



**Innovation in research and engineering education:
key factors for global competitiveness**

*Innovación en investigación y educación en ingeniería:
factores claves para la competitividad global*

INGENIERÍA DE FACTORES HUMANOS. LA INCLUSIÓN DE UNA DISCIPLINA EN EL DESARROLLO Y GESTIÓN DE PROYECTOS

Leonardo Quintana, Óscar Bernal, Magda Monroy, Cristian Zea, Ángela Ramírez, Jorge Córdoba

**Pontificia Universidad Javeriana
Bogotá, Colombia**

Resumen

En la Gerencia de un proyecto, el anticipar las necesidades de acomodación de las personas a los ambientes y puestos de trabajo brinda beneficios a las empresas en varios aspectos: principalmente en aspectos económicos, sociales y ambientales. La Ingeniería de Factores Humanos IFH, como disciplina, abre una nueva puerta a la innovación en el desarrollo profesional de los ingenieros y en el desempeño como tal de proyectos de ingeniería. Conceptos introducidos en la IFH como diseño preventivo, ergonomía de concepción, reducción del riesgo al mínimo razonablemente permisible (ALARP), diseño de ingeniería de inicio a fin (DIIF), y el Análisis de Riesgos de Operatividad del Humano (Human HAZOP) permiten fortalecer la gestión de proyectos con una nueva disciplina complementaria a las tradicionales como son Electricidad, Civil, Procesos, Mecánica e Instrumentación entre otras. El presente trabajo se aplica transversalmente al desarrollo de los proyectos en la industria del petróleo, haciendo un acercamiento con la empresa en un trabajo mancomunado ajustando el proceso a estándares técnicos y normativa nacional e internacional, y a los avances a nivel mundial en el tema no solo en el mejoramiento del proceso, sino también en las condiciones para los humanos. El trabajo de IFH logra un mejoramiento en la salud, bienestar y calidad de vida de los trabajadores; aumenta la productividad de los mismos; disminuye costos de reproceso, rediseño, reconstrucción y/o adaptación de instalaciones, además de costos asociados por concepto de servicios médicos e incapacidades de los trabajadores; y sobre todo disminuye riesgos asociados al accionar errado de los humanos evitando así problemas en la operación o incluso muertes y catástrofes. La IFH es aplicable tanto a diseños de proyectos nuevos como a adaptaciones o repotenciones de instalaciones existentes, y es una disciplina indispensable para ser incluida en todos los currículos de ingeniería.

Palabras Clave: gerencia de proyectos; human HAZOP; ingeniería de factores humanos

Abstract

In projects management, the anticipation and conception of people needs in the environment and work stations gives benefits to companies in economic, social and environment aspects. The Human Factors Engineering (HFE) as a discipline opens a new landscape to innovation in the engineer's professional development and engineering project performance. The preventive design, conception ergonomics, risk reduction as low as reasonably practicable (ALARP), the front end engineering design (FEED), and the hazard and operability study in human factors (Human HAZOP¹) are concepts introduced by HFE. These concepts allow strengthening the project management with a new complementary discipline to traditional ones such as Electric, Civil, Process, Mechanic and Instrumentation. The new discipline (HFE) is applicable across projects development in the oil industry. This paper brings an approach between company and HFE through process adjusted with technical standards, national and international policy, and the advances in process improvements and working human conditions. HFE achieves improvements in workers' health, well-being and life quality; increases the workers' productivity; decreases rework costs associated, redesign, rebuilding and or adaptation of facilities. HFE also reduces associated costs with medical services and workers' disability compensations. Specially, HFE diminishes associated risks of human errors, avoiding problem operations or deaths and catastrophes. HFE is applicable in design of new projects, adaptations or improvements of existing facilities.

Keywords: *project management; human HAZOP; human factors engineering*

1. Introducción

La ergonomía y los Factores Humanos comprenden aquellas prácticas que enriquecen o mejoran el desempeño de los trabajadores tanto a nivel de productividad como de seguridad. El diseño y desarrollo de proyectos en ingeniería requiere como cualquier otro proceso una visión global y sistémica. El trabajo individual de profesionales de diferentes disciplinas ha sido desplazado gradualmente por el trabajo conjunto de grupos interdisciplinarios que brindan el beneficio esencial de trabajar las oportunidades, los eventos y los problemas desde diferentes puntos de vista optimizando recursos y reduciendo costos. Es así como en el desarrollo de un proyecto de ingeniería, juegan un papel importante los aportes de disciplinas como Ingeniería Civil, Ingeniería de Procesos, Ingeniería Mecánica, Ingeniería Eléctrica e Ingeniería de Instrumentación. El presente trabajo muestra como la visión sistémica debe ser soportada por una disciplina adicional a las tradicionales ya mencionadas: La Ingeniería de Factores Humanos (IFH) que hasta hoy ha sido concebida de manera correctiva y no preventiva. La integración de la IFH como disciplina a los proyectos es un factor de prevención importante de los problemas de Ergonomía, Seguridad y Salud Ocupacional. En el mundo no incluir la IFH como disciplina en los proyectos y en la formación, comprende alrededor de 2 millones de muertes al año por accidentes y enfermedades profesionales, 160 millones de personas padeciendo alguna enfermedad profesional y 270 millones de accidentes laborales no fatales al año en el mundo. Este documento presenta la forma como debe ser integrada esta disciplina al diseño de proyectos e incluso a la formación de ingenieros de todas las disciplinas. El desarrollo que se presenta, comprende la identificación de los puntos críticos en los que se requería intervención estratégica desde el punto de vista de IFH y el desarrollo de un plan detallado de trabajo que contribuyera a la inclusión de los lineamientos en fases siguientes de los proyectos. Las actividades fueron: 1). Conocimiento de la

¹ Diseñada por "ICI Chemicals" en Inglaterra en los años 70. La metodología analiza riesgos (HAZard) y la operatividad (OPerability) de los procesos, involucrando las desviaciones de diseño.

generalidad y el estado del proyecto de control transporte y producción en la industria petrolera; 2). Aplicación de la metodología Human HAZOP² para determinar y priorizar las necesidades estratégicas de IFH; 3). Definición del Plan de Trabajo, el cronograma de proyecto y los entregables y responsables; y 4) Mapeo de las situaciones de referencia.

2. Método

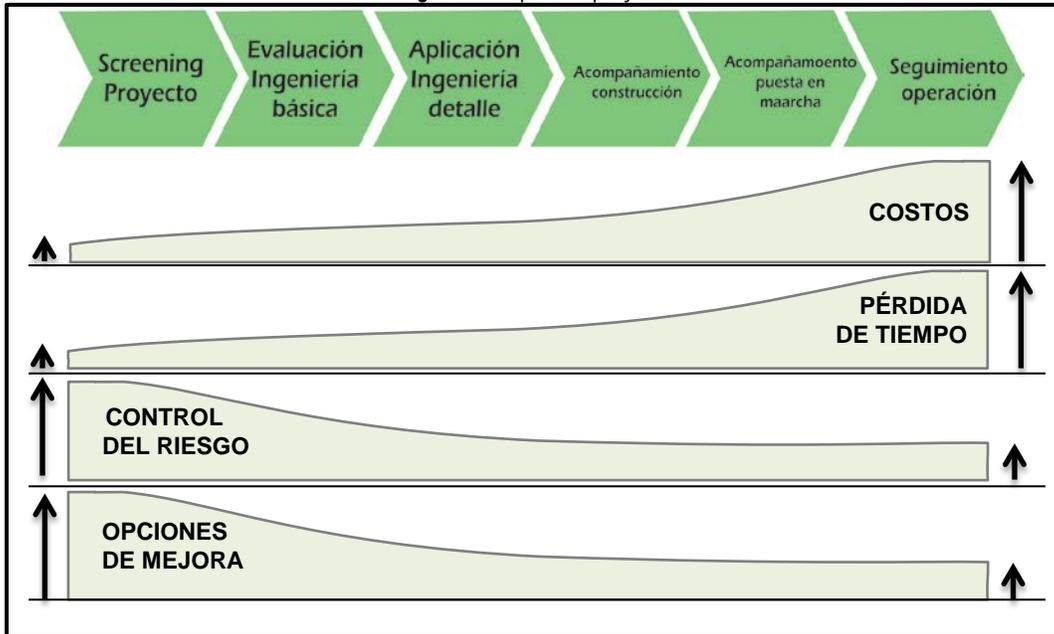
La definición formal de la Ingeniería de Factores Humanos hace referencia a la aplicación de conceptos de Ingeniería enfocados al desempeño del humano. Principios de Ergonomía, Biomecánica, Factores Humanos, Seguridad Industrial e Ingeniería Preventiva y de Control de Pérdidas. Así, las condiciones sociales y ambientales deben ser aplicadas al análisis de diseños de tareas y espacios donde el humano es el principal actor. Como disciplina, la IFH está orientada a entender y mejorar las relaciones de las máquinas, equipos y sistemas con los humanos encargados de operarlas. La disciplina desde el punto de vista correctivo actúa en la generación de diagnósticos y soluciones generalmente de rediseño. Desde la prevención, la disciplina pretende anticipar las necesidades de acomodación de las personas en las diferentes áreas y puestos de trabajo para evitar y reducir errores en la operación por condiciones incómodas o inseguras.

Para lograr este cometido es necesario que los expertos en IFH avancen paso a paso en las etapas del proyecto y se ajusten al proceso de ingeniería del proyecto, legitimando sus acciones vía estándares técnicos y normativas así como participando en las pruebas de los diferentes diseños establecidos. Con base en esto, un estudio realizado sobre un proyecto de una reconocida empresa en la industria petroquímica, permitió poner a prueba los conceptos de IFH buscando garantizar la generación de ambientes de trabajo seguros. Dicho desarrollo soporta a su vez la hipótesis del presente documento.

El diseño preventivo involucra varios pasos metodológicos paralelos al desarrollo de los proyectos. Una vez planteado el proyecto, la IFH establece las siguientes etapas a desarrollar para el aseguramiento de las condiciones óptimas para el desempeño del humano dentro de las instalaciones: 1) Screening del proyecto, 2) Evaluación Ingeniería Básica, 3) Aplicación Ingeniería de Detalle, 4) Acompañamiento en la construcción, 5) Acompañamiento en la puesta en marcha, y 6) Seguimiento a la operación.

² Otras metodologías fueron evaluadas tales como: **FMEA** (Análisis de modo falla y efecto) utilizada para evaluar la frecuencia y consecuencias de fallas de componentes en el proceso, y **FTA** (Análisis de árbol de fallas) útil para la identificación de causas de accidentes mas no para identificar riesgos.

Figura 1. Etapas del proyecto



En términos económicos el hecho de no incluir diseños preventivos en las primeras fases del proyecto se traduce en altos costos en etapas posteriores debidos a riesgos profesionales, rediseño y reinversión futura para la adaptación de las instalaciones. Entre los costos asociados son fácilmente medibles los generados por la pérdida de productividad derivada de diseños incorrectos. En términos de costo social, el dilatar el proceso de incluir la IFH, redundará en poner a los trabajadores en riesgo de sufrir lesiones laborales que afectarán directamente su calidad de vida y por ende la de sus familias. Entre más temprana sea la etapa en la cual son identificadas y atacadas las oportunidades de mejora mayor será el ahorro en costo económicos asociados.

También es medible un ahorro en tiempo pues cada reproceso genera demoras que llevan a traumatismos en la operación y por ende disminuyen la productividad. También efectos de micro tiempos diarios que se pierden por rutas mal diseñadas, el empleo de excesivo tiempo en las tareas dadas condiciones inapropiadas, e incluso tiempo de trabajo interrumpido por incapacidades representan fallas del proceso a medida que avanza el desarrollo de un proyecto. Al igual que los costos, entre más rápido (en cuanto a las etapas tempranas del proyecto se refiere) sean identificadas, planteadas y evaluadas las mejoras, mayor será el beneficio y menor la pérdida de tiempos.

El control de riesgo es el tercer factor que cambia con el avance de los proyectos. A medida que avanzan las etapas de ejecución de un proyecto se hace más difícil el control de los riesgos, la capacidad de gestión de riesgo disminuye lo que lleva a las empresas a utilizar otros mecanismos para controlar riesgos que bien se habrían podido atenuar desde etapas tempranas del diseño. La conciencia de la IFH es una conciencia preventiva, en las etapas finales los controles de riesgo deben ser únicamente los estrictamente necesarios como el uso de elementos de protección personal.

Estos tres factores llevan a identificar entonces la dinámica de las oportunidades de mejora. Si bien durante todo el proyecto pueden ser (y deberán ser) identificadas oportunidades de mejora, la posibilidad de encontrarlas es mayor en las primeras etapas del proyecto pues requieren menor tiempo e inversión y

brindan un mayor control del riesgo. Las oportunidades de mejora vistas desde el costo/beneficio en la gestión de proyectos varía dependiendo del tipo de iniciativa que se emprenda, lo que si queda claro es que siempre va a ser un indicador positivo para el desempeño de los proyectos y sobretodo de la operación.

El trabajo comprende entre otras cosas la confirmación de un equipo interdisciplinario de profesionales ente los que se encuentran dos grande grupos: 1) ingenieros de diseño e 2) ingenieros competentes en ingeniería de factores humanos. Este equipo se conforma bajo la dirección de una autoridad experta en IFH. El trabajo realizado sobre el tema dentro del proyecto anteriormente mencionado, comprendió las etapas 1 y 2. En el desarrollo del mismo, la autoridad en IFH realizó el screening del proyecto con la intención básica de definir la pertinencia en cuanto a la aplicación de la IFH en el proyecto, dadas las condiciones y el tamaño del mismo. Una vez realizado el screening, el grupo de trabajo adoptó la metodología de revisión de planos de ingeniería básica (etapa 2) con el fin de involucrar los lineamientos Ergonómicos y de Factores Humanos y proponer las oportunidades de mejora dentro de los hallazgos en los documentos de diseño. El resultado de ésta etapa resultó en insumos para el aseguramiento de dichas condiciones durante el desarrollo de la ingeniería de detalle.

La IFH comprende entonces para la ingeniería básica dentro de la gerencia de un proyecto: 1) la revisión de la normatividad vigente aplicable al mismo; 2) el análisis de las necesidades de las tareas involucradas en cuanto a las capacidades físicas del humano, las propiedades del puesto de trabajo y las condiciones de las áreas involucradas. La Figura 2 muestra la interacción del grupo completo de involucrados en el diseño de un proyecto.

Figura 2. Esquema para el desarrollo de la IFH en la gerencia de proyectos. Etapa Ingeniería Básica

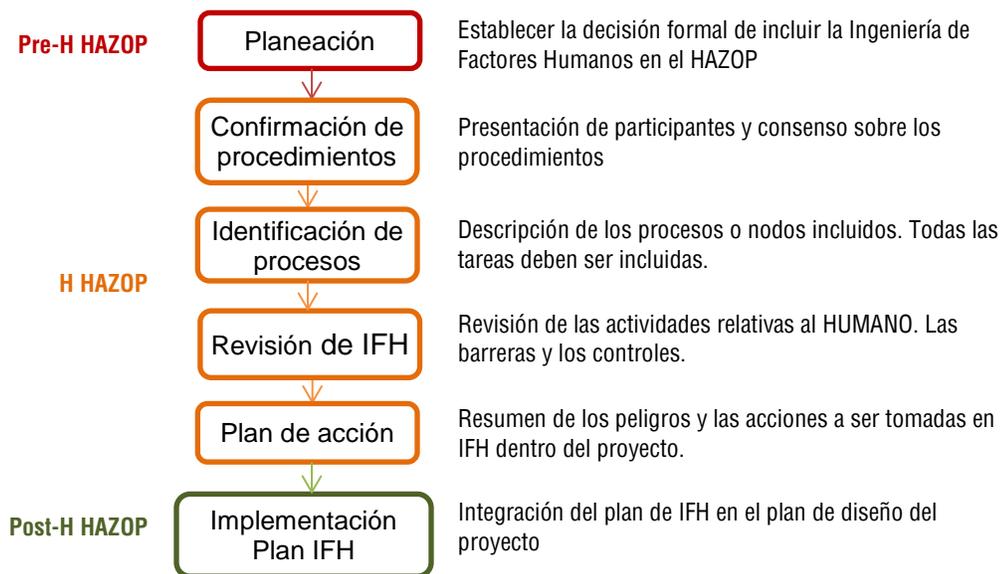


Un proyecto de este tipo comprende dentro del análisis de la ingeniería básica y siguiendo el esquema de la Figura 2, dos objetivos específicamente identificados: 1) el estudio de los y 2) el entrenamiento y capacitación del personal de diseño del proyecto global.

Para cumplir el primer objetivo se deben identificar y evaluar las necesidades de Factores Humanos mediante un estudio detallado de las tareas que se llevarán a cabo en la operación. El grupo completo de trabajo debe encontrar un punto medio entre requerimientos de diseño (o requerimientos operativos) y requerimientos de Factores Humanos, ambos requerimientos son igualmente importantes por lo que un consenso en cambios de diseño que favorezcan los dos puntos de vista enriquece y fortalece el proyecto.

Para cumplir el segundo objetivo existen diferentes metodologías avaladas a nivel mundial. La propuesta del presente, y la cual fue aplicada en el desarrollo mencionado, hace referencia al Estudio de Riesgo y Operatividad enfocado al humano (por sus siglas en inglés Human HAZOP). La metodología está descrita en la Figura 3. Con la aplicación de la metodología HAZOP se logró obtener una descripción de los alcances y condiciones proyectadas en el diseño/procedimiento, mediante un examen sistemáticamente aplicado a cada parte del diseño para descubrir desviaciones³ con respecto a lo proyectado. Dichas desviaciones fueron clasificadas entre aquellas que pueden o no incrementar los riesgos y/o crear problemas de operatividad.

Figura 3. Human HAZOP



La actividad del Human HAZOP contribuye al análisis de la Ingeniería de Factores Humanos pues permite que los involucrados (diseñadores, personal de proyectos, de operaciones y de mantenimiento) se reúnan en torno al análisis de las tareas que van a ser llevadas a cabo por un humano en las instalaciones futuras. El Human HAZOP analiza en detalle cada una de las tareas que desempeña el trabajador para encontrar puntos críticos en donde el grupo de profesionales relacionado en la Figura 2. Esto fortalece el análisis en las dos vías señaladas:

1. Hay una mayor sensibilización del equipo de diseñadores con respecto a las tareas que se llevan a cabo en las instalaciones que están concibiendo, además se sensibilizan en los temas de Factores

³ En la metodología HAZOP, las desviaciones se refirieren a problemas potenciales que pueden surgir en el proyecto si este llegase a operar fuera de las condiciones o parámetros normales para los cuales se realizó el diseño.

Humanos y como un diseño correcto desde las disciplinas tradicionales pero incorrecto desde la IFH además de no evitar riesgos y peligros incluso los crea.

2. El personal de IFH logra en mayor conocimiento de los procesos, las tareas y los puntos críticos de la operación. Logra un mayor entendimiento de la dinámica de los procesos y de las tareas del humano para definir mejores y más aplicables oportunidades de mejora.

La Metodología HAZOP permite identificar prácticas corregibles en el diseño de las cuales se derivan modificaciones a tener en cuenta en fases posteriores, además de los requerimientos involucrados en las siguientes fases. La metodología usada principalmente para identificar los problemas de operatividad fue adaptada para proyectar los posibles problemas que se pudieran presentar bajo el diseño inicial con el fin de intervenir (desde el punto de vista preventivo y no correctivo) las carencias en Factores Humanos del proyecto.

El proceso de diseño en fases tempranas, durante el desarrollo del proyecto mencionado se vio favorecido de la incorporación de la IFH al poder tener en concreto una visión global de todo el sistema y sobre todo del humano que desempeñará las tareas en dichas instalaciones. La revisión fue hecha sobre los documentos y planos del proyecto, para las etapas posteriores del trabajo, el acompañamiento de IFH se recomienda hacer sobre modelamiento 3D para lograr un beneficio completo.

3. Resultados

La industria, en especial el sector petrolero como ejemplo, muestra que es un error el no involucrar la Ingeniería de Factores Humanos desde las etapas tempranas del proyecto debido a que los costos asociados a la implementación de acciones correctivas pueden ser demasiado elevados, lo cual provoca que la mayoría de las veces dichas implementaciones tarden en ser ejecutadas como consecuencia de los ajustes presupuestales que son necesarios realizar.

La aplicación de la Ingeniería de Factores Humanos es fundamental en el desarrollo de los proyectos, si se tiene en cuenta que la integración de esta ciencia como disciplina se puede dar en dos vías:

1. Capacitación, formación y sensibilización de profesionales de otras disciplinas en los temas de la IFH para que desde sus propios diseños se tengan en cuenta los factores y conceptos básicos de la interacción del humano con el entorno de trabajo. Este proceso se ve reflejado en una mejora en las prácticas de diseño de proyectos.
2. Involucramiento de un equipo profesional en IFH con el fin de integrarlos con las otras disciplinas y así lograr una articulación del equipo completo de trabajo y así lograr la reducción de los costos totales de los proyectos.

Se logró establecer una metodología para realizar una revisión sistemática de planos en las diferentes áreas de trabajo como por ejemplo eléctrica, civil, tubería, etc. La revisión de los planos del proyecto en la etapa de ingeniería básica teniendo como objetivo primordial la aplicación y desarrollo de la IFH tiene como consecuencia la mejora y reestructuración de los planos en la etapa de ingeniería de detalle, así por ejemplo se logró identificar oportunidades de mejora en la ubicación de la iluminación en diferentes puestos de trabajo y zonas de tránsito, mejoramiento de accesos al interior de talleres y oficinas, ubicación de accesorios de manipulación como interruptores de seguridad y de iluminación, paradas de emergencia. También se logró realizar la sugerencia sobre creación y fabricación de nuevas posibles rutas de acceso con

sus respectivos controles de seguridad en Factores Humanos, el diseño de escaleras y plataformas de trabajo a algunos sitios de difícil acceso.

Como parte de la Integración de IFH en el desarrollo y gestión de proyectos se logró proponer algunas actividades importantes en las etapas de construcción, pre-comisionamiento, comisionamiento y puesta en marcha.

El acompañamiento y la gestión de Ergonomía y Factores Humanos en el proyecto, generó nuevas premisas para los diseños acordes con los estándares internacionales y las buenas prácticas para tener en cuenta en la ingeniería de detalle. Adicionalmente a los resultados técnicos y recomendaciones de diseño específicas, la actividad permite la creación de directrices de gestión de proyectos con el fin de que sea aplicada la IFH a futuros proyectos. Entre los principios generados para tener en cuenta, surgió la evidente carencia de aplicación de fundamentos y estándares que desde el punto de vista de Ergonomía y Factores Humanos que se maneja en la concepción de los proyectos de ingeniería, principalmente debida a la falta de conocimiento de dichos temas por parte del personal especializado.

Adicionalmente se propuso la revisión previa de la prioridad de los procesos de diseño pues los procedimientos actuales reflejan como único actor del proceso al producto, es decir al petróleo y sus derivados sin tomar en cuenta actores tan fundamentales como los trabajadores y sus condiciones laborales y necesidades. De éste proceso se validaron los nuevos diseños de ingeniería básica incluidos los estándares de Ergonomía y Factores Humanos.

Se establecieron a su vez diferentes actividades y entregables que hacen parte del proceso de verificación de cumplimiento de los estándares requeridos en el diseño Ergonómico y de Factores Humanos ligándolos a los requerimientos técnicos de diseño.

4. Conclusiones

En la Gerencia de un proyecto, es necesario anticipar las necesidades de acomodación de las personas en los ambientes y puestos de trabajo, con el fin de enfocar las necesidades de tal forma que se logre un diseño preventivo y las instalaciones resultantes cumplan con estándares de Ergonomía y Factores Humanos.

La inversión en Ergonomía de concepción es tan importante como cualquier otro proceso llevado a cabo durante el diseño de las instalaciones en la industria. El incluir el estudio de Ergonomía y seguridad en la etapa inicial de un proyecto ahorra costos futuros en temas de salud ocupacional, y adicionalmente aumenta la productividad al brindar las condiciones ideales de trabajo a los operadores involucrados.

Se requieren esfuerzos de educación y formación en el área de factores humanos para todas las disciplinas de la ingeniería pues todas juegan un papel crítico en el diseño de instalaciones y procesos que no solamente deben ser efectivos desde el punto de vista técnico, sino brindar la comodidad y seguridad que las personas necesitan.

En las sociedades modernas se hace indispensable la inclusión de la IFH para el logro de unos procesos efectivos y amables con el ser humano. Profesionales en IFH son escasos, sin embargo los conceptos de la disciplina pueden ser apropiados por los ingenieros de otras disciplinas en términos básicos de manera que se genere una cultura de buenas prácticas en Factores Humanos en diseños de proyectos.

5. Referencias

Artículos de revistas

- Alain Garrigou, Jean-François Thibault, Marçal Jackson, Fausto Mascia. (2001). Contributions et démarche de l'ergonomie dans les processus de conception. Pistes Vol. 2, No. 2
- Kennedy R., Kirwan B. Development of a hazard and operability-based method for identifying safety management vulnerabilities in high risk systems (1998). Safety Science Vol. 30, p. 249-274
- DANIELLOU, F. Des fonction de la simulation d'activités de travail em ergonomics. Revista eletrónica actividades.Vol 4, Nº 2, 2007. <http://www.activites.org>
- DANIELLOU F, Método em ergonomia de concepção: Análise de situações de referência e a simulação do trabalho. In: Ergonomia e projetos na indústria de processo contínuo. Rio de Janeiro: COPPE/RJ: Lucerna, 2002. p. 29 – 33
- Silverio M. et.al. Contributions of ergonomics to the design of petroleum industry new facilities using digital scale models (2010). PPGEP/DEP Universidad Federal de São Carlos, São Paulo, Brasil.

Libros

- Ecopetrol S.A. Gestión de Riesgos HSE en Proyectos. 2010. Colombia
- International Association of Oil & Gas Producers – OGP (2011) Human Factors in engineering projects. Report no. 454.

Memorias de congresos

- Braatz D, et. Al. Complementaridade entre a análise ergonômica do trabalho e a abordagem da atividade futura na ergonomia de concepção: aplicações na indústria de refino de petróleo. (2010). Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Brasil.

Sobre los autores

- **Leonardo Quintana:** Ingeniero Industrial de la Universidad Javeriana, PhD. en Ingeniería Industrial con énfasis en Ergonomía Industrial de la Universidad de Houston Texas, Máster en estudios de Negocios Internacionales de la Universidad de California del Sur. Profesor titular de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Javeriana y director del Centro de Estudios de Ergonomía de la Universidad Javeriana. lquin@javeriana.edu.co
- **Óscar Bernal:** Ingeniero electrónico de la Universidad Nacional. MBA de la Universidad Tor Vergata de Roma, Master en Economía de la Universidad Javeriana. Profesor cátedra de la Facultad de Economía de la Universidad Javeriana. Ingeniero de Proyectos del Centro de Estudios de Ergonomía de la Universidad Javeriana. oscar.bernal@javeriana.edu.co
- **Magda Monroy:** Ingeniera Industrial de la Universidad Javeriana. Máster en Ingeniería Industrial con Énfasis en Ergonomía de la Universidad Javeriana. Profesora cátedra de la facultad de Ingeniería de la Universidad Javeriana. Ingeniera de proyectos del Centro de Estudios de Ergonomía de la Universidad Javeriana. m.monroy@javeriana.edu.co
- **Cristian Zea:** Profesor de la facultad de Ingeniería de la Universidad Javeriana. Máster en Ingeniería Industrial con Énfasis en Ergonomía de la Universidad Javeriana. Profesor de la Universidad Javeriana Vinculado al Centro de Estudios de Ergonomía. crzea@javeriana.edu.co
- **Ángela Ramírez:** Ingeniera Industrial de la Universidad Javeriana. Ingeniera de proyectos del Centro de Estudios de Ergonomía de la Universidad Javeriana. Angela.maria@javeriana.edu.co

- **Jorge Córdoba** Córdoba S. Jorge E.: Diseñador Industrial de la Universidad Javeriana. Master en Saludo Ocupacional de la Universidad del Rosario (Candidato). Diseñador vinculado al Centro de Estudios de Ergonomía de la Universidad Javeriana. cordobaj@javeriana.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería y de la International Federation of Engineering Education Societies

Copyright © 2013 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI), International Federation of Engineering Education Societies (IFEES)