

## PROPUESTA DE UN SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN PARA EL PROCESO DE MEDICIÓN DEL VOLUMEN DE HIDROCARBUROS

### PROPOSAL FOR AN INTEGRATED MANAGEMENT SYSTEM FOR THE PROCESS OF MEASURING THE VOLUME OF HYDROCARBONS

González-Díaz L.<sup>1\*</sup>, Negrín-Carrillo O.<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Posgrado CIATEQ, A.C., Calle 23 de agosto No. 213, Col. Jesús García, Villahermosa, Tabasco. C.P. 86040.

<sup>2</sup> CIATEQ, A.C., Calle 23 de agosto No. 213, Col. Jesús García, Villahermosa, Tabasco. C.P. 86040.  
<sup>1\*</sup>lore\_n4@hotmail.com

#### RESUMEN

Las organizaciones emplean diferentes sistemas de gestión para abordar sistemáticamente sus necesidades. A medida que aumenta el número de sistemas de gestión, surge la necesidad de integrarlos en un sistema holístico que incorpore los requisitos de las distintas partes interesadas, en un Sistema Integrado de Gestión (SIG) que ofrezca mejoras organizacionales. Este artículo propone un modelo de SIG para una empresa del sector hidrocarburo, elaborado a partir de: requisitos de las normas ISO 9001:2015, ISO 10012:2003 e ISO 17025:2017; requerimientos de la empresa, obtenidos a partir de un

diagnóstico; componentes articuladores, e incorporación de una alternativa valorada por expertos, empleando la metodología AHP. Para el diagnóstico, se aplicó una encuesta que tuvo alta fiabilidad (Alfa de Cronbach de 0.964). Asimismo, las matrices de comparación por pares del AHP presentaron valores de nivel de consistencia aceptable ( $<0.1$ ), como resultado se seleccionó la alternativa relacionada con la elaboración de documentos y procedimientos para el cumplimiento del SIG, debido a que presentó la mayor ponderación en función de los valores de importancia asignados por expertos de la empresa. La propuesta planteada puede facilitar la gestión interna

de la empresa y las partes interesadas, ya que muestra una ruta para implementar requisitos y la representación gráfica que relaciona las partes que conforman el modelo. En consecuencia, permitirá resolver las brechas detectadas dentro de la empresa y sumarse al cambio que han experimentado muchas organizaciones hacia una cultura basada en los principios de calidad total, con el fin de impactar competitiva y productivamente su entorno.

**Palabras clave:** ISO 9001; ISO 10012; ISO 17025; Sistema Integrado de Gestión; Medición de hidrocarburos.

## **ABSTRACT**

Organizations employ different management systems to analytically address their needs. As the number of management systems increases, the need to integrate them into a holistic system that incorporates the requirements of the different stakeholders into an Integrated Management System (GIS) that offers

organizational improvements arises, This article proposes a IMS model for a company in the hydrocarbon sector, elaborated from: requirements of the ISO 9001: 2015, ISO 10012: 2003 and ISO 17025: 2017 standards; company requirements, obtained from a diagnosis; articulating components, and incorporation of an alternative valued by experts, using the AHP methodology. For the diagnosis, a survey that had high reliability was applied (Cronbach's Alpha of 0.964). Likewise, the AHP pairwise comparison matrices presented values of acceptable consistency level (<0.1), as a result, the alternative related to the preparation of documents and procedures and for GIS compliance was selected, because it presented the highest weighting according to the values of importance assigned by experts of the company. The suggested proposal can facilitate the internal management of the company and the interested parties, since it shows a route to

implement requirements and the graphic representation that relates the parts that make up the model. Consequently, it will make it possible to solve the gaps detected within the company and join the change that many organizations have experienced towards a culture based on the principles of total quality, in order to competitively and productively impact their environment.

**Keywords:** ISO 9001, ISO 10012, ISO 17025; Integrated Management System, hydrocarbon measurement.

## INTRODUCCIÓN

La industria del petróleo se reconoce por formar una cadena de valor integrada por tres sectores: 1. *Upstream*, que incluye exploración y producción de petróleo crudo y gas natural, 2. *Midstream*, que incluye el almacenamiento y transporte desde los campos de producción hasta las refinerías y plantas petroquímicas, y 3. *Downstream*, que se refiere al refinado del petróleo crudo, procesamiento de gas

natural y productos derivados del petróleo, así como la comercialización y distribución de hidrocarburos a clientes y consumidores [1 y 2].

En México, dentro de esta cadena de valor las empresas petroleras deben asegurar la aplicación de las mejores prácticas y estándares internacionales en la medición de los volúmenes de hidrocarburos, de acuerdo con los Lineamientos Técnicos en Materia de Medición de Hidrocarburos emitidos por la Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH), así como la gestión del funcionamiento e interrelación de los mecanismos de medición de hidrocarburos [3]. Por otra parte, deben contar con una política en materia de medición y atender diversos documentos que demarcan las directrices para proporcionar la confiabilidad de la cuantificación del volumen o masa. Al respecto, las empresas petroleras mexicanas cuentan con un Plan Rector de

Medición del volumen de hidrocarburos, el cual establece las directrices, roles y responsabilidades del personal encargado de la gobernabilidad del proceso de gestión metrológica [4]. Sin embargo, estas empresas no logran alcanzar el nivel de implantación y cumplimiento de las premisas del plan rector; adicionalmente, no cuentan con un modelo para evaluar la efectividad y eficiencia de los procesos que lo conforman. Lo anterior puede deberse a que estas organizaciones siguen de manera parcial algunas normas en materia de gestión metrológica. Muchas organizaciones normalmente implantan sistemas de gestión de forma independiente o escasamente integrada. Sin embargo, en los sistemas de gestión existen ciertos elementos comunes que pueden ser gestionados de un modo integrado [5-8].

Un Sistema Integrado de Gestión (SIG) es aquel que combina sistemas de gestión

mediante la aplicación de un enfoque en el empleado, una visión de procedimiento y un enfoque sistémico, y que hace posible implementar todas las prácticas de estándares de gestión relevantes en un solo sistema. Un rasgo característico de un SIG es que, a diferencia de los sistemas no integrados, asegura el cumplimiento de una organización con todas las normas y regulaciones internacionales y locales aplicables [9]. Al respecto, numerosos estudios exponen los beneficios de los SIG's en busca del mejoramiento de diversos procesos [6-8, 10-16]. En efecto, la implementación de los SIG's genera una serie de beneficios que tienen dimensiones organizativas, económicas, de eficacia o de eficiencia, como reducción de costes, armonización de documentación, simplificación de estándares y requisitos, competitividad, alineación de recursos y objetivos, mejora del clima laboral, entre otros [6, 7, 9 y 15].

Ciertos estándares, que apoyan el desarrollo de sistemas de gestión de la calidad, están dirigidos a organizaciones que representan sectores particulares de la economía u otros campos de actividad [9]. Al respecto, las empresas petroleras deben asegurar la aplicación de las mejores prácticas y estándares internacionales en la medición del volumen de hidrocarburos. En este sentido, las normas ISO entre otras regulaciones, constituyen una base para el desarrollo de un modelo integrado de gestión metrológica [3]. Respecto a la gestión integrada, el estándar internacional PAS 99 (*Specification of common management system requirements as a framework for integration*), publicada por el *British Standards Institution*, constituye una especificación de requisitos comunes de los SIG's [17]. La esencia de este estándar es asumir el supuesto de que los sistemas de gestión tienen elementos comunes,

que se pueden gestionar de forma integrada y es aplicable a todos los tamaños y tipos de organización [6, 7, 9 y 16].

El objetivo de esta investigación es identificar los requisitos comunes de las normas ISO 9001:2015 (*Quality management systems-Requirements*), ISO 10012:2003 (*Measurement management systems-Requirements for measurement processes and measuring equipment*) e ISO 17025:2017 (*Testing and calibration laboratories*), y requerimientos de la empresa, integrados con el estándar PAS 99, con la finalidad de diseñar una propuesta de SIG para la evaluación y mejora de la gestión de la medición del volumen de hidrocarburos que permita incrementar el cumplimiento normativo y regulatorio [18-20].

## **METODOLOGÍA**

El estudio se desarrolló para una empresa del sector hidrocarburo de la Región Sur

de México, conformada por cuatro Centros de Trabajo. El diseño metodológico tiene un enfoque con base documental enmarcado en un estudio de nivel explicativo tipo no experimental. Se seleccionó el método de estudio descriptivo, para medir y recoger información sobre el fenómeno de estudio, que permitió la integración de las normas ISO antes referidas [7, 12 y 13]. Para el diseño de la propuesta del SIG se definieron cuatro etapas: 1. Recolección de información, 2. Evaluación del diagnóstico de la empresa, 3. Selección de alternativa y 4. Construcción de la propuesta.

### **Etapas 1. Recolección de información.**

Esta etapa estuvo orientada a revisar y analizar los requisitos de las normas ISO 9001:2015, ISO 10012:2003 e ISO 17025:2017, aplicable al proceso metrológico de la empresa. Posteriormente se realizó la correspondencia y semejanza que tienen

en común estos tres sistemas de gestión y se utilizó la herramienta de análisis de sistemas blandos CATWOE (*customers, actors, transformation, world view, owners, environment*) para identificar los elementos involucrados dentro del SIG [21].

### **Etapas 2. Evaluación del diagnóstico de la empresa.**

En esta etapa se recolectó información preliminar a través de una encuesta, para evaluar el nivel de cumplimiento del proceso de gestión de medición del volumen de hidrocarburos, así como la comprensión de las normas ISO 9001:2015, ISO 10012:2003 e ISO 17025:2017. La encuesta se estructuró con 23 preguntas politómicas, tipo cerrado con escala Likert de 5 alternativas de respuestas: 1. Excelente, 2. Bueno, 3. Regular, 4. Deficiente y 5. Nulo [22]. Se aplicó a una muestra de 15 especialistas técnicos del área operativa y de mantenimiento, utilizando la ecuación 1

para el cálculo del tamaño de la muestra ( $p=0.5, q=0.5, e=0.05, K=1.28, N=17$ ) [23].

$$n = \frac{K^2 \cdot p \cdot q \cdot N}{e^2 \cdot (N-1) + K^2 \cdot p \cdot q} \quad (1)$$

Donde:  
 $n$ : tamaño de la muestra  
 $N$ : tamaño de la población  
 $K$ : factor según el nivel de confianza esperado en el estudio  
 $p$ : variabilidad positiva  
 $q$ : variabilidad negativa  
 $e$ : error máximo aceptado

Los resultados de la encuesta se procesaron en el programa estadístico IBM SPSS Statistics 20 [24]. Para validar la confiabilidad de la encuesta, se utilizó el coeficiente de correlación Alfa de Cronbach ( $\alpha$ ) calculado con la ecuación 2, dando como resultado 0.964, lo cual indica que la encuesta tuvo un excelente nivel de fiabilidad, de acuerdo con las escalas de

clasificación que se muestran en la **Tabla 1** [11, 22, 25 y 26].

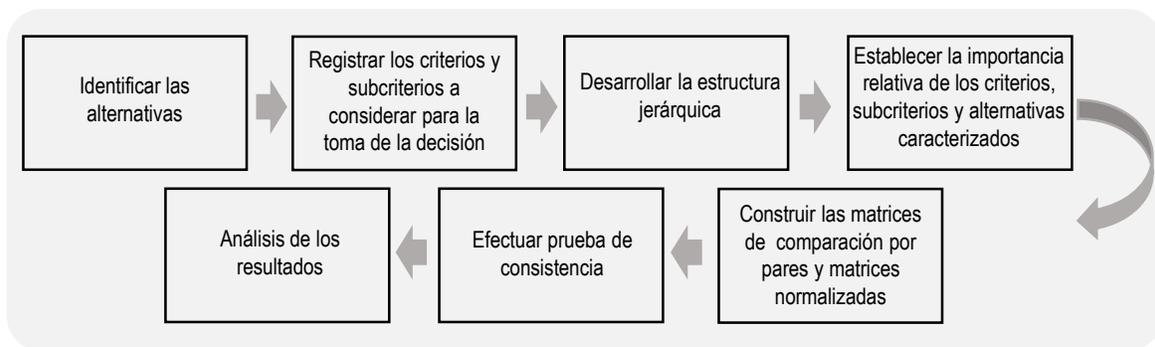
$$\alpha = \frac{K}{K-1} \left[ 1 - \frac{\sum Vi}{Vt} \right] \quad (2)$$

Donde:  
 $\alpha$ : Alfa de Cronbach  
 $K$ : Número de ítems  
 $Vi$ : Varianza de cada ítem  
 $Vt$ : Varianza total

**Tabla 1.** Clasificación de los niveles de fiabilidad según el valor del Alfa de Cronbach ( $\alpha$ ).

Índice	Descripción del nivel de fiabilidad	Valor de $\alpha$
1	Excelente	0.910 a 1.000
2	Muy bueno	0.710 a 0.900
3	Bueno	0.510 a 0.700
4	Regular	0.310 a 0.500
5	Deficiente	0.000 a 0.300

**Etapas 3. Selección de alternativa.** Se consideraron los resultados obtenidos en la etapa anterior, y se empleó el *Analytic Hierarchy Process* (AHP) como técnica multicriterio para la toma de decisiones (**Figura 1**) [27 y 28].



**Figura 1.** Metodología de AHP empleada en la investigación

Se propusieron cinco alternativas que dan respuesta a las necesidades, las cuales fueron retroalimentadas y validadas por expertos de la empresa (**Tabla 2**).

**Tabla 2.** Alternativas propuestas en el AHP.

Alternativa	Descripción de la alternativa
Alternativa 1	Designar a tiempo completo al personal responsable de la función metrológica, para desarrollar las habilidades necesarias y cumplir con los requerimientos del Sistema Integrado de Gestión para el proceso de medición del volumen de hidrocarburos.
Alternativa 2	Capacitar al personal operativo, de mantenimiento y de administración de los equipos de medición, para cumplir los requerimientos del Sistema Integrado de Gestión para el proceso de medición del volumen de hidrocarburos.
Alternativa 3	Identificar dentro de la empresa los manuales, procedimientos, formatos, documentos, recursos y mecanismos para el seguimiento del Sistema Integrado de Gestión para el proceso de medición del volumen de hidrocarburos, que articulen las prioridades y requisitos de los objetivos de calidad de la empresa.
Alternativa 4	Crear un grupo ejecutivo que defina las medidas necesarias para formalizar el Sistema Integrado de Gestión para el proceso de medición del volumen de hidrocarburos.
Alternativa 5	Contratar servicios para realizar el diagnóstico de la comprensión y nivel de implantación del marco normativo en materia de gestión de la medición y para proponer acciones de mejora que permitan la completa implementación del Sistema Integrado de Gestión para el proceso de medición del volumen de hidrocarburos.

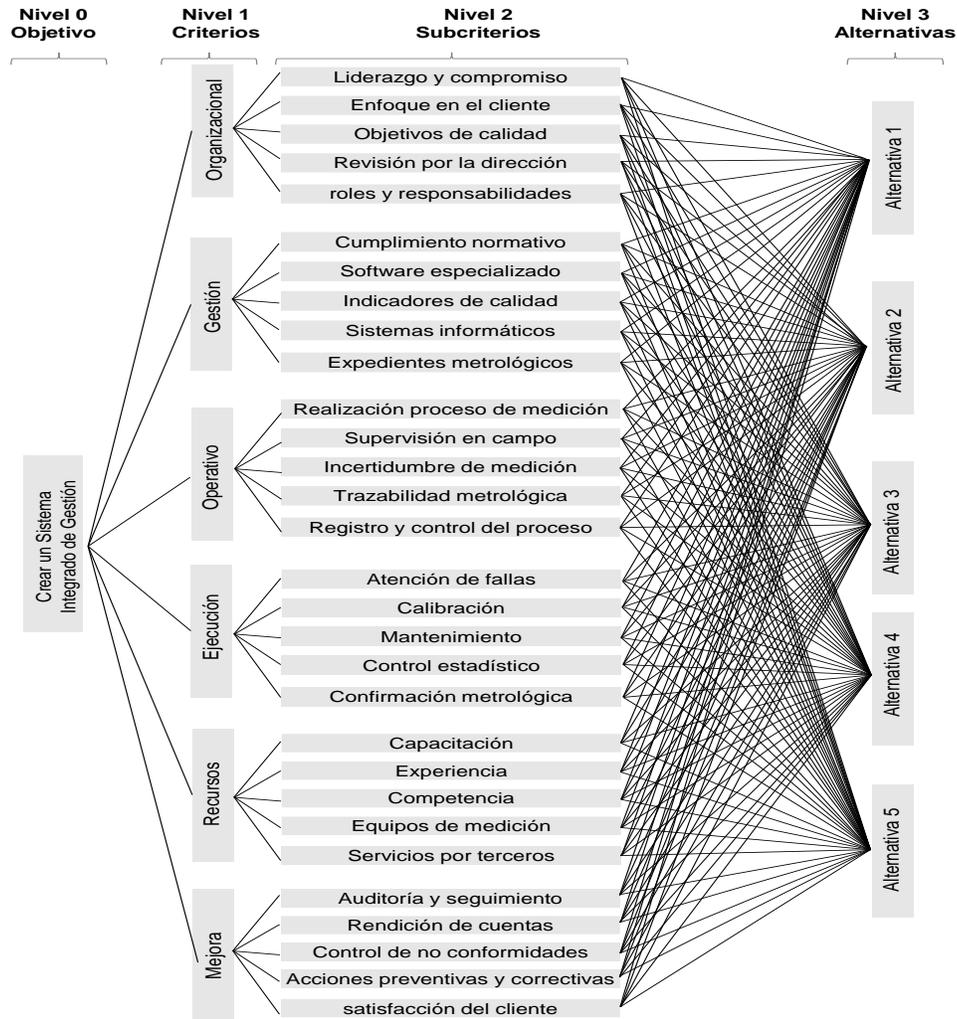
Posteriormente, se establecieron seis criterios y treinta subcriterios, considerando los elementos más relevantes que son impactados por el SIG propuesto y que coadyuvaron en la toma

de decisión de la mejor alternativa. A continuación, se desarrolló la estructura jerárquica que relaciona el objetivo, criterios, subcriterios y alternativas (**Figura 2**). Se realizó el análisis por pares asignando los pesos respectivos de importancia a los criterios, subcriterios y alternativas, empleando los valores de la escala de Saaty (**Tabla 3**) y el juicio del personal experto de la empresa [27 y 29].

**Tabla 3.** Escala de comparación de Saaty.

Escala	Descripción
1: Igualmente importante	Dos elementos contribuyen en igual medida al objetivo
3: Moderadamente importante	Preferencia leve de un elemento sobre otro
5: Fuertemente importante	Preferencia fuerte de un elemento sobre otro
7: Importancia muy fuerte o demostrada	Mucha más preferencia de un elemento sobre otro
9: Importancia extremadamente fuerte	Preferencia clara y absoluta de un elemento sobre el otro
2,4,6,8	Intermedio de los valores anteriores

Consecutivamente, los pesos de importancia se consignaron en una matriz de comparación por pares y se calcularon los pesos relativos de cada criterio, para construir una matriz normalizada y para el cálculo de los vectores de prioridad.



**Figura 2.** Esquema del árbol jerárquico de la interrelación de criterios, subcriterios y alternativas usando el AHP

Asimismo, se evaluó el nivel de Índice de Consistencia Aleatoria (ICA) (Ecuación 4) y la Relación de Consistencia (RC) (Ecuación 5). Al respecto, si el resultado de RC es menor o igual a 0.1, el nivel de consistencia es aceptable, para un resultado por encima de este valor, se sugiere que el personal experto reevalúe

la matriz de comparación por pares [29]. Finalmente, se analizaron los resultados mediante la evaluación definitiva de cada alternativa (Ecuación 6), se realizó este cálculo para cada criterio de la estructura jerárquica, hasta llegar al nivel 0 (**Figura 2**) [27 y 29].

$$IC = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1} \quad (3)$$

$$ICA = \frac{1.98 (n - 2)}{n} \quad (4)$$

Donde:

$n$ : dimensión de la matriz de comparación por pares

$\lambda_{m\acute{a}x}$ : máximo autovalor

$$RC = \frac{IC}{ICA} \quad (5)$$

$$V_j(A_k) = \sum_{i=1}^q p_i * a_{ki} \quad (6)$$

Donde:

$V_j$ : evaluación de la alternativa  $A_k$

$A_k$ : Alternativa  $k$ ,  $k= 1, \dots, n$

$p_i$ : ponderaciones de prioridad de los criterios o subcriterios,  $i=1, \dots, q$

$a_{ki}$ : valor de la alternativa  $A_k$  evaluada con respecto a los criterios

#### **Etapas 4. Construcción de la propuesta.**

Para estructurar la propuesta de SIG, se consideraron los resultados del diagnóstico de la situación actual de la empresa sobre el nivel de cumplimiento

del proceso metrológico y la alternativa seleccionada.

En la construcción se identificaron tres componentes articuladores (estratégico, humano y operativo), que se emplearon para integrar los requisitos claves en materia de medición de hidrocarburos de las normas ISO 9001:2015, ISO 10012:2003 e ISO 17025:2017, aplicando la metodología de integración del estándar PAS 99 [11 y 17]. El componente estratégico, consideró los requisitos de las normas, los requerimientos de la empresa y las relaciones con las partes interesadas; el componente humano, consideró la cultura organizacional, las habilidades y conocimientos del personal; y, el componente operativo, consideró las actividades que se desarrollan en el proceso de medición [11].

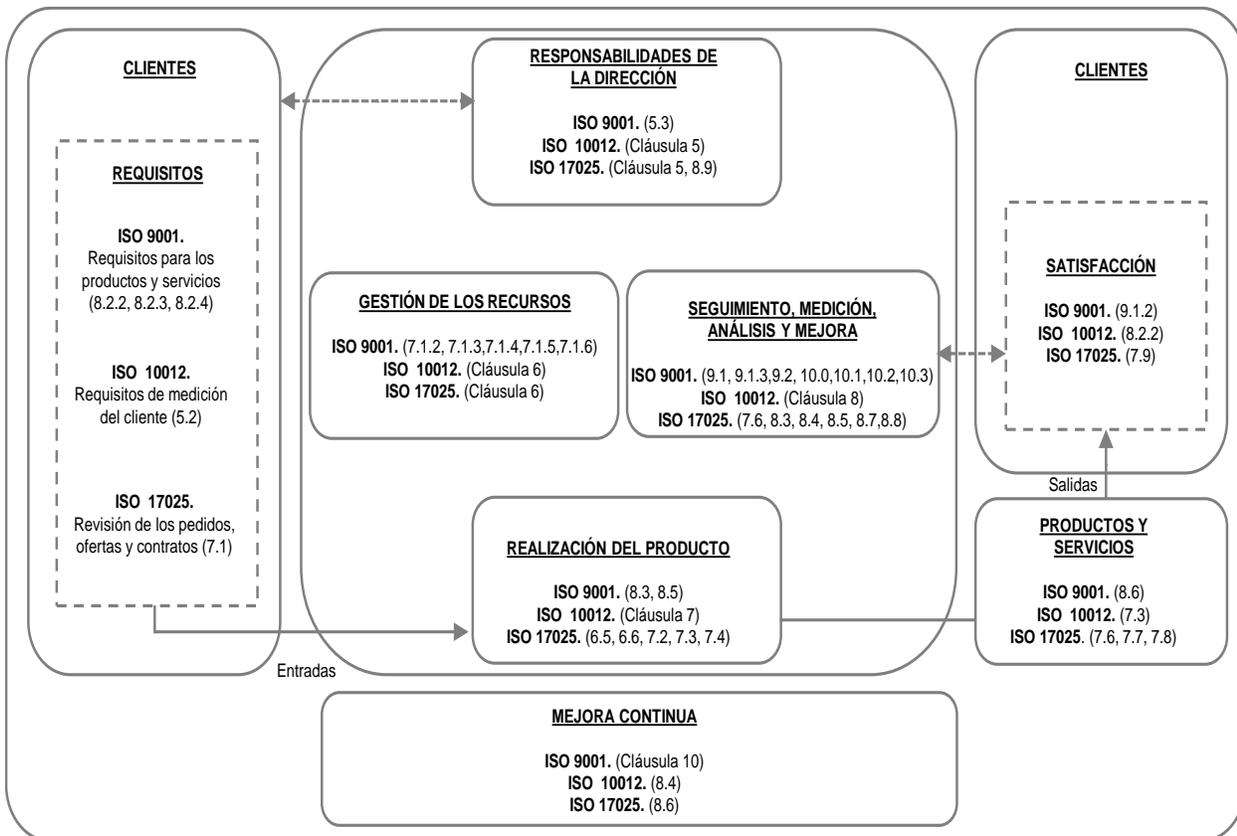
## **RESULTADOS**

**Recolección de información.** La correspondencia de las normas ISO

9001:2015, ISO 10012:2003 e ISO 17025:2017 indicó que algunas recomendaciones relacionadas con la administración del proceso de medición del volumen de los hidrocarburos son transversales y convergentes entre sí (**Figura 3**), como: el control documental, control de registros, competencia del personal, compromiso de la alta dirección, auditorías internas, acciones correctivas

preventivas, recursos, enfoque al cliente, objetivos y política de calidad.

Los resultados del sistema CATWOE mostraron que los actores principales son: la organización, el proceso de medición y el laboratorio (ensayo o calibración), que fueron elementos básicos y esenciales para la construcción del SIG (**Tabla 4**).

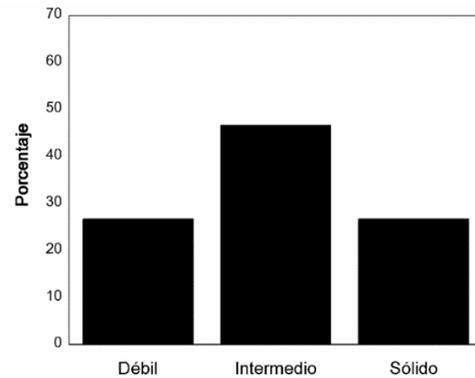


**Figura 3.** Correspondencia de los sistemas de gestión de las normas ISO 9001:2015, ISO 17025:2017 e ISO 10012:2003

**Tabla 4.** Resultados del análisis CATWOE de las normas ISO 9001, ISO 17025 e ISO 10012.

Norma	Proceso	Cliente	Actor	Proceso de Transformación	Visión	Dueño	Limitaciones ambientales
ISO 9001	Gestión de la calidad en una organización	Cliente externo	La organización	Ejecución ordenada de los procesos de la organización, en apego a requisitos verificables de calidad	Calidad del producto o servicio	Alta dirección de la organización	Entorno-Nación-Industria
ISO 10012	Gestión de las mediciones	Proceso de realización de un producto	El proceso de medición	Ejecución ordenada de los procesos de medición (procedimientos, equipos, personas), en apego a requisitos verificables de calidad	Gestión adecuada del proceso de medición (procedimientos, equipos, personas)	Actores de la función responsable de la medición	La organización
ISO 17025	Competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración	Cliente dueño	El laboratorio (ensayo o calibración)	Ejecución ordenada de los procesos del laboratorio (ensayo o calibración), en apego a requisitos verificables de calidad	Competencia técnica demostrable del laboratorio (ensayo o calibración)	Alta dirección del laboratorio (ensayo o calibración)	El alcance del laboratorio (ensayo o calibración)

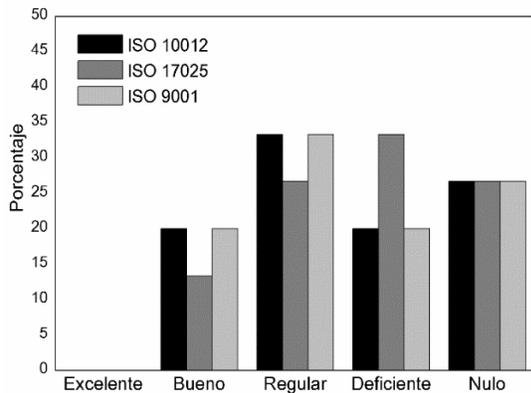
**Evaluación del diagnóstico de la empresa.** Los resultados obtenidos en la encuesta mostraron que el nivel de cumplimiento del proceso de gestión de la medición del volumen de hidrocarburos se ubicó principalmente en las menores escalas valorativas (26.67% débil y 46.67% intermedio) (**Figura 4**), se identificó que existen necesidades de recursos para el sostenimiento de la infraestructura de medición y para la capacitación del personal.



**Figura 4.** Nivel de cumplimiento del proceso de gestión de la medición del volumen de hidrocarburos

Con relación al diagnóstico del nivel de comprensión de las normas ISO 9001:2015, ISO 10012:2003 e ISO 17025:2017, los resultados mostraron que el personal tiene un bajo nivel de comprensión (26.70% nulo y 24.44%

deficiente) (**Figura 5**), particularmente en los siguientes aspectos: desconocimiento de los requisitos de documentación que establecen las normas antes mencionadas, no tienen una conceptualización clara de la integración de los sistemas de gestión para la empresa y no cuentan con mecanismos documentados y establecidos dentro de la empresa que permitan la integración de documentación de las normas.



**Figura 5.** Nivel de comprensión de las normas ISO 9001, ISO 10012 e ISO 17025

En este sentido, fue necesario establecer alternativas de mejora prioritarias, considerando los resultados del diagnóstico.

**Selección de alternativa.** Como resultado del método AHP para la selección de la alternativa, se obtuvo una matriz de comparación por pares de criterios (**Tabla 5**), en la que se calcularon las ponderaciones para el nivel 1 de la estructura jerárquica y una RC de 0.0311, valor considerado como aceptable [27-29].

**Tabla 5.** Matriz de comparación por pares con relación al objetivo general (nivel 1).

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	P
C1	1	1/8	1/9	1/9	1/9	1/6	0.023
C2	8	1	1/3	1/3	1/3	2	0.119
C3	9	3	1	1	1	4	0.269
C4	9	3	1	1	1	3	0.255
C5	9	3	1	1	1	2	0.242
C6	6	1/2	1/3	1/3	1/3	1	0.092
Suma	42.000	10.625	3.778	3.778	3.778	12.167	1.000

C: Criterio, P: Ponderación.

Los resultados indicaron que el C3 (operativo), C4 (ejecución) y el C5 (recursos) tuvieron los mayores valores de ponderación, respectivamente, posicionándolos como los criterios más importantes a considerar en el SIG, mientras que el C1 (organizacional) fue el criterio menos importante.

**Tabla 6.** Ponderaciones e inconsistencias de los subcriterios para los criterios (nivel 2).

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	RC
S1	0.115	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
S2	0.262	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
S3	0.524	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.067
S4	0.067	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
S5	0.032	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
S6	0.000	0.341	0.000	0.000	0.000	0.000	
S7	0.000	0.052	0.000	0.000	0.000	0.000	
S8	0.000	0.309	0.000	0.000	0.000	0.000	0.077
S9	0.000	0.032	0.000	0.000	0.000	0.000	
S10	0.000	0.265	0.000	0.000	0.000	0.000	
S11	0.000	0.000	0.245	0.000	0.000	0.000	
S12	0.000	0.000	0.168	0.000	0.000	0.000	
S13	0.000	0.000	0.351	0.000	0.000	0.000	0.062
S14	0.000	0.000	0.097	0.000	0.000	0.000	
S15	0.000	0.000	0.140	0.000	0.000	0.000	

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	RC
S16	0.000	0.000	0.000	0.050	0.000	0.000	
S17	0.000	0.000	0.000	0.514	0.000	0.000	
S18	0.000	0.000	0.000	0.199	0.000	0.000	0.035
S19	0.000	0.000	0.000	0.121	0.000	0.000	
S20	0.000	0.000	0.000	0.116	0.000	0.000	
S21	0.000	0.000	0.000	0.000	0.074	0.000	
S22	0.000	0.000	0.000	0.000	0.150	0.000	
S23	0.000	0.000	0.000	0.000	0.409	0.000	0.029
S24	0.000	0.000	0.000	0.000	0.333	0.000	
S25	0.000	0.000	0.000	0.000	0.034	0.000	
S26	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.295	
S27	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.040	
S28	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.087	0.057
S29	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.167	
S30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.411	

C: Criterio, RC: Relación de consistencia, S: Subcriterio.

Asimismo, en el nivel 2 de la estructura jerárquica se obtuvieron seis matrices de comparación por pares de subcriterios y criterios (Tabla 6) y en el nivel 3 se obtuvieron treinta matrices de alternativas y subcriterios (Tabla 7), las cuales presentaron valores aceptables de RC (<0.1), como un indicativo de que la asignación de pesos de importancia en la

comparación por pares tuvo un juicio coherente [27-29]. Los resultados en el nivel 2 mostraron que, para los diferentes criterios, el S3 (objetivos de calidad), S8 (indicadores de calidad), S13 (incertidumbre de medición), S17 (calibración), S23 (competencia) y S30 (satisfacción del cliente) presentaron los mayores valores de ponderación.

**Tabla 7.** Ponderaciones e inconsistencias de las alternativas para los subcriterios (nivel 3).

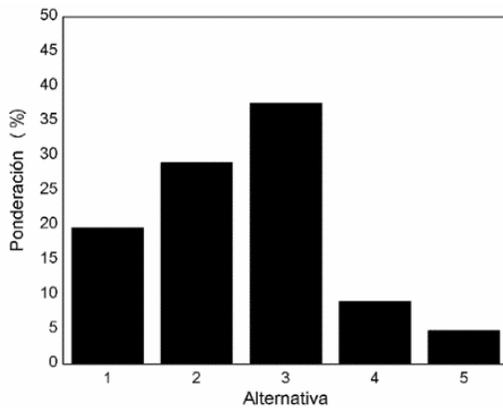
	A1	A2	A3	A4	A5	RC
S1	0.209	0.166	0.492	0.088	0.045	0.095
S2	0.172	0.239	0.476	0.075	0.038	0.087
C1 S3	0.180	0.409	0.306	0.069	0.036	0.077
S4	0.099	0.150	0.276	0.432	0.043	0.090
S5	0.099	0.143	0.270	0.446	0.043	0.097
S6	0.149	0.421	0.322	0.070	0.038	0.078
S7	0.149	0.421	0.322	0.070	0.038	0.078
C2 S8	0.149	0.316	0.427	0.068	0.040	0.077
S9	0.174	0.334	0.385	0.068	0.039	0.072
S10	0.145	0.271	0.486	0.064	0.035	0.096
S11	0.468	0.150	0.271	0.073	0.038	0.083
S12	0.482	0.143	0.264	0.072	0.039	0.088
C3 S13	0.146	0.253	0.500	0.065	0.036	0.095
S14	0.146	0.253	0.500	0.065	0.036	0.095
S15	0.144	0.262	0.496	0.063	0.036	0.095

	A1	A2	A3	A4	A5	RC
S16	0.149	0.421	0.322	0.070	0.038	0.078
S17	0.138	0.425	0.322	0.066	0.049	0.061
C4 S18	0.130	0.423	0.318	0.070	0.059	0.072
S19	0.139	0.406	0.325	0.070	0.059	0.069
S20	0.132	0.413	0.321	0.072	0.063	0.077
S21	0.145	0.430	0.307	0.067	0.052	0.086
S22	0.251	0.158	0.485	0.075	0.031	0.084
C5 S23	0.251	0.158	0.485	0.075	0.031	0.084
S24	0.132	0.413	0.321	0.072	0.063	0.077
S25	0.103	0.078	0.203	0.051	0.564	0.040
S26	0.168	0.252	0.472	0.068	0.040	0.095
S27	0.133	0.087	0.142	0.591	0.046	0.081
C6 S28	0.224	0.154	0.493	0.082	0.046	0.084
S29	0.263	0.156	0.465	0.074	0.043	0.073
S30	0.143	0.091	0.158	0.558	0.050	0.069

A: Alternativa, C: Criterio, RC: Relación de consistencia, S: Subcriterio.

Por su parte, en el nivel 3 los resultados de las ponderaciones totales de las alternativas (**Figura 6**), indicaron que la alternativa 3 tuvo la mayor ponderación (37.56%), seguida de la alternativa 2 (28.96%) y la alternativa 1 (19.63%).



**Figura 6.** Ponderaciones totales de importancia de las alternativas del AHP (nivel 3)

**Construcción de la propuesta.** La propuesta de SIG se estructuró en función de los requisitos de las normas, requerimientos de la empresa, componentes articuladores y la incorporación de la alternativa seleccionada (**Tabla 8**), con el objetivo de resolver las brechas detectadas dentro de la empresa, como: el bajo cumplimiento del proceso de gestión de la medición del volumen de hidrocarburos y la baja comprensión de las normas ISO 9001:2015, ISO 10012:2003 e ISO 17025:2017.

**Tabla 8.** Elementos estructurales de la propuesta del SIG.

Componentes articuladores	Requisitos de las normas		Requerimientos
	Descripción	Numeral	
Estratégico	- Responsabilidad de la dirección	- ISO 9001. (5.3, 8.2.2, 8.2.3, 8.2.4 y 9.1.2)	- Liderazgo (identificación de necesidades, soluciones, propósito y direccionamiento) - Enfoque al cliente - Gestión del entorno, estratégica y de la comunicación
	- Requisitos y satisfacción de partes interesadas	- ISO 10012. (5 <sup>(1)</sup> y 8.2.2) - ISO 17025. (5 <sup>(1)</sup> , 8.9, 7.1 y 7.9)	
Recurso humano	- Gestión de los recursos	- ISO 9001. (7.1.2, 7.1.3, 7.1.4, 7.1.5, 7.1.6)	- Equipos de trabajo competentes - Mejora de las actividades de los equipos de trabajo
	- Factores externos e internos que afectan la gestión documental	- ISO 10012. (6 <sup>(1)</sup> ) - ISO 17025. (6 <sup>(1)</sup> )	
Operacional	- Realización del producto	- ISO 9001. (8.3, 8.5, 8.6, 9.1, 9.1.3, 9.2, 10 <sup>(1)</sup> )	- Política y objetivos de integración - Procedimientos, documentos, registros - Indicadores de desempeño
	- Seguimiento, medición, análisis y mejora - Mejora continua - Desempeño	- ISO 10012. (7 <sup>(1)</sup> , 8 <sup>(1)</sup> ) - ISO 17025. (6.5, 6.6, 7.2, 7.3, 7.4, 7.6, 7.7, 7.8, 8.3, 8.4, 8.5, 8.6, 8.7, 8.8)	

<sup>(1)</sup> Se considera la cláusula completa de la norma.

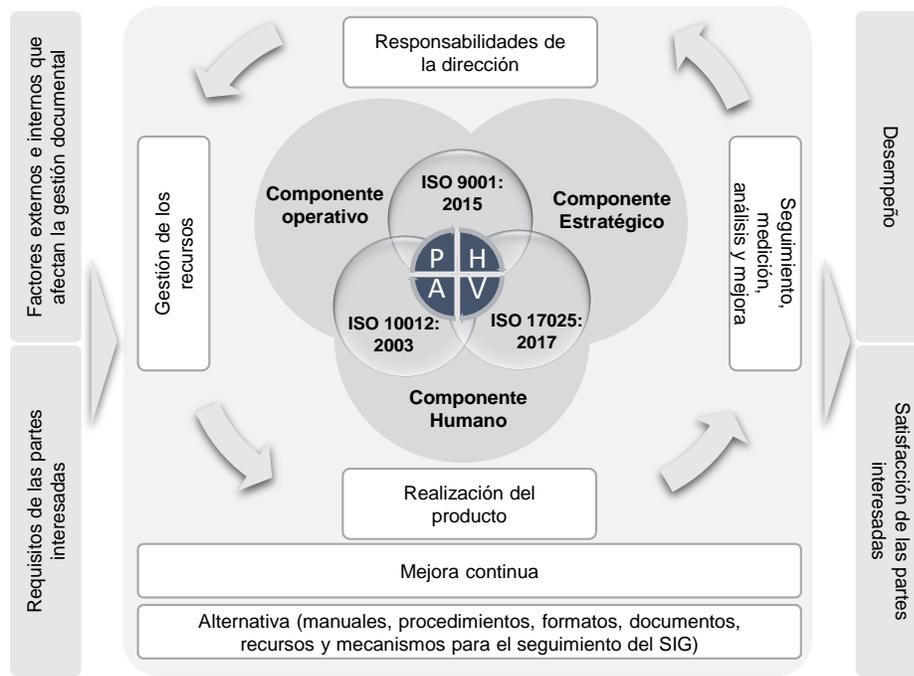
La construcción de la propuesta de SIG adaptada al proceso metrológico se representa gráficamente en la **Figura 7**, que relaciona los elementos de la Tabla 8 y el ciclo PHVA (Planear, Hacer, Verificar y Actuar) de acuerdo con la PAS 99.

## DISCUSIÓN

La investigación mostró la existencia de compatibilidad entre los sistemas de gestión ISO 9001:2015, ISO 10012:2003 e ISO 17025:2017, se evidenció que los requisitos documentales para cada una de las normas se pueden integrar.

Al respecto, los elementos de la norma ISO 10012 son totalmente simultáneos con la ontología de sistemas aplicada en la norma ISO 9001 [3, 12, 18-20 y 30].

Por su parte, a pesar de que la norma ISO 17025 considera capítulos específicos concernientes a las actividades de los laboratorios, esto no la hace incompatible con los otros sistemas de gestión, ya que cuenta con elementos referidos a la gestión documental que son semejantes y facilitan su integración con los otros sistemas [12, 20 y 30].



**Figura 7.** Representación gráfica de la propuesta de SIG

Asimismo, una parte común importante de los tres sistemas que se tuvo en cuenta fueron las necesidades y los requisitos de las partes interesadas. En este sentido, la diferencia entre los tres sistemas de gestión son la importancia del cliente o del producto; para un sistema de gestión de calidad, el cliente es quien compra el producto elaborado por la organización, mientras que para la gestión de las mediciones el cliente es el proceso de medición [16 y 18-20].

En el diagnóstico de la empresa, se identificaron deficiencias en la asignación de recursos para el sostenimiento de la infraestructura de medición y para la capacitación del personal, los cuales pueden comprometer el cumplimiento de los objetivos vinculados con la satisfacción de las partes interesadas [12]. Al respecto, algunos estudios han reportado que la falta de apoyo de la alta dirección es una de las principales barreras para el sostenimiento, por lo que su apoyo

coadyuva en gran medida a la implementación de un proceso sostenible [14 y 15]. En efecto, un factor crucial para la implementación exitosa de un SIG es la participación de la alta dirección, quien debe celebrar reuniones para definir sus acciones y el enfoque de implementación del SIG, en las que se deben detallar el alcance y las etapas para asegurar la alineación entre el SIG y las necesidades y recursos de la empresa [15]. Por su parte, la capacitación del personal tiene un enorme potencial para mejorar las actividades de sostenibilidad del proceso de medición, conducir a empleados más comprometidos y a una mayor productividad laboral; esto puede lograrse utilizando un modelo pertinente que mitigue cualquier aspecto negativo y ayude a la alta dirección a brindar el apoyo adecuado [9 y 15].

Por otro lado, el desconocimiento que presenta el personal sobre los requisitos de documentación que establecen las

normas ISO 9001, ISO 10012 e ISO 17025 y su integración; puede deberse a su aplicación parcial y de forma independiente, así como a la falta de capacitación. Estudios similares, han reportado que a pesar de que la integración de sistemas de gestión normalizados se ha estudiado por más de 20 años, son pocas las organizaciones mexicanas que cuentan con esta estrategia implementada [31]. No obstante, a pesar de los múltiples beneficios que ofrecen los SIG's al mundo empresarial, diferentes organizaciones no se han podido beneficiar de estas ventajas. Al respecto, algunos investigadores han identificado dos factores principales de esta causa: la implementación parcial del sistema y el fuerte paradigma cultural que se tiene sobre la integración de sistemas de gestión, como un proceso costoso e innecesario [9 y 14].

En cuanto a la gestión del SIG, la empresa debe establecer, implementar y mantener un conjunto de indicadores de desempeño que cumplan requisitos legales o reglamentarios aplicables a la empresa y requerimiento de las partes interesadas [15]. En este sentido, la participación de los expertos fue preponderante para identificar los requerimientos y para asignar la importancia a los elementos claves para la elección de una alternativa que dará respuesta a las brechas detectadas de la empresa. En consecuencia, bajo la opinión de los expertos, la alternativa seleccionada fue "Identificar dentro de la empresa los manuales, procedimientos, formatos, documentos, recursos y mecanismos para el seguimiento del Sistema Integrado de Gestión para el proceso de medición del volumen de hidrocarburos, que articulen las prioridades y requisitos de los objetivos de calidad de la empresa", que depende en gran medida de los criterios operativos,

de ejecución y recursos. Al respecto, algunos autores mencionan que estos criterios son clave para cumplir con los requisitos del proceso y del producto [1]. Puesto que, con el criterio operativo, se garantiza el cumplimiento de actividades encaminadas al control del proceso de medición y a su vez genera información valiosa para la toma de decisiones oportunas; con el criterio de ejecución, se desarrollan actividades para garantizar la confiabilidad de los equipos y de la información obtenida en el proceso de medición y, finalmente con el criterio recursos, se proveen los medios que se requieren para realizar cada una de las actividades que mantienen la continuidad del proceso de medición.

La propuesta de SIG planteada en esta investigación logra la integración a partir de un proceso que vincula los sistemas de gestión estandarizados de las normas ISO 9001:2015, ISO 10012:2003 e ISO

17025:2017 dentro de un único sistema de gestión con estructura y arquitectura común, fusionando los sistemas que las gestionan, los procesos que las soportan y las actividades que componen los procesos con requisitos comunes y con el objetivo de mejorar la satisfacción de las partes interesadas [8, 9, 12 y 30]. La estructura del SIG es asegurada con el uso de la metodología de mejora continua PHVA y la PAS 99, aplicado por igual a los procesos directivos, claves y de soporte, así como a las actividades operacionales. Lo anterior, facilita su unificación en un solo proceso, que se agiliza con los requisitos de entrada de las partes interesadas y culmina con la entrega del producto o servicio solicitado y con la satisfacción de dichas partes [8,11,14 y 30]. Así también, presenta una estructura abierta de carácter holístico, característico de los SIG's, misma que puede adaptarse a empresas que desarrollen servicios afines al proceso de medición, en función

de sus políticas, objetivos, y del entorno de la empresa [9 y 14]. Como resultado, existen organizaciones del sector hidrocarburo que han mostrado sus experiencias en la integración de los SIG's, resaltando que la integración de sistemas de gestión puede generar una mayor optimización de los recursos al gestionar los diferentes sistemas y hacerlas más competitivas [14 y 32].

Asimismo, la literatura relacionada con la integración de sistemas es bastante amplia; al respecto, diferentes autores manifiestan que los SIG's constituyen pilares para contribuir a la apremiante necesidad de mejora de la competitividad de las empresas, resaltando que la clave para la eficacia es la sinergia del sistema integrado [30 y 31]. Así pues, los SIG's más que la simple suma de los sistemas individuales aporta ventajas y mejoras, a la vez que atiende las exigencias de la compleja realidad de diversas empresas.

Dentro de los beneficios de los SIG's que

han sido reportados, se encuentran los siguientes: permite a la empresa ofertar servicios de mayor calidad; mejora la ejecución operativa; optimiza los métodos internos de gestión y en los equipos multifuncionales; reduce documentación; establece directrices integradas y más coherentes para el personal; garantiza el uso racional de los recursos; incrementa la motivación del personal; reduce conflictos interfuncionales, permitiendo la mejora el clima laboral; identifica y facilita la formación y desarrollo del personal; unifica y da mayor coordinación de auditorías; minimiza costos; incrementa la satisfacción de los clientes y su preferencia; elimina hostilidades, dudas y redundancias entre los estándares de gestión; proporciona una mejor alineación de las políticas y objetivos estratégicos, tácticos y operativos, y mejora la imagen externa de la empresa ante sus grupos de interés. En este sentido, los SIG's añaden ventajas competitivas a través de un

sistema más comprensible y que, respaldado por la alta dirección de la empresa, puede sentar las bases para un sistema de gestión empresarial completo [6-16 y 30].

De modo que, para integrar con éxito las diferentes necesidades de la empresa (calidad, proceso de medición, laboratorios de ensayo o calibración), se deben desarrollar actividades que den un resultado efectivo, entre ellas personal involucrado y comprometido, infraestructura así como el liderazgo y compromiso de la alta dirección en acciones concretas que aseguren la planificación estratégica del SIG, como la asignación de los recursos (humanos, técnicos y financieros) necesarios para alcanzar los objetivos, metas, planes de trabajo aprobados y su posterior seguimiento [8, 14 y 30].

Para la implementación de la propuesta de SIG, es necesario que la empresa establezca estrategias, procedimientos,

recursos, entre otros; identifique a los individuos o entidades que puedan verse significativamente afectados por sus actividades, productos y servicios; realice un análisis crítico del cumplimiento legal aplicable, y con ello identifique y mantenga actualizados todos los requisitos legales, reglamentarios, estatuarios y de otra índole; establezca una política que la oriente hacia la mejora de la sostenibilidad; integre un equipo interdepartamental que dé seguimiento constante y documente el cumplimiento; sensibilice permanente a todo el personal, para lograr el involucramiento, romper paradigmas y mejorar la receptividad de los empleados; asigne responsabilidades; defina objetivos y metas medibles, considerando su política y las obligaciones legales; defina indicadores de desempeño pertinentes que proporcionen información para apoyar en la toma de decisiones e, identifique oportunidades de mejora asegurando al mismo tiempo la sinergia

entre los aspectos de calidad, proceso de medición y las actividades de los laboratorios [14 y 15].

## **CONCLUSIONES**

El proceso de medición del volumen en el sector hidrocarburo se caracteriza por requerir una fuerza de trabajo especializada, así como la incorporación de valor agregado a sus servicios y productos dentro de su cadena de valor.

La propuesta de SIG de esta investigación, puede generar ventajas competitivas, mejora del mercado y las relaciones con las partes interesadas en empresas de este sector, como resultado de un mejor desempeño en materia de calidad, proceso de medición, y desempeño de laboratorios de ensayo o calibración, ya que está orientada al cumplimiento de los requisitos comunes para integrar los sistemas de las normas ISO 9001:2015, ISO 10012:2003 e ISO 17025:2017, haciéndola flexible y

accesible, a diferencia de las empresas que los aplican de forma aislada.

Asimismo, permitirá atender las brechas identificadas dentro de la empresa y sumarse al cambio que han experimentado diferentes organizaciones, ya que entre otros beneficios facilitará el desarrollo de los procesos de auditoría con fines de certificación. No obstante, la efectividad del SIG depende de diversos factores, entre ellos: responsabilidad de las áreas y personal involucrado, gestión de recursos, infraestructura, métodos de supervisión de los productos y servicios, actividades de mejora de la calidad, análisis de datos, y requisitos para el proceso de supervisión interna y externa.

La propuesta puede ser implementada en empresas afines; sin embargo, se recomienda realizar su prevalidación en una segunda etapa, para comprobar si permite asegurar la confiabilidad de los resultados, conocer los resultados de aceptabilidad, detectar posibles áreas de

oportunidad y ajustes del modelo, así como valorar posibles recomendaciones para su optimización. Además, es necesario implementar una estrategia de acercamiento previo a la implementación y realizar un análisis del entorno que permita fortalecer la definición de la misión, visión y la política del SIG y, por consiguiente, el establecimiento de objetivos y metas, para que se lleve a cabo de manera exitosa.

Por otro lado, debido a que adoptar y desarrollar una nueva propuesta metodológica que involucra diversas áreas de la empresa representa un cambio en la cultura organizacional y para algunos un cambio revolucionario, se recomienda aplicar la propuesta de forma gradual y sencilla, así como el desarrollo de actividades constantes de sensibilización, con el objetivo de alcanzar el pleno compromiso e involucramiento del personal de todos los niveles de la empresa, y con ello lograr un proceso de

adaptación satisfactorio que elimine la resistencia al cambio.

## REFERENCIAS

- [1] Hsu, C.S. y Robinson, P. R. (2019). *Petroleum Science and Technology*. Editorial: Springer, USA. doi:10.1007/978-3-030-16275-7.
- [2] Sorkhabi, R. (2017). *Petroleum Industry*. In: *Encyclopedia of Petroleum Geoscience*. *Encyclopedia of Earth Sciences Series*, (Sorkhabi, R., eds.), 1-2. Springer, Cham. doi:10.1007/978-3-319-02330-4\_19-1.
- [3] DOF. (2015). *Lineamientos técnicos en materia de medición de hidrocarburos*. Comisión Nacional de Hidrocarburos. *Diario Oficial de la Federación*.
- [4] Producción.
- [5] Mesquida, A.L
- [6] PEMEX. (2021). *Plan Rector para la medición de hidrocarburos en PEMEX Exploración y Producción 2021-2024*. Dirección General de PEMEX Exploración y., Mas, A., Amengual, E. y Cabestrero, I. (2010). *Integrated Management System according to ISO 9001, ISO/IEC 20000 and ISO/IEC 27001*. *Revista Española de Innovación, Calidad e Ingeniería del Software*, 6(3), 25-34.
- [7] Talapatra, S., Santos, G., Uddin, K. y Carvalho, F. (2019). *Main benefits of integrated management*

systems through literature review. *International Journal for Quality Research*, 13(4), 1037–1054. Doi: 10.24874/IJQR13.04-19.

- [8] Carvalho, K.M., Picchi, F., Camarini, G. y Edna, M. (2015). Benefits in the implementation of safety, health, environmental and quality integrated system. *International Journal of Engineering and Technology*, 7(4), 333-338. doi: 10.7763/IJET.2015.V7.814.
- [9] Duque, D. (2017). Modelo teórico para un sistema integrado de gestión (seguridad, calidad y ambiente). *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, 5(18), 115-130.
- [10] Bugdol, M. y Jedynek, P. (2015). *Integrated Management Systems*. Editorial: Springer, USA. doi:10.1007/978-3-319-10028-9.
- [11] Bravi, L., Murmura, F. y Santos, G. (2019). The ISO 9001:2015 quality management system standard: Companies' drivers, benefits and barriers to its implementation. *Quality Innovation Prosperity Journal*, 23(2), 64-82. doi: 10.12776/QIP.V23I2.1277.
- [12] García-Pérez A.P. y Cepeda-Páez W.J. (2014). Proposal for an integrated management system for university research laboratories. *SIGNOS-Investigación en Sistemas de Gestión*, 6(1), 35-47.
- [13] García-Melo Y. y Suárez-Católico N.C. (2016). Methodological proposal for the integration of a document management system based on NTC ISO 9001, NTC GP1000 and ISO / IEC 17025. *SIGNOS-Investigación en Sistemas de Gestión*, 8(2), 105-117.
- [14] Hamidi, N., Omidvari, M. y Meftahi, M. (2012). The effect of integrated management system on safety and productivity indices: Case study; Iranian cement industries. *Safety Science*, 50(5), 1180-1189. doi:10.1016/j.ssci.2012.01.000
- [15] Rivera-Bolívar F.A. (2015). Approach to integrating management systems in the hydrocarbon sector service companies. *SIGNOS-Investigación en Sistemas de Gestión*, 7(1), 127-145.
- [16] Souza, J.P.E. y Alves, J.M. (2018). Lean-integrated management system: A model for sustainability improvement. *Journal of Cleaner Production*, 172, 2667-2682. doi:10.1016/j.jclepro.2017.11.144.
- [17] Olaru, M., Maier, D., Nicoară, D. y Maier, A. (2014). Establishing the basis for Development of an Organization by Adopting the Integrated Management Systems: Comparative Study of Various Models and Concepts of Integration. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 109, 693-697. doi:10.1016/j.sbspro.2013.12.531.
- [18] ONN. (2018). Specification of common management system requirements as a framework for

- integration (PAS-99). La Habana, Cuba.
- [19] IMNC. (2016). Norma Mexicana NMX-CC-9001-IMNC-2015, Sistemas de gestión de calidad. Instituto Mexicano de normalización y certificación. Diario Oficial de la Federación, México.
- [20] IMNC. (2004). Norma Mexicana NMX-CC-10012-IMNC-2004, Sistemas de gestión de las mediciones-requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición. Instituto Mexicano de normalización y certificación. Diario Oficial de la Federación, México.
- [21] IMNC. (2018). Norma Mexicana NMX-EC-17025-IMNC-2018, Evaluación de la conformidad - Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración. Instituto Mexicano de normalización y certificación. Diario Oficial de la Federación, México.
- [22] Checkland P. y Poulter J. (2020). Soft Systems Methodology. In: Systems Approaches to Making Change: A Practical Guide, (Reynolds M., & Holwell S., eds.). 201-253. Springer, London, doi: 10.1007/978-1-4471-7472-1\_5.
- [23] Tuapanta-Dacto J.V., Duque-Vaca M.A. y Mena-Reinoso A.P. (2017). Alfa de Cronbach para validar un cuestionario de uso de TIC en docentes universitarios. mkt Descubre, 37-48.
- [24] Jiménez, G., Novoa, L., Ramos, L., Martínez, J. y Alvarino, C. (2018). Diagnosis of Initial Conditions for the Implementation of the Integrated Management System in the Companies of the Land Cargo Transportation in the City of Barranquilla (Colombia). In: HCI International 2018 – Posters' Extended Abstracts. HCI 2018. Communications in Computer and Information Science, (Stephanidis C., eds.), 282–289. Springer, Cham, doi:10.1007/978-3-319-92285-0\_39.
- [25] IBM Corp. (2011). IBM SPSS Statistics for Windows, Versión 20. Armonk, NY: IBM Corp.
- [26] González-Alonso J.A. y Pazmiño-Santacruz M. (2015). Cálculo e interpretación del Alfa de Cronbach para el caso de validación de la consistencia interna de un cuestionario, con dos posibles escalas tipo Likert. Publicando, 2(1), 62-77.
- [27] Arévalo, D. y Padilla, C. (2016). Medición de la Confiabilidad del Aprendizaje del Programa RStudio Mediante Alfa de Cronbach. Politécnica, 37 (2).
- [28] Gómez-Montoya R.A., Zuluaga-Mazo A. y Vásquez-Noreña G.L. (2015). Método AHP utilizado para mejorar la recepción en el centro de distribución de una empresa de alimentos. Ingenierías USBMed, 6(2), 5-14.
- [29] Hadi-Vencheh A. y Mohamadghasemi A. (2011). A fuzzy AHP-DEA approach for multiple criteria ABC inventory

classification. Expert Systems with Applications, 38(4), 3346–3352. doi:10.1016/j.eswa.2010.08.119.

[30] Márquez-Benavides L. y Baltierra-Trejo E. (2017). The hierarchical analytical process as a methodology for selecting scientific journals in the biotechnology area. e-Ciencias de la Información, 7(2), 1-21. doi:10.15517/ECI.V7I2.26817.

[31] Robert-Pullés M. y Bataller-Venta M. (2016). Modelo de sistema integrado de gestión para una dirección de investigación medioambiental de Biocubafarma. CENIC. Ciencias Químicas, 47(), 6-16.

[32] Purata-Sifuentes O.J. y Cruz-Abad J. (2016). Integración de Sistemas de Gestión Normalizados: el Caso de una Empresa Cementera en México. Revista de Estrategias del Desarrollo Empresarial, 2(4), 34-39.

[33] Caridad-Gómez R., Estabil-Chalupa G., Villar-Morejón M.J. y Negrin-Sosa E. (2018). Significance of Management Integrated Systems in Oil Industry. Cofín Habana, 12(1), 241-255.