



VI Congreso Iberoamericano de Acústica - FIA 2008
Buenos Aires, 5, 6 y 7 de noviembre de 2008

FIA2008-A004

Modelación acústica de sistemas mecánicos en la industria

Ventura José Muñoz Yi ^(a),
Elkin De Jesus Arrieta Morales ^(b),
Daniel Eduardo Camacho Galvis ^(c).

(a) Ingeniero Mecánico, Universidad Del Norte, Candidato a Doctorado de Ingeniería Mecánica, Grupo de Gas Natural Termodinámica-GNyT(Énfasis en Producción más Limpia), Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Del Norte. Km. 5 Antigua Vía Pto. Colombia, Barranquilla, Colombia. E-mail: vmunoz@uninorte.edu.co

(b) y (c) Ingeniero Mecánico, Universidad Del Norte, Grupo GNYT

Abstract

Industrial Noise and Sound generation mechanisms of machinery have been analyzed in the past few decades [1-3], however is necessary more specialized studies that allow to predict failure in machines. In general, the construction industry has placed little emphasis on the control of noise attributes of power tools [14]. In the industrial environment the noise generally comes from sound sources, which are of complex nature and often increases with the power of the machines. The difficulty of reducing the noise output and the noisiness of existing equipment is a serious obstacle to the improvement of working environments. The objective of this research is to analyze the behavior of the sound intensities on mechanical system of a factory during the time of operation, which is composed by a group of machines of circular saws. The different sound intensities were modeled through the software Soundplan. According to the dispersion of sound intensities were proposed several alternatives for the noise reduction.

Resumen

El ruido industrial y la generación del sonido de los mecanismos de máquina han sido analizados en las últimas décadas [1-3], sin embargo es necesario mas estudios especializados que permitan predecir fallas en maquinas. En general, la industria de la construcción ha colocado poco énfasis en el control de los atributos del ruido en las herramientas de potencia [14]. En los ambientes industriales el ruido generalmente se genera por diferentes fuentes, las cuales son de naturaleza compleja y con frecuencia se incrementan con la potencia de las máquinas. La dificultad de reducir el sonido de salida y el ruido de los equipos existentes es un serio obstáculo para el mejoramiento de los ambientes de trabajo. El objetivo de esta investigación es analizar el comportamiento de las intensidades sonoras generadas por un sistema mecánico de una empresa durante el tiempo de operación, el cual está conformado por un grupo de cierras circulares. Las diferentes intensidades sonoras fueron modeladas a través del software Soundplan. De acuerdo a la distribución de las diferentes intensidades sonoras se propuso varias alternativas para la reducción del ruido.

Palabras claves: Intensidad sonora, sistemas mecánicos, modelación acústica, control de ruido

1 Introducción

Las máquinas y procesos industriales no deben ser mirados como “unidades ruidosas monolíticas”, sino como un sistema mecánico que genera un espectro de intensidades sonoras, las cuales hay que analizar sus elementos en forma individual para buscar una reducción del sistema mecánico analizado. Los niveles de ruido generados por sierras circulares en operación oscilan entre 80 dB(A) y 120 dB(A). El ruido en vacío alcanza hasta 95 dB(A) y en caso de operación con materiales de plástico y de aluminio surgen vibraciones [17]. Las técnicas de la modelación del ruido sirven para planificar las actividades de mantenimiento con mayor claridad y mejorar la eficiencia de los equipos rotativos; permitiendo además la simulación de ciertos escenarios, reevaluando de manera rápida otras alternativas y suministrando nuevas oportunidades al empresario para toma de decisiones más eficientes y rentables.

2 Metodología de trabajo

El procedimiento que debe ser seguido para determinar la intensidad sonora resultante y buscar una solución pertinente son: (a) listado de las fuentes generadoras individuales, (b) clasificación de los tipos de ruidos, (c) modelas escenarios posibles de mejoras y por último (d) desarrollar medidas de controles pasivos y activos para la mitigación de ruido.

2.1 Aproximación del modelo matemático:

El siguiente es el modelo matemático que se utilizó para calcular las intensidades sonoras de cada máquina, para luego corroborar los datos obtenidos con los resultados entregados en la simulación con el Software Sound Plan V. 6.2, el nivel de intensidad sonora, L_I , puede ser definida como:

$$L_I = 10 \log_{10} \left[\frac{I}{I_o} \right] \quad (1)$$

Donde

$$I_o = 10^{-12} \frac{W}{m^2} \quad (2)$$

$$I = \left[10^{-12} \frac{W}{m^2} \right] * \left[10^{L_I/10} \right] \quad (3)$$

Donde :

I_o = Intensidad sonora de referencia

I = Intensidad del equipo a determinar

L_I = Es el nivel de presión sonora medido en cada una de las máquinas

Nivel equivalente promedio TS88:

$$I_1 = (10^{-12}) 10^{\left(\frac{64,6}{10}\right)} = 2,88 * 10^{-5} \quad \frac{W}{m^2} \quad (4)$$

$$I_4 = (10^{-12}) 10^{\left(\frac{68,9}{10}\right)} = 7,76 * 10^{-5} \quad \frac{W}{m^2} \quad (5)$$

$$I_3 = (10^{-12}) 10^{\left(\frac{67,8}{10}\right)} = 6,02 * 10^{-5} \quad \frac{W}{m^2} \quad (6)$$

$$I_5 = (10^{-12})10^{\left(\frac{60,4}{10}\right)} = 1,096 * 10^{-5} \quad \frac{W}{m^2} \quad (7)$$

$$I_{11} = (10^{-12})10^{\left(\frac{88,8}{10}\right)} = 758,58 * 10^{-5} \quad \frac{W}{m^2} \quad (8)$$

$$I_{prom} = \frac{I_1 + I_4 + I_3 + I_5 + I_{11}}{5} \quad \frac{W}{m^2} \quad (9)$$

$$I_{prom-T588} = 10 \log_{10} \left(\frac{I_{prom}}{I_0} \right) = 81,91 \cong 82 \quad \frac{W}{m^2} \quad (10)$$

Con el fin de saber la eficiencia con que la señal se propaga en el medio aire, hay que medir la impedancia acústica, ρc . En condiciones ambientales a nivel del mar y 20°C la característica de la impedancia es $414 \text{ kg m}^{-2}\text{s}^{-1}$, para ondas planas o semiesférica, se utiliza la siguiente ecuación [4]:

$$L_I = L_p - 0.2$$

De la misma forma se procedió a determinar los niveles de presión sonora de las otras sierras.

Para el cálculo del nivel total percibido en cada sierra por causa del ruido producido por ella misma y las sierras restantes, se ubicaron 6 receptores muy cerca de cada máquina, tal como los demuestra la figura 1.

Se partió de que a 0.5m (distancia oficial en que se hicieron las mediciones de nuestra investigación) de cada sierra se tiene el valor del nivel equivalente continuo promedio (L_{PROM}) calculado anteriormente.

Luego se determina el nivel equivalente continuo promedio disminuido que le llegaba al receptor escogido ubicado en una maquina en particular, a causa de las demás sierras. En la figura 2 se muestra el cálculo hecho para la maquina CM111 línea 1 y línea 2.

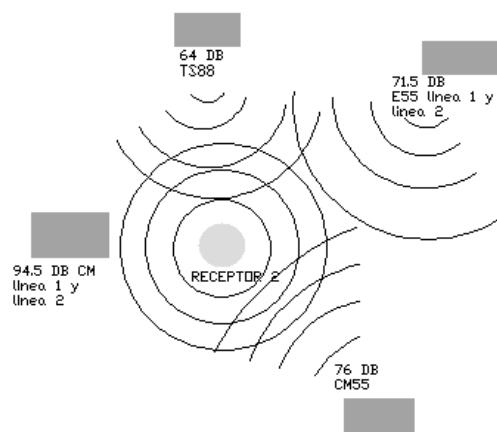


Figura 1 Calculo de nivel total percibido por sierras CM111 línea 1 y línea 2

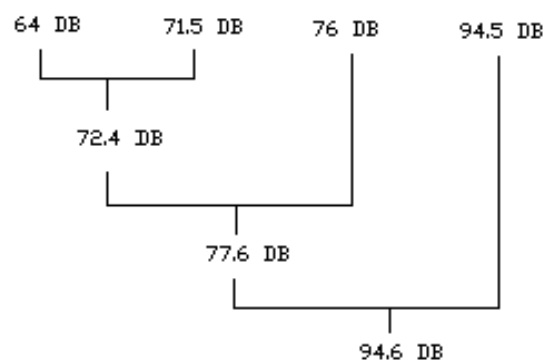


Figura 2 Niveles continuos equivalentes promedio entre las sierras CM111 línea 1 y línea 2

2.2 Mecanismo funcionamiento de las sierras circulares

Las sierras cortadoras constan de dos movimientos simples para su funcionamiento, basados en la utilización de actuadores neumáticos, que permiten el giro de la sierra y el movimiento de traslación relativo a la velocidad de alimentación de la tubería entrante para el corte uniforme del tubo.

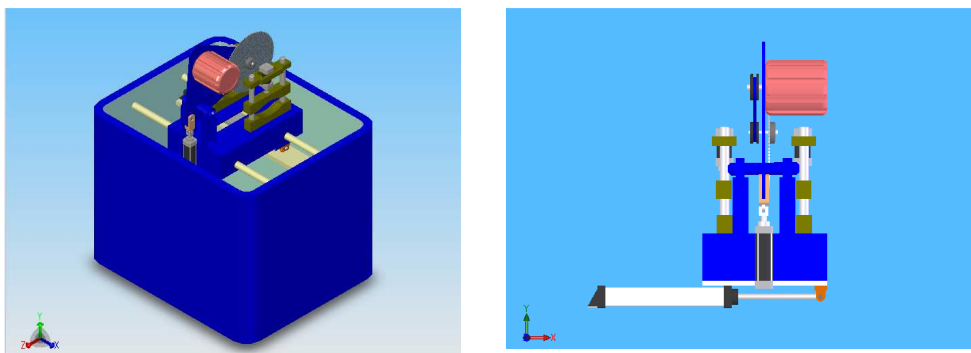


Figura 3 Representación en 3D, de la sierras a evaluar su nivel del ruido

En la siguiente gráfica se puede apreciar la distribución de planta de las diferentes máquinas.

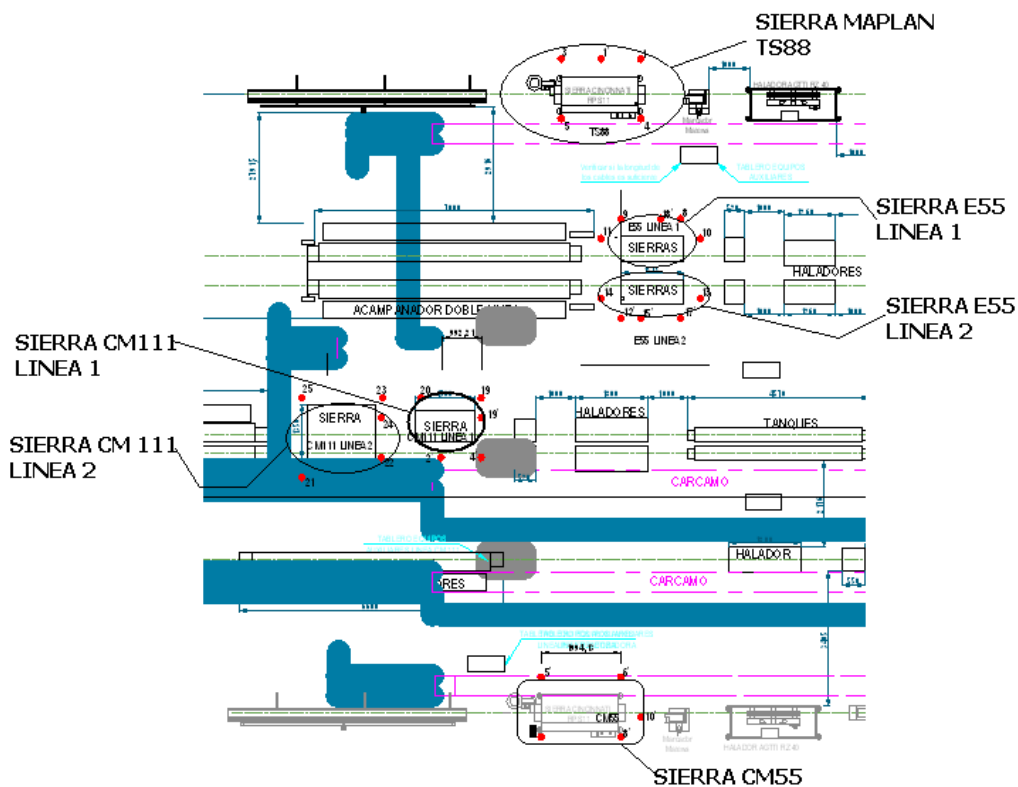


Figura 4 Distribución de planta de la empresa

La descripción de las máquinas de estudio en la planta es la siguiente:

Tabla 1. Máquinas que conforman la planta industrial

	Máquinas	Marca	Modelo
1	Extruder E55 línea 1	Gatto	d-203-3
2	Extruder E55 línea 2	Gatto	d-203-3
3	Extruder CM111 línea 1	Metaplast	Mst-4
4	Extruder CM111 línea 2	Metaplast	Mst-4
5	Extruder CM55	oem	hs4-24r

3 RESULTADOS DE LAS EMISIONES DE RUIDO

3.1 Ruido de fondo

Los niveles de presión sonora registrada en cada una de las posiciones del micrófono se deben corregir por la influencia del ruido de fondo. En las posiciones del micrófono, el ruido de fondo (incluyendo el del viento en el micrófono medido como el nivel de presión sonora ponderada A y en cada banda de frecuencia de interés debe estar 10 dB por debajo del nivel originado en la maquina que se está ensayando y, al menos 6 dB por debajo de este nivel, norma ISO 1680/1-1986,[5].

Tabla 2. Valores de ruido de fondo tomados en la planta

RUIDO DE FONDO				
PARAMETROS DE MEDICION				
Duración: 1 hora		Ponderación: A		Cte de tiempo: Lento
Umbral: Apagado		Índice de intercambio: 3dB		Ponderación del pico: A
Parámetro	PUNTO A	PUNTO B	PUNTO C	PUNTO D
Lpeak (dB)	111,9	107,8	112,8	94,2
LMAX (dB)	86,6	90,3	91,7	80,0
LMIN (dB)	48,3	46,5	46,8	45,8
LEQ (dB)	64,7	67,9	69,0	60,5
LDN (dB)	64,7	67,9	69,0	60,5
SEL(3) (dB)	100,3	103,5	104,6	96,1
CNEL (dB)	64,7	67,9	69,0	60,5
TWA (dB)	55,7	58,9	60,0	51,5
Pa2Sec	4,2	8,9	11,5	1,6
TAKM5 (dB)	69,7	73,5	75,0	65,5
L5 (dB)	70,0	75,1	74,8	65,6
L10 (dB)	67,4	70,1	68,7	62,9
L50 (dB)	58,5	59,4	56,7	55,9
L90 (dB)	52,7	53,2	51,6	51,2

Cada medición tiene un punto exacto de ubicación en alguna de las intersecciones de la cuadrícula hecha previamente sobre el plano oficial de la empresa para el estudio de ruido, los puntos hacen las veces de receptores. El sonómetro fue colocado a una altura de 1.5m del nivel del suelo. Cada cuadro de la cuadrícula tienen un lado 0.5m. Algunos puntos se muestran como primados porque pertenecen a una segunda ronda de mediciones.

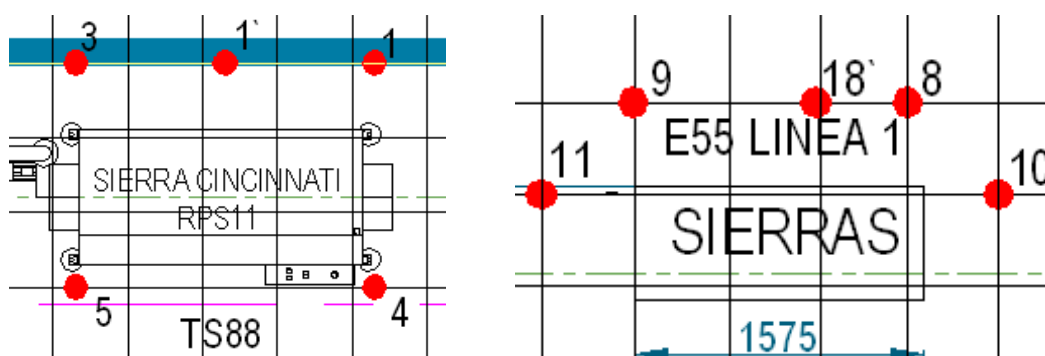


Figura 5 Ubicación física de cada uno de los equipos

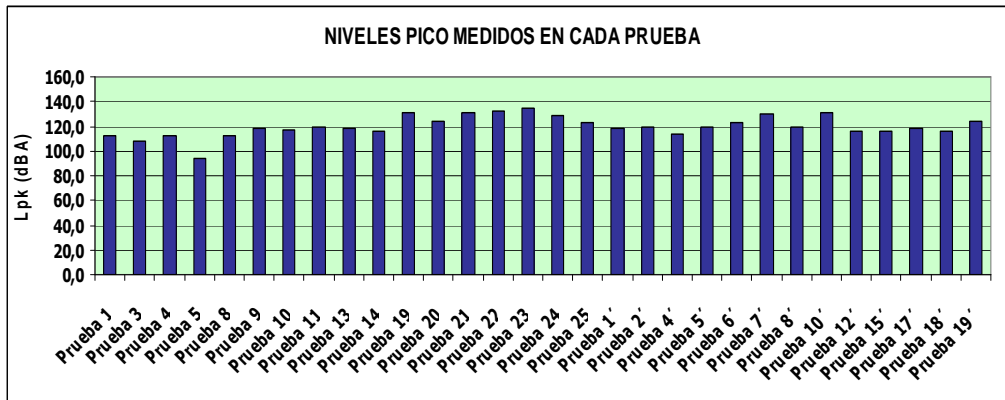
Teniendo en cuenta la norma 7960:1995(E), Anexo A, *Condiciones de operación para sierras circulares en máquinas para trabajo en madera* [5], se procedió a monitorear las intensidades sonoras de cada máquina. La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos en una de las máquinas:

Tabla 3. Mediciones de ruido de la Máquina Extruder TS88

EXTRUDER TS88					
PARAMETROS DE MEDICION					
Duración: 1 hora		Ponderación: A		Cte de tiempo: Lento	
Umbral: Apagado		Índice de intercambio: 3dB		Ponderación del pico: A	
Parámetro	Prueba # 1	Prueba # 3	Prueba # 4	Prueba # 5	Prueba # 1'
Inicio de prueba	19/05/2007 8:42:42	19/05/2007 9:47:10	19/05/2007 10:56:48	19/05/2007 11:57:55	30/05/2007 14:34:40
Fin de prueba	19/05/2007 9:42:42	19/05/2007 10:47:10	19/05/2007 11:56:49	19/05/2007 12:57:56	30/05/2007 15:34:40
Lpeak (dB)	111,9	107,8	112,8	94,2	118,3
LMAX (dB)	86,6	90,3	91,7	80,0	99,9
LMIN (dB)	48,3	46,5	46,8	45,8	86,5
LEQ (dB)	64,6	67,8	68,9	60,4	88,8
LDN (dB)	64,6	67,8	68,9	60,4	88,8
SEL(3) (dB)	100,0	103,2	104,3	95,8	124,2
CNEL (dB)	64,6	67,8	68,9	60,4	88,8
TWA (dB)	55,6	58,8	59,9	51,4	79,8
Pa2Sec	4,0	8,4	10,8	1,5	1076,4
TAKM5 (dB)	68,3	72,1	73,6	64,1	91,5
L5 (dB)	70,0	75,1	74,8	65,6	91,0
L10 (dB)	67,4	70,1	68,7	62,9	88,9
L50 (dB)	58,5	59,4	56,7	55,9	88,0
L90 (dB)	52,7	53,2	51,6	51,2	87,5
Rango (dB)	40-100	40-100	40-100	40-100	80-140
Sobrecarga (%)	0,01	0,02	0,31	0,00	0,00

Los valores pico de cada prueba, LPK, superan los 130 dB(A), dando claras pruebas de la existencia de contaminación acústica en la empresa de estudio.

Tabla 4. Niveles pico en la planta



3.2 Comparación de niveles reales con respecto a normas nacionales e internacionales

A continuación se muestran gráficas de los niveles continuo equivalente LEQ en cada una de las 6 sierras circulares de la empresa, teniendo en cuenta la incidencia sonora entre ellas. Se relacionan los niveles de de presión sonora con los límites permisibles según la norma ISO 3744 y 75dB para la Resolución 0627 de Abril 7 de 2006, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial.- MAVDT

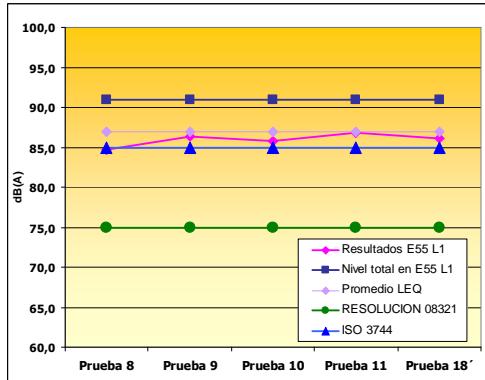


Figura 6 niveles en la sierra E55 línea 1

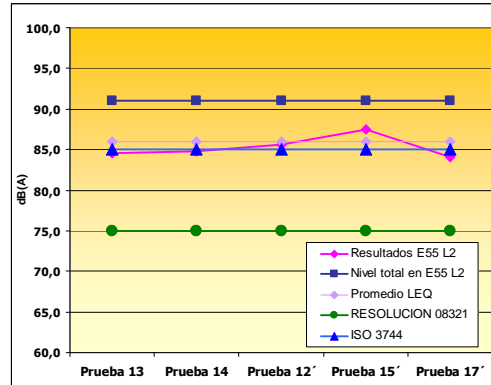


Figura 7 niveles sierra E55 línea 2

4 Modelación de los datos obtenidos mediante el software Sound Plan

Se utilizó el componente del software del Sound Plan para la modelación del ruido en ambientes industriales; permitiendo posteriormente optimizar las medidas de control del ruido, de acuerdo a los efectos de la propagación del ruido obtenidos, con respecto a su ubicación en el espacio global [13].

La modelación acústica se muestra la distribución de las curvas isofónicas y las zonas de concentración de mayor intensidad sonora.

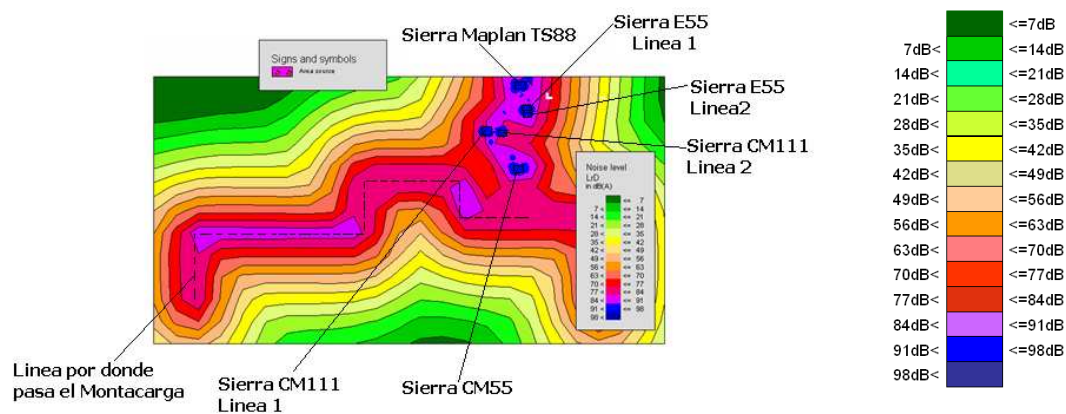


Figura 8. Curvas isofónicas generadas en Soundplan 6.2 en 2D

Se procedió posteriormente a realizar un análisis de frecuencia en cada máquina, con el fin de determinar las frecuencias más significativas de cada equipo durante su operación; esto nos servirá de base para el estudio de optimización.

Tabla 4. Análisis de frecuencia de todas las máquinas estudiadas

Maquinas	125Hz	250Hz	500Hz	1KHz	2KHz	4KHz
Extruder CM 111 Línea 1	77,5	100	90,4	93,6	89,8	84,6
Extruder CM 111 Línea 2	82,5	105	95,4	98,6	94,8	89,6
Extruder TS88	78,5	101	91,4	94,6	90,8	85,6
Extruder E55 Línea 1	74,9	97,4	87,8	91	87,2	82
Extruder E55 Línea 2	75,5	98	88,4	91,6	87,8	82,6
Extruder CM 55	81,6	104,1	94,5	97,7	93,9	88,7
Línea del Montacargas	90	97,5	102,9	108,1	107,3	107,1

5 Conclusiones y recomendaciones

Del análisis realizado se evidencia el alto nivel de contaminación sonora en la planta de estudio. Los niveles allí medidos no cumplen con las recomendaciones normalizadas a escala nacional, ni la internacional.

Se confirma que la modelación por medio del software Soundplan es una herramienta con alto grado de confiabilidad, dando valores bastante cercanos a los obtenidos en los cálculos manuales, arrojando errores del 3 al 5% en el nivel total percibido para un receptor ubicado en cada máquina.

La construcción de cabinas acústicas es la solución técnica más adecuada para este caso, se debe completar con un programa de control pasivo de ruidos en la empresa.

Reemplazar piezas gastadas o desbalanceadas de las máquinas como los empaques de los sistemas neumáticos, debido a que ocasionan fuga de aire, la cual va a generar un mayor nivel de ruido y disminuye la eficiencia de la máquina.[4]

Como alternativa de solución para la reducción de la contaminación recomendamos la utilización de cabinas o encapsulados acústicos para cada una de las 6 sierras cortadoras de tubería, las cuales son el foco de producción de ruido dentro de la empresa. Los cálculos arrojaron que se puede disminuir por máquina de 13,61 dB(A), utilizando un material de aislamiento: Frescasa SAB, con un coeficiente de absorción Acústica NRC= 0,85.

Se recomienda realizar estudios sonoros a cada una de las máquinas existentes y medir otros parámetros de operación que influyen en la generación de las diferentes intensidades sonoras.

6 Bibliografía

- [1] Determination of the Noise Contributions of Engine Surfaces, Anthony Fleszar - LMS International , Peter Van Der Linden - LMS International , J. Schnur - LMS Engineering, 2001
- [2] Quieting Heavy Machinery With Noise Cancellation Technology, Jeffrey N. Denenberg - Noise Cancellation Technologies, Inc., 2002
- [3] Noise source identification for mechanical systems generating periodic impacts, Louis Lefebvre and Frédéric Laville, École de Technologie Supérieure, Université du Québec, Montreal, Quebec, Canada H3C 1K3, 2007
- [4] D.A. Bies and C.H. Hansen, Engineering Noise Control, Theory and Practice (2nd ed.), E&FN Spon, London, UK (2003).
- [5] Acoustics, Vol 2, Noise emitted by specific machines and equipment, ISO Standards Handbook
- [6] Randall F. Barron, Marcel Dekker, Industrial noise control and acoustics. Nueva York .2003
- [7] HARRIS. Cyrilm. Manual de medidas acústicas y control de ruido. Madrid, Mc Graw Hill. 1995.
- [8] VERANEK, Leo. Noise and vibration control engineering. Jhon Willey. 1992.
- [9] Davis, D. y Davis, C.: "Sound System Engineering, Howard W. Sams & Co, Macmillan, Inc, 1987.
- [10] Egan, D., Architectural Acoustics. McGraw-Hill Inc, 1988
- [11] Tsukuba-shi., Analysis of individual machine noise in construction (2), Hiroshi Yoshinaga National Institute for Land and Infrastructure Management 305-0804 Japan.
- [12] István Vér, Leo L. Beranek, NOISE AND VIBRATION CONTROL ENGINEERING, Principles and applications, , 2a Edición
- [13] Noise Analysis and Industrial Noise with SoundPLAN Ver. 6.2
- [14] Table Saw Noise Control, Sound and Vibration, Jun 2004 by Spruit, Matthew
- [15] An Evaluation of Concrete Saw Blades for Noise Reduction, Susan Shepherd ScD, M. Abbas Virji ScD and Susan Woskie PhD CIH, University of Massachusetts Lowell.
- [16] Noise Abatement for Circular Saws, Departement of Labour Te Tari Mahi, Published by the Occupational Safety & Health Service, Department of Labour, Wellington, New Zealand