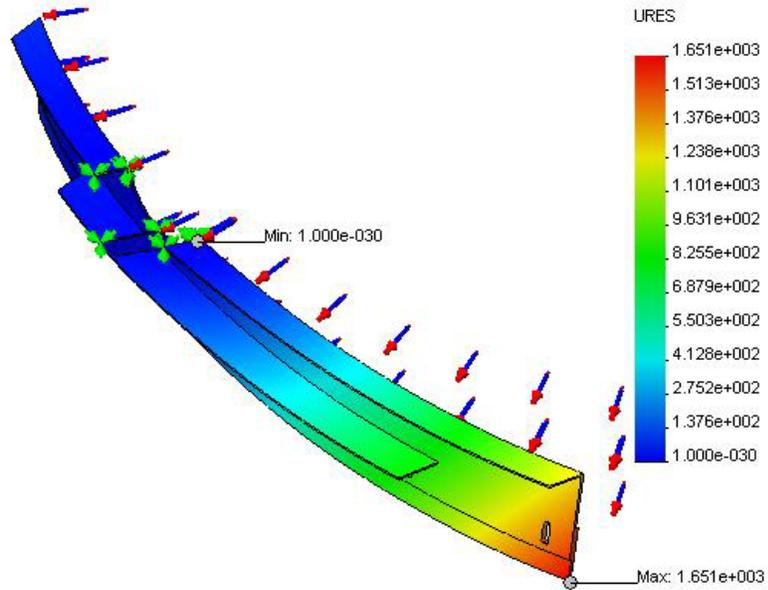


B. Fuerza en las cuchillas curvas

Alexander Rodríguez Castillo

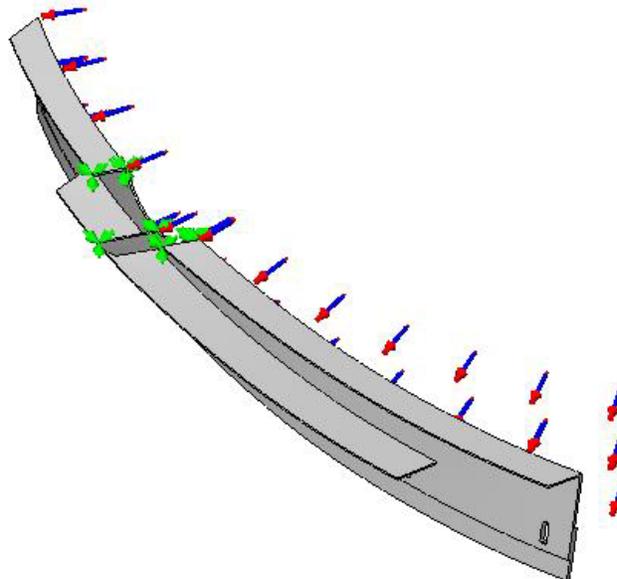
Diseño de un sistema Cable-Torque de cuatro brazos para el sedimentador 109 A de la Empresa
 "Cmdte. Ernesto Che Guevara"

CUCHILLA curva-Fuerza en la cuchilla curva :: Static Displacement
 Units : mm Deformation Scale 1 : 0.118086



C. Desplazamiento en las cuchillas curvas

CUCHILLA curva-Fuerza en la cuchilla curva :: Deformed Shape
 Deformed Shape Deformation Scale 1 : 0.118086



D. Deformación en las cuchillas curvas

Alexander Rodríguez Castillo

Diseño de un sistema Cable-Torque de cuatro brazos para el sedimentador 109 A de la Empresa
 "Cmdte. Ernesto Che Guevara"