

Efectos de la Contaminación Industrial en la Productividad

Luís José Velásquez

Docente investigador de la UNEXPO, Puerto Ordaz, Venezuela. Email: ljunexpo@yahoo.es

Mariela Lezama

Docente investigador de la UNEXPO, Puerto Ordaz, Venezuela. Email: mlezama1@hotmail.com

RESUMEN

El objetivo fundamental de esta investigación fue evaluar los efectos de la contaminación industrial en la productividad del trabajador. El estudio se enmarcó en el enfoque metodológico descriptivo y analítico. La metodología utilizada se basó en la aplicación del algoritmo o técnica de Yates para un diseño factorial 2^5 , para la obtención de los efectos de los tratamientos o combinaciones de los niveles de los factores ambientales: temperatura, nivel de ruido, iluminación, polvo respirable y humedad en la variable respuesta productividad del trabajador. Para tal fin se seleccionó el área de reacondicionamiento de varillas y refractarios de una de las empresas reductoras de aluminio del municipio. Se encontraron 17 efectos significativos, entre efectos principales y sus interacciones e igualmente 14 efectos no significativos para las interacciones de factores. La investigación permitirá la adopción de programas de evaluación y control de los factores ambientales, de manera de propiciar un clima adecuado para el trabajador, en función de obtener alta productividad y garantizar el desenvolvimiento de los trabajadores en condiciones óptimas de higiene y seguridad industrial.

Palabras Claves: Contaminación Industrial, Factores Ambientales, Productividad, Técnica de Yates.

ABSTRACT

In this investigation, a study on the evaluation of the effects of the environmental factors: temperature, level of noise, breathable powder, illumination and humidity in the worker's productivity was made. It was used the technique or algorithm of Yates to develop a factorial design 2^5 for the obtaining of the effects. The investigation was applied in the area of reconditionement of bars and refractory of one of the reduction companies of aluminum of the municipality. The results indicated 17 significant effects and 14 non significant. The investigation will allow the adoption of programs of evaluation and control of the environmental factors, in way of propitiating an appropriate climate for the worker, in function of to obtain high productivity and to guarantee the development of the workers in good conditions of hygiene and industrial security.

Key Words: Industrial Contamination, Environmental Factors, Productivity, Technique of Yates.

1. INTRODUCCIÓN

La productividad de una empresa está íntimamente relacionada con la exactitud de los estándares vinculados con la producción. Un factor fundamental, cuyo estándar es de vital importancia, es la fuerza laboral requerida para la ejecución de las actividades correspondientes a las funciones de la empresa.

Las condiciones ambientales de la empresa representan para el trabajador un elemento clave en su desempeño. Condiciones óptimas en el ambiente de trabajo proporcionan alto grado de satisfacción y motivación, reducen a un mínimo los riesgos de accidentes, aumentan la productividad, permiten la maximización de las ganancias asociadas al mantenimiento de la confiabilidad operacional, la armonía con el entorno y la alta satisfacción de los clientes. Por el contrario, condiciones adversas en el ambiente de trabajo ocasionan desmotivación, aumento de probabilidades de contraer enfermedades asociadas a los procesos de producción, decremento de productividad, competitividad y pérdida de mercados.

Esta investigación tiene especial importancia, ya que el medio ambiente físico del trabajador tiene un impacto significativo no sólo en el desempeño de los operarios de producción y los supervisores, sino también sobre la confiabilidad de los procesos de las empresas.

San Cristóbal, Venezuela

June 2-5, 2009

7th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology

WE1- 1

El estudio de los efectos de ciertos factores ambientales permitirá desarrollar gestiones en el campo del ambiente de trabajo y la productividad en las áreas de producción, cuyos resultados podrían redundar tanto en la obtención de mayor eficacia y eficiencia, como en el posicionamiento de un mercado determinado y afianzamiento de la fidelidad y confianza de sus clientes; además de proporcionarles a sus trabajadores bienestar e integridad en todos los sentidos, así como mayor seguridad, confianza, comodidad y concentración en la realización de sus actividades, gracias a la disminución o eliminación de los ambientes de trabajos desfavorables y de posibilidades de ocurrencia de enfermedades ocupacionales o de lesiones personales.

En concordancia con lo expuesto anteriormente, surgió la necesidad de esta investigación, con el objetivo fundamental de evaluar los efectos de la contaminación industrial en la productividad del trabajador.

La investigación se desarrolló en el área de reacondicionamiento de varillas y refractarios de una de las empresas reductoras de aluminio de la zona y la información base del estudio fue tomada de cada una de las estaciones de trabajo que la conforman, para un turno de trabajo de 7:00 a.m. a 3:00 p.m., ejecutado por un trabajador calificado. El área Reacondicionamiento de Varillas y Refractarios está constituida por las estaciones de trabajo siguientes: 1. Oxicorte, 2. Punteo, 3. Relleno de puntas, 4. Fresado de barras o varillas, 5. Esmerilado de barras o varillas, 6. Enderezado de varillas, 7. Separación del bimetálico (Sierra Vertical), 8. Carbonado de puntas, 9. Oxicorte (Friction Welder) y 10. Relleno de puntas (Friction Welder). Para desarrollar la investigación se seleccionó como unidad de análisis la estación de trabajo n° 5 “Esmerilado de barras o varillas” [1].

La determinación de los efectos de los factores ambientales: ambiente térmico (temperatura), nivel de ruido, iluminación, polvo respirable y humedad, sobre la variable respuesta “productividad del trabajador” se logró mediante la aplicación del algoritmo o técnica de Yates para un diseño experimental factorial 2^5 [2, 3, 4]. Los datos o mediciones fueron tomados de acuerdo con un programa previamente establecido por técnicos de la empresa y el coordinador de la investigación.

La alta gerencia podrá tomar oportunas decisiones de carácter financiero, técnico y estratégico que aseguren en todo momento las mejores condiciones ambientales para el trabajo y poder disminuir el número total de días perdidos, pagos por incapacidad parcial o absoluta a consecuencias de enfermedades ocupacionales y los costos que tales hechos podrían generar, y con ello lograr incrementos en la productividad, máxima seguridad y mejoras en la competitividad de la empresa. Por último, se sientan las bases para llevar a cabo la implantación y puesta en práctica de programas efectivos de higiene y seguridad industrial.

2. OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de la investigación fue evaluar los efectos de la contaminación del ambiente laboral industrial en la productividad del trabajador.

3. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

- 3.1. Se ordenaron los datos correspondientes a los niveles altos o superiores y bajos o inferiores para los factores ambientales a estudiar: temperatura (S=33°C, I=29,5 °C), nivel de ruido (S=101 dB(A), I= 83,2 dB(A)), iluminación (S= 112 lux, I=65,0 lux), Polvo respirable (S= 4.2 mg/m³, I= 3.2 mg/m³), humedad (S=85%, I=60% a 70%).
- 3.2. Elaboración de una matriz compuesta por $2^5 = 32$ tratamientos, resultado de la combinación de los niveles superiores e inferiores de los factores ambientales en estudio [2, 3, 4].
- 3.3. Cálculo del Tiempo Normal para cada una de las actividades de la estación de trabajo “Esmerilado de barras o varillas” previamente seleccionada [5].
- 3.4. Determinación de las Tolerancias por fatiga, utilizando el método sistemático, en cada uno de los tratamientos, para cada actividad de la estación de trabajo “Esmerilado de barras o varillas” [5, 6].

- 3.5. Cálculo del Tiempo Estándar del ciclo de la estación de trabajo “Esmerilado de barras o varillas” para cada uno de los tratamientos [1,5].
- 3.6. Determinación de la productividad de la mano de obra del ciclo de la estación de trabajo “Esmerilado de barras o varillas” para cada uno de los tratamientos [1].
- 3.7. Determinación de la productividad diaria de la mano de obra, productividad porcentual P(%) y variación de la productividad del ciclo de la estación de trabajo “Esmerilado de barras o varillas” para cada uno de los tratamientos, utilizando las expresiones:

$$P = 480/T.E. \quad , \quad P(\%) = P/P_b * 100, \quad \Delta P = (P_i - P_b) * 100 \quad [1]. \text{ Donde:}$$

P = Productividad, **T.E.** = Tiempo estándar, **ΔP** = Variación de la productividad para cada combinación del tratamiento, **P_i** = Productividad del tratamiento i, **P_b** = Productividad mínima tomada como productividad del tratamiento base, 480 = Jornada de trabajo diaria en minutos.

- 3.8. Desarrollo del algoritmo de Yates para determinar los contrastes para cada tratamiento [2, 3, 4].
- 3.9. Determinación de los efectos para cada tratamiento o condición de trabajo, mediante la expresión:

$$\text{Efecto} = \frac{[\text{Contraste}]}{2^{K-1} * n} = \frac{[\text{Contraste}]}{16} \quad [2, 3, 4]$$

Donde **K** = número de factores (K=5), $2^{K-1} = 2^{5-1} = 16$, **n** = número de réplicas, **n = 1**

- 3.10. Determinación de los efectos de los tratamientos utilizando un estudio de Análisis de Varianza

La Suma de Cuadrados (**SS**) se determina mediante la expresión:

$$SS = \frac{[\text{CONTRASTE}]^2}{2^K * n} = \frac{[\text{CONTRASTE}]^2}{32} \quad [2, 3, 4]$$

Donde: **K** = número de factores (K=5), $2^K = 2^5 = 32$, **n** = Número de réplicas, **n = 1**

- 3.11. Comparación de los efectos calculados por el algoritmo de Yates con los efectos determinados por el estudio de Análisis de Varianza [2, 3, 4].
- 3.12. Evaluación de la significación de los efectos principales y sus interacciones.

4. RESULTADOS

- 4.1. La productividad diaria de la mano de obra, productividad porcentual y variación de la productividad del ciclo de la estación de trabajo “Esmerilado de barras o varillas” para cada uno de los tratamientos se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Productividad de la Mano de Obra del Ciclo “Esmerilado de Barras o Varillas”

	<i>COMBINACIÓN DE TRATAMIENTOS</i>	<i>PRODUCTIVIDAD (UNID/DÍA)</i>	<i>PRODUCTIVIDAD (%)</i>	<i>VARIACIÓN DE PRODUCTIVIDAD (%)</i>
1	1	37,04	112,69	12,69
2	a	36,53	111,13	11,13
3	b	36,53	111,13	11,13
4	ab	36,34	110,56	10,56

4.2. La Tabla 2 muestra el desarrollo de la técnica de Yates (columna 1, 2, 3 y 4) y el resultado final son los contrastes para cada tratamiento (columna 5), que permitirá luego la determinación de los efectos y la suma de cuadrados (SS) de la columna 6.

Tabla 2: Técnica de Yates para la Determinación de Contrastes

COMBINACIÓN DE TRATAMIENTOS		(1)	(2)	(3)	(4)	CONTRASTES	SUMA DE CUADRADOS
1	1	+73,57	+146,44	+294,14	+582,99	+1157,21	-
2	a	+72,87	+147,70	+288,85	+574,22	-5,53	+0,96
3	b	+74,25	+144,21	+292,51	-2,87	-5,59	+0,98
4	ab	+73,45	+144,64	+281,71	-2,66	+6,21	+1,24

4.3. Los efectos resultantes y las sumas de cuadrados (SS) se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3: Efectos y Sumas de Cuadrados para los Tratamientos o Combinaciones de Niveles de Factores

<i>COMBINACIÓN DE TRATAMIENTOS</i>		<i>EFFECTOS</i>	<i>SUMA DE CUADRADOS</i>
1	1	-	-
2	2	0.2456	10.06

'009

4.4.La Tabla 4 muestra un estudio de Análisis de Varianza de los efectos, que permitirá comparar sus resultados sobre la significancia de los efectos principales y las interacciones, con los emanados de la aplicación de la técnica de Yates.

Tabla 4: Análisis de Varianza de los Efectos

<i>FUENTE DE VARIACIÓN</i>	<i>SUMA DE CUADRADOS (SS)</i>	<i>GRADOS DE LIBERTAD</i>	<i>CUADRADOS MEDIOS</i>	<i>f CALCULADA</i>
Efecto Principal				
A	0,96	1	0,96	436,36
B	0,98	1	0,98	445,45
C	2,41	1	2,41	1.095,45
D	8,09	1	8,09	3.677,27
E	2,40	1	2,40	1.090,91
Interacción de 2 factores				
AB	1,24	1	1,24	563,64
AC	0,001	1	0,001	0,4545
AD	0,0053	1	0,0053	2,410
AE	0,0014	1	0,0014	0,640
BC	0,00053	1	0,00053	0,241
BD	0,0069	1	0,0069	3,136
BE	0,0007	1	0,0007	0,319
CD	0,96	1	0,96	436,36
CE	0,91	1	0,91	413,63
DE	0,95	1	0,95	431,82
Interacción de 3 factores				
ABC	1,062	1	1,062	482,73
ABD	0,77	1	0,77	350,00
ABE	1,069	1	1,069	486,00
ACD	0,00053	1	0,00053	0,24
ACE	0,00025	1	0,00025	0,114
ADE	0,0007	1	0,0007	0,318
BCD	0,0011	1	0,0011	0,50
BCE	0,000028	1	0,000028	0,0127
BDE	0,0014	1	0,0014	0,636
CDE	1,62	1	1,62	736,36
Interacción de 4 factores				
ABCD	1,069	1	1,069	485,91
ABCE	1,16	1	1,16	527,27
ABDE	1,077	1	1,077	489,54
ACDE	0,0058	1	0,0058	2,636
BCDE	0,0075	1	0,0075	3,41
Interacción de 5 factores				
ABCDE	1,67	1	1,67	759,09
ERROR	0,07	32	0,0022	
TOTAL	28,50	63		

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Existe variabilidad en las productividades resultantes para el ciclo de trabajo estudiado. Si observamos los 32 tratamientos de la Tabla 1, los números 26 y 27 muestran valores de productividades de 32,87 unid./día, que fueron tomados como punto base por ser la mínima productividad, y de 37,33 unid./día en el tratamiento 5, de máxima productividad, con un incremento de 13,57 %.

Los efectos principales se produjeron por la actuación individual de cada factor ambiental sobre el trabajador, mientras que los efectos de interacción de dos, tres, cuatro y cinco factores respectivamente, se produjeron por la actuación conjunta de ellos, y son significativos porque su influencia en el trabajador varían significativamente la productividad del mismo; así en la segunda columna de la Tabla 3 se mostró que los efectos con valores muy cercanos a cero son no significativos, mientras que en la medida que se alejen de cero positiva o negativamente son efectos significativos.

Los efectos resultantes fueron: 17 efectos significativos, entre principales y sus interacciones y 14 efectos no significativos "Tabla 3". Los efectos significativos fueron: Principales, en los tratamientos (2, 3, 5, 9, 17). Interacciones de dos factores: (4, 13, 21, 25). Interacciones de tres factores: (8, 12, 20, 29). Interacciones de cuatro factores: (16, 24, 28) e Interacciones de cinco factores: (32).

Los efectos no significativos resultantes fueron los siguientes: Interacciones de dos factores en los tratamientos: (6, 7, 10, 11, 18, 19), Interacciones de tres factores: (14, 15, 22, 23, 26, 27) e Interacciones de cuatro factores: (30,31)

La Tabla 4 presenta un estudio de Análisis de Varianza para los efectos, en ella se muestra que los efectos principales y las interacciones son significativas cuando el estadístico de Fisher calculado " f_c " se compara con $f_{\alpha}(V_1, V_2)$ de la tabla, o sea con $f_{0,05}(1,32) = 4,17$ y resulta que: $f_{Calculada} > f_{0,05}(1,32) = 4,17$.

6. CONCLUSIONES

Dada la variabilidad de las productividades del trabajador en los diferentes tratamientos, se comprueba que los factores ambientales estudiados (temperatura, nivel de ruido, iluminación, polvo respirable y humedad) tienen efectos en las mismas.

Con el desarrollo de la Técnica de Yates se determinaron: Los contrastes para el cálculo de los efectos para cada tratamiento y Las sumas de cuadrados para la realización del Análisis de Varianza de los efectos, tal como se mostró en la Tabla 2.

Las productividades más altas se presentaron en los tratamientos 1, 5 y 21. En el tratamiento 1 con valor de 37,04 unid./día, con niveles bajos de los factores (temperatura, nivel de ruido, iluminación, polvo respirable y humedad), En el tratamiento 5 con valor de 37,33 unid./día, con sólo el nivel alto del factor iluminación y los demás factores en sus niveles bajos, y el tratamiento 21 con valor de 37,04 unid./día, con niveles altos de los factores iluminación y humedad y los demás factores en sus niveles bajos.

Las productividades más bajas se presentaron en los tratamientos 26 y 27 con valores de 32,87 unid./día. En el primer caso con niveles altos de los factores (temperatura, polvo respirable y humedad) y los niveles bajos de los factores nivel de ruido e iluminación. En el segundo caso con niveles altos de los factores (nivel de ruido, polvo respirable y humedad) y los niveles bajos de temperatura e iluminación.

En los resultados se aprecia que los niveles altos del factor temperatura son los causantes de mayores efectos en la productividad del trabajador. En cuanto a los demás factores se puede observar que son influyentes dependiendo de la diferencia entre los valores de los factores predominantes en el ambiente de trabajo objeto de estudio y los valores permisibles recomendados por la Normas Venezolanas COVENIN.

En general los efectos que puedan tener los factores ambientales en la productividad dependerá de la magnitud de sus niveles bajos y altos; es decir mientras los niveles altos estén más alejados de los valores permisibles recomendados por las Normas Venezolanas COVENIN, mayores serán sus efectos, tal es el caso de (la temperatura, nivel de ruido, el polvo respirable y la humedad), mientras que la iluminación tendrá un efecto mayor si su valor disminuye por debajo del valor recomendado por la norma.

EL resultado del estudio de Análisis de Varianza de los efectos de los factores ambientales en la productividad, para el ciclo de trabajo estudiado “Tabla 4”, reafirma los resultados analizados en los puntos anteriores. Es decir: cuando $f_c > 4,17$ los efectos son significativos de lo contrario los efectos son no significativos.

7. RECOMENDACIONES

Se recomienda gestionar el mantenimiento industrial en todas sus fases, par garantizar los niveles de los factores ambientales dentro de los límites permisibles establecidos por las Normas Venezolanas COVENIN: Nivel de ruido 85 dB(A), COVENIN 1565:1995. Ambiente térmico (calor) 31,1°C, COVENIN 2254:1998. Polvo respirable 3mg/m³ (Concentración ambiental permisible), COVENIN 2253:2001. Iluminación 300 lux, COVENIN 2249:1993 y mantener valores moderados para la humedad relativa, mediante el monitoreo y control de la misma.

8. REFERENCIAS

- **Romero, A. (2007).** “Estandarización de las operaciones en el Departamento de Varillas y Refractarios de la Gerencia de Carbón en C.V.G. Venalum”. Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Industrial. Unexpo, Puerto Ordaz, Venezuela. pp. 50-70.
- **Walpole, R; Myers, R. (1992);** “Probabilidad y Estadística para ingenieros”. Ed. Mc Graw Hill. Cuarta Edición. México. pp. 599-609.
- **Walpole, R; Myers, R ; Myers, L. (1999);** “Probabilidad y Estadística para ingenieros”. Ed. Prentice Hall-Hispanoamericana, S.A. Sexta Edición. México. pp. 559-571.
- **Montgomery, D; Runger, G. (1996).** “Probabilidad y Estadística aplicada a la ingeniería”. Ed. Mc Graw Hill, Sexta Edición. México. pp. 720-750.
- **Niebel, B. (1995).** “Ingeniería Industrial: Métodos, Tiempos y Movimientos”. Ed. Alfaomega. Tercera Edición. Pensilvania. pp. 368-404.
- **OIT: Oficina Internacional del Trabajo (1990).** “Introducción al Estudio del Trabajo”. Apéndice 3: Ejemplos de tablas utilizadas para calcular suplementos por descanso. Tercera Edición (Revisada). Editorial Limusa. Noriega Editores. México. pp. 435 a 444.

Autorización y Renuncia

Los autores autorizan a LACCEI para publicar el escrito en los procedimientos de la conferencia. LACCEI o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que esta expresado en el escrito

Authorization and Disclaimer

Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.