

TITULO: El Análisis de tolerancias por el método de las Burbujas. Parte II: caso de un mezclador de hidróxido de calcio.

TITLE: Tolerance Analysis by means of the Bubble Method. Part II: The Ca(OH)₂ Mixer Case.

AUTORES:

Ms C. Ing. Luis Wilfredo Hernández González. Profesor Asistente (1)

Dr C. Ing. Roberto Pérez Rodríguez. Profesor Titular (1)

Dra C. Ing. Ana María Quesada Estrada. Profesora Auxiliar (1)

Ing. Alexander Soto Espinosa (1)

PAÍS: Cuba

RESUMEN: Se aborda la aplicación del método de las burbujas para el análisis de tolerancias del ensamble de la bomba de achique de ácido de la planta de regeneración ácida perteneciente a la Planta Termoeléctrica de Felton "Lidio Ramón Pérez" (etapa de diseño). Para lograr dicho objetivo se utilizaron diversos métodos de investigación. La misma permitió la propuesta del mejoramiento de las dimensiones y tolerancias para la modelación del ensamble y la formulación de las cadenas de cotas.

PALABRAS CLAVES: ANÁLISIS DE TOLERANCIAS, MÉTODO DE LAS BURBUJAS, ENSAMBLES MECÁNICOS, CADENA DIMENSIONAL, BOMBA.

ABSTRACT: The objective of this work is the application of the bubble method in the analysis of tolerances when assembling a Ca(OH)₂ mixer (Design Stage), which belongs to Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos (Raudal). Several research methods were used to achieve this goal. The result of this research allows to improve the dimensioning and tolerances for the assembly modeling and the formulation of dimensioning chains, as well as to contribute with new rules for the method.

KEY WORDS: TOLERANCE ANALYSIS, BUBBLE METHOD, MECHANICAL ASSEMBLIES, DIMENSIONING CHAINS, MIXER.

INTRODUCCIÓN

La especificación de tolerancias constituye un vínculo importante entre el diseño y la fabricación, además de servir como plataforma para definir las interfaces necesarias. Sin embargo, los diseñadores a menudo asignan las tolerancias de manera arbitraria o basan sus decisiones con datos insuficientes. Cualquier error en el proceso de especificación, deberá entonces corregirse en el proceso de fabricación y control [Chase, 1988].

Un aspecto central en la especificación de tolerancias es el hecho de que los ingenieros están más familiarizados con el proceso de distribución de tolerancias, que con el proceso de análisis de tolerancias.

En el análisis de tolerancias se conoce o se especifica las tolerancias de cada uno de los eslabones componentes de la cadena dimensional y se calculan las

tolerancias del eslabón de cierre. En el caso de la distribución o síntesis de tolerancias se conocen las tolerancias del eslabón de cierre de la cadena dimensional y se desconocen las tolerancias de los eslabones componentes. Se deberá entonces distribuir las tolerancias del eslabón de cierre entre los demás eslabones.

En la actualidad existen numerosos enfoques e investigaciones relacionadas con el análisis y síntesis de tolerancias, donde a menudo se requiere un conocimiento detallado de la geometría de las piezas que conforman el producto y son aplicables en su mayoría en las etapas avanzadas del proceso de diseño [Ciurana et al., 2003].

MATERIALES Y METODOS.

MÉTODO PARA EL ANÁLISIS DE TOLERANCIAS

A continuación se muestra un método denominado «método para el análisis de tolerancias» que integra a los requerimientos funcionales de forma coherente en un modelo de ensamble. Este método tiene como objetivo modelar el ensamble de un conjunto mecánico considerando los diferentes requerimientos funcionales y orientados al análisis y síntesis de tolerancias. De forma general, el procedimiento a seguir se puede representar a través de un algoritmo (Figura 1).

En este artículo solo se aborda lo referente a los pasos comprendidos de la creación del gráfico de ensamble y la creación de los lazos de vectores, aplicados al caso del diseño de un mezclador de hidróxido de calcio.

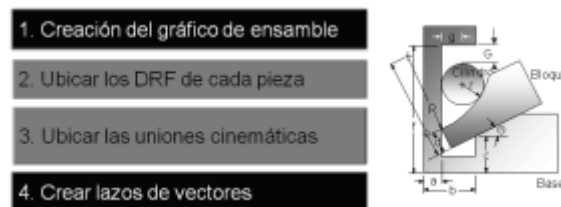


Figura 1. Método propuesto para el análisis de tolerancias en ensambles mecánicos.

Para resolver las tareas del aseguramiento de la exactitud en las distintas fases de la creación de la máquina, hay que disponer de las ecuaciones que describan la formación del eslabón de cierre de la cadena dimensional. Si se trata de la fase de diseño de la máquina, los cálculos estarán referidos a los campos de tolerancia T de las dimensiones, es decir, a los campos tolerables de dispersión de dimensiones de las piezas o máquinas que consideran convenientes para cumplir su destino de servicio.

En la práctica los problemas a resolver con la ayuda de las cadenas dimensionales se presentan de dos formas las cuales se denominan:

- Síntesis (tarea directa).

- Análisis (tarea inversa).

La síntesis consiste en que, al conocer la exactitud necesaria del eslabón de cierre, se fijan o determinan la del resto de los eslabones. El análisis, consiste en que al conocer la exactitud de todos los eslabones componentes, se determina la del eslabón de cierre. La síntesis se soluciona, durante el diseño, cuando se conoce la magnitud de un índice de exactitud de la máquina y se determina la exactitud necesaria de todas las piezas que participan, por sus dimensiones, en la formación de dicho índice.

En la fase de producción el tecnólogo también soluciona la síntesis, proyectando los procesos tecnológicos nuevos, para determinar la exactitud de las máquinas herramienta y otros equipos tecnológicos necesarios para lograr la exactitud de la pieza elaborada. En la fase de control de la máquina terminada y de sus piezas, se determina tanto la exactitud necesaria de los instrumentos y dispositivos de medida, como el error tolerable de medición.

RESULTADOS DEL TRABAJO

MÉTODO DE LAS BURBUJAS PARA EL ANÁLISIS DE TOLERANCIAS [Pérez, 2002]

El denominado «método de las burbujas» que integra a los requerimientos funcionales de forma coherente, tiene como objetivo modelar el ensamble de un conjunto mecánico considerando los diferentes requerimientos funcionales y orientados al análisis y síntesis de tolerancias. El mismo se puede detallar en forma secuencial, siguiendo los siguientes pasos:

1. Identificar los requerimientos funcionales en el ensamble.
2. Identificar las piezas o elementos funcionales que garantizan el desempeño del conjunto mecánico. En este paso, para cada requerimiento identificado en el Paso 1, se deben de identificar cuáles son las piezas con importancia desde el punto de vista funcional. Se sugiere utilizar una nomenclatura numérica en orden ascendente. En esta etapa de identificación, a cada pieza seleccionada se le asocia un número con el propósito de identificar cuáles piezas del conjunto son representadas en el modelo.
3. Identificar en cada una de las piezas con importancia funcional las características que permiten el cumplimiento de los requerimientos funcionales en las piezas. Se sugiere utilizar una nomenclatura en orden alfabético creciente para cada pieza.
4. Construir un gráfico que represente las interacciones y los requerimientos funcionales del ensamble.
5. Formular la ruta o cadena dimensional que garantice el cumplimiento de cada requerimiento. Una vez que el modelo gráfico ha sido obtenido, la ruta o cadena dimensional puede ser identificada fácilmente.
6. Evaluar la cadena dimensional propuesta.

Una de las principales ventajas de la utilización de modelos gráficos genéricos, como es el caso del método de la burbuja, es que permiten reducir considerablemente el tiempo empleado en la elaboración de las rutas o cadenas dimensionales. La anatomía o estructura del método de la burbuja para los casos de los requerimientos funcionales dimensionales se analizó en la Parte I de este artículo.

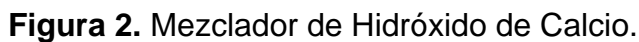
GENERALIDADES DEL FUNCIONAMIENTO DEL MEZCLADOR DE HIDRÓXIDO DE CALCIO DE LA POTABILIZADORA EL RINCÓN

El mezclador de Hidróxido de Calcio, ubicado en la planta potabilizadora El Rincón, está emplazado en el edificio de productos químicos, donde se almacenan y preparan los reactivos químicos y las soluciones en sus concentraciones correspondientes. Estas soluciones son preparadas en tanques de hormigón, con capacidad para 7.8 m³, en el fondo una tolva de 0.55 m de profundidad y en la parte superior 0.95 m de reserva, mediante la utilización del mezclador, quien procesa 0.64 litros por segundo.

Este mezclador se encuentra fijado a los tanques de forma atornillada a un chasis empotrado en la parte superior y un soporte empotrado aproximadamente a mitad del tanque, al cual se fija el cuerpo, mediante tornillos. El mezclador está compuesto por un motor de 2.5 kW de potencia y 1200 r.p.m, un reductor de 1:4, una base que permite fijar el reductor, un acoplamiento elástico que une el eje del reductor y el del mezclador, un cuerpo donde se acoplan rodamientos, retenedores tapas, etc. y una propela.

Para garantizar una correcta funcionalidad del conjunto mecánico representado en la Figura 2, se deben cumplir las siguientes condiciones funcionales:

- Garantizar una distancia determinada, mayor que cero (A); garantizar una distancia determinada, mayor que cero (B)



- 5

Cada requerimiento funcional se expresa entre las características de las piezas a través del vínculo funcional. En la Figura 2, aparece una representación del mezclador de hidróxido de calcio, donde se destaca la identificación de las condiciones.

El primer paso consiste en la identificación de los requerimientos funcionales existentes en el conjunto. Una vez identificadas se pasa a la numeración de cada una de las piezas con importancia. En la Tabla 1 se muestra la correspondencia entre las condiciones necesarias para el funcionamiento del conjunto y los correspondientes requerimientos funcionales.

Identificador	Condición
A	Requerimiento funcional de dimensión máxima (J_1)
B	Requerimiento funcional de dimensión máxima (J_2)
C	Requerimiento funcional de dimensión máxima (J_3)
D	Requerimiento funcional de dimensión máxima (J_4)
E	Requerimiento funcional de dimensión máxima (J_5)
F	Requerimiento funcional de coaxialidad (J_{1v})
G	Requerimiento funcional de coaxialidad (J_{2v})
H	Requerimiento funcional de coaxialidad (J_{3v})
J	Requerimiento funcional de coaxialidad (J_{4v})
K	Requerimiento funcional de coaxialidad (J_{5v})

Tabla 1. Requerimientos funcionales del mezclador de Hidróxido de Calcio.

Una vez que se han caracterizado y representado los requerimientos funcionales según la estructura funcional, se desarrolla el «método de las burbujas» para el caso en cuestión. Para modelar estos requerimientos funcionales en el ensamble, se utilizará la metodología mostrada anteriormente. A partir de la aplicación del método de las burbujas para cada requerimiento funcional, se obtiene un gráfico integrador que visualiza el comportamiento de las cadenas dimensionales para cada caso. En la Figura 3 se muestra el gráfico integrador.

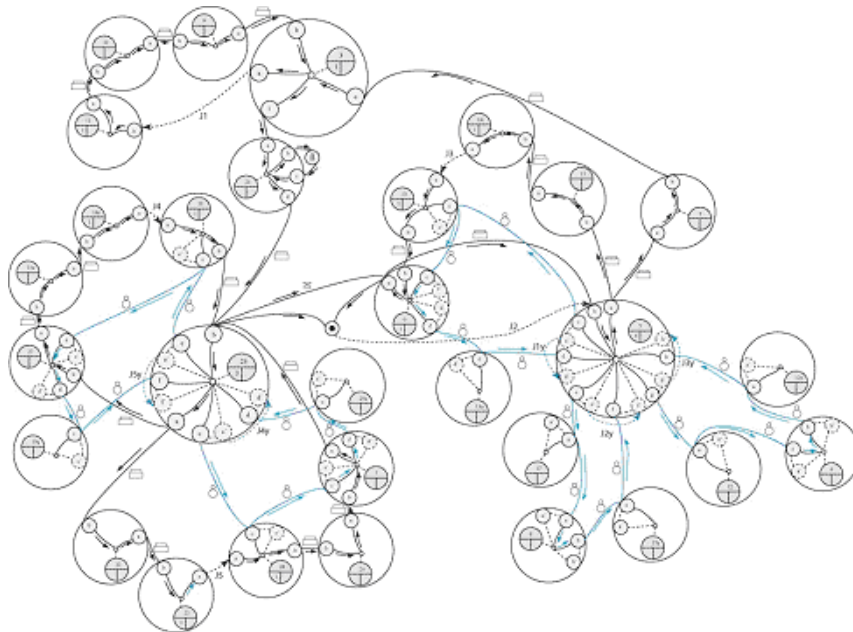


Figura 4. Etapas f y g; y Paso número 5 del método de las burbujas para el mezclador de Hidróxido de calcio [Soto, 2006].

El seguimiento de cada ruta, permite la obtención de cada cadena dimensional. Para este caso, se definieron nuevas reglas que se incorporan al método de las burbujas para el análisis de las tolerancias en los ensambles mecánicos.

A partir del análisis del ensamble mecánico del mezclador de Hidróxido de Calcio y de la aplicación del método de la burbuja, se pudo determinar la necesidad de adecuar el método con la incorporación de algunas reglas al mismo. A continuación se describen estas reglas con sus respectivos detalles.

Regla 1.

Cuando en la cadena aparezca un eslabón componente que represente un elemento mecánico de tipo compensador, se deberá incluir en la cadena la magnitud β , que representa la compensación posible en la cadena dimensional (...3i – 25a – β – 25d – 23b...). Desde el punto de vista de análisis, este eslabón se considera fijo y su magnitud estará en función del tipo de análisis que se desee realizar.

Regla 2.

Se define como contacto virtual, aquel contacto que se deriva del análisis del ensamble mecánico y que implica la necesidad de que en el proceso de análisis, dos o más piezas se consideren unidas virtualmente. El comportamiento de ambos elementos se considera similar. Se simboliza con el símbolo en el análisis. En el caso específico del mezclador de Hidróxido de Calcio, se tuvo que definir y aplicar este concepto.

Una vez que se defina el contacto virtual y el gráfico de las burbujas, se debe seguir la siguiente regla: cuando la condición funcional parte de un contacto virtual, el inicio del vector y su culminación se hará en el contacto virtual, obviándose las rutas alternativas (6a – 5b). Este análisis implica que se debe de llegar al mismo punto en que se inicio el proceso de construcción de la cadena dimensional, a diferencia de los gráficos elementales, donde se parte del vector que define la condición funcional y se termina en el extremo del vector de la condición.

Regla 3.

Cuando se repitan elementos normalizados en el ensamble y se diferencien para su análisis en diversas condiciones funcionales, se deberá utilizar una notación del tipo Xa, Xb, Xc,...Xn, donde X indica el número correspondiente a la pieza en el ensamble y el subíndice indica el consecutivo del elemento normalizado.

MODIFICACIONES DIMENSIONALES AL MEZCLADOR DE HIDRÓXIDO DE CALCIO

A continuación, se analiza, aplicando lo expresado en el acápite anterior, el análisis y las modificaciones dimensionales y de tolerancias a un subconjunto del mezclador de Hidróxido de Calcio.

En la Figura 4, se muestra una propela (9) montada sobre el eje (3), la pieza (3) está inmovilizada en su traslación mediante las piezas (10) y (11), una arandela y una tuerca respectivamente.

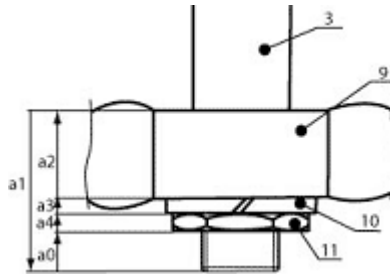


Figura 5. Análisis dimensional de un subconjunto del mezclador.

A continuación se describe la determinación de las tolerancias de las cotas A0 y A2 (valores respectivos de las dimensiones a0 y a2). La tolerancia de las piezas (10) y (11), ya disponen de tolerancias de fabricación de (0.2 mm) y (0.3 mm) respectivamente. Para la determinación de las cotas utilizaremos la Tabla 2.

Condición	Cadena de cotas	IT	Cadena J _{mín.}		Cota Calculadas a repetir	Observaciones
			Cot a mín.	Cot a máx.		
Ajuste entre caras paralelas		A ₀	1.2	6 ^{0.2}	6 ^{0.2} ₋₁	
		A ₄	0.3	14 ^{0.2}	14 ^{0.2} _{-0.1}	
		A ₃	0.2	4 ^{0.1}	4 ^{0.1} _{-0.1}	
		A ₂	0.3	40 ^{0.2}	40 ^{0.2} _{-0.1}	
		A ₁	0.4	65 ^{0.3}	65 ^{0.1} _{-0.3}	
Verificación			64.7	64.7		

Tabla 2. Determinación de las tolerancias para el caso de la Figura 4.

La aplicación del método de las burbujas al caso de un mezclador de hidróxido de calcio, permitió el análisis de las tolerancias relativas a las principales condiciones funcionales presentes en el conjunto mecánico.

La aplicación consecuente de cada uno de los pasos, definió la ruta de cada requerimiento funcional y garantizó la ruta mínima de eslabones componentes, influyendo de esta manera en un aumento de la calidad dimensional del referido conjunto.

CONCLUSIONES

1. Fue aplicado el método de las burbujas para el análisis de tolerancias del ensamble del mezclador de Hidróxido de Calcio del sistema Rincón, perteneciente a la Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos de Holguín.
2. La investigación permitió la propuesta de mejoras de las dimensiones y tolerancias para la modelación del ensamble y la formulación de las cadenas de cotas.
3. Fueron incorporadas nuevas reglas al método de las burbujas para el análisis de las tolerancias en los ensambles mecánicos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Balakshin, B. Fundamentos de la tecnología de construcción de maquinaria. La Habana: Editorial Mir, 1974. 591 p.
2. Chase, K. Tolerance Analysis of 2-D and 3-D Mechanical Assemblies with Small Kinematic Adjustments / K. Chase, W. Magleby. En: Advances Tolerancing Techniques. New York; John Wiley, 1995. p. 103-138.
3. Chase, K. W.; Greenwood, W. H. Design Issues in Mechanical Tolerance Analysis. **Manufacturing Review** (ASME) 1: 50-59; mar.1988
4. Ciurana, J., Riba, C., G.-Romeu, M.L., Implementation of unidirectional functional dimensioning and tolerancing algorithm in CAD systems. **Integrated Manufacturing Systems**. 14(5):468-476; 2003.
5. Egorov, M.E. Tecnología de la construcción de maquinaria / M. E. Egorov, V. I. Dementiev, V. L Dmitriev. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1985. 2 t.
6. Juster, N. P. Modelling and representation of dimensions and tolerances: a survey. **Computer Aided Design** 24(1):3-17; 1992.
7. Kórsakov, V. Fundamentos de la tecnología en la construcción de maquinaria. Moscú: Editorial Mir, 1987. 390 p.
8. Pérez Rodríguez, R. Caracterización y representación de los requerimientos funcionales y las tolerancias en el Diseño Conceptual: aportaciones para su Implantación en los Sistemas CAD. Holguín; Universidad "Oscar Lucero Moya", 2002. 196 h. (Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya. España: Barcelona, 2002).
9. Soto E, Alexander. Análisis de tolerancias del mezclador de Hidróxido de Calcio de una planta potabilizadora. Holguín; Universidad "Oscar Lucero Moya", 2006. 73 h. (Tesis de grado, Ingeniería Mecánica).

DATOS DE LOS AUTORES

Nombres:

Ms C. Ing. Luis Wilfredo Hernández González. Profesor Asistente (1)

Dr C. Ing. Roberto Pérez Rodríguez. Profesor Titular (1)

Dra C. Ing. Ana María Quesada Estrada. Profesora Auxiliar (1)

Ing. Alexander Soto Espinosa (1)

Correo:

wilfredo@facing.uho.edu.cu

roberto.perez@facing.uho.edu.cu

aquesada@facing.uho.edu.cu

soto@facing.uho.edu.cu

Centro de trabajo:

(1) Departamento de Ingeniería Mecánica. Facultad de Ingeniería. Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya". Carretera Vía Guardalavaca, Gaveta Postal 57, 80100. Holguín. Cuba. Tel. (+53) 24 48 26 75