

## Resumen

**E**ste artículo presenta un ejemplo de utilización de técnicas de tratamiento de señales en el diseño de un dispositivo de control de alimentación para un molino de bolas (triturador de piedra), con el fin de facilitar la realización del trabajo humano y aumentar el rendimiento en un proceso industrial.

## Introducción

Una muy buena parte de la actividad de investigación orientada hacia la industria gira alrededor de la problemática de velar por el mantenimiento óptimo de las condiciones para el buen desarrollo del trabajo humano y el aumento de la productividad. Para lograr simultáneamente estos dos objetivos, una automatización adecuada de los procesos industriales resulta la solución.

Sin embargo, para lograr automatizar un importante número de procesos, usualmente el problema radica en un adecuado tratamiento de la información que se puede recuperar. En términos técnicos, es un problema de transductores y acondicionadores de señales.

El presente proyecto ilustra la utilización de técnicas clásicas de tratamiento de señales, las cuales permiten no solamente acondicionar la señal adquirida, sino que también obtener un modelo adecuado de ésta, donde ciertas propiedades buscadas se evidencian.

## Descripción Del Problema Y Del Proceso.

En una empresa ubicada en el departamento del Huila se lleva a cabo el triturado de piedra por



Mauricio Duque  
Asesor proyecto de grado.  
Departamento de Ingeniería Eléctrica  
Universidad de los Andes, Santafé de Bogotá.  
Claudia María Rivera  
Proyecto de grado, Uniandes, 1992

medio de un molino de bolas. El molino está manejado por un motor asincrónico, trifásico, que se conecta através de un reductor a un tambor, el cual contiene la roca a triturar, así como un número adecuado de bolas metálicas. En el movimiento de rotación se genera el golpeado de las bolas contra las rocas, dando como resultado la trituración de éstas. De su parte, el tambor es alimentado por medio de una tolva a la cual llegan las rocas por medio de una banda transportadora que es puesta en movimiento por otro motor.

En estos momentos el control de la alimentación del molino la realiza un operario quien se guía por el sonido que emite el molino. El ruido emitido por el molino cambia según la condición de carga en que se encuentra.

Este método de control obliga a tener un operario encargado del manejo manual de la alimentación, con la pérdida de eficiencia que implica que ello implica. Además este trabajo resulta poco humanizante, debido al ruido y a la monotonía de la labor a ejecutar. Dicha monotonía es parcialmente compensada con la realización por parte de este operario de otras labores. Desafortunadamente estas labores lo distraen olvidando a menudo alimentar el molino. Después de estudiar otras alternativas, como la de medición de velocidad, la potencia consumida, etc., se encontró que la única alternativa viable desde el punto de vista técnico-económico era tratar de utilizar la información del sonido emitido, tal como lo hace el operario.

## Metodología

A continuación se enumeran los pasos que se siguieron en el proyecto.

1) Visita de inspección y reconocimiento a la planta.

- 2) Selección del método de solución (Método por sonido).
- 3) Elaboración de protocolos de recolección de información.
- 4) Toma de Información sobre el proceso.
- 5) Acondicionamiento de la información.
- 6) Modelo de la información.
- 7) Diseño, evaluación y simulación de soluciones.
- 8) Diseño y realización física del prototipo.

A continuación se describen brevemente los pasos cuatro a ocho de la metodología.

## Toma de Información Sobre el Proceso:

La información del proceso (ruido producido por el molino) se tomo en cinta magnetofónica. Cada segmento de grabación fué asociado a un porcentaje de carga del molino (0%, 50%, 90%, 100%), así como una distancia a éste (2,5,7 y 12 m).

## Acondicionamiento de la Información:

Esta etapa tiene como principal función preparar la información obtenida en las cintas para su utilización posterior. Esta preparación implica:

\*Filtrado análogo para minimizar el

efecto del ruido no deseable.

\* Muestreo y digitalización de las señales con el fin de guardar la información dentro del computador en archivos correspondientes a cada característica de funcionamiento.

## Modelo de la información:

Partiendo de la información suministrada por el operario, se buscó modelar en frecuencia la señal del molino, con el fin de encontrar las cualidades que permiten el actual control manual.

En este proceso se utilizó una herramienta matemática (FFT) que permiten obtener las características frecuenciales de cada señal en análisis. A título ilustrativo se muestran a continuación los resultados para tres condiciones de carga a 2 mtrs.

Se observa la presencia de un pico sobresaliente común a todos los espectros alrededor de los 500 Hz de frecuencia. Esta característica es muy significativa dado que, además de presentarse en todos los espectros, la energía del pico varía dependiendo del nivel de carga.

En las figuras 2 y 3 podemos verificar la clara diferencia de la energía del pico según la condición de carga.

De esta forma se encontró un patrón que permite a partir de la señal auditiva del molino, estimar el nivel de carga del mismo.

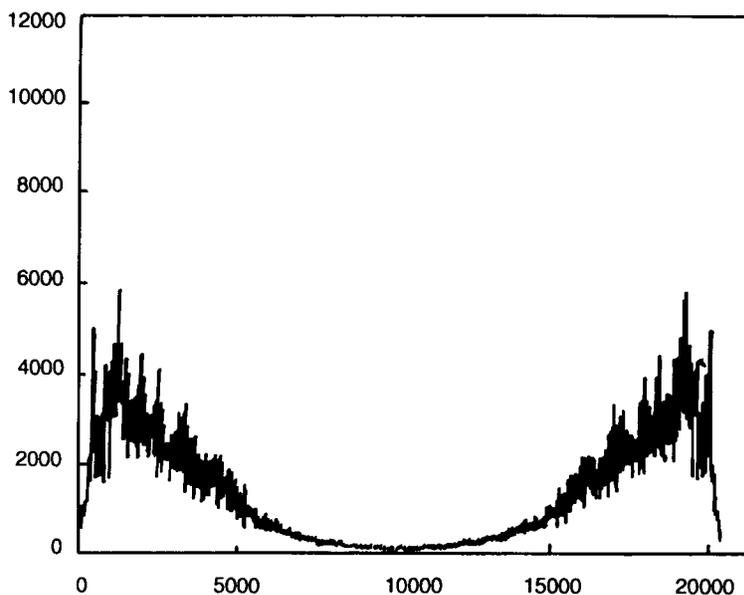


Figura 1: Molino sin carga y sin alimentación. Muestra a 2m.

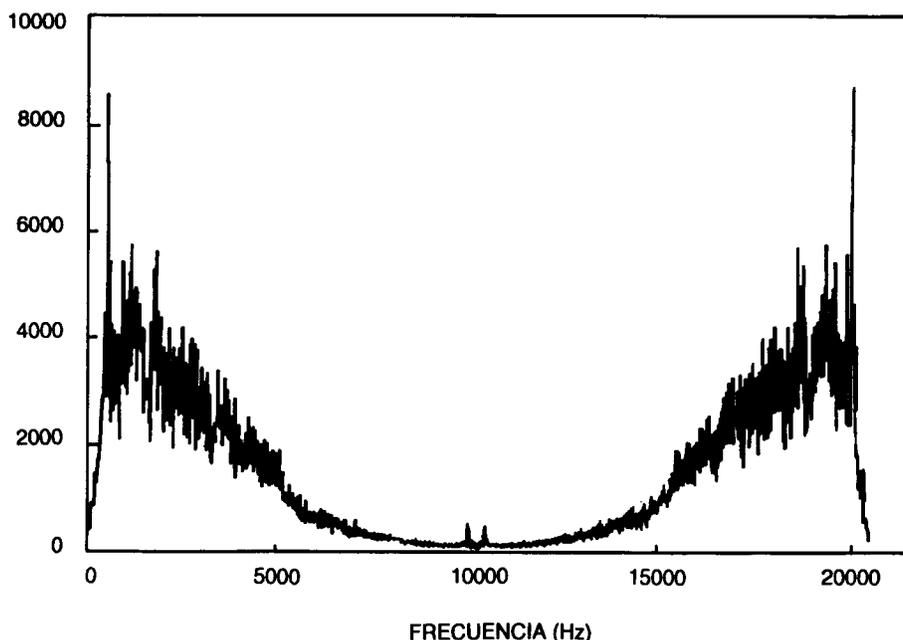


Figura 2.: Molino recibiendo carga. Muestra a 2m.

## Diseño, evaluación y simulación de soluciones:

Como el interés es detectar la

magnitud del pico a 500 Hz, se procedió a diseñar un filtro que pueda aislar juntamente este pico. Para ello se diseñó un filtro "paso de banda" lo suficientemente estrecho. Con la señal original y la señal filtrada, se elaboró el

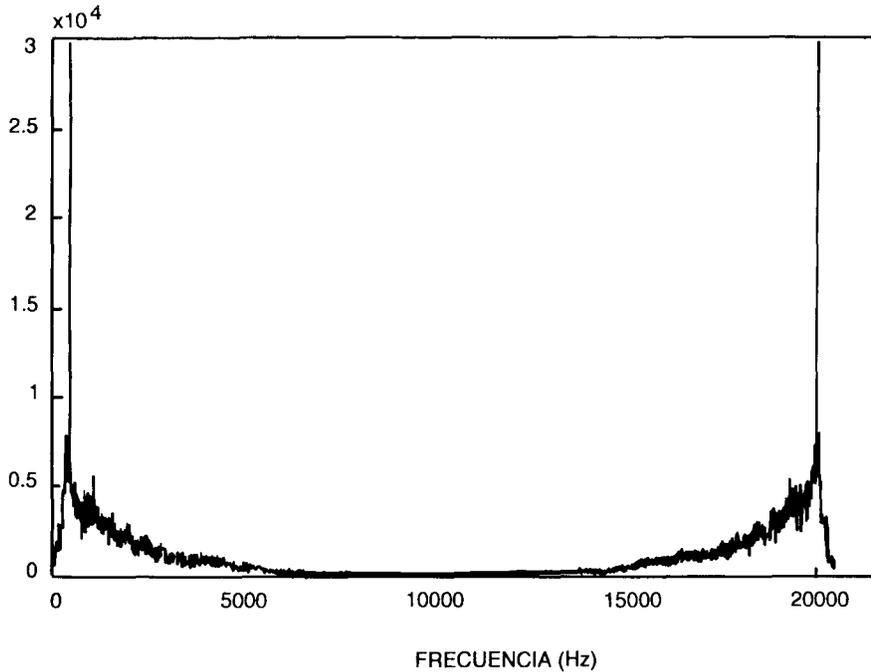


Figura 3: Molino cargado sin alimentación. Muestra a 2m.

siguiente indicador:

$$r = \frac{P_{fil}}{P}$$

$P_{fil}$  = Potencia de la muestra filtrada.

$P$  = Potencia de la muestra sin filtrar.

Con este procedimiento se observó claramente que las relaciones del molino descargado, desde cualquier distancia son del orden de  $0.01 \leq r \leq 0.1$  y las relaciones para el molino cargado desde

cualquier distancia son mayores o iguales a 0.1. Este patrón que muestran las relaciones es muy importante porque con el se identifica plenamente, a partir de

los archivos con la información del proceso, cuando el molino esta cargado o no.

### Diseño y realización física del prototipo:

Una solución inmediata al problema, sería la utilización de un computador, para que con el método anteriormente descrito, tomando las señales en tiempo real, determine cuando alimentar el molino y cuando no. Sin embargo esta solución resulta muy costosa. En consecuencia, teniendo como base los resultados obtenidos en el análisis frecuencial,

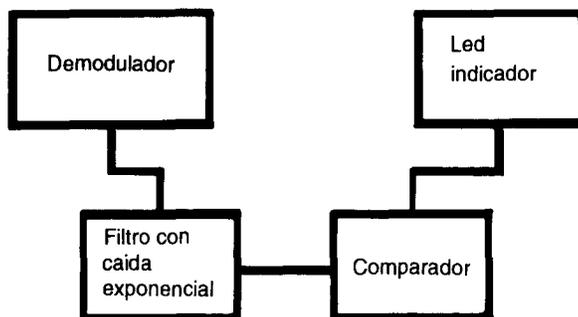


Figura 7. Etapa de decisión. Diagrama de Bloques.

se realizó el siguiente diseño, el cual consta de cuatro módulos interconectados:

- \* Etapa de filtrado.
- \* Etapa de amplificación.
- \* Etapa de decisión.
- \* Etapa de accionamiento.

### Etapa de filtrado:

En esta etapa se limita en banda el contenido espectral de la señal de entrada para facilitar el



Figura 4. Etapa de filtrado. Diagrama de bloques.

manejo de la misma, luego se detecta el pico presente en 500 Hz el cual nos ayuda posteriormente a identificar la condición de carga.

### Etapa de amplificación:

Esta etapa facilita el manejo posterior de la señal con el demodulador.

### Etapa de decisión:

En esta etapa se muestra claramente en qué condición de carga se encuentra el molino. Esto se realiza teniendo en cuenta que la energía del pico en 500Hz es más alta en condiciones de carga.

## Etapa de accionamiento:

Esta etapa es la interfaz de potencia entre el dispositivo de control y el motor que acciona la banda transportadora. Esta última alimenta el molino por medio de una tolva.

## Conclusiones

En este artículo se presentó una alternativa para el diseño de un sistema de control usado para la alimentación de un molino triturador de piedra usando

métodos frecuenciales.

La principal ventaja de este método es que nos permitió implantar un control sencillo de bajo costo.

El uso de métodos frecuenciales es la investigación se convierten en una herramienta de gran versatilidad aplicable a todos los campos de ingeniería debido a que nos facilitan el trabajo con señales de tiempo real obteniendo por consiguiente, resultados más confiables y satisfactorios.

El uso de la simulación como herramienta básica de diseño nos permitió comparar diferentes alternativas operacionales sin perturbar el sistema real, lo que

trajo como resultado una implantación económica.

## Bibliografía

- (1) Brigham, e. o. *The Fast Fourier Transform*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J. 1974.
- (2) Oppenheim, A. V. and Johnson, *Discrete representation of signals Proc. IEEE, vol. 60, No. 6, June 1972, pp. 681-691.*
- (3) Hamming, R. W. *Digital Filters*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J. 1989.
- (4) Millman, Jacob and Gravel, Arvin, *Microelectronics Mc Graw Hill. N.Y. 1987.*
- (5) *Control de alimentación para un molino de bolas, Proyecto de grado, Unilandes, 1992.*

