



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**DESARROLLO DE UN PROCEDIMIENTO TÉCNICO PARA EVALUAR LA
FACTIBILIDAD DE LA AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES
BASADOS EN HERRAMIENTAS MANUALES**

Autor

Castro M., Irwin O.

CI. 6.208.858

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394

REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ELECTRÓNICA

**DESARROLLO DE UN PROCEDIMIENTO TÉCNICO PARA
EVALUAR LA FACTIBILIDAD DE LA AUTOMATIZACIÓN DE
PROCESOS INDUSTRIALES BASADOS EN HERRAMIENTAS
MANUALES**

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de
INGENIERO ELECTRÓNICO

Autor: **Irwin O. Castro M.**
CI. 6.208.858

Tutor: **Prof. Raniere Alezones**

San Diego, Diciembre de 2018



Universidad José Antonio Páez
Facultad de Ingeniería

FI-E -002-2018-IICR

Valencia, 06 de Noviembre de 2018

Ciudadano:

Irwin Castro
C.I: 6.208.858
Presente.-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° **01-2018** de fecha **06-11-2018** aprobó el proyecto de trabajo de grado **DESARROLLO DE UN PROCEDIMIENTO TÉCNICO PARA EVALUAR LA FACTIBILIDAD DE LA AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES BASADOS EN HERRAMIENTAS MANUALES** presentado por usted como requisito para optar al título de Ingeniero Electrónico.

Se ratifica la designación del Ing, Raniere Alezones C.I: 8.843.809 y la Ing. Alicia Yáñez, C.I.: 4.598.880 como Tutores Académicos que lo asesorarán en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,

Prof. Zulay Salcedo
Decana de la Facultad de Ingeniería

c. c. **Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado (1).**

ZS/fr

REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ELECTRÓNICA

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Raniere Alezones, portador de la cédula de identidad N° 8.843.809, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por el ciudadano Irwin Castro, portador de la cédula de identidad N° 6.208.858, titulado **DESARROLLO DE UN PROCEDIMIENTO TÉCNICO PARA EVALUAR LA FACTIBILIDAD DE LA AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES BASADOS EN HERRAMIENTAS MANUALES**, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Electrónico, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 14 días del mes de Diciembre del año 2018.

Raniere Alezones

Cédula de Identidad N° 8.843.809

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO

pp.

LISTA DE CUADROS	viii
LISTA DE GRÁFICOS	ix
RESUMEN INFORMATIVO	x
INTRODUCCIÓN	1
Capítulo	
I. EL PROBLEMA	
1.1 Planteamiento del Problema	4
1.2 Formulación del Problema	6
1.3 Objetivos	6
1.3.1 Objetivo General	6
1.3.2 Objetivos Específicos	6
1.4 Justificación	6
1.5 Alcance	8
II. MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes	10
2.2 Bases Teóricas	11
2.2.1 Metodología	11
2.2.2 Factibilidad	12
2.2.3 Automatización	13
2.2.4 Estándares, normas y buenas prácticas	14
2.2.5 Metodología GEMMA	16
2.2.6 Soldadura.....	17
2.2.7 Diseño de Modelos	19
2.3 Definición de términos básicos	19

III. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Nivel de Investigación	23
3.2 Diseño de Investigación	23
3.3 Tipo de Investigación.....	24
3.4 Población y Muestra	24
3.5 Instrumentos y Técnicas de Recolección de Datos	25
3.6 Fases Metodológicas	26

IV. RESULTADOS

4.1 Fase I: Diagnóstico	29
4.2 Fase II: Desarrollo del Procedimiento Técnico	37
4.3 Fase III: Aplicación del Procedimiento Técnico al Caso de Estudio	43
4.4 Fase IV: Evaluación del Procedimiento Técnico	44

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones	46
5.2 Recomendaciones	47

REFERENCIAS

Impresas.....	30
Electrónicas.....	31

ANEXOS

- A. Encuesta diagnóstico sobre estándares para automatización.
- B. Resultados de encuesta diagnóstico sobre estándares para automatización (preguntas de la 4 a la 14).
- C. Procedimiento Técnico No. PT-DP-AI-01-R0: Evaluación de factibilidad técnica de la automatización de procesos industriales.

- D. Entregables producto de la aplicación del Procedimiento Técnico No. PT-DP-AI-01-R0 al caso de estudio.
- E. Encuesta de evaluación del procedimiento.
- F. Resultados de la aplicación de la encuesta de evaluación.

**LISTA DE CUADROS Y TABLAS
CONTENIDO**

pp.

Cuadro

Tabla

1. Respuesta a Pregunta No. 4 de encuesta diagnóstico sobre estándares para automatización. 36

LISTA DE GRÁFICOS Y FIGURAS

CONTENIDO

pp.

Gráfico

Figura

1. Figura 1: Flujograma del proceso de evaluación de factibilidad que describe las tareas correspondientes al Dominio I del ISA Certified Automation Professional® (CAP®) Classification System.
..... 42

REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE ELECTRÓNICA

**DESARROLLO DE UN PROCEDIMIENTO TÉCNICO PARA
EVALUAR LA FACTIBILIDAD DE LA AUTOMATIZACIÓN DE
PROCESOS INDUSTRIALES BASADOS EN HERRAMIENTAS MANUALES**

Autor: Irwin O. Castro M.

Tutor: Prof. Raniere Alezones

San Diego, Diciembre de 2018

RESUMEN INFORMATIVO

El trabajo de grado describe la elaboración y contenido de un procedimiento técnico que permite evaluar la factibilidad de acometer proyectos de automatización de procesos industriales en general, incluyendo una sección que analiza el caso particular de aquellos que, siendo existentes, emplean herramientas o equipos electromecánicos de operación manual, que se pretende mantener como elementos actuadores principales en el arreglo de los futuros procesos automatizados. El alcance del procedimiento se limita a evaluar la factibilidad desde el punto de vista técnico referente a la automatización. La propuesta se basa en la idea de que evaluar la factibilidad técnica de un proyecto de automatización industrial equivale a desarrollar su ingeniería conceptual e implica suministrar la información mínima necesaria que permitirá realizar los análisis financieros pertinentes. Con el instrumento resultante se pretende asistir y dar soporte a la toma de decisiones que se presenta como parte de los proyectos de mejora de procesos productivos industriales, destacando la idea de aprovechar, en la medida de lo posible, los recursos y equipos con los cuales se cuenta. Se analiza el caso particular de la automatización del proceso de soldadura de láminas de acero mediante el proceso GMAW en un taller de fabricación de estructuras metálicas. El trabajo de grado pretende contribuir a la elaboración de un estándar que recoja las mejores prácticas aplicables e integre los aspectos gerenciales y tecnológicos asociados a los proyectos de automatización industrial.

Descriptor: Metodología, Factibilidad, Automatización, Soldadura, GMAW.

INTRODUCCIÓN

Cuando se piensa en mejorar la productividad de una planta industrial o la calidad de sus productos suele surgir la idea de automatizar los procesos productivos que se llevan a cabo en esa instalación fabril. La automatización como vía para optimizar los procesos productivos puede enfocarse al logro de distintos objetivos; no obstante, tales objetivos deben ser definidos con la mayor precisión posible y deben ser expresados en función de las implicaciones técnicas y económicas que supone su realización.

El campo de aplicación de la automatización es muy amplio, tan amplio que se puede afirmar, con poco riesgo de incurrir en error o exceso, que hay tantas aplicaciones de la automatización como productos, y que todos los procesos requeridos para la manufactura de tales productos son susceptibles de ser automatizados. Puede entonces parecer obvia la respuesta a la pregunta de si es factible técnicamente automatizar un determinado proceso industrial; sin embargo, la pregunta que subyace en el cuestionamiento sobre la factibilidad técnica de un determinado proyecto es: ¿cuál es la mejor opción para lograr los objetivos de la automatización para este caso particular? La idea que motiva el análisis es la búsqueda de una solución que maximice la relación beneficio/costo, dentro de las restricciones propias del caso de estudio específico.

Ahora bien, si se puede aceptar que los campos de aplicación de la automatización son tan numerosos y variados, cabe suponer también que los enfoques y procedimientos que se aplican para desarrollar los proyectos de automatización también serán muy numerosos y variados, lo cual implica que pueden ser influidos por un sin número de variables. De esta premisa se origina la inquietud por desarrollar un procedimiento que sea tan general, que pueda ser aplicado a cualquier caso particular que se presente para su estudio. Se pretende que la aplicación de este procedimiento de trabajo sirva de guía para

obtener la información que necesitan las personas a cargo de la cuantificación de la inversión necesaria y la evaluación económica-financiera, que en última instancia determinará su viabilidad y será el sustento de la toma de decisiones sobre la ejecución del proyecto de automatización industrial.

Se entiende que el resultado del presente proyecto de investigación será un procedimiento técnico que permita llevar a cabo una secuencia sistemática de actividades para analizar la factibilidad técnica de proyectos de automatización de procesos industriales, garantizando que en cada caso se tengan en consideración las mejores prácticas aplicables y se documente el proceso de evaluación seguido y sus conclusiones, dando como resultado la ingeniería conceptual y básica que se recomienda adoptar como solución más apropiada.

El proyecto a desarrollar se propone tender un puente que comunique la gerencia y la tecnología, por lo tanto, tiene un componente orientado a la aplicación de las buenas prácticas de la gerencia de ingeniería y gestión de proyectos en general, así como un segundo componente que puede calificarse de tecnológico, puesto que está referido específicamente a la disciplina de automatización industrial. Se pretende contribuir a la creación de estándares aplicables a los proyectos de automatización, que fomenten el incremento de iniciativas y capacidades locales en la materia.

Se consideró que una buena manera de evidenciar los beneficios concretos de desarrollar la metodología sería su aplicación a un caso de estudio particular, por lo que se optó por tratar el caso de la automatización de una línea de soldadura de láminas de acero empleando máquinas para soldar mediante GMAW que actualmente son empleadas en una empresa dedicada a la fabricación de estructuras metálicas.

El desarrollo de este trabajo de grado se encuentra estructurado de la siguiente manera:

Capítulo I, denominado “El Problema”, en el que se expone la necesidad de contar con un procedimiento técnico que sirva como recurso para analizar y desarrollar proyectos de automatización de procesos industriales. En él se definen los objetivos, tanto generales como específicos, y se presenta la justificación de la investigación.

En el capítulo II, Marco Teórico, se mencionan los diferentes antecedentes que sirvieron de base referencial para el desarrollo del trabajo de grado y las bases teóricas que la sustentan.

En el capítulo III, Marco Metodológico, se plantea la metodología empleada en la investigación, exponiéndose el tipo de investigación y las fases metodológicas que contemplan las actividades que se desarrollarán para cumplir los objetivos formulados.

En el Capítulo IV, Resultados, se describe cómo se implementaron las actividades llevadas a cabo, según fueron propuestas en el Marco Metodológico, y se presentan los productos obtenidos de cada una de las fases metodológicas.

Y finalmente en el capítulo V, titulado Conclusiones y Recomendaciones, se resumen los aportes obtenidos al desarrollar la investigación, resaltando sus implicaciones, aclarando las limitaciones o condicionantes de los resultados y proponiendo posibles proyectos para dar continuidad y mejorar el producto del presente estudio.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema.

La necesidad de optimizar los procesos en una industria de manufactura se presenta por diferentes razones, siempre impulsadas por el deseo de lograr objetivos alineados con las estrategias comerciales que la empresa ha adoptado para cumplir su misión y alcanzar el estado plasmado en su visión. Es así como suelen plantearse como metas la necesidad de elevar la calidad de los productos, aumentar el volumen de producción, reducir los costos, minimizar riesgos de seguridad o desarrollar un nuevo bien material o servicio, entre otros. El logro de objetivos como los mencionados puede verse limitado por las características propias de los equipos de producción existentes en las instalaciones industriales, lo cual conlleva, en un alto porcentaje de los casos, a proponer un mayor grado de automatización, ya sea en lo relativo a los procesos en general, como en lo referente a los equipos que conforman las líneas de producción.

Ya sea que se trate de automatizar procesos que integran diferentes actividades y recursos, o que se trate de contar con equipos automatizados específicos que lleven a cabo ciertas tareas dentro de algún subproceso, la pregunta que con frecuencia se plantea es: ¿son aprovechables los equipos existentes que operan en la planta actualmente? O, por el contrario, ¿deben desecharse por completo los equipos existentes y optar por la compra de nuevos equipos?

Las respuestas a las interrogantes recién formuladas no siempre resultan obvias y, por tanto, deben ser producto de un análisis sistemático y riguroso que permita evaluar de manera objetiva la factibilidad técnica de automatizar

total o parcialmente los equipos y líneas de producción que se tienen en la planta, con el fin de suministrar la información requerida por los encargados de tomar las decisiones sobre los proyectos a emprender y las correspondientes inversiones a realizar.

El caso de estudio que se propone analizar se lo ha planteado la empresa Constructora Rigel C.A. (RIGELCA), quien como fabricante de estructuras metálicas ha visto la necesidad de producir en su propio taller, perfiles estructurales elaborados a partir de láminas de acero soldadas entre sí, que luego serían procesados en las diferentes estaciones de trabajo que operan en la actualidad. Para RIGELCA resulta evidente que fabricar perfiles estructurales a partir de láminas soldadas empleando los recursos y equipos de los cuales dispone en el presente, implicaría un proceso altamente artesanal, intensivo en el uso de mano de obra calificada, que resultaría en bajos volúmenes de producción, todo lo cual anula la posibilidad de ser económicamente competitivo en la producción de tales perfiles estructurales.

Existe la posibilidad de adquirir de algún proveedor en el extranjero una línea comercial de producción que permita la fabricación de los perfiles estructurales electrosoldados a partir de láminas de acero; pero tal posibilidad implica un monto de inversión que, de acuerdo a los resultados de su estudio de mercado, por los volúmenes de producción estimados y la disponibilidad de recursos financieros de la empresa, resulta económicamente inviable.

No obstante lo anterior, RIGELCA ha considerado de interés el evaluar la posibilidad de automatizar algunos de los equipos de soldadura por GMAW que posee, para emplearlos en la fabricación de perfiles electrosoldados. Mediante el uso del procedimiento que se propone desarrollar se espera poder determinar si es técnicamente factible implementar una línea automática de soldadura de láminas de acero, empleando los equipos para GMAW disponibles en la actualidad, para lograr el objetivo de fabricar perfiles

electrosoldados, al tiempo que se obtienen los documentos que describen la ingeniería conceptual de tal proyecto de automatización.

1.2 Formulación del Problema.

La empresa RIGELCA se ha planteado el proyecto de producir en su propio taller, perfiles estructurales elaborados a partir de láminas metálicas soldadas entre sí y entiende que la automatización del proceso de soldadura es la clave de tal proyecto; sin embargo, entiende también que sus equipos para GMAW tienen la capacidad de ejecutar las soldaduras requeridas, pero están limitados porque requieren accionamiento manual. ¿Cómo puede RIGELCA determinar si es técnicamente factible automatizar los equipos para soldar mediante GMAW de los cuales dispone actualmente en su taller, para lograr el objetivo de fabricar perfiles electrosoldados?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General.

Desarrollar un procedimiento técnico para evaluación de la factibilidad de la automatización de procesos industriales basados en herramientas manuales que sea aplicable al caso de estudio de RIGELCA en relación a la soldadura de láminas de acero.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Diagnosticar la situación actual de los recursos para evaluación de factibilidad de proyectos de automatización industrial.
2. Desarrollar una guía metodológica para evaluar la factibilidad técnica de la automatización de procesos industriales.
3. Aplicar la metodología desarrollada al caso de estudio.
4. Evaluar la metodología desarrollada.

1.4 Justificación

Los campos de aplicación de la automatización son muy numerosos y diversos. Casi cualquier tarea que podamos imaginar es susceptible de ser automatizada. Los enfoques posibles para aproximarse a la solución de un

problema que se presume pueda resolverse mediante la automatización muy posiblemente dependerán del nivel de conocimientos y experiencia de la persona que se plantea el reto de automatizar. Además es necesario tomar en consideración que quienes deciden sobre la ejecución de un proyecto de mejoras no necesariamente tienen conocimientos sobre automatización, por lo tanto no tienen certeza sobre el contenido de la información técnica que deben recibir para apoyar sus propios análisis y posteriores decisiones.

La automatización tiene pros y contras que deben contrastarse y evaluarse de manera objetiva. Son muchos los aspectos a considerar cuando se evalúa un proyecto de automatización y es conveniente que ninguno de esos aspectos deje de ser considerado apropiadamente. Muchos proyectos pueden ser desechados prematuramente por no llevar a cabo una evaluación completa y objetiva de la situación a resolver o mejorar.

Las decisiones que deben tomarse al evaluar una alternativa que implica automatización pueden verse influenciadas por prejuicios respecto a la tecnología en general o a algún tipo de tecnología en particular. Las decisiones de los inversores pueden verse muy influenciadas por la publicidad de fabricantes de soluciones comerciales, que no siempre son las requeridas para solucionar los problemas específicos que originan el proyecto, con lo cual puede incurrirse en gastos que exceden lo requerido para lograr una solución “a la medida” del interesado.

El caso particular de empresas que poseen equipos que permiten llevar a cabo de manera manual los procesos que se propone automatizar, difiere de los casos en que se inicia el análisis sin ninguna restricción. Partir de la premisa de que es deseable, si se justifica, mantener los equipos existentes también debe ser incorporado al análisis de factibilidad técnica. El uso de equipos que ya se encuentren a disposición de la planta puede favorecer la viabilidad del proyecto de mejora y automatización, al reducir los montos de inversión

requeridos; sin embargo, la conveniencia de su utilización debe ser evaluada desde diferentes puntos de vista que deberán ser ponderados adecuadamente.

La intención es lograr un procedimiento para aplicar en la evaluación de factibilidad técnica de procesos de automatización industrial. El procedimiento técnico pretende hacer más accesible la aproximación a la solución de problemas de automatización en general. La existencia de una guía que apoye las decisiones de inversión en automatización puede favorecer la implementación de soluciones modulares, de ejecución en etapas progresivas, ajustadas a las posibilidades y expectativas de los patrocinadores, desarrolladas “in house”, con mayor valor agregado nacional, menor empleo de divisas y menores montos de inversión en general.

El desarrollo de este trabajo de investigación se justifica por la necesidad que existe de contar con una guía para aplicar un método que permita evaluar la factibilidad técnica de llevar a cabo procesos de automatización, empleando las mejores prácticas en la materia, tanto gerencial como tecnológica, y generando un consenso sobre requerimientos mínimos aplicables.

El desarrollo de capacidades nacionales para la ejecución de proyectos de automatización se puede ver favorecido por la disponibilidad de un procedimiento que oriente el proceso de evaluación de la factibilidad técnica.

1.5 Alcance

Aunque un estudio de factibilidad en general comprende diferentes tipos de análisis, el presente trabajo de investigación concentra su atención en los aspectos que determinan la factibilidad técnica, que constituye tan solo uno de los asuntos analizados dentro de los estudios de factibilidad de proyectos.

El estudio está limitado a la evaluación de las posibilidades de implementación de proyectos de automatización para aplicaciones industriales. Quedan excluidos del análisis los proyectos que se refieren exclusivamente a la automatización de los servicios para edificaciones (building automation) o a la

automatización de procesos administrativos con base a aplicaciones de tecnologías de información y comunicaciones.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la Investigación

Palma, Y. y Rojas, R. (2015) en su investigación titulada **Metodologías para la automatización de procesos industriales GPM y Meta-Proceso**, desarrollada en la Universidad de Oriente (Venezuela), exponen, en primer lugar dos alternativas viables para la planificación, desarrollo y supervisión de distintos proyectos. Los autores se plantearon los objetivos, alcance, fundamentos y beneficios de la metodología GPM, enmarcada en el concepto de mejores prácticas para la Gerencia de Proyectos Menores y la metodología Meta-Procesos de la industria petrolera nacional (PDVSA), dirigida al desarrollo de proyecto de tecnologías de información TI. Aunque no contemplan procesos industriales de manufactura, se considera que existe coincidencia entre los objetivos que persigue el trabajo de Palma, Y. y Rojas, R. y los que se plantean en el presente proyecto de investigación, particularmente en el componente gerencial.

Por otra parte, Jiménez, E. (2004) desarrolló el proyecto titulado **Técnicas de automatización avanzadas en procesos industriales**, en el que señala como pilares básicos de su trabajo, entre otros, temas como procesos industriales, SCADAs, GRAFCET y Redes de Petri, simulación de procesos y autómatas programables (PLCs), que constituyen una amplia base para el desarrollo de una metodología orientada a la evaluación de la factibilidad técnica de proyectos de automatización, pues trata los aspectos técnicos de mayor relevancia en un proyecto de esta naturaleza e incluye también aspectos metodológicos. Se considera muy pertinente el hecho de que esta investigación de Jiménez, E. aplica algunos de los resultados obtenidos a un caso de estudio,

una planta cerámica, que para el momento se encontraba entre las más modernas a nivel mundial.

Rodríguez, L. (2011) en su trabajo **GEMMA Una Herramienta Universal para la Automatización de Procesos**, expone las necesidades que llevaron a la creación de la plataforma GEMMA, que se considera una metodología recomendada para guiar el diseño de sistemas automatizados. El documento describe su evolución, funcionamiento y los nuevos desarrollos de la herramienta, resaltando su importancia en los procesos industriales. No solo se presentan los inicios del GEMMA y las necesidades que llevaron a su creación, sino que también se presenta la descripción de la herramienta final y su funcionamiento aplicado a los sistemas automáticos de producción y su intervención en los procesos productivos- actuales, a través de aplicaciones que utilizan la guía GEMMA, destacando sobre todo su implicación en el diagnóstico de fallos, que se considera una de sus principales fortalezas. La guía GEMMA contribuye a desarrollar un esquema de trabajo que puede ser aplicado al aspecto técnico de todo proyecto de automatización.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Metodología

De acuerdo al Diccionario Enciclopédico Océano Uno Color (2000), metodología es *el conjunto de métodos que se siguen en una investigación científica o en una exposición doctrinal*. Por otra parte, según la misma fuente, método es *el procedimiento para alcanzar un determinado fin*. Conforme a esta simple definición, es pertinente plantear que el objetivo del presente trabajo es desarrollar una metodología, pues se pretende contar con un recurso que permita conectar el problema con su solución, que sirva de medio para alcanzar conclusiones confiables en materia de automatización.

Una guía es un tratado en el que se dan preceptos para orientar en cosas o también una lista de datos referentes a una materia. Esta también es una definición que se ajusta al objetivo de la presente investigación.

Otro concepto que también se puede relacionar con el objetivo que persigue el presente trabajo es el contenido en la palabra anglosajona roadmap, que puede ser traducido al castellano como hoja de ruta y que alude a una analogía con el camino a recorrer para ir desde un Punto A (el problema) hasta un Punto B (la solución) de la manera más efectiva, generando confianza al usuario de tal recurso. Es deseable que la metodología a desarrollar tienda a aumentar la probabilidad de obtener el camino más eficiente, trascendiendo el requerimiento de la simple efectividad. Dicho en otras palabras, se busca obtener la mejor solución y no solo una solución. Cómo documentar el respaldo que soporta y describe la solución recomendada es la respuesta que se pretende obtener de la aplicación de la metodología y es, por tanto, el objetivo que se persigue con esta investigación.

2.2.2 Factibilidad

Nuevamente, de acuerdo al Diccionario Enciclopédico Océano Uno Color (2000), el significado de factible es *que se puede hacer*. Factibilidad, según Wikipedia.org, se refiere a la disponibilidad de los recursos necesarios para llevar a cabo los objetivos o metas señaladas, es decir, si es posible cumplir con las metas que se tienen en un proyecto, tomando en cuenta los recursos con los que se cuenta para su realización.

Miranda, J. (2005) indica que el estudio de factibilidad es un instrumento que sirve para orientar la toma de decisiones en la evaluación de un proyecto y corresponde a la última fase de la etapa pre-operativa o de formulación dentro del ciclo del proyecto. Se formula con base en información que tiene la menor incertidumbre posible para medir las posibilidades de éxito o fracaso de un proyecto de inversión, apoyándose en él se tomará la decisión de proceder o no con su implementación. Del estudio de factibilidad se puede esperar: o abandonar el proyecto por no encontrarlo suficientemente viable, conveniente u oportuno; o mejorarlo, elaborando un diseño definitivo, teniendo en cuenta las sugerencias y modificaciones que surgirán de los analistas representantes de las alternas fuentes de

financiación, o de funcionarios estatales de planeación en los diferentes niveles, nacional, sectorial, regional, local o empresarial.

Factibilidad se refiere a la disponibilidad de los recursos necesarios para llevar a cabo los objetivos o metas señaladas. Estos resultados se entregan a la gerencia, quienes son los que aprueban, o no, la ejecución del proyecto. El estudio de factibilidad técnico, es una tarea que suele estar organizada y realizada por asesores especialistas, ya sean de la propia organización o externos, contratados ad-hoc, quienes trabajan conjuntamente con los patrocinadores (emprendedores o directivos de la empresa). El estudio consume aproximadamente entre un 5% y un 10% del costo estimado total del proyecto, y el período de elaboración del mismo varía dependiendo del tamaño y tipo de proyecto a analizar.

Como producto del estudio de factibilidad técnica se espera obtener una recomendación que deberá estar respaldada por suficiente información para evaluar los aspectos económicos asociados a todo el ciclo de vida del proyecto. En el marco del presente trabajo de investigación se propone que como entregables del estudio de factibilidad técnica se presenten los documentos que conforman la ingeniería conceptual y básica del proyecto en análisis y evaluación.

2.2.3 Automatización

Como punto de partida se pueden incluir las recursivas definiciones del diccionario de la RAE (Real Academia Española de la Lengua) que indican que automatización es *la acción y efecto de automatizar*; automatizar es *aplicar la automática a un proceso, un dispositivo, etc.*; automática: *perteneciente o relativo al autómeta*; autómeta es un *instrumento o aparato que encierra dentro de sí el mecanismo que le imprime determinados movimientos*. El concepto de automatización suele utilizarse en el ámbito de la industria con referencia al sistema que permite que una máquina desarrolle ciertos procesos o realice tareas sin intervención del ser humano. En innumerables sectores industriales se utilizan máquinas que permiten la automatización de procesos.

Haciendo uso de los recursos accesibles a través de internet, se encuentra en Wikipedia.org una definición que establece que:

La automatización industrial (automatización: del griego antiguo auto, ‘guiado por uno mismo’) es el uso de sistemas o elementos computarizados y electromecánicos para fines industriales. Como una disciplina de la ingeniería más amplia que un sistema de control, abarca la instrumentación industrial, que incluye los sensores, los transmisores de campo, los sistemas de control y supervisión, los sistemas de transmisión y recolección de datos y las aplicaciones de software en tiempo real para supervisar y controlar las operaciones de plantas o procesos industriales.

La definición anterior coincide con concepto de mecatrónica, popularizado más recientemente. En tal sentido, es conveniente enfatizar en la interrelación existente entre distintas ramas de la ingeniería, así como también mencionar que en un sistema de automatización industrial deben definirse aspectos relativos a los objetivos del sistema automatizado (lo que se pretende lograr con la automatización), que conducirán a un análisis de lo relacionado a los subsistemas de sensores, controladores, actuadores, comunicaciones, interfaces hombre-máquina, requerimientos de energía, entre otros que deben ser atendidos para reducir las incertidumbres respecto a la solución propuesta.

Los conceptos que forman parte del campo de la automatización industrial son muy numerosos y un intento de resumirlos resulta por demás ambicioso. Las fuentes de información que permiten documentarse respecto a estos temas son igualmente numerosas, de allí que tenga sentido elaborar una guía metodológica que oriente sobre los requerimientos mínimos de un proyecto de esta naturaleza.

2.2.4 Estándares, normas y buenas prácticas

En general el concepto de “buenas prácticas” se refiere a toda experiencia que se guía por principios, objetivos y procedimientos apropiados o pautas aconsejables que se adecuan a una determinada perspectiva normativa o a un parámetro consensuado, así como también toda experiencia que ha arrojado resultados positivos,

demostrando su eficacia y utilidad en un contexto concreto, según lo define planandino.org. El concepto de buenas prácticas se utiliza en una amplia variedad de contextos para referirse a las formas óptimas de ejecutar un proceso, que pueden servir de modelo para otras organizaciones.

Las buenas prácticas sistematizadas, permiten aprender de las experiencias y aprendizajes de otros, y aplicarlos de manera más amplia y/o en otros contextos (scaling-up). Pueden promover nuevas ideas o sugerir adaptaciones y proporcionar una orientación sobre la manera más efectiva de visibilizar los diversos impactos de una intervención en las organizaciones.

Por otra parte, según el Project Management Institute (PMI), un estándar es un documento establecido por consenso, aprobado por un cuerpo reconocido, y que ofrece reglas, guías o características para que se use repetidamente. Los estándares globales del PMI le proveen las guías de las mejores prácticas a los directores de proyectos, programas y portafolios, así como a sus organizaciones, al tiempo que le ahorran el tener que crear soluciones nuevas constantemente.

Las normas son documentos técnico-legales con las siguientes características:

- Contienen especificaciones técnicas de aplicación voluntaria.
- Son elaborados por consenso de las partes interesadas: fabricantes, administraciones, usuarios y consumidores, centros de investigación y laboratorios, asociaciones y colegios profesionales, agentes sociales, entre otros.
- Están basados en los resultados de la experiencia y el desarrollo tecnológico.
- Son aprobados por un organismo nacional, regional o internacional de normalización reconocido.
- Están disponibles al público.

Las normas ofrecen un lenguaje de punto común de comunicación entre las empresas, la administración pública, los usuarios y consumidores. Las normas establecen un equilibrio socioeconómico entre los distintos agentes que participan en

las transacciones comerciales, base de cualquier economía de mercado, y son un patrón necesario de confianza entre cliente y proveedor.

La idea de lograr consenso respecto a buenas prácticas, que relacionan e integran aspectos gerenciales y aspectos tecnológicos, que puedan eventualmente evolucionar hacia estándares de uso extendido en materia de automatización industrial, es una de las motivaciones del presente trabajo.

2.2.5 Metodología GEMMA

Como respuesta al hecho de que durante años se han publicado numerosas y diversas obras que tratan la automatización centrándose en el controlador lógico programable, lo cual ocasiona problemas debido al cambio tecnológico en esta área, que conlleva que los modelos de controladores que se detallan queden rápidamente superados, se propuso un recurso en esta área de conocimiento mediante el desarrollo sistemático de la guía GEMMA como metodología de uso genérico a utilizar para cubrir aspectos de supervisión y automatización. En el desarrollo de proyectos industriales en los cuales se encuentran problemas complejos, conviene tener una metodología clara que permita enfrentarse a ellos con un mínimo de rigor. Con ello se pretende aprovechar los conocimientos sobre GRAFCET y ofrecer una metodología aplicada sobre las posibles contingencias de un sistema y su gobernabilidad. Esta metodología permite el tratamiento de complejos problemas de automatización, mediante una estructura modular ordenada.

Además, la guía GEMMA comporta el estudio de algunos aspectos tecnológicos como, por ejemplo, el diseño del panel de mando. Ello incide en el detalle de que no se trata tan sólo de una metodología teórica, sino que se utilizan de forma profunda los conocimientos adquiridos de sensorica, neumática, interacción persona-máquina (HMIs), mantenimiento y seguridad.

El enfoque de la guía GEMMA se ajusta tanto al ámbito del estudiante de ingeniería, como al profesional del sector de la automatización, independientemente de su grado de experiencia. Esta ha sido la razón por la cual se considera un punto de partida para la investigación que se realizará para generar la metodología.

2.2.6 Soldadura

La American Welding Society (AWS) define la soldadura como un proceso de unión que produce la coalescencia de materiales calentándolos a la temperatura de fusión con aplicación de presión o sin ella, o mediante la aplicación de presión sola, y con el uso de metal de aportación o sin él. Otra definición indica que la soldadura es un proceso de unión entre metales por la acción del calor, con o sin aportación de material metálico nuevo, dando continuidad a los elementos unidos. Es necesario suministrar calor hasta que el material de aportación funda y una ambas superficies, o bien lo haga el propio metal de las piezas. Para que el metal de aportación pueda realizar correctamente la soldadura es necesario que entre en contacto con los metales que se van a unir, lo cual se verificará siempre que las fuerzas de adherencia entre el metal de aportación y las piezas que se van a soldar sean mayores que las fuerzas de cohesión entre los átomos del material añadido.

Los efectos de la soldadura resultan determinantes para la utilidad del material soldado. El metal de aportación y las consecuencias derivadas del suministro de calor pueden afectar a las propiedades de la pieza soldada. Deben evitarse porosidades y grietas añadiendo elementos de aleación al metal de aportación, y sujetando firmemente las piezas que se quieren soldar para evitar deformaciones. También puede suceder que la zona afectada por el calor quede dura y quebradiza. Para evitar estos efectos indeseables, a veces se realizan precalentamientos o tratamientos térmicos posteriores. Por otra parte, el calor de la soldadura causa distorsiones que pueden reducirse al mínimo eligiendo de modo adecuado los elementos de sujeción y estudiando previamente la secuencia de la soldadura. Se mencionan estos aspectos relativos a la soldadura, pues cualquier esfuerzo que se realice para automatizar el proceso debe considerar estos fenómenos y controlarlos, o evitarlos de ser el caso, adecuadamente.

La soldadura se diferencia de los otros procesos de unión en que la unión creada por ella es muy fuerte y permanente. Las partes que se han soldado no se pueden

separar con facilidad. La soldadura es rápida y es una de las maneras más económicas de unir metales de manera permanente.

La firma Miller Electric, mundialmente reconocido fabricante de equipos de soldadura, indica en su curso de introducción a la soldadura que existen hasta 94 tipos diferentes de procesos de soldadura reconocidos por la AWS que usan diferentes fuentes de energía para unir metales. Entre todos los procesos de soldadura se destacan acá los procesos de soldadura por arco eléctrico, que son los más usados hoy en día. Estos procesos: son soldadura por arco de metal protegido (SMAW), soldadura por arco de tungsteno con gas (GTAW), soldadura por arco metálico con gas (GMAW), soldadura por arco con núcleo de fundente (FCAW), y soldadura por arco sumergido (SAW).

Como se aprecia en el título de este proyecto de investigación y se ha explicado previamente, se analizará el caso de RIGELCA, que se plantea automatizar por completo, de resultar lo más conveniente, algunos de sus equipos de soldadura que emplean el proceso GMAW. La soldadura por arco de metal y gas (Gas Metal Arc Welding (GMAW o MIG) es un proceso de soldadura por arco que emplea un arco entre un electrodo continuo de metal de aporte y el charco de soldadura. El proceso se realiza bajo un escudo de gas suministrado externamente y sin aplicación de presión.

Sus usos y ventajas, así como sus limitaciones y fundamentos del proceso se explican, entre otros, en <https://sites.google.com/site/construyetuingenio2013/5-procesos-de-soldadura-y-corte/5-2-soldadura-por-arco-de-metal-y-gas-gmaw>.

Los únicos controles manuales que el soldador requiere para la operación semiautomática son los de velocidad y dirección de desplazamiento, así como también el posicionamiento de la pistola. Los componentes básicos del equipo son la unidad de pistola soldadora y cables, la unidad de alimentación del electrodo, la fuente de potencia y la fuente de gas protector. Puede operar con gases reactivos como el CO₂ así como gases inertes. Este proceso puede ser usado con la mayoría de los metales comerciales, incluyendo aceros al carbono, aleaciones, aceros inoxidable, aluminio, magnesio, cobre, hierro, titanio y zirconio. La soldadura puede

ser semiautomática, usando una pistola por la cual el electrodo es alimentado automáticamente, o usando equipo totalmente automático. En la dirección web indicada se puede encontrar una explicación sencilla que permita comprender los requerimientos que surgen del interés de automatizar el proceso de soldadura por GMAW.

2.2.7 Diseño de Modelos

Según Ortega (1997) los modelos se desarrollan con el fin de resolver distintas situaciones problemáticas, que puedan presentarse en un entorno hacia donde se dirige la investigación. La construcción de los mismos es un medio que permite a los investigadores analizar y estudiar problemas y sus alternativas de solución.

Para el desarrollo de modelos se consideran el desarrollo de los siguientes elementos:

- *Conceptualización del modelo:* Este elemento engloba el objetivo del modelo, usuarios o beneficiarios, alcance, ventajas, beneficios impacto y relación del modelo con otros procesos del mismo entorno.
- *Operacionalización del modelo:* Debe contener portada, índice, registro de actualizaciones, lista de distribución, documentos relacionados con el manual, introducción, procesos, flujogramas e instrumentos para captar de información.
- *Automatización del modelo:* Resulta conveniente señalar que se debe considerar la automatización del modelo, ya que proporciona una serie de ventajas significativas para su ejecución y para la generación de reportes de resultados.
- *Implementación del modelo:* esta etapa debe contener una serie de actividades, responsables y tiempo de ejecución que le permita al investigador llevar a cabo la implantación del mismo dentro de la organización de la forma más eficaz.

2.3 Definición de términos básicos

Alcance

Según se define en el PMBOK del PMI, el alcance (scope) es la suma de todos los productos y servicios que deben ser realizados en el proyecto, los cuales deben ser adecuadamente documentados para que reflejen los acuerdos

logrados por parte de los interesados. En el aspecto legal, en cuanto a contrataciones, se refiere a lo que una persona (natural o jurídica) está comprometida a hacer y/o entregar.

Ciclo de vida del Proyecto

Comprende la serie de fases que tiene un proyecto o producto desde su inicio hasta su cierre, es decir, contempla toda su evolución, desde el concepto hasta la entrega, incluyendo el crecimiento, la madurez y el retiro. En el contexto de este trabajo de investigación se referirá a la definición contenida en la Guía PMBOK del PMI.

EMC-BOK

Se refiere a la publicación “A Guide to the Engineering Management Body of Knowledge” del Engineering Management Certification International, que para el desarrollo del presente trabajo se usa como referencia de consulta en lo referente a mejores prácticas generalmente reconocidas en la Gerencia de Ingeniería.

Entregables

El entregable (deliverable) es cualquier resultado tangible que se produce en el proyecto. Éstos pueden ser documentos, planes, sistemas computacionales, edificios, aeronaves, etc. Los entregables internos son producidos como resultado de la ejecución del proyecto y usualmente solo los requiere el equipo de proyecto. Los entregables externos son aquellos que se elaboran para los clientes y grupos de interés.

Equipos predeterminados

Es un término no estandarizado que en el contexto de esta investigación se usa para referirse a todas las herramientas o equipos mecánicos o electromecánicos de operación manual, que forman parte del proceso industrial que se propone automatizar y que se pretenden mantener como elementos actuadores principales en el arreglo del futuro proceso automatizado. La intención de mantener estos equipos existentes se constituye en una restricción

condicionante que debe ser analizada de manera particular como parte del análisis de factibilidad. Se da por entendido que los equipos predeterminados poseen la capacidad material de realizar las tareas que les corresponden actualmente y les corresponderán dentro del arreglo automatizado, con la única limitación de que requieren un operador humano para su funcionamiento.

HMI

HMI significa “Human Machine Interface”, es decir es el dispositivo o sistema que permite el interfaz entre la persona y la máquina. Las interfaces HMI en la industria son pantallas, terminales de operador y sistemas SCADA. Los informes técnicos del estándar ISA101 HMI están destinados a ayudar a los usuarios a entender los conceptos básicos de estilo de interfaz hombre-máquina que la norma recomienda. Está dirigido a los responsables de diseñar, implementar, utilizar o administrar aplicaciones HMI. La norma define los modelos de la terminología y el desarrollo de un HMI y los procesos de trabajo recomendados para mantener con eficacia a lo largo de su ciclo de vida. La norma pretende proporcionar orientación para diseñar, construir, operar y mantener HMI efectivas que resulten más seguras, más eficaces y más eficiente en el control de un proceso, en todas las condiciones de funcionamiento.

Interesados en el Proyecto

Un individuo, grupo u organización que puede afectar, verse afectado o percibirse a sí mismo como posible afectado, ya sea positiva o negativamente, por una decisión, actividad o resultado de un proyecto. En la literatura especializada en inglés se le llama stakeholder(s).

ISA

Siglas en inglés de International Society of Automation (Sociedad Internacional de Automatización). ISA es una sociedad de ingenieros, técnicos, comerciantes, educadores y estudiantes, creada como “Instrument Society of America” el 28 de abril de 1945, en Pittsburgh, EE.UU.; sin embargo, la International Society of Automation (www.isa.org) es una asociación

profesional sin fines de lucro que establece el estándar para aquellos que aplican ingeniería y tecnología para mejorar la administración, seguridad y ciberseguridad de los modernos sistemas de automatización y control utilizados en la industria y la infraestructura crítica.

Patrocinador(es)

Una persona o grupo que provee recursos y apoyo para el proyecto, programa o portafolio y que es responsable de facilitar su éxito

PMI

Es el acrónimo de Project Management Institute, que se autodefinen en su página web como:

Avanzamos en carreras, mejoramos el éxito organizacional y maduramos aún más la profesión de gestión de proyectos a través de nuestros estándares, certificaciones, recursos, herramientas, investigación académica, publicaciones, cursos de desarrollo profesional y oportunidades de trabajo en red reconocidos a nivel mundial.

Requerimientos

Los requisitos son descripciones de cómo debe actuar, presentarse o ejecutarse un producto o servicio. Los requisitos generalmente se refieren a características y funciones de los entregables que estamos elaborando en el proyecto. Los requisitos son considerados parte del alcance del proyecto. El nivel del alcance se define en el Acta de Proyecto. Los requisitos forman el alcance detallado. Después de que son aprobados, pueden ser cambiados a través del proceso de gestión de cambio de alcance.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se describen las actividades o definiciones relacionadas con la metodología a través de la cual se desarrolla la investigación.

3.1 Nivel de Investigación

Según Balestrini (2006) por el nivel de esta investigación se califica como descriptiva, ya que persigue obtener información acerca del proceso de desarrollo de una metodología para evaluar la factibilidad técnica de implementar proyectos de automatización industrial, para describir sus implicaciones. Fundamentalmente está dirigida a dar una visión de cómo opera y cuáles son sus características. Para el caso de estudio, este proyecto busca describir la realidad asociada al desarrollo de un proyecto de automatización industrial, a los procedimientos para determinar su factibilidad técnica y la implementación de una metodología que pueda ser aplicada al caso de la línea de soldadura automática de láminas de acero para RIGELCA.

3.2 Diseño de Investigación

De acuerdo a Balestrini (2006) la presente es una investigación de campo, la cual consiste en el análisis sistemático de problemas y los datos serán recogidos en forma directa en la realidad. A través de este proyecto se explora la necesidad de desarrollar una metodología para evaluar la factibilidad técnica de la automatización de procesos industriales, que sea aplicable a aquellos procesos existentes que basan su operación en herramientas manuales que pueden ser consideradas como predeterminadas, pues se desea mantenerlas como parte del futuro proceso automatizado. El cuestionamiento y la información que da origen a la investigación se obtiene directamente de parte de la empresa Constructora Rigel C.A. que plantea la necesidad de evaluar la posibilidad de implementar una línea de soldadura automática de láminas de acero empleando

para ello sus propias máquinas para soldar mediante GMAW, que actualmente pueden realizar la tarea de manera artesanal siendo operadas manualmente por un soldador humano previamente calificado para tal fin.

No obstante, dado que se recolecta información de fuentes secundarias para el sustento práctico y teórico de su desarrollo, la investigación se considera también de *tipo documental*, la cual se entiende como el estudio de problemas con el propósito de ampliar y profundizar el conocimiento de su naturaleza, con apoyo, principalmente, en trabajos previos, información y datos divulgadas por medios impresos, audiovisuales o electrónicos, según la definición que presenta Balestrini (2006).

3.3 Tipo de Investigación

Por otra parte, se establece como un *Proyecto Factible*, ya que es acorde con lo establecido por Mijares y García (2007) en las Normas para la Elaboración y Presentación de los Anteproyectos, Proyectos y Trabajos de Grado de la UJAP, en donde se establece que consiste en “la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organización o grupos sociales”, que para este caso particular está relacionado con el desarrollo de una metodología para evaluar la factibilidad técnica de la automatización de procesos industriales.

Por último, puede considerarse dentro de la categoría de Proyectos Especiales, de acuerdo con lo que establecen Mijares y García (2007) en el trabajo arriba referido:

Consistirá en las creaciones tangibles, susceptibles de ser utilizadas como soluciones a problemas demostrados, o que respondan a necesidades e intereses de tipo cultural. Se incluyen en esta categoría los trabajos de elaboración de libros de textos y de materiales de apoyo educativo, el desarrollo de software y hardware, prototipos y de productos tecnológicos en general.

3.4 Población y muestra

Siendo esta una investigación sobre un tema amplio, en lo relativo al desarrollo de la metodología propuesta, dirigida a todo usuario interesado en la toma de decisiones sobre la implementación de proyectos de automatización

industrial, aunque aplicada a un caso particular, la muestra poblacional corresponderá al total de la población, es decir, que la población de estudio está compuesta por un universo indeterminado de ingenieros o técnicos especializados en automatización y de empresas que requieran procesos de producción industrial que son susceptibles de ser automatizados, los cuales pueden estar ubicados en cualquier lugar del mundo, quienes son los potenciales usuarios o beneficiarios de la metodología que se propone desarrollar.

En ese sentido, por tratarse de un gran número de elementos, en el estudio se considerará muestreo no probabilístico, que según Arias (1999) es el “procedimiento de selección en el que se desconoce la probabilidad que tienen los elementos de la población para integrar la muestra”, siendo del tipo intencional u opinático, que consiste en “la selección de los elementos con base en criterios o juicios del investigador” (Arias, 1999).

Tratándose en última instancia de un estudio de caso la muestra poblacional corresponderá a la población de estudio, es decir a la empresa Constructora Rigel, ya que según Arias (1999) *los estudios de caso se concentran en uno o pocos elementos que se asumen, no como un conjunto sino como una sola unidad.*

3.5 Instrumentos y Técnicas de Recolección de Datos

Para la obtención de la información relevante para esta investigación se utilizará la investigación documental a través del uso de la red mundial (internet) y consultas bibliográficas pertinentes.

En cuanto a la obtención de datos de fuentes primarias se considera el uso de entrevistas estructuradas dirigidas a miembros de las cátedras relacionadas con automatización industrial de las universidades del estado Carabobo.

Estos datos, una vez tabulados en su cualidad y frecuencia, se presentarán a través de cuadros que permitan visualizar mejor la información obtenida, y para cuyo análisis el autor se apoyará en el uso del MS Excel para

el estudio estadístico, estableciendo relaciones con el desarrollo de la metodología para determinar la factibilidad técnica de la automatización de procesos industriales.

3.6 Fases Metodológicas

Para el alcance de los objetivos propuestos se cumplirán una serie de actividades que permitirán obtener resultados para cada objetivo específico y cumplir con el objetivo general del proyecto.

En función de esto, se describen a continuación las etapas o fases que serán cubiertas y que corresponden a cada objetivo específico planteado.

Fase I: Diagnóstico de la situación actual de los recursos para evaluación de factibilidad de proyectos de automatización industrial.

Esta fase tiene como fin determinar la pertinencia de desarrollar una metodología para evaluar la factibilidad técnica de implementar proyectos de automatización industrial, de forma tal que se obtengan los requerimientos básicos que debe satisfacer la guía metodológica.

Actividades:

1. Investigación documental en fuentes secundarias para desarrollar el sustento teórico de la investigación.
2. Definición de los aspectos a evaluar en el diagnóstico
3. Diseño de instrumentos de recolección de información, tipo encuesta estructurada y no estructurada.
4. Aplicación del instrumento de recolección de información
5. Tabulación y análisis de resultados
6. Presentación de resultados

Fase II: Desarrollo de un procedimiento técnico para evaluar la factibilidad de la automatización de procesos industriales.

Se definirán los contenidos, estructura y características de la guía metodológica, se presentará el flujograma del proceso de evaluación de factibilidad técnica, se desarrollarán los cuestionarios, se describirán los

documentos que resultarán de la aplicación, así como también las recomendaciones para que el instrumento se actualice y pueda mejorarse.

Actividades:

1. Definición de las buenas prácticas y estándares aplicables que se emplearán para desarrollar la metodología.
2. Definición del flujograma del proceso de evaluación de factibilidad técnica que describe la metodología.
3. Definición de los aspectos a evaluar, los criterios de evaluación y las opciones conocidas que se considerarán como referencias para cada aspecto evaluado.
4. Desarrollo de los contenidos de la guía metodológica.
5. Descripción del perfil de los usuarios de la guía metodológica.
6. Descripción de los entregables a producir a partir de la aplicación de la metodología.
7. Desarrollo de recomendaciones para revisión, actualización y mejoramiento de la metodología.

Fase III: Aplicación de la metodología desarrollada al caso de estudio.

Se espera obtener una conclusión sobre la factibilidad técnica de implementar una línea de soldadura automática de láminas de acero que emplee las máquinas de soldar mediante GMAW de operación manual que actualmente posee Constructora Rigel, que se apoye en la aplicación de la metodología desarrollada y presente los entregables que describen la ingeniería conceptual y básica del proyecto de automatización

Actividades:

1. Selección de los encargados de aplicar la metodología.
2. Identificación de los interesados que suministrarán la información requerida para definir requerimientos.
3. Levantamiento de información en planta.

4. Aplicación de la metodología.
5. Presentación de entregables producto de la aplicación de la metodología.

Fase IV: Evaluación de la metodología desarrollada.

En esta fase se evalúa la metodología desarrollada con la intención de determinar en qué medida cumple con los objetivos que motivaron su elaboración y se espera obtener las recomendaciones que permitirán mejorar y actualizar el instrumento.

Actividades

1. Aplicación de encuestas.
2. Procesamiento y tabulación de resultados.
3. Presentación de resultados.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Fase I: Diagnóstico de la situación actual de los recursos para evaluación de factibilidad de proyectos de automatización industrial.

Como primera aproximación en la determinación de la pertinencia de desarrollar el procedimiento técnico propuesto se realizó una investigación documental, a través de la red global (internet), con el fin de conocer los recursos similares existentes.

Esta fase de diagnóstico se inició con la elaboración del Anteproyecto desarrollado en el período 2018-1CR.

Las fuentes secundarias consultadas pueden clasificarse como sigue:

1. Trabajos de investigación referidos al tema, elaborados en universidades e instituciones educativas en general que ofrecen carreras y cursos en el área de automatización industrial.
2. Asociaciones profesionales relacionadas con el área de automatización industrial y/o con la normalización.
3. Fabricantes de equipos empleados en el área de automatización industrial.
4. Empresas y organismos que se dedican al área de automatización industrial.
5. Revistas y publicaciones en general que tratan el tema de automatización industrial.

Las categorías de clasificación recién definidas arriba se explican en las siguientes líneas.

- Trabajos de investigación referidos al tema, elaborados en universidades e instituciones educativas en general que ofrecen carreras y cursos en el área de automatización industrial.

La búsqueda de antecedentes y sustento teórico en instituciones de educación superior se realizó sobre la base del tema de estudio, sin restricción alguna, es decir, sin aplicar filtros previos en lo concerniente al tipo de institución, ubicación geográfica de su sede física o virtual, oferta académica, número de estudiantes matriculados, producción académica, ubicación en sistemas de clasificación, entre otros; no obstante, se realizaron búsquedas específicas en los sistemas de información de las instituciones de educación superior en Venezuela que ofrecen carreras relacionadas con la automatización industrial, las cuales fueron seleccionadas a partir de la información contenida en el libro Oportunidades de Estudios Universitarios, publicado por la Oficina de Planificación del Sector Universitario (OPSU). Se limitó la consulta a aquellas instituciones ubicadas en la Región Central que ofrecen carreras largas en áreas relacionadas. Las carreras que fueron consideradas son: Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Electrónica e Ingeniería Electrónica mención Mecatrónica.

□ Asociaciones profesionales relacionadas con el área de automatización industrial y/o con la normalización.

Las asociaciones profesionales seleccionadas para realizar la consulta, ya sean dedicadas al área de la automatización industrial o especializadas en el campo de la normalización, fueron elegidas con base al criterio de su influencia global, privilegiando a aquellas que tienen más aceptación en el hemisferio occidental o que reúnen representantes de mayor cantidad de países a escala mundial. Entre las instituciones consultadas destacan las siguientes:

- IEC: <https://www.iec.ch/>
- NEMA: <https://www.nema.org/pages/default.aspx>
- IEEE: <https://www.ieee.org/>
- ISA: <https://www.isa.org/>
- ISO: <https://www.iso.org/home.html>
- ANSI: <https://www.ansi.org/>

□ Fabricantes de equipos empleados en el área de automatización industrial.

Se consideran como pertenecientes a esta categoría aquellas empresas que tienen una posición de liderazgo en la investigación, desarrollo, manufactura y comercialización de equipos que son empleados como componentes de los diferentes subsistemas de la automatización industrial. Por componentes se entienden los sensores, actuadores, procesadores, interfaces hombre-máquina, elementos de comunicaciones, entre otros. A esta categoría pertenecen las siguientes empresas:

- ABB: <https://new.abb.com/process-automation>
- Siemens: <https://www.siemens.com/global/en/home.html>
- Schneider Electric: <https://www.schneider-electric.com/ww/en/>
- Rockwell Automation: <https://www.rockwellautomation.com/>
- Honeywell: <https://www.honeywell.com/>
- Yaskawa: <https://www.yaskawa-global.com/>
- Omron Industrial Automation: <http://www.ia.omron.com/>

□ Empresas y organismos que se dedican al área de automatización industrial.

Son parte de esta categoría las empresas que integran los diferentes equipos y componentes requeridos para producir máquinas o sistemas automatizados con aplicación en la industria. Sus productos son empleados en una variada gama de ramas de la industria y son reconocidos por su innovación, buen desempeño y calidad, así como por tener una participación importante en sus segmentos de negocio. Algunas empresas que producen equipos automatizados por control numérico o soluciones robóticas que se emplean en la industria son las siguientes:

- Boston Dynamics: <https://www.bostondynamics.com/>
- FANUC Corporation: <https://www.fanuc.co.jp/eindex.html>

- Kawasaki: <https://global.kawasaki.com/>
- Mitsubishi: <https://www.mitsubishielectric.com/en/index.html>
- Denso: <https://www.denso.com/global/en/>
- Kuka: <https://www.kuka.com/en-us>
- Dürr: <https://www.durr.com/en/>
- Danaher: <https://www.danaher.com/>

□ Revistas y publicaciones en general que tratan el tema de automatización industrial.

Son muy numerosas las fuentes de información dedicadas a la difusión de información técnica relativa al área de la automatización industrial. Entre éstas se han seleccionado las que se mencionan a continuación, por considerarlas bien respaldadas por instituciones, organismos o empresas de reconocido prestigio, por el tiempo que se han mantenido dedicadas al tema y por poner a disposición extensas librerías de recursos documentados con referencias comprobables:

1. RIA–Robotics Online: <https://www.robotics.org/>
2. Control Real Español: <http://controlreal.com/es/>
3. Info-PLC: <http://www.infoplcn.net/>
4. Automation Today América Latina:
https://www.rockwellautomation.com/es_VE/news/automation-today/overview.page?
5. ACR Latinoamérica: <https://www.acrlatinoamerica.com/revistas-digitales/>
6. Tech Briefs: <https://www.techbriefs.com/tb/magazine>
7. e-Tech: <https://iecetech.org/>
8. ISOfocus: <https://www.iso.org/isofocus/x/>
9. InTech: <https://www.iso.org/standards-and-publications/isa-publications/intech-magazine/>

10. Automation World: <https://www.automationworld.com/magazine>

Empleando el poder que otorga el uso de internet, la investigación y consulta se realizó de manera amplia, a nivel universal, sin restricciones de ubicación geográfica. Se consultaron documentos y recursos en idioma castellano e inglés únicamente. Se empleó el motor de búsqueda Google.

De las consultas realizadas se seleccionaron algunos trabajos de investigación y artículos técnicos que son incluidos como parte del Marco Teórico. En los referidos documentos se pudo evidenciar que la evaluación técnica de los proyectos de automatización no responde a un método definido, no reporta sus resultados de manera consistente y no hace referencia explícita a estándares de gestión de proyectos.

La información obtenida de las fuentes consultadas permitió ampliar la visión que se tenía sobre el tema y ayudó a caracterizar el problema tratado y a precisar el alcance de la solución que se propone.

Esta actividad buscó responder a la pregunta: ¿qué se ha escrito y publicado respecto al tema? La pregunta fue planteada también como: ¿existe una guía metodológica o procedimiento técnico para evaluar la factibilidad técnica de los proyectos de automatización industrial? ¿Cómo se desarrolla un proyecto de automatización industrial? También se consideró importante explorar si existe acuerdo respecto a qué documentación debe ser presentada por un consultor o asesor técnico que sea designado para evaluar la factibilidad técnica de un proyecto de automatización industrial.

En este punto correspondió cuestionarse sobre si alguno de los recursos existentes satisface las expectativas que dan origen a este trabajo de investigación, además de preguntarse qué tan extendido está su uso y cuál es el motivo de que limita una mayor divulgación, además de saber quién lo elaboró y si se ha llegado a un consenso sobre su adopción y aplicación.

Como producto de las búsquedas y consultas realizadas a través de internet no pudo encontrarse un recurso que pudiera satisfacer las expectativas

planteadas al proponer la investigación, pues los documentos hallados solo cumplen parcialmente con los requisitos y no abarcan ni integran todos los elementos que forman parte de un sistema automatizado industrial. Se encontró además que los estándares técnicos existentes, que han sido publicados a la fecha por organismos de alcance internacional, son muy específicos (tratan separadamente los subsistemas o componentes del sistema automatizado industrial) y están orientados a su empleo en las fases de diseño detallado.

Con el fin de obtener información que permitiera sustentar las conclusiones preliminares sobre la pertinencia de elaborar recursos que guíen la evaluación de factibilidad técnica de proyectos de automatización, se realizó una encuesta de exploración, que además permitió orientar la elaboración del procedimiento técnico. En el diseño de la encuesta se mantuvo la idea de incluir preguntas cerradas que facilitaran su interpretación con fines de diagnóstico y preguntas abiertas que pudieran servir como disparador de ideas a ser incorporadas en el procedimiento técnico. La encuesta empleada se presenta completa como Anexo A.

La encuesta está dividida en dos secciones. La primera, de carácter opcional, recoge información sobre el encuestado y las actividades que lo relacionan con la automatización. La segunda sección pretende determinar la pertinencia de desarrollar un procedimiento técnico que sirva como recurso estandarizado para la evaluación de la factibilidad de proyectos de automatización industrial.

La encuesta contiene preguntas abiertas y preguntas cerradas; sin embargo, en la mayor parte de las preguntas cerradas se brinda al encuestado la posibilidad de aportar algún elemento adicional que se considere relevante. La idea es que la encuesta sirva como orientación para desarrollar el enfoque y contenido del procedimiento técnico que se propone elaborar.

La encuesta fue elaborada a través de un software comercial llamado “Encuesta Online”, disponible a través de internet en versión básica gratuita

(ver <https://www.onlineencuesta.com/>), que permitió además realizar su distribución, recolección de respuestas y análisis de resultados. Los resultados obtenidos a partir de las respuestas a la encuesta se presentan en el Anexo B.

La encuesta fue aplicada a profesores universitarios de asignaturas relacionadas con la automatización, ingenieros dedicados al área de instrumentación y control, profesionales con experiencia en gerencia de proyectos y vendedores de equipos de automatización. Por simplicidad, el tipo de actividad que relaciona al encuestado con la automatización industrial fue consultado de manera opcional y no se somete a análisis. El mismo criterio aplica para todas las preguntas opcionales.

Los resultados obtenidos se comentan brevemente a continuación:

- A partir de la Pregunta 4, según los encuestados, excepto el tiempo de vida útil esperado del sistema automatizado, todos los aspectos ofrecidos como alternativas inciden en la factibilidad técnica de un proyecto de automatización. Llama la atención que la mitad de las respuestas recibidas consideran que el tiempo de ejecución del proyecto de automatización en sus fases de ingeniería, procura, construcción y puesta en marcha no influye en la factibilidad del proyecto. Ver Tabla 1.
- El 75% de los encuestados validan la premisa que plantea que evaluar la factibilidad técnica de un proyecto de automatización industrial equivale a desarrollar la ingeniería conceptual de tal proyecto.
- Solo la mitad de las respuestas a la Pregunta No. 6 recibidas de los encuestados afirman conocer un estándar que establezca un método para diseñar equipos o sistemas de automatización industrial; sin embargo, no se mencionan estándares o normas en la Pregunta No. 7, de carácter abierto.

- Solo un tercio de los encuestados que respondieron a la Pregunta No. 12 afirma emplear un estándar de gestión de proyectos en su práctica profesional.
- No obstante lo comentado en el punto anterior, la totalidad de los encuestados reconoce la importancia de emplear estándares de gestión de proyectos.

No.	Aspecto consultado	%
1	Disponibilidad de personal técnico para desarrollar el proyecto en las fases de ingeniería, construcción y pruebas.	75.00
2	Existencia y disponibilidad de la tecnología que permite ejecutar de manera automática los procesos, cumpliendo con los requerimientos de efectividad, productividad, calidad y seguridad que se plantean.	100.00
3	Existencia de los equipos requeridos para automatizar los procesos.	75.00
4	Existencia y disponibilidad de proveedores de equipos requeridos para automatizar los procesos.	75.00
5	Tiempo de vida útil esperado del sistema automatizado.	0.00
6	Existencia de proveedores de consumibles, partes, repuestos y servicios requeridos durante todo el ciclo de vida del proyecto.	75.00
7	Existencia y disponibilidad de personal para operar y mantener el sistema automatizado.	75.00
8	Tiempo de ejecución del proyecto de automatización en sus fases de ingeniería, procura, construcción y puesta en marcha.	50.00

Tabla No. 1: Respuesta a Pregunta No. 4 de encuesta diagnóstico sobre estándares para automatización.

Fuente: elaboración propia

Estos resultados obtenidos refuerzan la idea de que es importante desarrollar un recurso que contribuya a la recopilación de buenas prácticas de gestión de proyectos aplicadas de manera específica a los proyectos de automatización industrial.

De acuerdo a la información obtenida a través de la encuesta aplicada se interpreta que los aspectos a considerar en el procedimiento técnico son los siguientes:

- Definición precisa de objetivos y alcance de la automatización.
- Acuerdo sobre estándares de referencia que se recomienda emplear en el diseño de sistemas industriales automatizados.
- Acuerdo sobre la documentación mínima indispensable que debe ser entregada a los interesados para definir la ingeniería conceptual del proyecto de automatización industrial.
- Descripción y cuantificación de los recursos de personal que requerirá el proyecto a lo largo de todo su ciclo de vida.
- Estimación de los lapsos de tiempo requeridos para desarrollar e implementar el proyecto.

Cada uno de los aspectos arriba mencionados, así como las herramientas y técnicas para abordarlos, son desarrollados en el procedimiento técnico y los documentos que en él se incluyen como referencia.

4.2 Fase II: Desarrollo de un procedimiento técnico para evaluar la factibilidad de la automatización de procesos industriales.

Manteniendo la premisa de base, que considera que evaluar la factibilidad técnica de un proyecto de automatización industrial es equivalente a desarrollar la ingeniería conceptual y básica correspondiente, se elaboró el procedimiento técnico que se presenta en el Anexo C.

El proceso de elaboración del procedimiento técnico se inicia con la definición de sus contenidos, es decir, con la selección de los temas que serán incluidos como parte del documento. Tal como se propuso inicialmente, existen dos componentes a ser incorporados en el procedimiento: componente de gestión de proyectos y componente técnico. El componente de gestión de proyectos es aplicable a cualquier tipo de proyectos y se fundamenta en las

buenas prácticas recomendadas por el Project Management Institute y por el Engineering Management Certification International (EMCI). El componente técnico se refiere a las diferentes fases del diseño de sistemas de automatización industrial. En lo referente al componente técnico se considera importante la aplicación de los estándares desarrollados y publicados por los organismos internacionales de mayor alcance en la materia a nivel internacional.

Se eligió el PMBOK (5ta. Edición) del PMI por su amplia difusión y aceptación en materia de gestión de proyectos. Se consideró pertinente incluir también como referencia el EMC-BOK Guide del EMCI por estar alineado a los estándares del PMI e incluir también aspectos relacionados con la gerencia de ingeniería e innovación, que son desarrollados en detalle y son aplicables en las etapas preliminares de los proyectos, a las que corresponde la evaluación de factibilidad de los mismos. De ambas publicaciones referidas en este párrafo se toma la estructura que éstas emplean, que divide su contenido en dominios, áreas de conocimientos y sub-áreas de conocimiento. En estas guías se presentan los conceptos principales, se describen los procesos y sus objetivos y se introducen herramientas y técnicas recomendadas para su aplicación al proceso de la sub-área que está siendo tratado.

Con respecto al componente técnico, no ha sido posible seleccionar un pequeño grupo de estándares que permitan cubrir de manera integrada todos los subsistemas componentes de los sistemas automatizados; sin embargo, se sugiere tomar en consideración y hacer referencia a los documentos publicados por organizaciones como IEC e ISA, que establecen prescripciones o pautas para el diseño de cada parte que será incorporada como componente del sistema. Se propone la Guía de estudio de Modos de Mando y Parada (GEMMA) como método de diseño y representación del sistema automatizado en su conjunto; sin embargo, la aplicación de la GEMMA es más apropiada para la etapa de diseño detallado.

El procedimiento técnico elaborado contiene las secciones que se presentan a continuación:

1. Propósito
2. Alcance
3. Documentos de referencia
4. Definiciones
5. Responsabilidades
6. Método de trabajo
7. Revisión y mejora continua
8. Formatos y registros

Como ya se ha comentado, cuando se habla de evaluar factibilidad de un proyecto es difícil separar el aspecto técnico del aspecto económico, por lo tanto es necesario reiterar que el aporte del procedimiento elaborado pretende ser el logro de un marco de referencia que guíe la toma de decisiones de aquellos que están considerando que la automatización puede ser la solución para concretar las mejoras de determinados procesos industriales, ya sean éstos existentes o no.

La Figura 1 contiene el flujograma del proceso de evaluación de factibilidad que describe las tareas correspondientes al Dominio I del ISA Certified Automation Professional® (CAP®) Classification System, el cual difiere, en cuanto a la forma, del incluido en el procedimiento técnico del Anexo C.

Como parte del procedimiento técnico, con el fin de facilitar su aplicación y la comunicación de sus resultados, se consideró útil el empleo de cuestionarios que, a manera de listas de chequeo o revisión, puedan ser usados para verificar que los aspectos mínimos relevantes del proceso de análisis que se propone, hayan sido considerados como susceptibles de ser adaptados para su uso en el caso particular de estudio que se esté tratando. Se deben desarrollar al menos seis cuestionarios, que están referidos a cada uno de los

dominios técnicos que se consideran parte de los aspectos a estudiar para definir la ingeniería conceptual del sistema automatizado: sensores, actuadores, controladores, interfaces hombre-máquina, interfaces máquina-máquina e integración del sistema. Como sustituto de los cuestionarios o listas de revisión se propone el uso de los capítulos del “Factory & Machine Automation Playbook”, que se considera documento de referencia del procedimiento técnico y contiene listas con sugerencias y buenas prácticas recomendadas, basada en la amplia experiencia de sus autores.

Siendo que uno de los aportes que se pretende lograr con la elaboración y aplicación del procedimiento técnico es destacar la importancia de documentar el proceso de evaluación de factibilidad técnica de un proyecto de automatización y contribuir a divulgar la buena práctica de producir un mínimo de entregables tangibles que puedan ser usados por los patrocinadores e interesados al realizar los análisis económico-financieros pertinentes y al acometer eventualmente el diseño detallado, construcción, pruebas y puesta en marcha, ya sea apelando a la contratación o a su desarrollo con recursos propios, se incluyen como parte del procedimiento técnico algunos formatos que pueden cumplir con esta función (ver sección 8 del procedimiento técnico referida a formatos y registros). Estos documentos, que se presentan como meros ejemplos de aquellos que deberán ser elaborados para cumplir a cabalidad con el objeto propuesto, son formatos propuestos que contienen instrucciones de uso, aclaratorias, identificación de los usuarios y revisores, según se requiera, así como fecha en la que fueron completados con la información necesaria.

Finalmente, el procedimiento técnico incluye una sección en la que se presentan las recomendaciones que permitirán realizar modificaciones tendientes a su mejora o actualización. Se recomienda en esta sección la adopción de la buena práctica de recopilar las “lecciones aprendidas” que resultan del proceso de cierre de cada proyecto. Debe mantenerse el enfoque en

la aplicación de las buenas prácticas de gestión de proyectos, entendidos los proyectos como un todo. Aunque para efectos de la elaboración del procedimiento técnico en este documento solo se hace referencia a algunos procesos o a algunas áreas de conocimiento específicas, no debe perderse de vista el hecho de que todo el PMBOK y el EMC-BOK (Dominio I) deben ser tomados en consideración de manera integral.

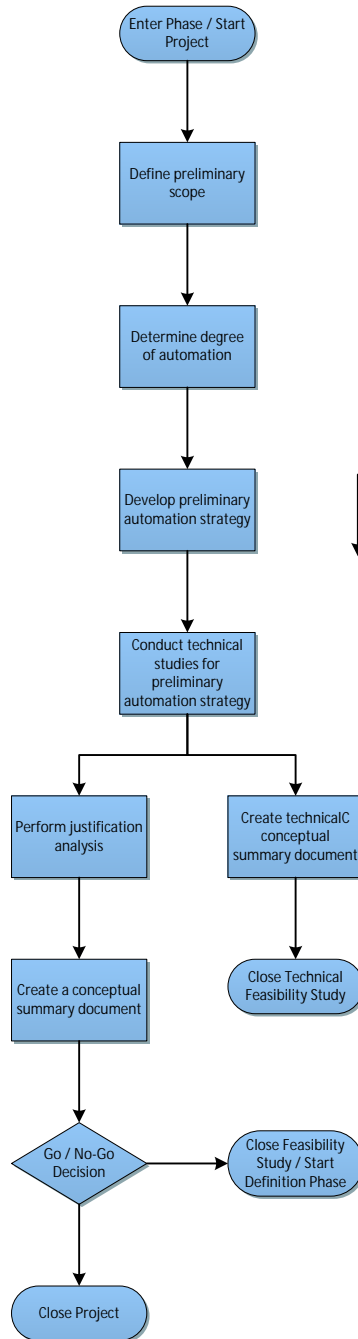


Figura 1: Flujograma del proceso de evaluación de factibilidad que describe las tareas correspondientes al Dominio I del ISA Certified Automation Professional® (CAP®) Classification System.
Fuente: Elaboración propia.

4.3 Fase III: Aplicación del procedimiento técnico desarrollado al caso de estudio.

Como una manera de poner a prueba el procedimiento técnico elaborado, conforme a lo previsto en el diseño metodológico de esta investigación, se realizó su aplicación al caso de estudio definido para tal fin.

El objetivo que se propone evaluar Constructora Rigel, empresa especializada en diseño y construcción de estructuras metálicas, es la posibilidad de ejecutar de manera automática la soldadura de láminas de acero que se requiere realizar como parte del proceso de manufactura de perfiles metálicos estructurales que serán empleados en otras estaciones de trabajo de su taller industrial especializado en fabricación de estructuras metálicas. La idea específica a evaluar es si para su caso particular es posible y conveniente realizar esas soldaduras empleando las máquinas para GMAW que tiene disponibles en su taller.

Aunque en la actualidad no existe en su taller una línea de producción dedicada a la fabricación de perfiles metálicos estructurales, ni una línea automatizada de soldadura de láminas de acero, RIGELCA cuenta con experiencia previa en la fabricación artesanal de elementos metálicos que implican un trabajo muy similar al que se requiere automatizar para la fabricación de los perfiles, de ahí que como punto de partida se planteó la idea de sustituir al soldador que opera manualmente las máquinas de soldar por GMAW, por un mecanismo automatizado que posicione y desplace la pistola de soldadura a la distancia de las láminas y con el ángulo apropiados para lograr una soldadura de buena calidad, al tiempo que se desplaza a lo largo de las láminas a soldar.

Si se observa la aplicación del procedimiento técnico para determinar la factibilidad técnica de acometer el proyecto de implementar una línea de soldadura de láminas metálicas empleando las máquinas de soldar por GMAW disponibles en el taller de RIGELCA, se tiene que la entrada la constituye toda

la información relativa a los equipos existentes que se propone usar, el proceso está descrito en el procedimiento técnico, en el que se incluyen las herramientas y técnicas aplicadas, y la salida la representan los documentos que describen la ingeniería conceptual del proyecto, según se establece en el procedimiento.

Como resultado de la aplicación del procedimiento técnico desarrollado se puede concluir que es técnicamente factible implementar una línea automatizada de soldadura que emplee las máquinas de soldar por GMAW que tiene RIGELCA disponibles en su taller. Los entregables que documentan el proceso de análisis de factibilidad y la ingeniería conceptual resultante de la aplicación del procedimiento técnico se presentan en el Anexo D.

La información contenida en el Anexo D, permitirá a los patrocinantes del proyecto y demás interesados completar el análisis de factibilidad que, en última instancia, determinará si el proyecto de automatización se llevará a cabo. Debe nuevamente aclararse que el alcance del presente trabajo se limita a analizar el aspecto de la factibilidad técnica, ya que, como se sabe, además de ser técnicamente factible, todo proyecto de automatización debe satisfacer todos los criterios de viabilidad que se hayan planteado los responsables de aprobar la inversión y posterior ejecución de los mismos.

4.4 Fase IV: Evaluación del procedimiento técnico desarrollado.

A la vista de los resultados obtenidos, es decir, una vez concluidas la Fase II y la Fase III de esta investigación, se realizó una consulta para determinar en qué medida el procedimiento desarrollado cumple con los objetivos que motivaron su elaboración y para obtener de los profesionales consultados las recomendaciones que permitirán mejorar y actualizar el recurso.

La encuesta de evaluación que fue aplicada se diseñó con la idea en mente de que la interpretación de sus resultados no se prestara a ambigüedades. Se decidió emplear preguntas cerradas, con respuestas de “sí” o “no” para

calificar el cumplimiento de cada objetivo planteado y en cada caso se incorporó además una pregunta abierta, no obligatoria, que permitió al encuestado plantear sus comentarios y realizar sus sugerencias.

Al igual que se hizo en la Fase I para diagnosticar, la encuesta de evaluación correspondiente a esta Fase IV también fue elaborada, distribuida y analizada mediante el uso del software EncuestaOnline. La encuesta aplicada se presenta como Anexo E. Las respuestas obtenidas mediante la aplicación de la encuesta fueron compiladas y tabuladas para realizar su análisis. Las tablas que resumen los resultados de la encuesta de evaluación se presentan en el Anexo F.

Se puede afirmar, a partir de los resultados de la encuesta de evaluación aplicada, que el procedimiento técnico para evaluar la factibilidad de la automatización de procesos industriales basados en herramientas manuales cumple parcialmente con los objetivos que fueron planteados, lo cual se comenta a continuación:

- Se logró el objetivo de integrar en un mismo documento los aspectos de gestión de proyectos y los aspectos técnicos propios del diseño de sistemas de automatización industrial.
- Se logra el objetivo de definir un conjunto mínimo de entregables que satisfagan los requerimientos de una evaluación de factibilidad técnica.
- No se logró el objetivo de definir el alcance y los entregables que constituyen la ingeniería conceptual de un proyecto de automatización industrial.
- No fue posible definir un estándar técnico que permita realizar un análisis conceptual o básico de un proyecto de automatización industrial con un enfoque integral.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.

A partir de los resultados obtenidos en la fase de diagnóstico se puede afirmar que no existen, o tienen poca difusión, estándares técnicos que orienten la elaboración de estudios de factibilidad de los proyectos de automatización de procesos industriales. No obstante, se propone el uso de lo contenido en el Dominio I del ISA Certified Automation Professional® (CAP®) Classification System como guía general del proceso.

Pudo definirse un conjunto de aspectos que definen la factibilidad técnica de un proyecto de automatización industrial. Se logró consenso con respecto a la validez de la premisa que plantea que la factibilidad técnica relacionada con el aspecto de existencia y disponibilidad de la tecnología que permite ejecutar de manera automática los procesos, puede considerarse equivalente a definir la ingeniería conceptual del proyecto.

Fueron definidos un conjunto mínimo de documentos a ser elaborados y presentados a los patrocinantes, a manera de entregables, para definir por completo la ingeniería conceptual de los proyectos de automatización; no obstante, no hubo un acuerdo mayoritario respecto a los entregables requeridos, por cuanto se consideró que la amplia variedad de procesos industriales hace inviable garantizar el cumplimiento de este requisito con un conjunto cerrado de documentos o productos de ingeniería.

El caso de los procesos industriales basados en herramientas manuales fue tratado explícitamente, como un caso particular, dentro del procedimiento desarrollado, destacándose los aspectos más relevantes a considerar cuando se pretende emplear equipos concebidos para ser accionados por operarios humanos en los futuros procesos automatizados, ya que, este caso particular

considera que tales herramientas manuales están predeterminadas y, por tanto, se constituyen en restricciones que condicionan el diseño.

Se refuerza la idea de que las buenas prácticas de gestión de proyectos son aplicables a todo tipo de proyectos, y por tanto a los de automatización industrial, y favorecen el logro de los objetivos propuestos en todas las fases de los mismos, lo cual incluye la evaluación de factibilidad.

La existencia de procedimientos técnicos alineados con buenas prácticas de gestión como las del PMI para llevar a cabo la evaluación de factibilidad de proyectos de automatización industrial, incide positivamente en la confianza de los patrocinantes para acometer efectivamente tales proyectos.

5.2 Recomendaciones.

Como producto del estudio realizado y las reflexiones hechas respecto al tema de los estudios de factibilidad y la importancia de la estandarización, se presentan en esta sección algunas recomendaciones, tendientes a elevar el nivel de la práctica profesional de la automatización industrial en Venezuela.

Comenzando por lo más particular, se recomienda elaborar e implementar un plan para mejorar el procedimiento técnico elaborado. Entre los aspectos de mayor importancia se encuentra la necesidad de desarrollar formatos estandarizados para documentar los estudios de factibilidad. También en relación a este trabajo de investigación, resultaría conveniente ampliar el alcance, numérico y geográfico, de las consultas realizadas en las fases de diagnóstico y evaluación, con el fin de mejorar el recurso elaborado.

Divulgar la existencia y promover la aplicación de estándares de gestión de proyectos entre los profesionales dedicados a la automatización de procesos industriales.

Incrementar el estudio de estándares técnicos y de gestión de proyectos en los programas de estudio de las carreras universitarias relacionadas con la automatización industrial. Esta recomendación se refiere no solo el estudio de los estándares nacionales o internacionales existentes, sino también a la

formación para la elaboración de estándares y la normalización, así como para el trabajo colaborativo entre los interesados en el tema, de manera que se produzca interacción entre todos los interesados: académicos, comercializadores de equipos, diseñadores, instaladores integradores y usuarios finales de la industria en sus diferentes ramas.

Implementar un sistema de certificación y registro de los profesionales y empresas dedicadas a la automatización industrial, con el fin de incrementar la confianza en las capacidades que en la materia tienen los profesionales locales.

Elaborar un plan de seguimiento y divulgación de los avances de la tecnología relacionada con la automatización de procesos industriales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AACE International (2017). **AACE International Recommended Practice No. 18R-97. Cost Estimate Classification System – As Applied in Engineering, Procurement and Construction for the Process Industries** (3rd e). Morgantown, USA: Autor.
- Arias, F. (1999). **El Proyecto de Investigación: Guía para su elaboración** (3^a ed.). Caracas: Episteme.
- Balestrini, M. (2006). **Cómo se elabora el proyecto de investigación** (7^a ed.). Caracas: BL Consultores Asociados.
- Bittel, L y Ramsey, J. (2005). **Enciclopedia del Management** (1^a ed.). Barcelona, España: Editorial Oceano.
- Creus-Sole, A. (2005). **Instrumentación Industrial** (7^a ed.). Barcelona, España: Marcombo.
- Engineering Management Certification International. (2006). **A Guide to the Engineering Management Certification – Body of Knowledge** (1st ed.). New York: American Society of Mechanical Engineers.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández, C, y Baptista, M. (2014). **Metodología de la Investigación** (6^a ed.). México: Mc.Graw-Hill / Interamericana Editores.
- Mijares, H. y García, L (2007). **Normas para la elaboración y presentación de los anteproyectos, proyectos y trabajos de grado** (2^a ed.). Valencia, Venezuela: Ariel.
- Ogata, K. (2003). **Ingeniería de Control Moderna** (4^a ed.). Madrid: Pearson Educación.
- Project Management Institute (2013). **A Guide to the Project Management Body of Knowledge** (5th ed.). Newton Square, USA: Autor.
- Project Management Institute (2017). **PMI Lexicon of Project Management Terms** (Ver. 3.2). Newton Square, USA: Autor.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

- Alvarez, M., Burgos, A. y otros (2014). **Desarrollo metodológico de sistemas de control aplicando ingeniería conducida por modelos**. Actas de las XXXV Jornadas de Automática, 3-5 de septiembre de 2014, Valencia, España. ISBN-13: 978-84-697-0589-6. Tomado en Julio de 2018 desde: http://www.ja2014.upv.es/wp-content/uploads/papers/paper_76.pdf
- Castro, J., Padilla, J. y Romero E. (2005). **Metodología para realizar una automatización utilizando PLC**. Impulso, Revista de Electrónica, Eléctrica y Sistemas Computacionales. _ (), 18-21. Tomado en Julio de 2018 desde: https://www.itson.mx/publicaciones/rieeyc/documents/v1/v1_art4.pdf
- Fillpack Engineering Services (2018). [On-line]. Disponible en: <http://www.fillpack.es/>
- Flores, J. (2005) **Metodología para la Automatización de Procesos en la Pequeña y Mediana Empresa**. Edición Única. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. México. Tomado en Julio de 2018 desde: https://repositorio.itesm.mx/bitstream/handle/11285/567271/DocsTec_42_65.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- HelpSystems (2018). [On-line]. Disponible en: <https://www.helpsystems.com/es>
- Jiménez, E. (2004). **Técnicas de automatización avanzadas en procesos industriales**. Universidad de La Rioja – Servicio de Publicaciones. Tomado en Julio de 2018 desde: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=60>
- Miranda, J. (2005). **Gestión de proyectos: identificación, formulación, evaluación financiera-económica-social-ambiental**. (5ª ed.). Bogotá:

MMEditores. Tomado en Julio de 2018 desde:
<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjI-IjqiMvcAhUNjq0KHbNhDvkQFjAAegQIABAC&url=https%3A%2F%2Fecaths1.s3.amazonaws.com%2Fpracticaprofessionalizante3%2F1890476755.Gesti%25C3%25B3n%2520de%2520Proyectos%2520-%2520Juan%2520Jos%25C3%25A9%2520Miranda.pdf&usg=AOvVaw2Ym2kKt2hYimJVJRA5Iib7>

National Instruments (2016). **Guía de Diseño de Sistemas de Control para Máquinas de Próxima Generación**. Austin: Autor. Tomado en Julio de 2018 desde:
ftp://ftp.ni.com/evaluation/machine_design/24900_sMC_Design_Guide_S_P_IA.pdf

Parra, J. y Reina, B. (2017). **Análisis de viabilidad para una empresa que preste servicios de automatización de procesos en MIPYMES enfocadas a manufactura**. Universidad Distrital Francisco José De Caldas. Colombia. Tomado en Julio de 2018 desde:
<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/5910/1/ReinaSalda%3%B1aBriyiniJulieth2017.pdf>

Ponsa, P. y Vilanova, R. (2005). **Automatización de procesos mediante la guía GEMMA**. (1ª ed.). Barcelona, España: Edicions UPC. Tomado en Julio 2018 desde: https://www.e-buc.com/portades/9788498800227_L33_23.pdf

Rodríguez, L. (2010). **GEMMA Una Herramienta Universal para la Automatización de Procesos**. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. Tomado en Julio de 2018 desde:
https://www.researchgate.net/profile/Leonardo_Urrego/publication/282152113_GEMMA_Una_Herramienta_Universal_para_la_Automatizacion_d_e_Procesos/links/560546c008ae8e08c08b5d01/GEMMA-Una-

[Herramienta-Universal-para-la-Automatizacion-de-Procesos.pdf?origin=publication_detail](#)

Vega-González, L. (2001). **Metodología para la evaluación integral de un proyecto de modernización de instrumentación.** Ingeniería Investigación y Tecnología, ISSN en trámite, II.2, 67-80. Tomado en Julio de 2018 desde: www.revistaingenieria.unam.mx/numeros/2001/v02n2-03.pdf