

Study of human reliability in aircraft maintenance

Luisa Espinosa^{1*}, Argenis Rebolledo², Ignacio Irausquín², Alfonso Quiroga¹

¹Departamento de Mecánica, ²Departamento de Tecnología Industrial, Universidad Simón Bolívar. Apartado 89000. Sartenejas, Baruta, Edo. Miranda, Venezuela.

*lespinosa@usb.ve, argenisrd@usb.ve, irausqui@usb.ve, aquiroga@usb.ve.

Abstract

This research work deals with the development of a survey model designed to collect information about functional behavior of the operative personnel working for an aircraft maintenance company devoted to service general aviation (small aircraft of less than 12,500 pounds). The reliability model was based on different factors affecting the workers performance during the productive activity of the company. Influencing factors considered were: training, development, ergonomics, ownership, communication and human needs, as proposed by Abraham Maslow. The model used facilitates a better understanding of the causes that stimulate workers to do a better work to the benefit of their organization. Once the model was carefully validated and the field data was acquired at the company facilities, the values obtained with the Maslow model were analyzed by means of graphical representation. Results were used as a starting point to generate human reliability strategies in order to improve processes and maintenance operations in the aviation maintenance company under study.

Keywords: maintenance, general aviation, human reliability, hierarchy of needs.

Estudio de la confiabilidad humana en el mantenimiento aeronáutico

Resumen

El presente trabajo de investigación se basa en una encuesta diseñada para recopilar la información del comportamiento funcional del personal operativo de una empresa de mantenimiento aeronáutico especializada en aviación general (aeronaves pequeñas de menos de 12500 libras). La configuración del modelo de confiabilidad se basó en factores de confiabilidad humana, seleccionados considerando su influencia en los trabajadores durante las labores productivas propias de una empresa. La investigación se fundamentó en los siguientes factores focales: capacitación, desarrollo, ergonomía, pertenencia, comunicación y motivación. Los resultados de la evaluación de los factores enumerados, se interrelacionaron con el modelo jerárquico de necesidades desarrollado por Abraham Maslow. El modelo utilizado permite profundizar en las causas que mueven al empleado a trabajar en una empresa aportando su trabajo y sapiencia para el éxito de la misma. Luego de validar cuidadosamente el modelo, mediante la obtención por separado de la validez de contenido, la validez de criterio y la validez de constructo, y de adquirir la información de campo en las facilidades de la empresa, se procedió al análisis de los valores obtenidos con el modelo de Maslow a través de representaciones gráficas de los mismos. Los resultados obtenidos se utilizaron como punto de partida para generar las estrategias de confiabilidad humana, mejorar los procesos y las operaciones de la empresa de mantenimiento aeronáutico bajo estudio.

Palabras clave: mantenimiento, aviación general, confiabilidad humana, jerarquía de necesidades.

Introducción

Actualmente el mantenimiento ha experimentado un proceso evolutivo vertiginoso a nivel tecnológico, organizacional, económico, social y humano como consecuencia de la creciente competitividad empresarial. La industria aeronáutica no escapa de esta realidad, teniendo además que mejorar cada día el nivel de seguridad aérea, responsabilidad directa de cada empresa que presta servicio de mantenimiento a las aeronaves para las cuales está oficialmente habilitada.

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés) se originó al inicio de la década de los sesenta en la industria aeronáutica con la creación del *Maintenance Steering Group* (MSC) como consecuencia de la necesidad de reducir las fallas en aeronaves civiles. Sin embargo no fue hasta 1978, cuando el verdadero nacimiento del MCC ocurrió como producto de la publicación de un reporte comisionado por el Departamento de Defensa de los EEUU a la empresa *United Airlines* y preparado por *Stanley Nolan* y *Howard Heap*. El reporte contenía un tratamiento amplio, muy detallado, del desarrollo y aplicación del MCC en el mantenimiento de la aviación civil, para extenderse en los años siguientes hacia la industria de producción en general [1] sin demorar su utilización en el campo de la explotación de producción industrial.

En contraposición, los avances en confiabilidad humana partieron de los conceptos aplicados en las empresas de producción para extrapolarse luego a la industria aeronáutica. Es obvio que el impacto de las fallas es mucho mayor en el campo de la aviación que en la industria manufacturera, por lo que en la actualidad está ganando amplia notoriedad la importancia del factor humano en los sistemas de gestión de la seguridad aeronáutica (HF en SMS, por sus siglas en inglés). Particularmente en Venezuela, la Autoridad Aeronáutica Civil en su circular de asesoramiento código CAA-09-21 provee información sobre la aplicación de métodos de confiabilidad como una parte integral de los programas de mantenimiento de aeronaves [2], sin embargo la circular se basa enteramente en confiabilidad de equipos y en el análisis estadístico aplicado en sistemas y componentes discretos, ya que la ocu-

rrencia de fallas puede ser en tales casos, fácilmente reducida a estadísticas con resultados significativos de aplicación directa. Si se parte del hecho que la confiabilidad de un sistema tiene su valor tope en la confiabilidad de su parte más débil [3], en el sistema ambiente-ser humano-equipo, el ser humano aparenta ser el componente más débil, el menos conocido y menos controlado; condición que no se toma en cuenta para el análisis de la confiabilidad en el documento legal venezolano.

En el campo aeronáutico el estrés emocional del personal técnico es creciente, por la necesidad de anticipación de las posibles consecuencias ocasionadas por error humano y que pudieran resultar fatales. La prevención de riesgos comienza con la formación del personal, el trabajo en equipo, el correcto desempeño y el manejo de la información, las cuales igualmente forman parte integral de la confiabilidad de todo sistema [4]. Esta es la razón de investigación, arroje resultados similares a los modelos utilizados en el análisis de los sistemas de equipos, reducir al mínimo las fallas del factor humano con una metodología que permita mejorar los procesos y las operaciones de la empresa en observación, basada en la evaluación de los elementos de la confiabilidad humana y su relación con la jerarquía de necesidades de Maslow.

En algunas organizaciones se administra el recurso humano sin considerar sus necesidades básicas, lo que trae como consecuencia en muchos casos, la disminución de la confiabilidad humana y el consecuente incremento de errores y fallas asociados a las personas. El concepto de jerarquía de necesidades de Maslow, planteado en su teoría de la personalidad, muestra las necesidades que afectan a todo individuo y que se encuentran organizadas de forma estructural como una pirámide, en donde la parte más baja de la estructura ubica aquellas necesidades dominantes que tienen máxima prioridad y la cúspide de la pirámide, las etéreas no menos importantes, sino menos prioritarias [5]. El ser humano al ser capaz de subsanar las necesidades de determinado nivel Maslow, se traza nuevas metas para alcanzar los niveles superiores sucesivos, tratando de alcanzar la mayor satisfacción personal posible.

Parte experimental

El concepto básico de confiabilidad se relaciona con la probabilidad que existe en un ambiente específico, que una persona o equipo permanezca sin fallar (cumplir las funciones para las que fue entrenada), durante un número de horas determinado [6]. El nivel de confiabilidad humana depende en gran medida de los factores que le afectan, capaces de crear condiciones de fallas latentes. La Figura 1 muestra los factores en los que se basa la confiabilidad humana, todos en amplia interrelación y girando en torno a la satisfacción de necesidades individuales.

Para lograr el objetivo principal de la investigación, de hacer una evaluación de los factores de la confiabilidad humana en el mantenimiento de una empresa de aviación general y generar estrategias para su mejoramiento, es preciso como metodología, medir el nivel de satisfacción en que los trabajadores de la empresa se encuentran. Al efecto se propone un modelo basado en la teoría de jerarquización de necesidades de Maslow [5], que combina tres grandes aspectos: satisfacción de las necesidades fisiológicas y de seguridad, satisfacción de las necesidades sociales y de autoestima, y la satisfacción de las necesidades de autorrealización, apoyándose en una investigación de campo descriptiva. Para el caso de estudio dentro del mantenimiento aeronáutico, cada uno de estos factores considerados implica lo siguiente:

- Satisfacción de las necesidades fisiológicas y de seguridad: el factor de la confiabilidad humana referente a la ergonomía, reconoce los requerimientos de satisfacción de las necesidades fisiológicas básicas como dominantes y determinantes, complementados por descanso, comodidad física, horario de trabajo razonable (de acuerdo a la tarea desempeñada), condiciones seguras de trabajo, remuneración y beneficios acordes a la especialización de la tarea. Así mismo, la estabilidad laboral juega un papel primordial en este ámbito factorial.
- Satisfacción de las necesidades sociales y de autoestima: los factores de comunicación y pertenencia se reflejan básicamente en las personas como componente cultural, con influencia de la amistad de los colegas,



Figura 1. Elementos de la confiabilidad humana [4].

interacción con los clientes y relación amigable con los gerentes; en lo relativo al factor de la motivación y autoestima, se estudia la responsabilidad de cada trabajador por los resultados obtenidos en su labor, orgullo, reconocimiento y ascensos.

- Satisfacción de las necesidades de autorrealización: considera todos los factores asociados con el trabajo creativo y desafiante producto de la iniciativa de cada trabajador, la diversidad y la autonomía para realizar las labores, así como el nivel de participación en las decisiones relacionadas directamente con su trabajo. Incluye adicionalmente los factores de la confiabilidad humana referentes al crecimiento y la capacitación, así como la motivación.

Muchos de los factores de la confiabilidad humana involucran los sentimientos asociados al crecimiento individual, el reconocimiento profesional y las necesidades de autorrealización, adicionalmente dependen de las tareas que las personas realizan en su trabajo. Sin embargo, los cargos se definen tradicionalmente buscando atender los principios de eficiencia, eficacia y economía enfocados en los sistemas y equipos, sin tener en cuenta el desafío y la oportunidad para la creatividad del individuo que los opera o mantiene, lo que conduce a que se pierda el estímulo psicológico para quienes se desempeñan en tales labores, creando un efecto desmotivador que provoca apatía, desinterés y falta de direc-

ción, actitudes que influyen directamente sobre los errores humanos que ocurren durante la jornada de trabajo.

Puede decirse que si no se brinda entrenamiento y orientación adecuados a todos los miembros de una organización, es difícil que se pueda dirigir su iniciativa a la identificación y solución de los problemas asociados a su quehacer. Este suele ser el caso de la industria aeronáutica en donde se pueden generar repercusiones fatales, por esto es importante la participación del personal de todos los niveles de la organización para generar ideas. En muchos casos es posible que a los supervisores se les dificulte solicitar la cooperación de sus subordinados, en especial cuando las nuevas proposiciones generadas en niveles superiores cambiarían la manera como deban desempeñar sus trabajos, por esto se considera la encuesta como herramienta principal de recolección de información para la presente investigación.

En la Figura 2, se muestran los factores considerados en la metodología para estructurar

el conjunto de preguntas de la herramienta de evaluación utilizada. Estos factores fueron tomados en cuenta luego de la revisión documental, por adaptarse mejor al tipo de organización [4]. Las preguntas definidas en la encuesta están diseñadas para una muestra probabilística representada por el 41% del personal de taller de una empresa de mantenimiento aeronáutico general, escogida al azar. La población total fue de 88 personas, por lo que el tamaño de muestra calculado permite cumplir con una muy poca probabilidad de error en las predicciones y resultados presentados a raíz de las encuestas. Para los efectos de la presente investigación, la población fue dividida en sub-poblaciones o estratos, con el fin de aumentar la precisión de la muestra. Los estratos delimitados fueron: Gerentes, Jefes de grupo, Técnicos y Ayudantes. Cabe destacar que todos los encuestados son de sexo masculino y cada estrato señala a su vez, el nivel de educación. La validez total del instrumento se logró al observar por separado la validez de contenido, la validez de criterio y la validez de constructo. La encuesta constó de dos partes identificadas como: (a) y (b).



Figura 2. Aspectos considerados para la evaluación de la confiabilidad humana.

La primera parte se refiere a la satisfacción de las necesidades según Maslow, que está estructurada en diecinueve (19) ítems. La segunda parte se refiere específicamente a la capacitación y está estructurada en diez (10) ítems. Ambas partes de la encuesta se encuentran formuladas en escala tipo Likert, con los criterios de respuesta: siempre, con frecuencia, a veces, rara vez y nunca.

Los resultados del coeficiente de confiabilidad o nivel de confianza del instrumento utilizado en la evaluación (Tabla 1), resultaron para la parte "a" de la encuesta de 82% y para la parte "b" de la misma de 94%, el porcentaje se midió según el método de las mitades partidas o *Split halves* [7].

Resultados y discusión

A continuación se presenta la información obtenida gracias a la estadística inferencial.

Capacitación y desarrollo

Se observa en la Figura 3 que los trabajadores tienen una tendencia positiva hacia la capaci-

Tabla 1
Confiabilidad del Instrumento

Instrumento	Coficiente de Confiabilidad	Porcentaje de Confiabilidad
Parte a	0,82447	82%
Parte b	0,94384	94%

tación, se sienten responsables de su nivel de entrenamiento y están dispuestos a financiar sus estudios de vez en cuando, si se les solicitare.

Por otro lado, la Figura 4 señala que no es común la capacitación continua en la empresa a pesar de la importancia que tiene la misma para los encuestados, en cuanto aumenta sus habilidades y desarrolla las destrezas. Así mismo, demuestra la relevancia que posee la capacitación al momento de ingresar a la empresa para las personas de la compañía, al igual que los cursos a distancia, ya que están plenamente conscientes que tales actividades aumentan su capacidad para desarrollar las tareas complejas que puedan presentarse durante su labor.

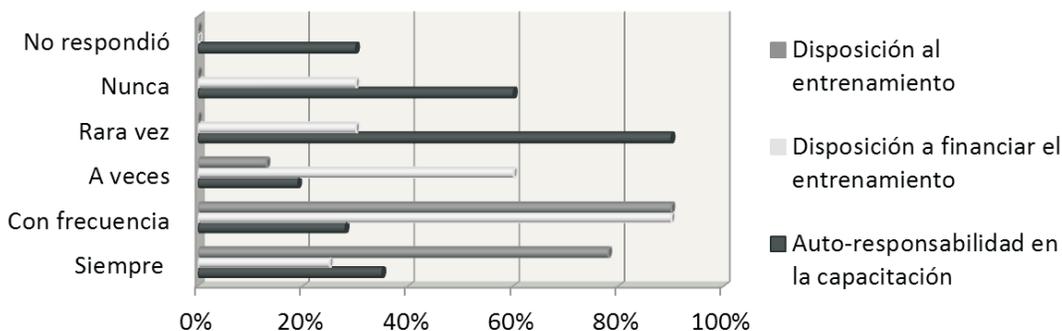


Figura 3. Resultados de la disposición al entrenamiento que poseen los trabajadores.

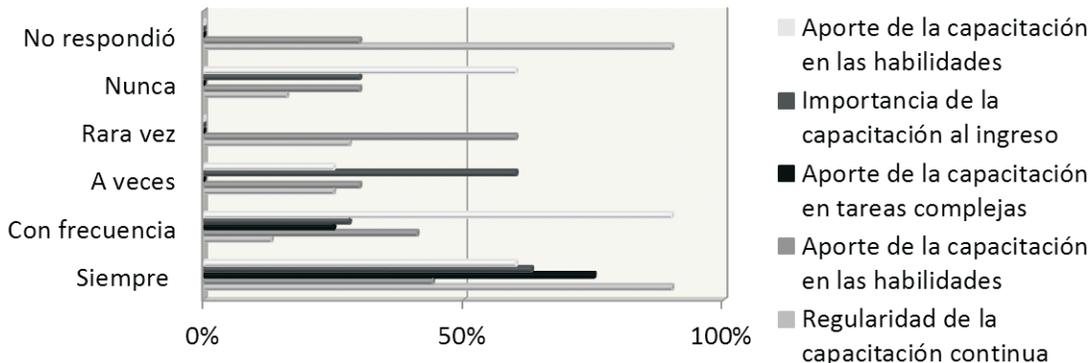


Figura 4. Importancia de la capacitación.

Los trabajadores de la empresa consideran que los cursos de mejoramiento personal y autoestima aportan valor al programa de entrenamiento tal como lo demuestra la Figura 5.

Así mismo, en opinión de los encuestados, la empresa no siempre ofrece los cursos adecuados a la labor que se realiza cada uno de ellos, lo que se observa en la Figura 6.

Ergonomía y seguridad

La Figura 7 muestra el nivel de satisfacción de necesidades fisiológicas de los trabajadores

encuestados. Se ve que no siempre existe un nivel adecuado de comodidad y satisfacción durante las tareas, pese a que la empresa cuenta con horario de trabajo y períodos de descanso razonables.

La Figura 8 indica que la seguridad física de los trabajadores es preservada, aunque no todo el tiempo. En cuanto a la seguridad que proporciona el hecho de trabajar en una empresa de mantenimiento aeronáutico como la considerada en el estudio, el personal dice sentirse con mucha estabilidad y conforme con la remuneración y beneficios otorgados.

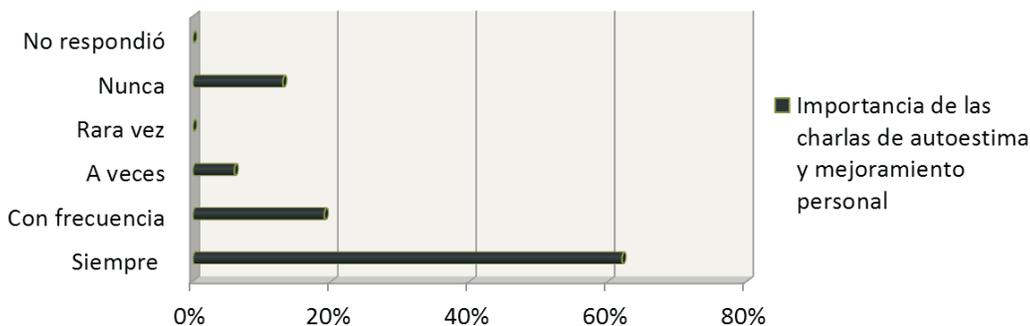


Figura 5. Relación entre el adiestramiento y la autoestima.

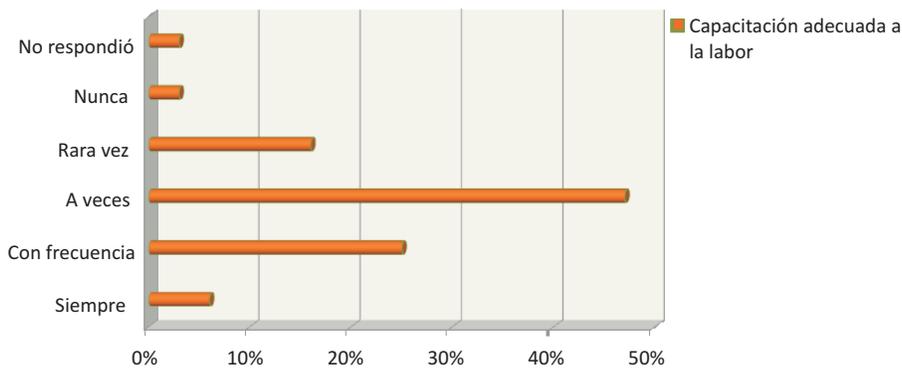


Figura 6. Adiestramiento adecuado.

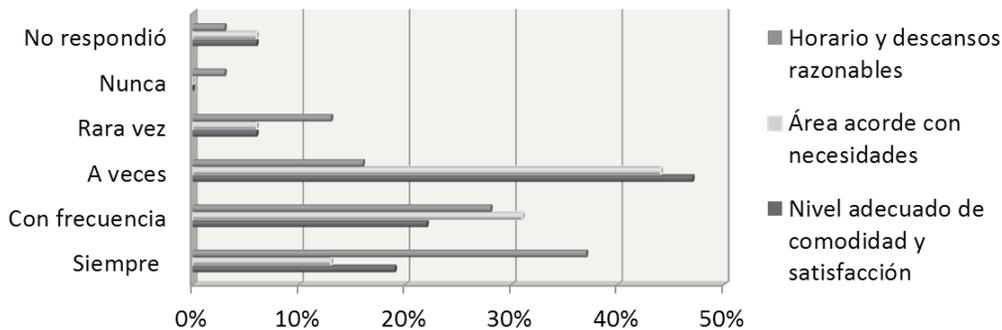


Figura 7. Satisfacción de las necesidades fisiológicas.

Comunicación y pertenencia

La satisfacción de las necesidades sociales de los encuestados en la empresa se presenta en la Figura 9. Las relaciones con los compañeros, la preferencia por el trabajo en equipo y el hecho de contar con una supervisión adecuada de control de calidad durante el trabajo por parte de sus superiores inmediatos, son las variables mejor ponderadas. No obstante, los trabajadores no siempre sienten equidad en el trato en el trabajo, no logran una interacción positiva con los operadores de las aeronaves y sienten que en el liderazgo

de la gerencia, no necesariamente coexisten la comunicación y la sinceridad.

Motivación y autorrealización

La Figura 10 muestra el nivel de satisfacción de las necesidades de autoestima. Los trabajadores se sienten plenamente responsables de sus labores en la empresa y están conformes y orgullosos del trabajo que están realizando. Sin embargo, se observa que el personal considera que no es tomado en cuenta a pesar de su esfuerzo y devoción por la calidad de su trabajo, en

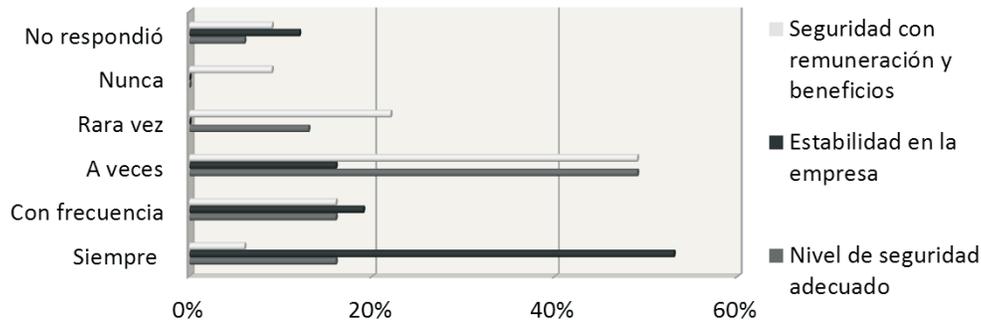


Figura 8. Satisfacción de las necesidades de seguridad.

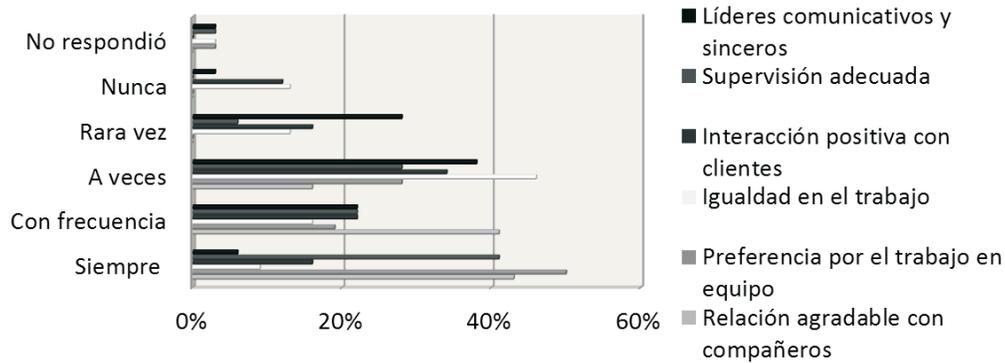


Figura 9. Satisfacción de las necesidades sociales.

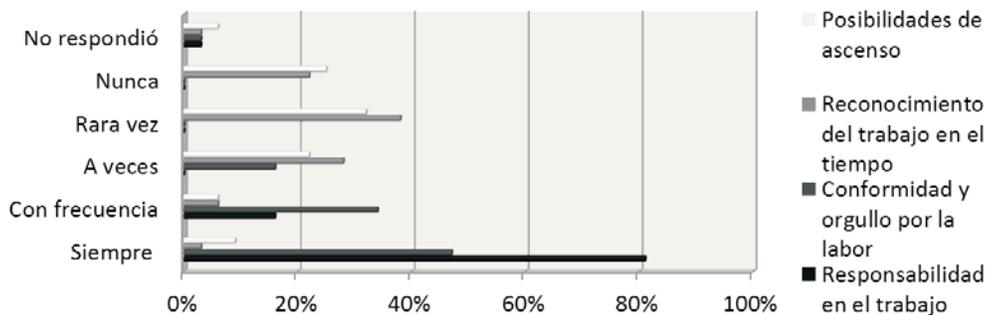


Figura 10. Satisfacción de las necesidades de autoestima.

esencia, la mayoría no cree tener posibilidades efectivas de ascenso.

Las necesidades de autorrealización se aprecian claramente en la Figura 11. No todos los trabajadores participan en la toma de decisiones, ni sienten libertad y autonomía en su trabajo especializado.

Discusión

Con respecto al factor de capacitación y desarrollo, existe una tendencia a no reconocer que los entrenamientos son adecuados a la labor, sin embargo es conocido que los trabajadores que se encargan del mantenimiento de una aeronave específica poseen al menos un curso en tal aeronave. Las respuestas se basan sin embargo, en la recurrencia de tales cursos, el personal sólo ha visto el curso adecuado a su labor una vez durante el tiempo en la empresa, lo que no es recomendable por tratarse de actualización inadecuada en los equipos que se mantienen.

Para afectar positivamente la capacitación y el desarrollo en la empresa es necesario el compromiso de la alta gerencia, para que exista un proceso de entrenamiento que genere nuevas aptitudes y aumente la confianza a mediano y largo plazo. La formación de competencias para desarrollar las habilidades y destrezas del personal, generando comunidades del conocimiento para el desarrollo del mantenimiento, crearán mecanismos que permitirán el aprendizaje y el desarrollo de competencias en cada uno de los trabajadores por sí mismos.

En otro orden de ideas, los principios básicos que encierra la ergonomía [8] incluyen construir estaciones de trabajo ajustadas a la estatura, mantener las piezas al alcance, buena ilumina-

ción, temperatura, humedad, niveles de ruido, entre otras. La empresa puede tomar diferentes acciones a seguir, tales como separar al trabajador de cualquier peligro al automatizar las tareas, rotar al personal en los trabajos de manera que se restrinja la exposición a determinado riesgo y realizar un estudio detallado de medición del trabajo para detectar dónde realizar mejoras. En cuanto a la satisfacción de las necesidades de seguridad del personal, además de los sistemas ergonómicos, se propone implementar un verdadero programa de seguridad industrial en la empresa, en donde exista la participación constante de todos los niveles mediante la creación del comité multidisciplinario de Higiene y Seguridad Industrial con carácter representativo formal, que en la práctica monitoree todas las áreas y labores para velar por el cumplimiento de las normas de seguridad, que no sólo se consideren al momento de las auditorias sino que además presente un informe que señale las condiciones del taller, los equipos en mal estado, así como las necesidades de adquisición y/o actualización de unidades.

En cuanto a la comunicación y pertenencia, la consolidación de los equipos naturales de trabajo sería la mejor estrategia para el mejoramiento de ambos factores de la confiabilidad humana. Es necesario que se aliente la participación de todos en el logro de los objetivos comunes y que cada quién, en su función dentro del equipo de trabajo, aporte valor en la solución de problemas. Se sugiere propiciar la comunicación entre líderes y personal a través los recursos disponibles para tal fin, destacando el nivel de importancia para la organización del trabajo que cada trabajador realiza y lo que se espera de su desempeño en la empresa; así mismo, informar los avances alcanzados en sus labores y explicar dentro de lo posible la razón de disposiciones que parezcan

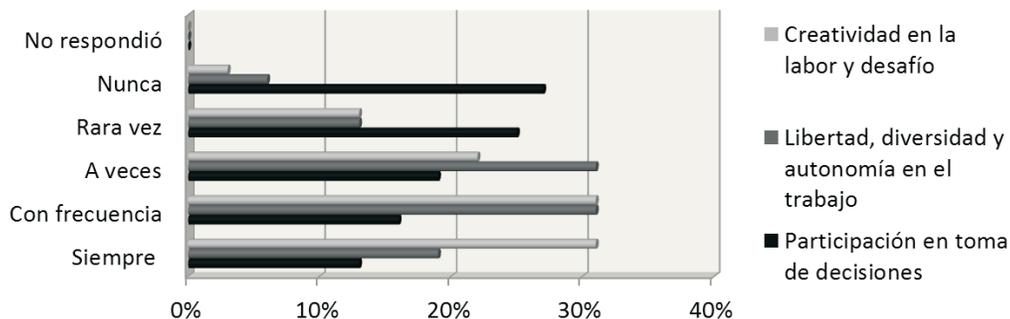


Figura 11. Satisfacción de las necesidades de autorrealización.

poco prudentes. Las reuniones sociales periódicas y los círculos de calidad, facilitarían la interrelación informal entre todos los niveles de la organización y sus clientes; todo lo cual redundará en el aumento de la confiabilidad humana dentro de la empresa.

Se plantea igualmente, realizar eventos cuya finalidad se centre en otorgar reconocimientos a todos los trabajadores de la empresa, en todos los casos que su desempeño aporte valor tangible a la imagen del negocio; así mismo, celebrar la antigüedad de los trabajadores destacando su labor e iniciativa de manera pública con distinciones alegóricas al caso.

Las necesidades de autorrealización a su vez, se pueden compensar asignando trabajos desafiantes al personal, estableciendo los objetivos a cumplir de manera específica y permitiendo que el trabajador participe en las decisiones relacionadas con su puesto de trabajo. Una labor monótona tiende a generar agotamiento en el trabajador y en consecuencia suele aumentar la tendencia al error y generar accidentes involuntarios, casi siempre acompañados de creciente insatisfacción con la posición de trabajo que ocupa, reduciendo a veces en forma notable su confiabilidad. Situaciones de este tipo se superan otorgando al trabajador libertad de acción de tal forma que se sienta independiente, capaz de definir sus propias estructuras y ejercer control interno sobre los problemas que resuelve. Desarrollando sus potenciales personales, su desempeño crecerá como consecuencia de la estimulación de la autoestima y su confiabilidad tenderá a crecer.

Conclusiones

El estudio estuvo orientado a facilitar el proceso de integración del factor humano en la gestión de la confiabilidad en el mantenimiento aeronáutico, con la finalidad de dotar a la empresa considerada con una herramienta práctica para evaluar el impacto de la satisfacción de las necesidades que contribuyan a mejorar la confiabilidad del trabajo realizado y, por ende, del trabajador. La aplicación del modelo explica en gran parte los problemas en la eficiencia y eficacia de la gestión humana en la empresa. La obligatorie-

dad del cumplimiento de parámetros relativos a la vigilancia de la confiabilidad humana, como factor determinante para la seguridad de las operaciones de mantenimiento, se está generalizando a tal nivel que su inspección por parte de las autoridades aeronáuticas civiles tiende a ser uno de los puntos focales en la reducción de siniestralidad. La metodología presentada propone entonces, un conjunto de actividades que tienen por objeto incrementar la confiabilidad del factor humano, de forma que, la estructura genérica del modelo utilizado permite su implementación en cualquier empresa relacionada con el área de mantenimiento aeronáutico.

Referencias bibliográficas

1. Moubray J.: "Reliability-Centered Maintenance", Industrial Press, 1999.
2. INAC: "Control de Mantenimiento de Aeronaves por Métodos de Confiabilidad", Circular se Asesoramiento CAA-09-21, 2008.
3. Domech J.: "Análisis de la confiabilidad humana en una refinería de petróleo. Uso de metodología borrosa", Cuadernos del CIMBAGE, No. 12 (2010) 71-84.
4. García O.: "La Confiabilidad Humana en la Gestión del Mantenimiento", 4a. Conferencia de Confiabilidad y Mantenimiento Reliability World Sudamérica 2006, Bolivia, 2006.
5. Chiavenato I.: "Introducción a la Teoría General de la Administración", Editorial McGraw-Hill, 2000.
6. García O.: "Modelo mixto de confiabilidad basado en estadística para la optimización del mantenimiento industrial", 1er Congreso Mexicano de Confiabilidad y Mantenimiento, México, 2003.
7. Sampieri R.: "Metodología de la Investigación Científica", Editorial McGraw-Hill, 1991.
8. Sanders M., McCormick E.: "Human factor in engineering and design", Editorial McGraw-Hill, 1993

Recibido el 10 de Abril de 2011

En forma revisada el 18 de Junio de 2012.

Design of radiation shields for infrared heaters

**J. Jesús Nieto Miranda^{1*}, Jons Sánchez Aguilar², Héctor Castañeda Infante³,
Manuel Faraón Carbajal Romero⁴**

¹IPN-UPIITA, ²ITQ, ³ITA-CIATEC-CBTis 168, ⁴IPN-ESIME Azcapotzalco-Sepi.
Departamento de Ingeniería, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Tecnologías
Avanzadas UPIITA, Instituto Politécnico Nacional. Avenida IPN N° 2580, Col. La Laguna
Ticomán, C.P. 07340, Delegación Gustavo A. Madero, México D.F.
Teléfono: (55) 5729 6000 ext. 56862. *jnietom1@yahoo.com.mx

Abstract

We present a numerical-experimental study of an infrared gas heater for the final drying of the superficial layer of paint impregnated in the leather. Radiation shields are designed and implemented to reflect heat to the leather in order to optimize its operation and minimize leakage or losses of heat. The design of the shields is made by means of numerical simulations using the finite element method and computer software. The efficiency of these shields by thermography studies was validated. The main objective of this work is to improve the industrial efficiency of the prototype employed.

Key words: infrared dryer, radiation shields, thermography, finite element method.

Diseño de escudos de radiación para secadores infrarrojos

Resumen

Se presenta el estudio numérico-experimental de un secador infrarrojo alimentado con gas para el secado final de la capa superficial de pintura que se impregna en el cuero. Para esto, se diseñan e implementan escudos de radiación para reflejar el calor hacia el cuero con el objetivo de optimizar su funcionamiento, así como también minimizar las fugas o pérdidas de calor. El diseño de los escudos se realiza mediante simulaciones numéricas utilizando el método del elemento finito haciendo uso de programas computacionales. La validación de la eficiencia de estos escudos se realiza mediante estudios termográficos. El objetivo del presente trabajo es mejorar la eficiencia industrial del prototipo del secador infrarrojo empleado.

Palabras clave: secador infrarrojo, escudos de radiación, termografía, método del elemento finito.

Introducción

La fuerte competitividad global entre las empresas las ha obligado a la búsqueda de procesos de producción más eficientes, con el objetivo de tener ventajas sobre sus competidores. En este sentido, la industria del cuero no es la excepción, en especial la problemática del secado de la película o capa superficial de pintura que se impregna al cuero para mejorar las características de estética, textura y protección para su acabado final [1, 2]. Los conocedores reconocen que el

cambio de un cuero natural a uno con acabado es notable, además, es la parte de la manufactura que tiene como objetivo el disminuir o desaparecer los defectos superficiales, aparte de proveer a la superficie externa mejores propiedades físicas. Por este motivo se diseñó un secador para el acabado final del cuero que emplea energía infrarroja alimentado con gas LP o natural [3-5].

El diseño y empleo de los llamados escudos de radiación, es con la finalidad de reducir la temperatura en las paredes del secador prototipo, reflejando el calor hacia el cuero a secar. En

este caso, el reto es conseguir el mayor aprovechamiento de la temperatura alcanzada y del calor generado por esta tecnología infrarroja, es decir, seleccionar la combinación de materiales que proporcionen el máximo aislamiento posible, aunque, Cengel [6], Siegel y Howell [7] sugieren películas metálicas hechas de aluminio, ya que poseen una baja emisividad.

La termografía digital infrarroja es una técnica que permite medir temperaturas exactas a distancia sin la necesidad de contacto físico con la superficie a estudiar [8]. Lo anterior se logra mediante la captación de la radiación infrarroja del espectro electromagnético, utilizando cámaras de termovisión, que pueden convertir mediante algoritmos especializados, la energía radiada en una lectura de temperatura.

La termografía tiene muchos usos, para el presente trabajo se utilizó en la detección de fugas de calor y para mejorar la eficiencia del secador infrarrojo prototipo. Es importante comentar que la interpretación de las imágenes termográficas

infrarrojas fue clave para el desarrollo de los escudos de radiación.

Con el desarrollo de este trabajo numérico-experimental se pretende minimizar las fugas de calor mediante el empleo de escudos de radiación, con la finalidad de rediseñar el secador infrarrojo y mejorar su eficiencia durante el secado de la capa superficial o película de acabado del cuero.

Desarrollo

Para el desarrollo del presente trabajo, se hizo uso del prototipo del secador infrarrojo mostrado en las Figuras 1 y 2; el cual, tiene una longitud de 4 m, 70 cm de ancho y 80 cm de alto, la paredes están construidas de lamina galvanizada con un espesor de 1,93 mm (Cal 14), en la parte inferior tiene una banda fabricada en hilos de nylon con 1 mm de espesor y tiene montados cuatro paneles infrarrojos modelo RSCA3-N1 (SPACE-RAY) alimentados con gas LP que pro-

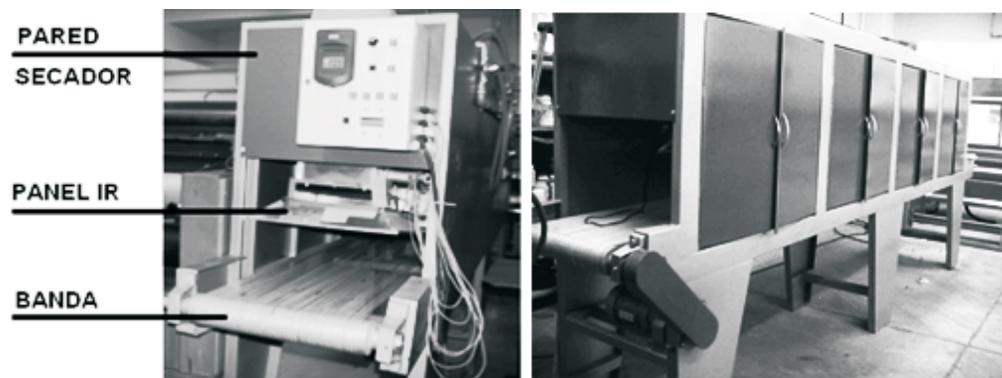


Figura 1. Prototipo de secador infrarrojo estudiado.



Figura 2. Vista frontal y lateral del secador prototipo infrarrojo sin escudos de radiación.

porcionan 26 000 BTU cada uno y una temperatura superficial de 1800°F (1255.37°K).

El espectro electromagnético de radiación térmica tiene un rango de $0,7 < \lambda < 1000 \mu\text{m}$ para la región infrarroja [5]. La ley de Wien [9] indica que $\lambda \cdot T = 2897,6 \mu\text{m}^\circ\text{k}$, aplicándola obtenemos una longitud de onda (λ) de $2,30 \mu\text{m}$, que se encuentra en la región cercana del espectro infrarrojo (rango de $0,7 < \lambda < 3 \mu\text{m}$).

La geometría del secador prototipo empleado fue reproducida en un programa de CAD, a continuación los modelos geométricos obtenidos se alimentaron a un programa de elementos finitos para su simulación. La finalidad del análisis numérico por elemento finito, es reproducir un panorama de la distribución de temperaturas en el prototipo, ocasionadas por la radiación en forma de calor que proporciona cada panel IR.

Los materiales y propiedades empleados se indican en la Tabla 1, se selecciono un elemento tipo SHELL-4 NODOS.

La Figura 3 muestra un corte longitudinal del prototipo del secador, mostrándose la distribución de temperatura obtenida al modelarlo y simularlo por el método de elementos finitos (MEF), este primer modelo no tiene escudo de radiación.

El siguiente paso fue colocar escudos de radiación en el prototipo, para este trabajo se presentan los resultados obtenidos cuando se agrega un escudo de radiación fabricado de papel aluminio, con 0,2 mm de espesor.

Se construyo un canal de aluminio dentro del prototipo como se ilustra en la Figura 4, se probaron dos tipos de acabado en el aluminio; el primero en forma natural y en el segundo se emplea una superficie negra ideal, también llamado

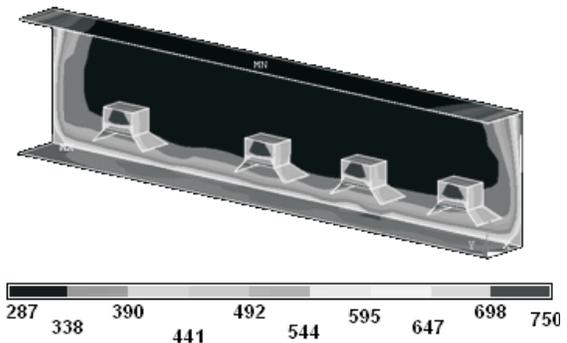


Figura 3. Temperaturas obtenidas en el secador por el método del elemento finito sin escudos de radiación, en grados Kelvin (°K).



Figura 4. Vista lateral del secador infrarrojo con escudo de radiación de aluminio natural y negro.

cuerpo negro [5, 9], para obtener mejores lecturas experimentales. Las propiedades utilizadas se observan en la Tabla 1. La distribución de temperaturas obtenidas en la simulación de este modelo se muestra en la Figura 5.

Para la validación del modelo numérico se emplea la termografía infrarroja, se utilizó una cámara infrarroja Ti45FT (FLUKE) y su respecti-

Tabla 1
Materiales y sus propiedades utilizadas en el método del elemento finito

Material	Espesor (mm)	Conductividad térmica (W/mm-K)	Emisividad	
Lámina galvanizada	1,93 (Cal 14)	0,0694	0,87	
Nylon	1	0,2	0,91	
Aluminio	0,2	0,240	negro	0,95
			normal	0,05

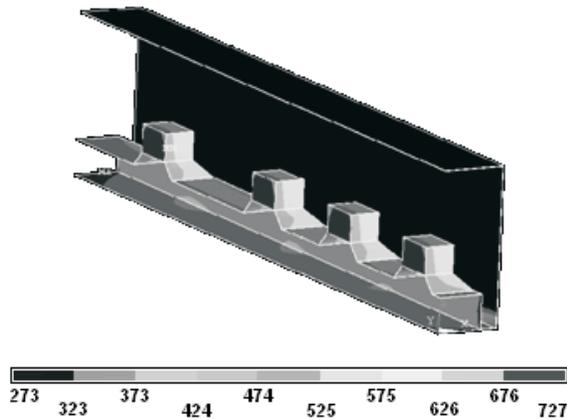


Figura 5. Temperaturas obtenidas por MEF con escudo de radiación de aluminio (°K).

vo programa de computo SmartView V2.1 para el análisis de imágenes termográficas. La Figura 6 muestra la imagen obtenida de la distribución de temperaturas, en grados Kelvin (°K).

Resultados

La Figura 3, muestra que existe una dispersión de las temperaturas en el prototipo, con lo cual, existen fugas de calor, consumiéndose más

energía (gas) durante el proceso de secado del cuero. Observamos que las paredes del secador prototipo alcanzan temperaturas variables que van desde 287,289 hasta 750°K; la banda muestra una distribución de temperaturas no homogénea con valores que van desde 492,938 hasta 698,588°K.

La Tabla 2, muestra un comparativo de los valores de temperaturas obtenidas para las diferentes pruebas numérico-experimentales realizadas en el secador con escudo de radiación de aluminio.

La Figura 5, muestra que el empleo del escudo de radiación fabricado en aluminio refleja el calor emitido por los paneles IR hacia la banda de nylon, que es el lugar donde se coloca el cuero con su película de acabado a secar, presentando una distribución de temperaturas más homogénea con valor de 676°K, observándose que el escudo minimiza las fugas de calor.

Conclusiones

El diseño y empleo de los llamados escudos de radiación cumple con la finalidad de reducir la temperatura de las paredes del secador prototipo.

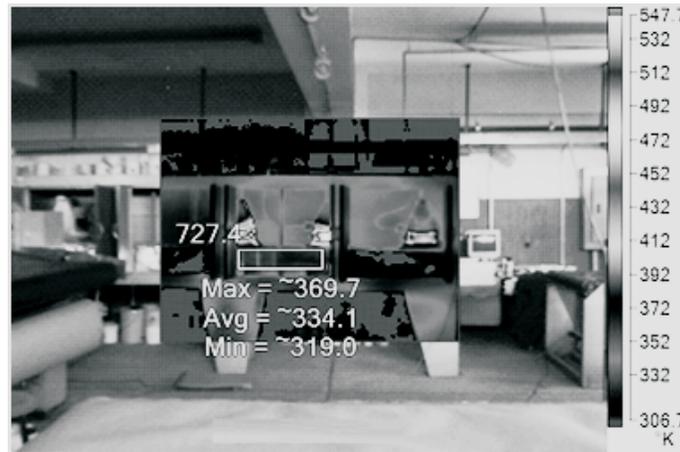


Figura 6. Termografía del secador infrarrojo (°K).

Tabla 2
Comparativo numérico-experimental del secador prototipo con escudo de radiación (°K)

Temperatura (°K)	Modelo Experimental	Modelo Numérico	Diferencia
Máxima	727,4	727,0	0,4
Minima	306,7	273,01	33,69

po, reflejando el calor hacia el espécimen en cuestión y lográndose aumentar el aislamiento del secador prototipo.

Agradecimientos

Al IPN (SIP-20110063) y al CONCYTEG (09-01-K662-071) por el apoyo proporcionado para el desarrollo de este proyecto.

Referencias bibliográficas

1. Sanchez J., Alonso S., Taracena F. and Zitzumbo R.: "Infrared Drying: A Leather Finishing Application". JALCA, 101(2006) 105-111.
2. Sanchez J., Alonso S., Zitzumbo R. and Ornelas F.: 2008, "Improvements for Infrared Drying: A Leather Finishing Application," JSLTC, Vol. 92, No.4 (2008)162-166.
3. Hulls, P.J.: "Introduction to industrial drying". JSLTC 71, (1987) 43.
4. Komanowsky, M.: "Drying of leather with microwaves". JALCA 85, (1990)131.
5. Mahan, J.R.: "Radiation heat transfer: a statistical approach". John Wiley & Sons, New York, 2002.
6. Cengel, Y.A.: "Heat Transfer: a practical approach". McGraw-Hill, New York, 2003.
7. Siegel, R. and Howell, J. R.: "Thermal radiation heat transfer". Taylor & Francis, New York, 2002.
8. Minkina W. and Dudzik S.: "Infrared Thermography: Errors and Uncertainties". John Wiley & Sons., United Kingdom, 2009.
9. Incropera F.P. and DeWitt D.P.: "Fundamentos de transferencia de calor", Prentice Hall, México, 1999.

Recibido el 28 de Junio de 2011

En forma revisada el 10 de Septiembre de 2012