

Ruido: agente contaminante que provoca alteraciones en el ritmo cardiaco.

M.I. Lamberto Vázquez Veloz

lamberto.vazquez@sia.mxl.uabc.mx

ING. Jesús Manuel Rubio Carrillo

jesus.rubio@sia.mxl.uabc.mx

Maestros de tiempo completo de la carrera de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California.

Justificación:

En los últimos años, se han desarrollado grandes avances en los complejos industriales, provocado por la optimización de recursos, métodos de trabajo, planes y programas de producción. Sin embargo, los principales elementos que hacen posible estos avances, son los seres humanos, encargados de manejar, controlar, mantener y mejorar la planta productiva.

En este proyecto, nos enfocamos principalmente en los aspectos referentes a las condiciones ambientales en los procesos de producción, específicamente al ruido como un agente contaminante. Existen varios estudios en los que se pone de manifiesto que altos niveles de ruido provoca alteraciones en el estado físico y psíquico del trabajador, desmejorando su calidad de vida; ahora bien, teniendo en cuenta que en los procesos productivos se generan diferentes niveles de ruido con diferentes frecuencias y que esto afecta al trabajador, es necesario analizar, si una variación en los niveles de ruido afecta el ritmo cardiaco del trabajador; objetivo central de la investigación.

Objetivo general:

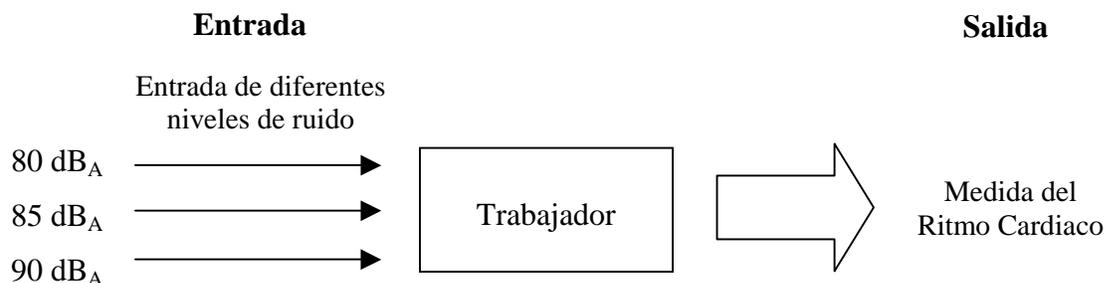
Determinar estadísticamente si la variación en el nivel sonoro continuo equivalente en un centro de trabajo, genera alteraciones en el ritmo cardiaco del trabajador; mediante un análisis comparativo entre diferentes niveles de ruido y la valuación del ritmo cardiaco.

INTRODUCCIÓN

La conjugación sistemática de las máquinas, herramientas, bandas transportadoras, montacargas, alarmas, señales acústicas y los seres humanos, que se hacen necesarios para proveer los bienes solicitados a una empresa; generan también vibraciones acústicas de baja y alta frecuencia, que en ocasiones son de tal potencia que afectan al trabajador. Lo anterior es considerado como un factor de estrés para el ser humano, ocasionándole trastornos a su salud y problemas irreversibles en su capacidad auditiva. La Secretaría del Trabajo y Previsión Social instituye las normas oficiales mexicanas NOM-011-STPS-1994 y NOM-080-STPS-1993, para mejorar las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido y establece los métodos para determinar el nivel sonoro continuo equivalente a los que se exponen los trabajadores. Sin embargo en los centros de trabajo, se generan diversos tipos de ruido, con diferentes potencias y distintas frecuencias, situación a la que no se le presta gran atención y puede llegar a tener efectos en la salud del trabajador. Un ejemplo típico de este problema se presenta con los supervisores, guías de línea, ingenieros de proceso, montacarguistas y personas encargadas de surtir material al proceso. La constante en estos casos es que por el propio giro de trabajo estas personas entran y salen de diferentes lugares de la empresa, donde se manifiestan diferentes niveles de ruido. Además de este tipo de trabajo, existe también una diversidad de niveles de ruido en las mismas estaciones de trabajo, cuando la operación que se realiza requiere de máquinas estampadoras, troqueladoras, fresadoras, taladros, que hacen que los niveles de ruido tengan mucha variación. Por lo que nuestra investigación se centra en analizar si la exposición a diferentes niveles de ruido genera alteraciones en el ritmo cardiaco del trabajador.

La idea primordial de trabajar con el ritmo cardiaco como una variable de salida en la medición, es por considerar que una alteración del ritmo cardíaco es una manifestación

dinámica y factible de que se presenta una situación de estrés en el trabajador e inicia un proceso de fatiga más acelerado que en condiciones normales.



DESARROLLO

La investigación inicia planteando la hipótesis de que no existe variación en el ritmo cardíaco del trabajador, cuando está expuesto a diferentes niveles de ruido. En nuestro análisis se consideraron tres niveles, que son 80, 85 y 90 decibeles.

Una vez planteada la hipótesis de investigación se desarrollaron los medios necesarios para llevar a cabo el experimento y efectuar nuestro análisis. Se generó una grabación con ruido provocado por la empresa, manteniendo una sola frecuencia, de tal forma que con un amplificador se incrementaría la potencia de ruido, de acuerdo a las necesidades del estudio, monitoreando que la cantidad de decibeles coincidiera con los requerimientos del estudio en este caso 80, 85 y 90 dB. El monitoreo de ruido se llevó a cabo con los métodos establecidos en la NOM-080-STPS-1993, de tal forma que el ruido se apegara a los decibeles necesarios en cada parte del experimento. El estudio de ruido se realizó con un sonómetro Quest tipo II, serie CDA050007 y certificado de calibración del 1 de junio del 2001.

El experimento se realizó en dos estaciones de trabajo, con un operario por estación, los cuales arman pasadores de chapas para puertas, los pasadores tienen el número de serie 1553Q2-Z y consta de 6 componentes. El número de movimientos necesarios para ensamblar una pieza es de 26 y el tiempo estándar promedio de ambos trabajadores es 14.54 segundos.

La fuente de ruido se colocó en medio de las dos estaciones de trabajo, para que los trabajadores estuvieran expuestos a los diferentes niveles de ruido requeridos por la investigación y detrás de ellos se ubicó el sonómetro para monitorear el nivel sonoro continuo equivalente del ambiente de trabajo.

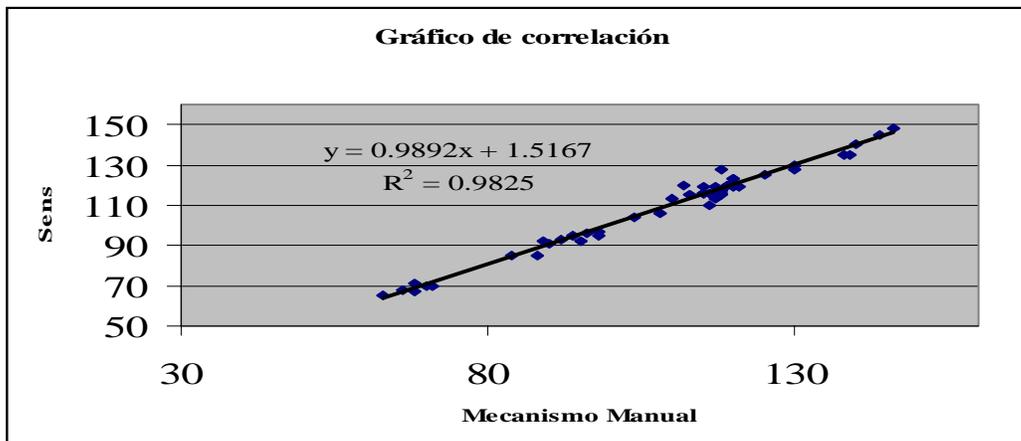
Una vez que se controla el nivel de ruido deseado se verifica el ritmo cardiaco del trabajador, por medio de un sensor que está colocado en el pecho del operador y que registra las pulsaciones del corazón. Este sensor convierte la variable física, considerada como ritmo cardiaco en una variable electrónica, que es leída e interpretada por un dispositivo receptor y refleja la medida de la variable ritmo cardiaco, en un monitor de fácil lectura para el supervisor que recolecta los datos. Para comprobar la eficiencia del sensor en cuanto a la representabilidad de la variable en análisis, se realizó un estudio de análisis de varianza, tomando como hipótesis que las medias de los ritmos cardiacos arrojados por el sensor, son iguales que las medias generadas por un mecanismo normal de medición del ritmo cardiaco, encontrando con el análisis de varianza de los datos, que la F calculada es menor que la F de referencia, por lo que se acepta y valida la hipótesis establecida, además de esto, presentamos la relación entre las dos medidas en una gráfica de correlación totalmente aceptable. El estudio se muestra a continuación y determina que el sensor es confiable para realizar el experimento.

Análisis de varianza de un factor

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Mecanismo Normal	50	5431	108.62	447.505714
Sensor	50	5448	108.96	445.671837

Análisis de varianza

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	2.89	1	2.89	0.00647128	0.93604798	3.93811206
Dentro de los grupos	43765.7	98	446.588776			
Total	43768.59	99				



El trabajador realiza su trabajo y se monitorean en tiempo real las pulsaciones del corazón, teniendo un determinado nivel de ruido en el ambiente laboral, a su vez, este ruido se monitorea de la forma que se describió anteriormente.

Para darle un sentido de aleatoriedad en los cambios de nivel de ruido, se diseñó un experimento de simulación, que por medio de la generación de números aleatorios y una distribución de probabilidad uniforme discreta, se obtuvieron los niveles de ruido con los que se debiera trabajar en las estaciones de trabajo durante la etapa experimental. De tal forma que los tres niveles estuvieran en el estudio el mismo número de veces y la misma cantidad de tiempo.

Una vez que se tuvieron los medios requeridos, el experimento se desarrolló de la siguiente manera: El trabajador arma las chapas en un ambiente de trabajo que mantiene un determinado nivel de ruido y se registra su ritmo cardiaco en cada unidad producida. El nivel de ruido se variaba en acuerdo con lo establecido por la simulación, con el fin de realizar un experimento aleatorio y minimizar el efecto de la transición de los niveles. Hecho el cambio en el nivel de ruido se seguía con la toma de las pulsaciones, teniendo una muestra total de 1478 observaciones aproximadamente, para cada nivel de ruido, a cada uno de los trabajadores.

Las características de los trabajadores que realizaron la operación necesaria para la investigación se muestran en la siguiente tabla.

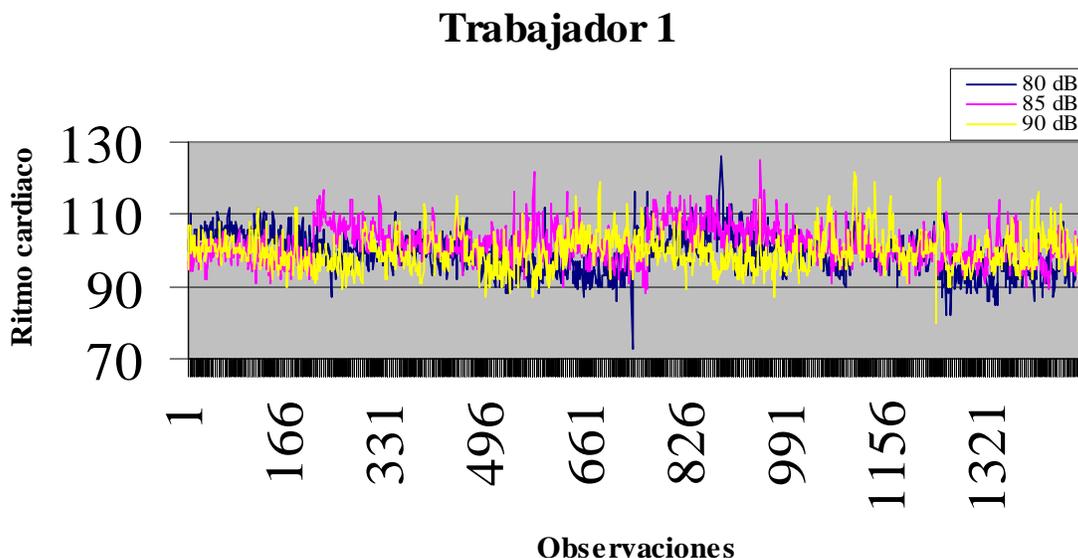
Características	Operador 1	Operador 2
Edad	21	22
Sexo	Masculino	Masculino
Estatura	1.61 m	1.81 m
Índice de Masa Corporal	25.4	31.3
Presión Arterial	110 – 70	120 - 80
Ritmo cardiaco en reposo	63	72

Los operarios son trabajadores promedio de la línea de producción y su factor de tolerancia es 10%, con una calificación del 6% sobre su tiempo de ciclo, estos datos se registraron para minimizar el error experimental en la investigación y definir si a cada operario le afectaba de distinta manera la variación en el nivel de ruido, en su estación de trabajo.

Un punto importante que se considera en el experimento, es el tiempo requerido por el operario para producir una pieza, ya que con esto podemos encontrar si existe una relación entre la variación del ritmo cardiaco y el tiempo de ciclo. Para lograr lo anterior, se registró en el experimento, el tiempo de ciclo de la pieza. Dentro del análisis de los datos graficamos el ritmo cardiaco y el tiempo de ciclo de la pieza, para analizar si existe una correlación entre ellos.

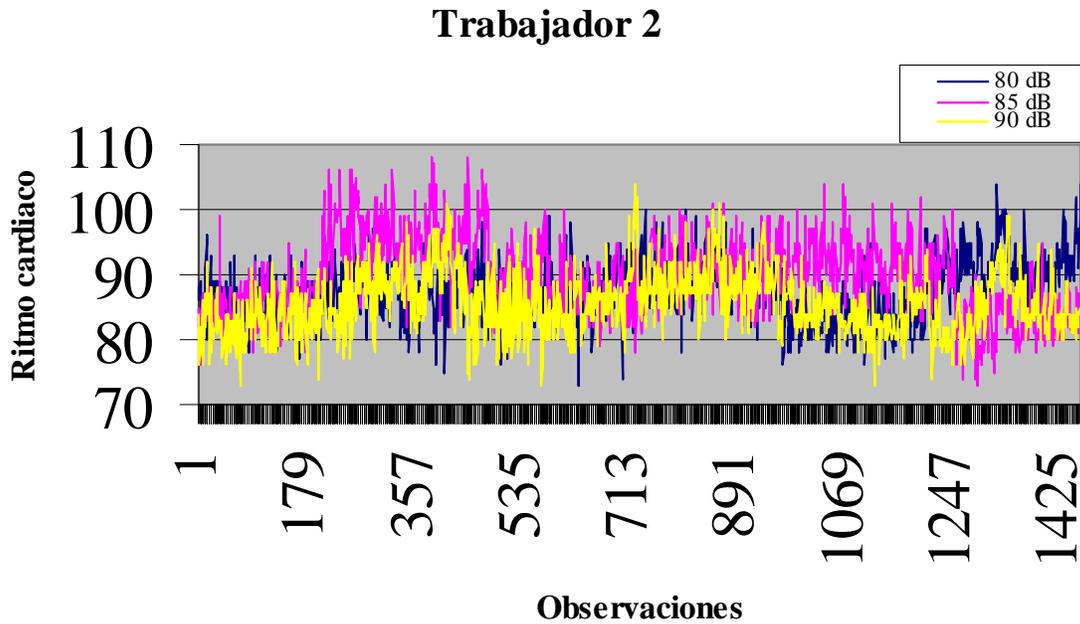
Análisis estadístico de los datos obtenidos del experimento.

Gráfica de ritmos cardiacos del operario 1 con los tres niveles de ruido.



En esta gráfica alcanzamos a observar que en cada nivel de ruido del experimento, el ritmo cardiaco se comporta de manera senoidal y se alcanza a observar una variación en el promedio de los ritmos cardiacos, con respecto a cada nivel de ruido.

Gráfica de ritmos cardiacos del operario 2 con los tres niveles de ruido.



En la gráfica podemos observar que tiene un comportamiento similar a la del operario 1 y que se denota una variación en el promedio de los ritmos cardiacos, con respecto a cada nivel de ruido. Para corroborar si la variación es producto del azar o si en realidad esta variación es generada por la variación en los niveles de ruido, aplicamos un análisis de varianza para los datos.

Análisis de varianza para validar o rechazar la hipótesis nula del operario 1.

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
80 dB	1478	146435	99.0764547	31.0131081
85 dB	1478	150187	101.61502	25.7156036
90 dB	1478	147314	99.6711773	24.2831362

Análisis de varianza

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	5210.70681	2	2605.35341	96.4804584	9.6776E-42	4.60994443
Dentro de los grupos	119654.499	4431	27.0039493			
Total	124865.206	4433				

Para valorar nuestra hipótesis utilizamos la tabla F con un 99 % de confiabilidad con 2 y 1475 grados de libertad obteniendo el valor de: $F_{.01, 2, 1475} = 4.60994443$

Comparando la F calculada con la F establecida se tiene: $F_c = 96.4804584$ y $F_e = 4.60994443$

Por lo que se rechaza H_0 .

Análisis de varianza para validar o rechazar la hipótesis nula del operario 2.

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
80 dB	1459	127660	87.4982865	22.0567529
85 dB	1459	130931	89.740233	34.8741758
90 dB	1459	124955	85.6442769	22.6202879

Análisis de varianza

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	12275.3123	2	6137.65616	231.460552	2.815E-96	4.61000127
Dentro de los grupos	115985.674	4374	26.5170722			
Total	128260.986	4376				

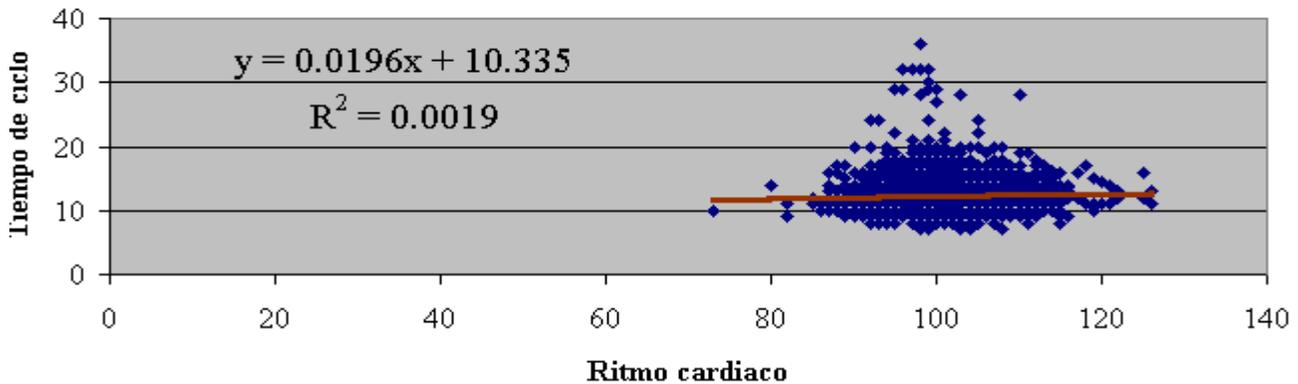
Para valorar nuestra hipótesis utilizamos la tabla F con un 99 % de confiabilidad con 2 y 1475 grados de libertad obteniendo el valor de: $F_{.01, 2, 1475} = 4.61000127$

Comparando la F calculada con la F establecida se tiene: $F_c = 231.460552$ y $F_e = 4.61000127$

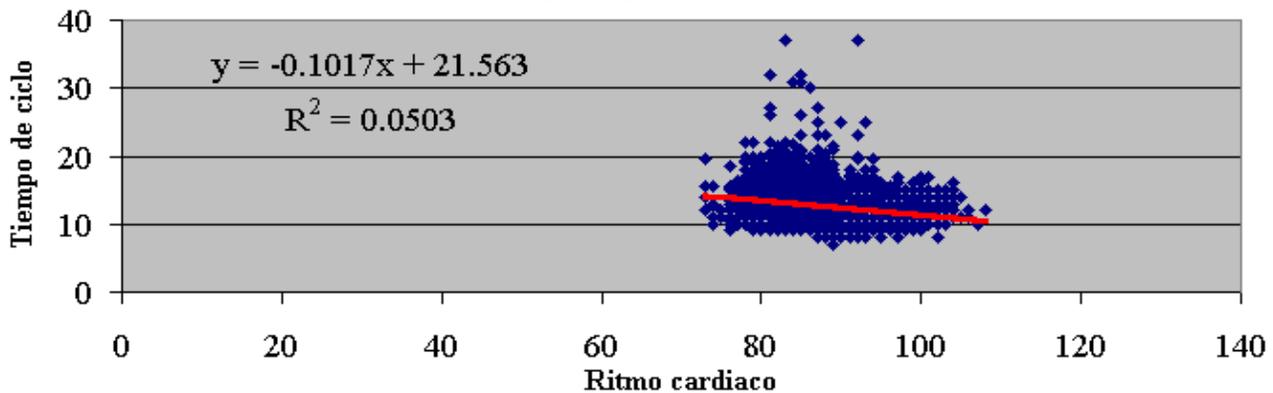
Por lo que se rechaza H_0 .

Además de estos análisis, también comparamos si existía algún tipo de relación entre los diferentes niveles de ruido y los tiempos en que se armaba la pieza (tiempo de ciclo), como se muestra en las siguientes gráficas, donde se analizó la correlación existente entre la variable, para cada uno de los trabajadores.

**Análisis de correlación
para operador 1**



**Análisis de correlación
para operador 2**



En las dos gráficas no se presenta ningún indicio significativo de que existe alguna correlación estadística entre el ritmo cardiaco del operario y el tiempo de ciclo.

CONCLUSIONES:

Al rechazar H_0 , determinamos estadísticamente que en las medias de los ritmos cardiacos de cada trabajador existe una variación considerable y que no se puede atribuir al azar. Por lo tanto se concluye, que la variación en la media de los ritmos cardiacos de cada trabajador, es provocada por los distintos niveles de ruido utilizados en el experimento. Las recomendaciones que se aplican en este experimento, son: Es de suma importancia para la

calidad de vida del trabajador, el no permanecer tiempos prolongados expuestos a diferentes niveles de ruido, o en su defecto, rotar al personal expuesto y utilizar equipo de protección auditiva.

Las gráficas de dispersión nos muestran que no existe una correlación significativa entre los ritmos cardíacos de los dos trabajadores y el tiempo de ciclo de la operación. Por lo que se establece que en este experimento no se encontró evidencia estadística, para definir que entre mayor sea el ritmo cardíaco, mayor será el tiempo de ciclo o lo contrario, cabe señalar que esta es una afirmación sobre las observaciones de la muestra del experimento, y que se recomienda que se diseñe un experimento que contemple una mayor duración entre las tomas de muestra, con el fin analizar si existe o no, la relación antes mencionada y si aumenta la fatiga con diferentes niveles de ruido.

BIBLIOGRAFÍA

McCormick, Ernest James

Human Factors in engineering and design, 5th edition

McGraw-Hill, USA, 1982

Kroemer, K.H.E.

Ergonomics: how to design for ease and efficiency / By Karl Kroemer, Henrike Kroemer, Katrin Kroemer-Ebert. - 2nd ed.

Prentice Hall, USA, 2001

Sanders, Mark S.

Human Factors in Engineering and Design / mark S. Sanders, Ernest J. McCormik. - 7th ed.

McGraw-Hill, Inc., USA, 1993.

Bridger, R.S.

Introduction to ergonomics

Mc.GrawHill, USA, 1995

Box, G.E.P., Hunter, W.G. y Hunter, J.S

Statistics for experimenters: an introduction to design, data analysis, and model building,

John Wiley and sons

Montgomery, Douglas C.

Design and Analysis of Experiments.

3 rd Ed. Wiley

Cyril M. Harris

Manual de Mediciones Acústicas y control de ruido

McGraw-Hill, Agosto de 2001