

VALIDEZ ESTADÍSTICA DEL MODELO DE MEDIDA DE LAS 4PS DE ACTIVIDADES CAMBIOS RÁPIDOS

M.I. Yuridia Vega¹, Dr. Roberto Romero López², M.C. José Luis Rodríguez Verduzco³, Dr. José Manuel Villegas Izaguirre⁴ y M.C. Manuel Javier Rosel Solís⁵

Resumen: Algunos retos de las organizaciones hoy en día es aumentar la calidad, eficiencia y flexibilidad en sus procesos productivos, con el objetivo de ampliar y diversificar la oferta de productos y servicios que brindan al mercado. En este sentido, los cambios rápidos de modelo contribuyen a alcanzar estos retos. En este artículo se presenta la validación estadística del modelo de medida de un modelo conceptual de las 4Ps (compuesto de 4 factores críticos que son: Proceso, Producto, Personas y Práctica) que inciden en la implementación eficiente de las actividades de cambios rápidos de modelos. Se aplicó un instrumento, previamente validado, a 281 sujetos que participan en las actividades de cambios rápidos en la industria maquiladora de Baja California. Los resultados estadísticos muestran la validez del modelo teórico, al cumplirse con los índices de bondad y ajuste.

Palabras clave: Validez de modelo, modelo 4Ps, cambios rápidos, modelo de medida, factores críticos.

Introducción

Las actividades de cambios rápidos se pueden entender como el conjunto de actividades necesarias para establecer y/o ajustar elementos correctamente en el equipo de fabricación, con el fin de fabricar un nuevo producto con la calidad y velocidad de salida deseada (M. P. Reik, McIntosh, et al., 2006). El hacer más eficiente estas tareas permite disminuir los tiempos de cambio y a la vez incrementar la disponibilidad de la máquina y favorece a una producción flexible de alta mezcla y poco volumen, debido a que las intervenciones de cambios en los procesos son cortas (Mileham, A. R., Culley, S. J., McIntosh, R. I. and Owen, 2002). En este sentido, se han desarrollado metodologías que aportan grandes beneficios para acortar los tiempos de cambio de manera efectiva para la instalación de la máquina, cambios de modelos y ajustes de las líneas de producción (Chen et al., 2017), por ejemplo, herramientas de manufactura esbelta, automatización de procesos, metodología DFC, reingeniería de proceso, entre otras. Pero, pocas empresas analizan los factores y las variables que intervienen en el cambio para lograr mayor sostenibilidad de las mejoras en esta actividad. Fue Reik, quien en el año 2005, realizó un análisis de la metodología de cambios rápidos realizando la importancia de considerar los factores de diseño y factores organizacionales en el proceso de despliegue de esta metodología (M. Reik et al., 2005); y en el año 2006, publicó el modelo en el que identifica las 4p's (proceso, producto, práctica y persona) que afectan a las actividades de cambios rápidos como se aprecia en la Figura 1, así como un caso de aplicación enfocado al diseño de equipo y de fabricación flexible (M. P. Reik, Mcintosh, et al., 2006).

Como trabajo previo a esta investigación, se diseñó y validó un instrumento de medición, el cual quedó estructurado con 79 ítems distribuidos en 5 dimensiones (actividades de cambios rápidos, proceso, producto, persona y práctica). A partir de una revisión de literatura y una operacionalización de variables, dicho instrumento fue sometido a una prueba de validación por expertos, donde se evaluó la relevancia de los ítems con una prueba de hipótesis de concordancia de Kendall, dando como resultado una relevancia total del instrumento del 94% y un valor P de 0.029, por lo que se aceptó la hipótesis de que existe un acuerdo significativo entre los expertos en relación con los ítems contenidos en el instrumento de medición de las 4Ps. Una segunda prueba consistió en aplicar el instrumento a 31 sujetos para realizar una prueba de fiabilidad interna usando el estadístico alfa de Cronbach, dando como resultado un valor alfa de Cronbach de 0.974 con los 79 ítems analizados. Con este resultado, se concluyó que el instrumento es consistente para medir las 4Ps de las actividades de cambio rápido (Vega et al., 2019). Los 79 indicadores se desprendieron de 59 variables de las cuales a continuación se muestra la distribución en los factores.

¹ La Mtra. Yuridia Vega, Profesor -Investigador de Tiempo Completo de la Carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Autónoma de Baja California, Tijuana Baja California, México. vegay@uabc.edu.mx.

² El Dr. Roberto Romero López, Profesor-Investigador de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez Chihuahua, México. romero@uacj.mx.

³ M.C. José Luis Rodríguez Verduzco, Profesor -Investigador de Tiempo Completo de la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica de la Universidad Autónoma de Baja California, Tijuana Baja California, México. jrodriguez@uabc.edu.mx.

⁴ Dr. José Manuel Villegas Izaguirre, Profesor -Investigador de Tiempo Completo de la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica de la Universidad Autónoma de Baja California, Tijuana Baja California, México. villegas_josemanuel@uabc.edu.mx.

⁵ M.C. Manuel Javier Rosel Solís, Profesor -Investigador de Tiempo Completo de la Carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Autónoma de Baja California, Tijuana Baja California, México. mrosel@uabc.edu.mx.



Figura 1. Las “4Ps” de cambios rápidos. Fuente (M. P. Reik et al., 2006)

Para analizar las actividades de cambios de modelo se identificaron 7 variables correspondientes a las tareas necesarias para ejecutar el cambio; Entre ellas se encontró el desmontaje, ensamblaje, montaje, validación y control, separación de actividades internas y externas, planeación de cambio y ajustes. Mientras en la dimensión de Diseño que comprende el factor Producto y Proceso, se identificaron 32 variables que corresponde a la parte técnica para la fabricación del producto; en la tabla 1, se enlistan las variables de cada factor.

Tabla 1. Dimensión de diseño del modelo conceptual, comprendiente las variables de los factores de Producto y Proceso.

DIMENSIÓN DE DISEÑO		
Variables del Factor Producto	Variables del Factor Proceso	
✓ Documentación del producto	✓ Medición	✓ Simplificación
✓ Variedad de tamaños	✓ Proceso manual	✓ Estandarización
✓ Tamaño del lote	✓ Automatización	✓ Manejo
✓ Especificaciones de calidad	✓ Sistema de fijación modular	✓ Dispositivos de Sujeción
✓ Características estándar del producto	✓ Herramientas del fabricante	✓ Universalidad
✓ Costo/precio	✓ Manipulación	✓ Sistemas tolerantes a la variación
	✓ Ubicación herramientas	✓ Equipo de monitoreo/ Detección de desperdicios
	✓ Dispositivos de liberación rápida	✓ Sistemas a prueba y error
	✓ Elementos de ajustes	✓ Líneas de máquina
	✓ Transporte de las herramientas	✓ Identificación de piezas (color, grabado)
	✓ Limpieza	✓ Disminución del esfuerzo
	✓ Accesos a la máquina o herramientas	✓ Mantenimiento
	✓ Peso ligero de materiales	✓ Tareas dependientes

La dimensión de Organización es importante para el funcionamiento de las compañías, pues es la forma en cómo está organizada y dispone de los recursos para lograr mayor rentabilidad y competitividad empresarial. Esta se compone de los factores persona y práctica, identificándose 20 variables que se enlistan en la tabla 2.

Tabla 2. Dimensión de Organización del modelo conceptual, comprendiente las variables de los factores de Producto y Proceso.

DIMENSIÓN ORGANIZACIONAL	
VARIABLES DEL FACTOR PERSONA	VARIABLES DEL FACTOR PRÁCTICA
✓ Habilidades de las personas	✓ Estructura organizacional
✓ Esfuerzo físico	✓ Procedimientos Documentados
✓ Cultura	✓ Supervisión
✓ Capacitación/entrenamiento	✓ Seguimiento de procedimientos
✓ Compromiso	✓ Secuencia de trabajo
✓ Especialización	✓ Empleo de herramientas de mejora continua
✓ Calidad de las tareas	✓ Condiciones ambientales
✓ Trabajo en equipo (motivación, comunicación, liderazgo)	✓ Objetivos de la compañía
✓ Responsables de proyectos de mejora	✓ Seguridad
✓ Número de operadores	✓ Equilibrio de la carga de trabajo

En este trabajo se presentan los resultados de la validación del modelo de medida para medir la efectividad de las actividades de cambios rápidos en las industrias de manufactura de Baja California que permite evaluar la confiabilidad y la validez de los constructos propuestos.

Desarrollo

En esta investigación se utiliza un análisis factorial confirmatorio, a través de la técnica estadística multivariada de Modelo de Ecuaciones Estructurales (Structural Equation Modeling, SEM), que evalúa las relaciones de las variables dependientes y representa conceptos no observados (constructos) en estas relaciones, tomando en cuenta los errores de medida en las estimaciones (Escobedo et al., 2016). Se utiliza el modelo de medida, el cual representa las relaciones de las variables latentes con las variables indicadoras, con el objetivo de evaluar que las variables indicadoras seleccionadas miden correctamente al constructo (Cupani, 2012).

Materiales

Se utilizó el software Analysis of Moment Structures (AMOS) versión 24 para el modelado y cálculo de los parámetros del modelo, así como el software Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) versión 25 para el análisis estadístico de la base de datos, con 281 casos, los cuales forman parte de los resultados obtenidos de la aplicación del cuestionario de cambios rápidos en la industria maquiladora en Baja California; el sujeto de estudio fue el personal involucrado en estas actividades de cambio en el proceso. Cupani (2012) recomienda un mínimo de 200 casos para cualquier caso de aplicación de Ecuaciones Estructurales, lo cual se logró en la presente investigación.

Método

La metodología se llevó a cabo mediante los siguientes cuatro pasos:

I. Se diseñó un diagrama estructural o de sendero del modelo de medida en el software AMOS, el cual permitió visualizar de manera gráfica todos los elementos del modelo teórico. Se estimó la identificación del modelo, mediante el método de máxima verosimilitud (ML, Maximum Likelihood), al cumplir con los requisitos de tamaño de muestra, medidas de nivel intervalar y normalidad multivariada (Medrano & Muñoz-Navarro, 2017; Pérez et al., 2013).

II. Se estimó la validez convergente. La validez convergente mide la validación de los indicadores dentro de cada constructo. Esta validez se evaluó mediante la varianza extraída (AVE) y la fiabilidad compuesta del constructo (CR). Si el AVE es superior a 0.5 indica que los indicadores explican bien al constructo, y el CR debe ser mayor a 0.7. En caso de ser menor al valor puede deberse a las cargas individuales de los indicadores o bien que el tamaño de la muestra considerada no es suficiente aún (García, 2011).

III. Se estimaron las medidas para comprobar la calidad del modelo de medida. Las más recomendadas por la literatura incluyen: la razón de chi-cuadrado sobre los grados de libertad (CMIN/DF), debiendo ser menor que 3, el índice de ajuste comparativo (CFI) y el índice de bondad de ajuste (GFI), que varían entre 0 y 1, donde el valor de 1, indican un ajuste perfecto, valores superiores a 0.9 sugieren un ajuste satisfactorio y 0.95 un ajuste óptimo, y el error residual cuadrático promedio de aproximación (RMSEA), donde valores por debajo de 0.05 se considera un buen ajuste, y por debajo de 0.08 un ajuste aceptable (Cupani, 2012; Huerta Wong, 2012).

IV. Se estimaron las cargas factoriales de regresión de cada indicador, considerándose aceptables mayores a 0.7 y en caso de modelos complejos las cargas factoriales deben ser mayores a 0.5.

Pruebas y resultados

Análisis de Datos

Con la muestra requerida para análisis factorial confirmatorio, se utilizó el software AMOS para la validación de los factores a partir del modelo de medida, el cual evaluó la relación entre indicadores y sus correspondientes factores. Esto permite describir cómo está explicada la varianza (Vargas Halabí & Mora-Esquivel, 2017).

Para ser válido el análisis se requirió cumplir con la normalidad multivariada en donde el valor crítico de la curtosis debe ser inferior a 1.96, y para este conjunto de datos se cumplió al obtener un valor crítico de 1.73.

Mediante el diagrama de sendero, que se muestra en la Figura 2, se estimó el modelo, obteniendo un modelo sobre identificado con 2,992 grados de libertad y se contrasta la hipótesis nula de igualdad de matriz de covarianzas nula contra la reproducida, con un valor chi cuadrada de 6288.350251 y un valor P de 0.0000, rechazando la hipótesis nula; por lo tanto, podemos asegurar estadísticamente que las matrices de covarianzas son diferentes.

Diseño del diagrama de Sendero.

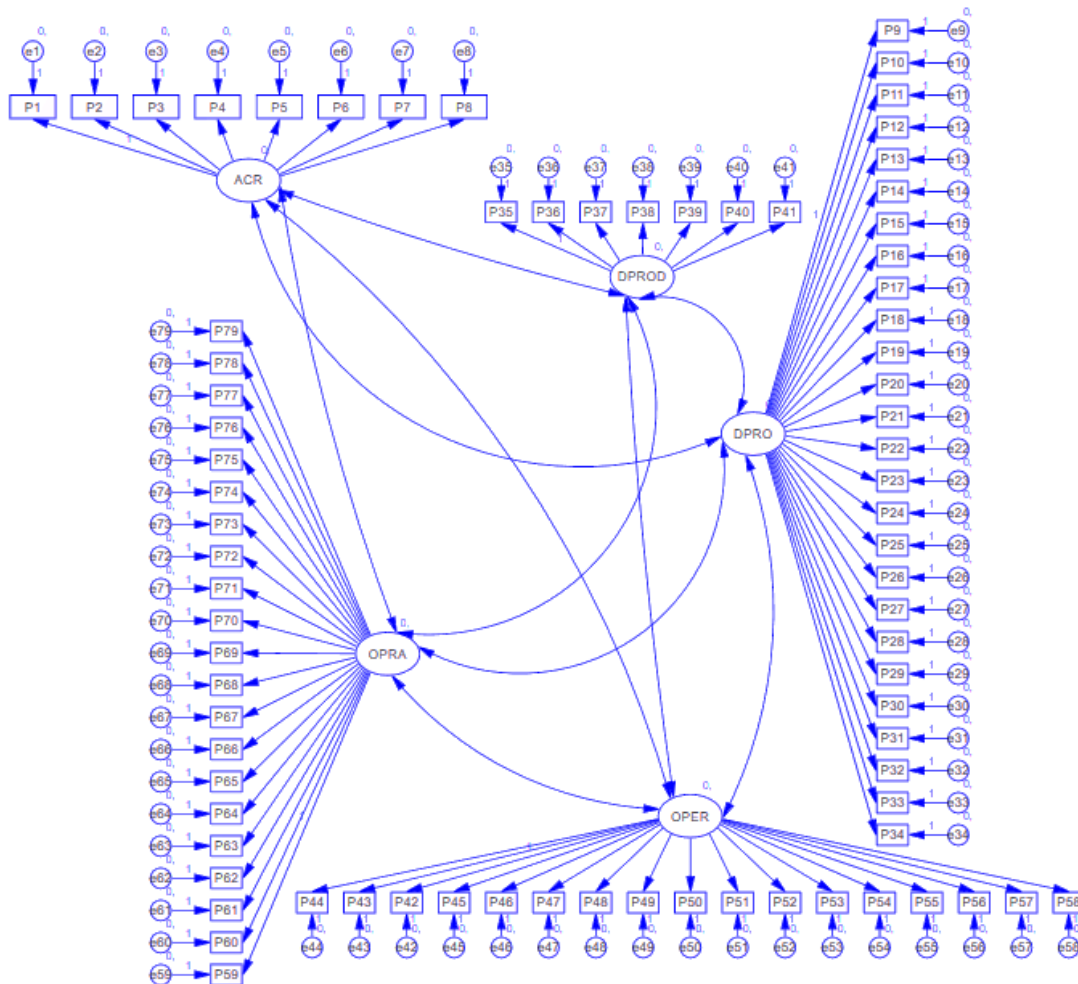


Figura 2. Diagrama de sendero del modelo de medida de los factores de las 4Ps de Cambios Rápidos.

Validez Convergente

Para que exista validez convergente, se debe cumplir con la fiabilidad de los constructos donde el criterio es que el $CR > 0.7$ y el AVE, mayor a 0.5. Para cumplir con estos criterios, se analizaron las cargas factoriales estandarizadas y se eliminaron ítems con valores de correlación por debajo de 0.4. Con esto se eliminaron 20 indicadores como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Indicadores eliminados por constructo

Factor	Número de indicadores eliminados	Indicadores eliminados
ACR	2	1, 2
Proceso	9	10, 11, 14, 19, 22 23,28,30, 34
Producto	2	35,39
Persona	4	43, 49, 50,53
Práctica	3	76, 78,79
Total	20	

Esto permitió lograr la validez convergente como se aprecia en la tabla 4 y confiabilidad del factor al mostrar los valores del CR en su mayoría superiores a .90 y el AVE por arriba del valor de corte de 0.5.

Tabla 4. Índices CR y AVE por factor

Factor	CR	AVE
ACR	0.904	0.584
Proceso	0.945	0.507
Producto	0.84	0.517
Persona	0.93	0.507
Práctica	0.958	0.562

Estimación de la calidad del modelo de medida

En la tabla 5, se aprecia los índices de ajuste absoluto del modelo para un tamaño de la muestra de 281 casos válidos, dando como resultado que el modelo global tiene un buen ajuste. Respecto a los índices de ajuste comparativos, obtuvimos un ajuste moderado al ser menor de 0.90 y en el ajuste de parsimonia se mostró un resultado bajo, lo que indica que en cierta medida los factores se relacionan con la teoría que los sustenta (Cupani, 2012; Escobedo et al., 2016; Huerta Wong, 2012).

Tabla 5. Índices de ajuste del modelo de medida

Estadístico	Abreviatura	Criterio	Valor	Decisión
Ajuste Absoluto				
Chi cuadrada	X2	$p \leq 0.05$	0	Aceptado
Razón Chi-cuadrado / grados de libertad	X2/ gl	Menor que 3	2.612	Aceptado
Raíz del residual cuadrático promedio de aproximación	RMSEA	Menor 0.08	0.071	Aceptado
Ajuste Comparativo				
Índice de bondad de ajuste comparativo	CFI	≥ 0.90	0.716	Aceptación Moderada
Índice de Tucker -Lewis	TLI	≥ 0.90	0.704	Aceptación Moderada
Ajuste Parsimonia				
NFI corregido por parsimonia	PCFI	Próximo a 1	0.611	Bajo

Análisis de las cargas de los indicadores

Se consideran cargas factoriales aceptables valores mayores a 0.5. En la tabla 6, se pueden observar los indicadores críticos en cada uno de los factores, y que todos están por arriba de este criterio, lo que nos indicaba que cada uno de ellos aporta información al factor de predicción.

Tabla 6. Cargas factoriales por indicador

Indicador	Factor	Carga	Indicador	Factor	Carga	Indicador	Factor	Carga
P3	ACR	0.677	P31	Proceso	0.603	P58	Persona	0.55
P4	ACR	0.728	P32	Proceso	0.554	P59	Práctica	0.634
P5	ACR	0.807	P33	Proceso	0.643	P60	Práctica	0.692
P6	ACR	0.785	P36	Producto	0.599	P61	Práctica	0.613
P7	ACR	0.742	P37	Producto	0.681	P62	Práctica	0.596
P8	ACR	0.709	P38	Producto	0.608	P63	Práctica	0.545
P9	Proceso	0.622	P40	Producto	0.748	P64	Práctica	0.596
P12	Proceso	0.507	P41	Producto	0.735	P65	Práctica	0.645
P13	Proceso	0.634	P42	Persona	0.541	P66	Práctica	0.627
P15	Proceso	0.634	P44	Persona	0.646	P67	Práctica	0.719
P16	Proceso	0.608	P45	Persona	0.524	P68	Práctica	0.637
P17	Proceso	0.643	P46	Persona	0.639	P69	Práctica	0.741
P18	Proceso	0.631	P47	Persona	0.656	P70	Práctica	0.708
P20	Proceso	0.561	P48	Persona	0.66	P71	Práctica	0.706
P21	Proceso	0.524	P51	Persona	0.55	P72	Práctica	0.659
P24	Proceso	0.597	P52	Persona	0.668	P73	Práctica	0.656
P25	Proceso	0.662	P54	Persona	0.507	P74	Práctica	0.729
P26	Proceso	0.638	P55	Persona	0.625	P75	Práctica	0.712
P27	Proceso	0.503	P56	Persona	0.719	P77	Práctica	0.618
P29	Proceso	0.622	P57	Persona	0.56			

Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos en este modelo de medida, se logró apreciar que el análisis de ecuaciones estructurales es una herramienta muy eficaz para la evaluación de modelos teóricos, resaltando en este avance de la investigación un diseño de modelo que cumple para evaluar la efectividad de actividades de cambios rápidos a través de los factores de Proceso, Producto, Persona y Práctica.

Para favorecer los índices de Ajuste Comparativo y de Parsimonia, se ampliará el tamaño de muestra a mínimo 5 casos por indicador, esperando un ajuste más cercano a los valores de corte. Como trabajo futuro se pretende realizar el modelo estructural y validar las hipótesis estadísticas establecidas en el modelo teórico, así como también aplicarlo en la industria de Baja California en proyectos de mejora cambios de modelo y con ello enfocarnos en factores críticos para mejorar los tiempos.

Referencias

- Chen, S., Fan, S., Xiong, J., & Zhang, W. (2017). The Design of JMP/SAP Based Six Sigma Management System and its Application in SMED. *Procedia Engineering*, 174, 416–424. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.161>
- Cupani, M. (2012). Análisis de Ecuaciones Estructurales: conceptos, etapas de desarrollo y un ejemplo de aplicación. *Revista Tesis*, 1(2), 186–199.
- Escobedo, M., Hernández, J., Estebané, V., & Martínez, G. (2016). Modelos de ecuaciones estructurales: Características, fases, construcción, aplicación y resultados. *Ciencia & Trabajo*, 18(55), 16–22. <https://doi.org/10.4067/S0718-24492016000100004>
- García, M. Á. (2011). Análisis Causal Con Ecuaciones Estructurales De La Satisfacción Ciudadana Con Los Servicios Municipales. *Eio.Usc.Es*, 1–125. http://eio.usc.es/pub/mte/descargas/proyectosfinmaster/proyecto_610.pdf
- Huerta Wong, J. E. (2012). *Modelos de Ecuaciones Estructurales con AMOS*. 31(1), 49. <https://doi.org/10.1126/science.335.6073.1168-a>
- Medrano, L. A., & Muñoz-Navarro, R. (2017). Aproximación conceptual y práctica a los Modelos de Ecuaciones Estructurales. *Revista Digital de Investigación En Docencia Universitaria*, 11(1), 219–239. <https://doi.org/10.19083/ridu.11.486>
- Mileham, A. R., Culley, S. J., McIntosh, R. I. and Owen, G. W. (2002). The development of a design for changeover methodology. *In: International Forum on DFMA, 2002-01-01*.
- Pérez, E., Medrano, L. A., & Rosas, J. S. (2013). El Path Analysis: conceptos básicos y ejemplos de aplicación. *Revista Argentina de Ciencias Del Comportamiento*, 5(1), 52–66. <https://doi.org/10.1002/heh.1011>
- Reik, M., McIntosh, R., Owen, G., Mileham, A., & Culley, S. (2005). THE DEVELOPMENT OF A SYSTEMATIC DESIGN FOR CHANGEOVER METHODOLOGY Reik. *International Conference on Engineering Design, ICED'05, 2005*, 1–26.
- Reik, M. P., McIntosh, R. I., Culley, S. J., Mileham, A. R., & Owen, G. W. (2006). A formal design for changeover methodology. Part 1: theory and background. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 220, 1225–1235. <https://doi.org/10.1243/09544054JEM527>
- Reik, M. P., McIntosh, R. I., Culley, S. J., Mileham, A. R., & Owen, G. W. (2006). A formal design for changeover methodology. Part 2: theory and background. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering*

Manufacture, 220(8), 1225–1235. <https://doi.org/10.1243/09544054JEM527>

- Vargas Halabí, T., & Mora-Esquivel, R. (2017). Tamaño de la muestra en modelos de ecuaciones estructurales con constructos latentes: Un método práctico. *Actualidades Investigativas En Educación*, 17(1). <https://doi.org/10.15517/aie.v17i1.27294>
- Vega, Y., Romero-López, R., Barboza-Tello, N. A., Pimentel-Mendoza, A. B., & Rosel-Solis, M. J. (2019). Indicators for Measuring Changeover Activities : Operationalization of 4Ps model of Changeovers. In eEditorial Discovery@ System (Ed.), *Evaluating Mental Workload for Improved Workplace Performance* (pp. 214–236). <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-1052-0.ch010>

Notas Biográficas

La **M.I. Yuridia Vega** es egresada de la carrera de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería y Negocios Tecate. Realizó su Maestría en la misma institución en el área de Ingeniería en la especialidad Producción-Calidad. Cuenta con experiencia en la aplicación de metodologías de calidad, aseguramiento de la calidad y mejora de procesos. Cuenta con proyectos y publicaciones enfocadas a la mejora continua de procesos productivos. Cuenta con el reconocimiento a Perfil Deseable otorgado por la Secretaría de Educación Pública y nombramiento como Profesor Investigador otorgado por la UABC. Ha presentado varios trabajos en congresos de carácter nacional e Internacional. Actualmente estudia el Doctorado en Tecnología en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

El **Dr. Roberto Romero López** es Ingeniero Industrial Mecánico por el Instituto Tecnológico de Veracruz. Realizó la Maestría en Ingeniería Industrial con especialidad en Sistemas de Calidad en el Instituto Tecnológico de Orizaba y es Doctor en Ciencias de la Administración por la Universidad Nacional Autónoma de México. Actualmente es Coordinador del Programa de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura, de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez y miembro del Cuerpo Académico de Calidad y Optimización.

El **M.C. José Luis Rodríguez** es Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Sonora con Maestría en Ciencias en Sistemas Digitales por el Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital del Instituto Politécnico Nacional. Cuenta con amplia experiencia en el área de Instrumentación y Control. Tiene el nombramiento como Profesor Investigador otorgado por la UABC. Ha realizado estancias en empresas desarrollando proyectos de automatización. Ha presentado trabajos en congresos internacionales y nacionales referentes a las áreas de Control, Desarrollo de Software Industrial y Didáctico.

El **M.C. Manuel Javier Rosel Solís** es egresado de la carrera de Ingeniería Industrial y de Sistemas del Instituto Tecnológico de Sonora, con Maestría en Ciencias en Diseño y Procesos de Manufactura en CETYS Universidad. Cuenta con experiencia en las áreas de Diseño y Manufactura. Ha realizado proyectos y publicaciones enfocadas a la mejora continua de procesos productivos. Cuenta con el reconocimiento a Perfil Deseable otorgado por la Secretaría de Educación Pública y nombramiento como Profesor Investigador otorgado por la UABC. Ha presentado varios trabajos en congresos de carácter nacional. Actualmente estudia el Doctorado en Tecnología en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.