

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE UNA BASE PARA MAQUINARIA

Javier Alejandro García Miranda¹, Juan Carlos Verdecia Somoano²

Profesor Asistente, Departamento de Construcciones, Universidad de Matanzas, Carretera a Varadero, km 3 ½, Matanzas, Cuba. email: javier.garcia@umcc.cu1

Profesor Asistente, Departamento de Construcciones, Universidad de Matanzas, Carretera a Varadero, km 3 ½, Matanzas, Cuba. email: juan.verdecia@umcc.cu2

RESUMEN

El central azucarero Mario Muñoz Monroy ubicado en el municipio los Arabos, de la provincia cubana de Matanzas es uno de los principales productores de azúcar y miel fina en la provincia. Como parte de un proceso de mejoramiento técnico en el 2018, el Departamento Técnico del ingenio solicitó a la Universidad de Matanzas la evaluación de una base de hormigón para una de las maquinarias. Para llevar a cabo la evaluación se construyó un modelo numérico en el software SAP2000 donde se analizaron las cargas producto del movimiento oscilatorio del motor, así como la incidencia de cargas permanentes. Para analizar las cargas producto de la vibración se realizó un análisis Steady State. El análisis concluyó que las cargas críticas para la base son las cargas dinámicas, a partir de una frecuencia del motor de 2 Hz que supera la tensión de rotura del hormigón de la base, pero solo de forma superficial, no es hasta que la frecuencia alcanza 240 rpm (4 Hz) que las tensiones superan los límites a profundidades mayores por tanto se concluye que las bases de cimentación no son aptas para soportar frecuencias mayores.

Palabras claves: base para maquinaria, tensión de rotura, análisis Steady State.

PRELIMINARY EVALUATION OF A CONCRETE BASE FOR MACHINERY

ABSTRACT

The Mario Muñoz sugar plant located in the municipality Los Arabos, of the Cuban province of Matanzas, is one of the main producers of sugar and fine honey in the province. As part of the technical improvement in 2018 the technical department of the plan requested the University of Matanzas to evaluate a concrete base for machinery. To carry out the evaluation, a numerical model was built in SAP2000 software. In the model, the loads product the vibration as well as the permanent load were analyzed. A Steady State analysis was used to analyze loads produced by vibration. The analysis concluded that the critical loads for the base are the dynamic loads, from a motor frequency of 2 Hz that exceeds the breaking stress of the concrete of the base, but only superficially, it is not until the frequency reaches 240 rpm (4 Hz) that the stresses exceed the limits at greater depths, therefore it is concluded that the foundation bases are not suitable to withstand higher frequencies.

Keywords: machinery base, vibration, steady state.

1. INTRODUCCIÓN

El central Mario Muñoz ubicado en Matanzas, Cuba, es uno de los principales productores de azúcar del país además de contribuir a la generación de energía eléctrica para toda la provincia matancera. Como parte de un proceso de renovación tecnológica algunos equipos deteriorados serán sustituidos por nuevas maquinarias que aumenten la eficiencia y productividad del centro. Uno de los equipos que será remplazado es el motor rotor de la cuchilla No. 1, utilizado para la molienda de la caña de azúcar. Esta maquinaria es soportada por una base sólida de hormigón (Figura. 1). Dicha estructura tiene varios años de explotación y algunas grietas visibles.

La dirección del central quiere determinar si es necesario reemplazar la base o si aún es apta para resistir las cargas inducidas por el nuevo motor. Es necesario un estudio de la base de cimentación y la incidencia de las cargas actuantes sobre la misma para determinar si la estructura actual puede desempeñar su función. Para el estudio fue necesario la construcción de un modelo numérico en el software SAP2000, donde se analizaron las tensiones producto del movimiento oscilatorio de las cuchillas y producto a las cargas estáticas inducidas por el peso propio del equipo.



Figura 1: Base de hormigón analizada

2. DISCUSIÓN

2.1 Características Geométricas

La base consiste en un bloque sólido de hormigón de sección rectangular, las principales características geométricas utilizadas para la modelación en el software SAP2000 se muestran en la Figura 2.

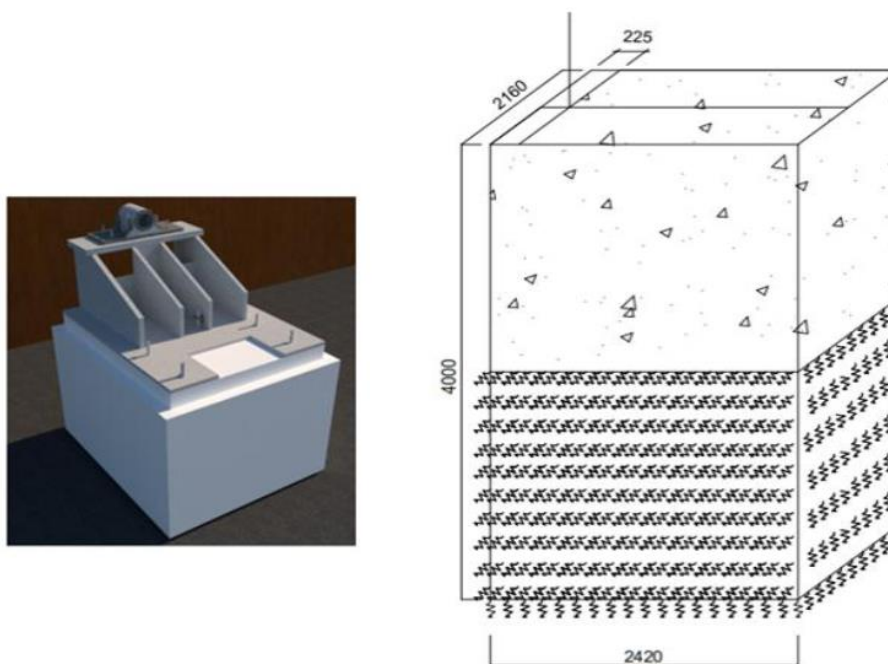


Figura 2: Parámetros Geométricos

2.2 Características del motor

Las características principales del motor necesarias para el estudio son el peso (kN) y la velocidad angular del rotor (r.p.m). Estas características se observan en la Tabla. 1.

Tabla 1: Características del motor

Tipo de maquinaria	Peso (ton/ kN)	Velocidad angular (r.p.m)
Eje de cuchilla	11,6/116	600

2.3 Modelo del material

Los materiales utilizados en el modelo son hormigón y el suelo en el que se apoya la base de cimentación. Para ambos materiales se decidió mantener un modelo de comportamiento del material lineal-elástico. Las propiedades del hormigón se obtuvieron a partir de ensayos realizados a testigos extraídos en la base (Figura. 3). En la Tabla 2 se muestran los resultados del ensayo a los testigos de hormigón de la base.



Figura 3: Extracción de testigos en la base de la maquinaria

Tabla 2: Características del hormigón según los ensayos

Ensayo	Ubicación	Resistencia a Compresión (Kg/cm ²)	Densidad (Kg/m ³)
Izquierdo	Cimentación del eje	173,4	2285
Derecho		130,6	2204

La rigidez del suelo se tuvo en cuenta a partir del módulo de reacción k . El módulo k se representó según la Teoría de Winkler que consiste en representar al suelo como un número infinitos de muelles, tal como se observa en la Figura. 4.

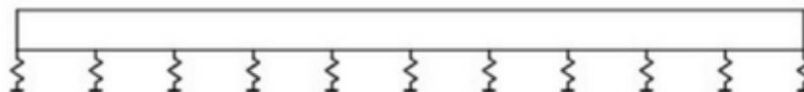


Figura 4 Representación del suelo

Las características principales del suelo modeladas son mostradas en la Tabla 3.

Tabla 3: Características del suelo

W%	γ_d kN/m ³	γ_f kN/m ³	Pe kN/m ³	e	S %	C MPa	ϕ	E MPa
28,60	13,99	18	27	0,90	88,22	4,85	14°	3,84

2.4 Cargas y tipo de análisis

Las cargas analizadas en el modelo fueron las cargas permanentes y las cargas dinámicas producto de la oscilación del motor. Para el análisis de las cargas dinámicas se empleó el análisis denominado *Steady State*. El análisis *Steady State* es un tipo de análisis dinámico con dominio de la frecuencia, y permite mostrar respuestas de la estructura a una frecuencia dada. Se realiza un barrido de frecuencias hasta alcanzar la frecuencia de trabajo del motor rotor correspondiente a 600 r.p.m. Las cargas permanentes corresponden a el peso de las cuchillas que el eje tributa a la base analizada, el valor de la carga es 11.6 ton [1-3].

2.5 Calibración y mallado

El elemento finito utilizado es de tipo sólido con ocho nodos. Debido a la falta de ensayos experimentales solamente se realizó una calibración del modelo. Para llevar a cabo el proceso de dicha calibración es preciso seleccionar la densidad de mallado adecuada o recomendable. Para la selección de la malla se tiene en cuenta la cantidad de elementos generados y el tiempo de corrida del modelo. ante el aumento del número de nodos, trae consigo el aumento del número de ecuaciones a resolver por el software, y por consiguiente el aumento del costo computacional, uno de los puntos más importantes a tomar en consideración. Los nodos de estudios se ubicaron en los bordes y en el centro del bloque de forma tal que puedan extraerse varios valores de tensiones para llevar a cabo el proceso de calibración (Figura. 5).

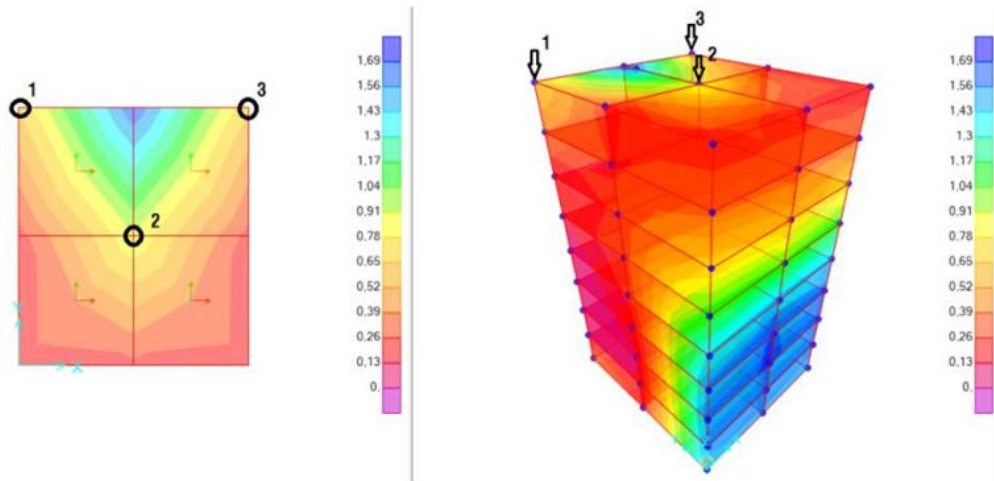


Figura 5: Ubicación de nodos para la calibración.

Para la calibración del modelo se define un módulo de reacción del suelo de $k = 100 \text{ psi}$ ($27\,144,71 \text{ kN/m}^3$) correspondiente a la capa de suelo donde se encuentra el bloque. La Tabla. 4 muestra el valor máximo de tensión en los nodos estudiados para el modo de oscilación número uno. Como se puede observar a partir de que el número de elementos llega a 2048 la tensión se comporta prácticamente estable y el tiempo computacional empleado no es representativo por lo que se ha decidido tomar este modelo para el análisis del sistema [4].

Tabla 4: Tensiones y número de elementos

No. Elementos	Tensiones en los nodos de estudio			Tiempo (s)
	1	2	3	
8	3,3	8,52	3,3	1
16	2,7	7,52	2,7	1
32	4,56	6,14	4,56	1
64	-0,09	5,91	-0,09	1
128	0,69	5,81	0,69	1
256	2,1	0,85	2,1	2
512	-0,01	3,76	-0,01	8
1024	0,75	0,57	0,75	16
2048	0,62	0,47	0,62	95
4096	0,44	0,91	0,44	508

Para el análisis de tensiones del elemento se divide el bloque en una serie de planos paralelos entre sí con el objetivo de realizar un barrido de tensiones en la dirección del eje Z, paralelo al plano XY, espaciados a

0,20 m hasta alcanzar los 2,50 m ya que a partir de esta altura están espaciados a 0,1 m con el objetivo de obtener resultados más aproximados. De igual forma se divide en el sentido del eje Y paralelos al plano XZ aunque estos últimos están espaciados a 0,2 m en toda la longitud (Figura. 6).

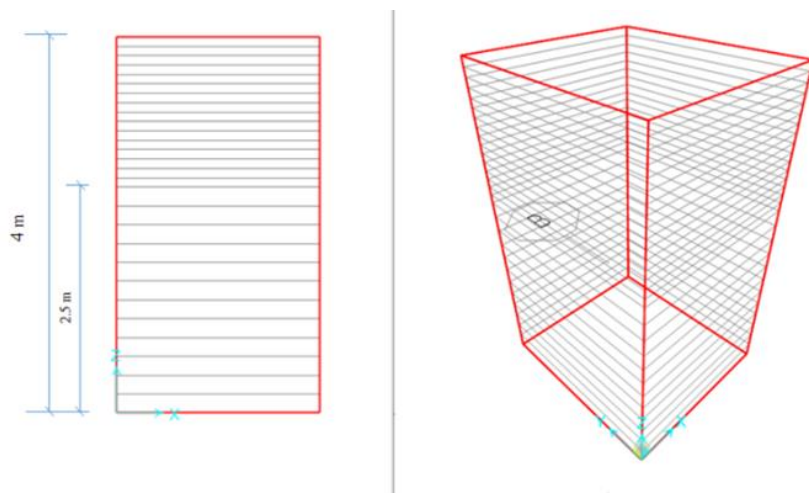


Figura 6: División del bloque

2.6 Análisis estático

En un primer momento se realiza un chequeo de las tensiones teniendo en cuenta las cargas estáticas. El comportamiento de dichas tensiones puede observarse en las Figura. 7 para eje Z y Figura 8 para eje. La tensión de rotura del hormigón en el caso de estudio es de 2,55 MPa. De los gráficos se puede verificar que no existen valores cercanos a dicha tensión.

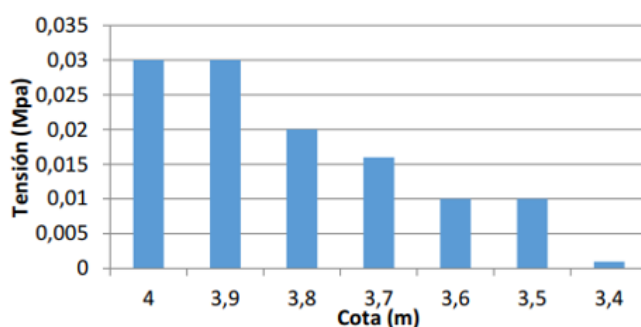


Figura 7: División del bloque a. Eje Z.

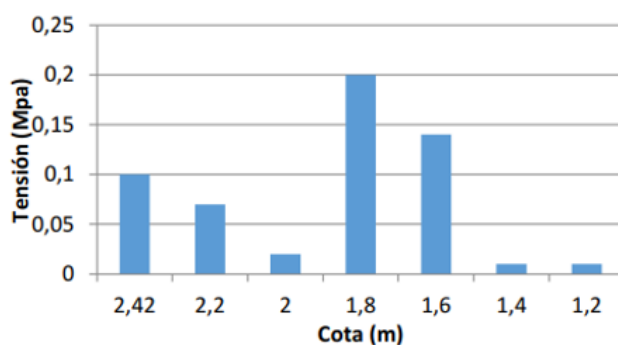


Figura 8: División del bloque a. Eje Y.

2.7 Análisis dinámico

Una vez analizadas las tensiones críticas producto a las cargas estáticas se procede a analizar las tensiones producto a las cargas dinámicas. Dicho análisis se realiza para valores diferentes de frecuencias. Las Figuras. 9 y 10 muestran en un gráfico el comportamiento de las tensiones en los ejes Z y Y para una frecuencia de 0.5 Hz. Se puede observar que para esta frecuencia el comportamiento de las tensiones no es crítico para ninguno de los ejes.

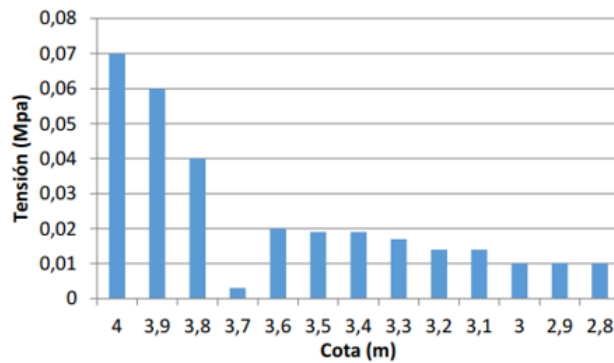


Figura 9: División del bloque a. Eje Z, (0,5 Hz)

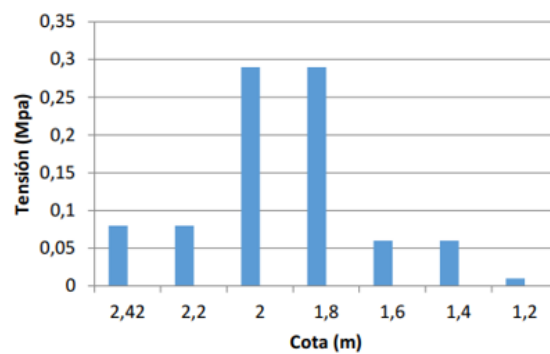


Figura 10: División del bloque a. Eje Y, (0,5 Hz)

Se realiza el mismo análisis para una frecuencia de 1.5 Hz, y se observa un incremento de las tensiones con respecto a la frecuencia de 0,5 Hz, aunque aún las tensiones no son críticas (Figuras 11 y 12).

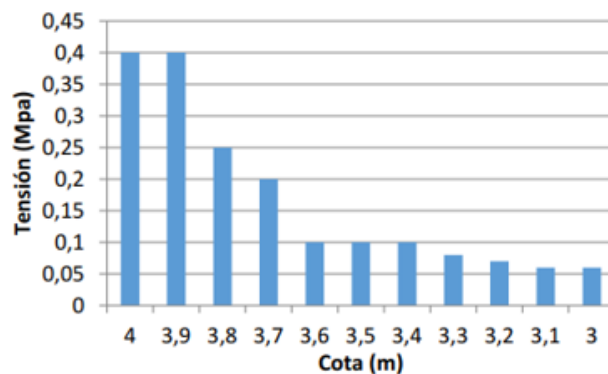


Figura 11: División del bloque a. Eje Z, (1.5 Hz)

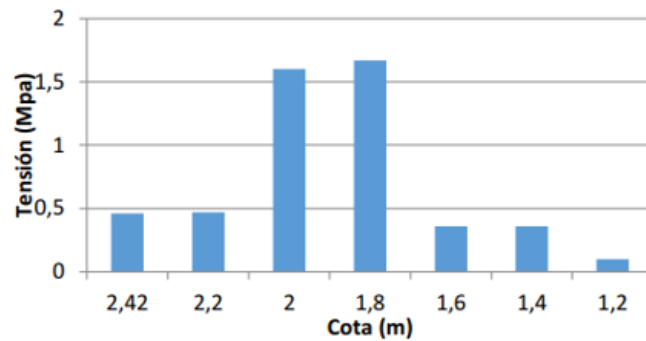


Figura 12: División del bloque a. Eje Y, (1.5 Hz)

Se identificó que cuando el motor alcanza una frecuencia de operación de 2 Hz (120 rpm) (Figuras 13 y 14), la base comienza a presentar problemas, pues en el eje Y (Figura 14) las tensiones superan la tensión de rotura del hormigón, mientras que en el eje Z las tensiones se encuentran por debajo.

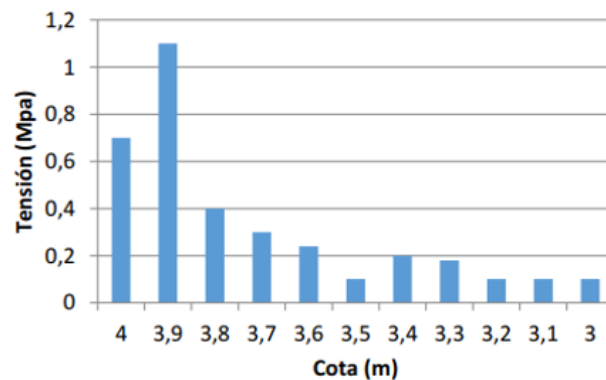


Figura 13: División del bloque a. Eje Z, (2 Hz)

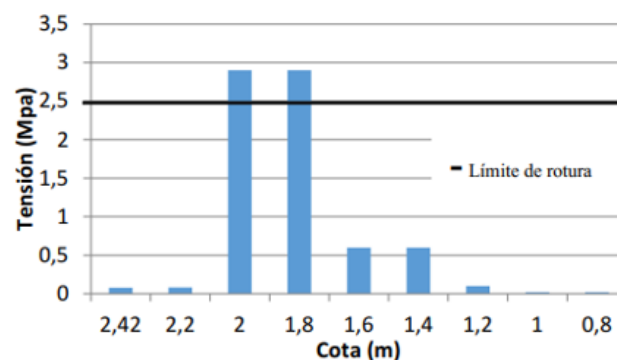


Figura 14: División del bloque a. Eje Y, (2 Hz)

Para una frecuencia de 4 Hz los dos ejes son críticos (Figuras 15 y 16), el eje Y se mantiene con tensiones mucho mayores (Figura 16), pero el eje Z muestra tensiones superiores a la tensión de rotura del hormigón (Figura 15).

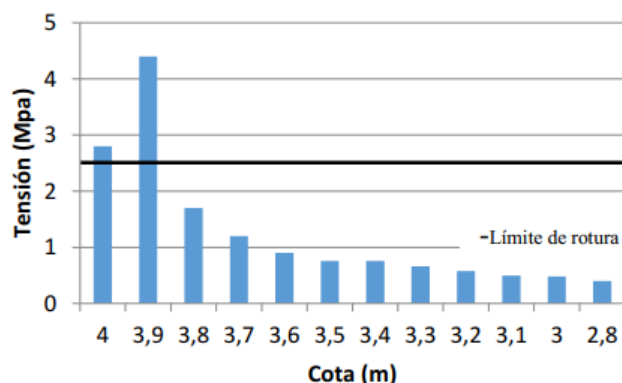


Figura 15: División del bloque a. Eje Z, (4 Hz)

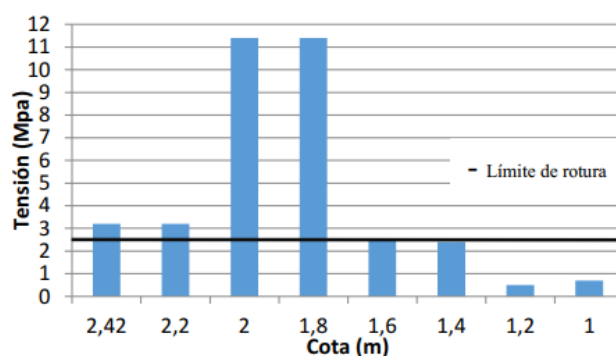


Figura 16: División del bloque a. Eje Z, (4 Hz)

3. CONCLUSIONES

Los modelos numéricos son una herramienta útil para el desarrollo de investigaciones relacionadas con el diseño y evaluación de las bases de cimentación para maquinarias, demostrándose que el software SAP2000 es una herramienta eficaz para el análisis y entendimiento del comportamiento estructural de dichos elementos, gracias a su versatilidad, variación de parámetros y su fácil simulación.

El empleo de la modelación a nivel empresarial trae consigo notorias ventajas, además de brindar tanto a proyectistas como ingenieros información del comportamiento de objetos de forma complicada bajo la acción de cargas inimaginables, permite identificar y previamente erradicar problemas de diseño antes de fabricar un prototipo.

A partir de la modelación realizada se define que el análisis dinámico genera solicitaciones más desfavorables para este tipo de estructura que el análisis estático. A partir de 120 rpm (2 Hz) las tensiones comienzan a superar las tensiones de rotura del hormigón, pero solo de forma superficial, no es hasta que la frecuencia alcanza 240 rpm (4 Hz) que las tensiones superan los límites a profundidades mayores por tanto se concluye que las bases de cimentación no son aptas para soportar frecuencias mayores.

4. BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. E. Beskos, "Foundation vibrational analysis using simple physical models, 1994 by John P. Wolf, Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 420 pp. Price (cloth). ISBN 0-13-010711-5," *Journal of Sound and Vibration*, vol. 184, no. 5, pp. 959-960, 1995/08/03/ 1995.
- [2] N. S. Feng and E. J. Hahn, "Including foundation effects on the vibration behaviour of rotating machinery," *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 9, no. 3, pp. 243-256, 1995/05/01/ 1995.
- [3] H. P. Bloch and F. K. Geitner, "Chapter 3 - Machinery foundations and grouting E. M. Renfro, P. E. Adhesive Services Company, Houston, Texas," in *Machinery Component Maintenance and Repair*

- (Fourth Edition), H. P. Bloch and F. K. Geitner, Eds.: Gulf Professional Publishing, 2019, pp. 69-152.
- [4] M. Pantelić, P. Jovančić, L. Ristić, and M. Bebić, "Concrete base influence on the increased vibrations level of the mill drive system elements - A case study," *Engineering Failure Analysis*, vol. 106, p. 104178, 2019/12/01/ 2019.
- [5] A. E. Charalampakis, "Comparison of metaheuristic algorithms for size optimization of trusses," in de 11th HSTAM International Congress on Mechanics, Greece, 2016.