

**DISEÑO DE UN PROGRAMA DE CAPACITACIÓN PARA LA FORMACIÓN DE  
PERSONAL MEDIANTE EL USO DE LA TÉCNICA DE ANÁLISIS DE  
VIBRACIONES**

**MARIA CALDERON RANGEL  
JOHN JAIRO PARDO GONZÁLEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA**

**2014**

**DISEÑO DE UN PROGRAMA DE CAPACITACIÓN PARA LA FORMACIÓN DE  
PERSONAL MEDIANTE EL USO DE LA TÉCNICA DE ANÁLISIS DE  
VIBRACIONES**

**MARIA CALDERON RANGEL  
JOHN JAIRO PARDO GONZÁLEZ**

**Trabajo de Grado para optar al título de especialista en Gerencia de  
Mantenimiento**

**Director  
M. Sc. JABID EDUARDO QUIROGA MENDEZ  
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA**

**2014**

## **DEDICATORIA**

A Dios, por permitirme vivir y lograr otra meta en la vida, a las personas más importantes y especiales que tengo en la vida, mis padres, mi hermano, esposa e hijo, quienes son el motor de mi vida, gracias a su comprensión y amor.

***John Jairo González***

A mi Dios todo poderoso, por la vida y permitir superarme cada día, a mi madre querida María Irene Rangel, a mis hijas Nohelia María, Paola Andrea, mis nietos Linda Irene y Danielito, mi yerno Edilson Cruzado, por ese apoyo incondicional y comprensión que siempre me han dado.

***María Calderón Rangel***

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darme la vida y la felicidad de lograr culminar otra etapa de mi vida, a mis padres, mi hermano, mi esposa e hijo, por sus consejos, apoyo incondicional y paciencia que han tenido conmigo.

Al Docente Jabid Quiroga, nuestro director, por su confianza y colaboración oportuna, a la Universidad Industrial de Santander por abrirme nuevamente sus puertas y ayudarme a seguir formando personal y profesionalmente con su grupo de docentes de excelente calidad.

***John Jairo Pardo González***

*“Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad.”*

***Albert Einstein***

A mi Dios todo poderoso por permitir cumplir con esta especialización. A la Unión Sindical Obrera “USO” por la oportunidad que les da a los trabajadores Sindicalizados.

A mis jefes y compañeros de la Coordinación de Plantas de Gas – ECOPETROL, El Centro. A mi tía Carmen Sofía Castillo de Galvis, a Jacob Muñoz, por la colaboración oportuna.

***María Calderón Rangel***

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN .....	16
1. CONTEXTUALIZACIÓN .....	18
1.1 PROGRAMAS DE CAPACITACIÓN .....	18
2. ENTRENAMIENTO Y DESARROLLO DE PERSONAL.....	21
2.1 CONCEPTOS Y TIPOS DE EDUCACIÓN.....	21
2.2 ENTRENAMIENTO .....	22
2.2.1 Objetivos del entrenamiento .....	23
2.2.2 Proceso del entrenamiento. ....	24
2.3 PLANEACIÓN DEL ENTRENAMIENTO .....	25
2.4 TECNOLOGÍA EDUCATIVA DE ENTRENAMIENTO .....	26
2.4.1 Técnicas de entrenamiento en cuanto a uso .....	26
2.4.2 Técnicas de entrenamiento en cuanto al tiempo.....	26
2.4.3 Técnicas de entrenamiento en cuanto al lugar .....	27
3. MANTENIMIENTO PREDICTIVO .....	28
3.1 PERSONAL DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	28
3.2 VIBRACIONES MECÁNICAS .....	28
3.2.1 Características de la vibración .....	30
3.2.2 Parámetros de vibración .....	31
3.2.3 Niveles de vibración.....	31
4. ESTUDIO DE MERCADO.....	34
4.1 TÉCNICA UTILIZADA.....	34

4.2 TABULACIÓN DE LA ENCUESTA .....	38
4.3 ANALISIS DOFA .....	44
5. RESULTADOS.....	59
6. PROPUESTA DE ESTRATEGIAS PARA EL DISEÑO DEL PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ANÁLISIS DE VIBRACIONES.....	70
6.1 PROGRAMA DE FIDELIZACIÓN LOS CLIENTES.....	70
6.2 ESTRATEGIA SIMPLICIDAD DEL PRODUCTO / MERCADO.....	72
6.3 DISEÑO DEL PROCESO PARA EL PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN UNA EMPRESA.....	73
7. CONTENIDO DEL PROGRAMA DE CAPACITACIÓN.....	74
8. CONCLUSIONES .....	76
BIBLIOGRAFÍA.....	78
ANEXOS.....	80

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Factores de conversión para niveles de vibración .....	33
Tabla 2. Tabulación de datos.....	38
Tabla 3. Matriz DOFA .....	45

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Aspectos más valorados por la dirección empresarial.....	19
Figura 2. Proceso de entrenamiento.....	24
Figura 3. Aspectos en la planeación del entrenamiento .....	25
Figura 4. Elementos del fenómeno vibratorio .....	30
Figura 5. Niveles o valores de vibración .....	32
Figura 6. Entorno software SDE del Área de Marketing .....	46
Figura 7. Factores para la evaluación y diagnóstico del programa de capacitación .....	48
Figura 8. Factor simplicidad del producto / mercado .....	49
Figura 9. Factor Gestión de clientes .....	50
Figura 10. Factor Personas .....	51
Figura 11. Factor Sistema de información de marketing.....	52
Figura 12. Factor Gestión de las líneas de producto .....	53
Figura 13. Factor Homogeneidad territorial .....	54
Figura 14. Factor Relación con clientes y distribuidores.....	55
Figura 15. Factor Gestión de los productos individuales .....	56
Figura 16. Factor innovación.....	57
Figura 17. Factor servicio de atención al cliente.....	58
Figura 18. Resultados Factor simplicidad del producto / mercado.....	59
Figura 19. Resultados Factor Gestión de las líneas de producto .....	60
Figura 20. Resultados Factor Gestión de los productos individuales.....	61
Figura 21. Resultados Factor Gestión de clientes .....	62
Figura 22. Resultados Factor Homogeneidad del territorio.....	63
Figura 23. Resultados Factor innovación.....	64
Figura 24. Resultados Factor personas .....	65

Figura 25. Resultados Factor relación con clientes y distribución.....	66
Figura 26. Resultados Factor servicio de atención al cliente .....	67
Figura 27. Resultados Factor sistema de información de marketing .....	68
Figura 28. Resultados Generales diagnóstico y evaluación del programa de capacitación.....	69
Figura 29. Metodología CRATER .....	71
Figura 30. Diseño del proceso para el programa de capacitación a una empresa.....	73

## LISTA DE ANEXOS

	<b>pág.</b>
Anexo A. Cartas de vibración para diagnóstico de fallas	80
Anexo B. Análisis financiero programa de capacitación	84
Anexo C. Diseño de prácticas del programas de capacitación	89

## RESUMEN

**TÍTULO** DISEÑO DE UN PROGRAMA DE CAPACITACIÓN PARA LA FORMACIÓN DE PERSONAL MEDIANTE EL USO DE LA TÉCNICA DE ANÁLISIS DE VIBRACIONES\*

**AUTORES** MARIA CALDERON RANGEL  
JOHN JAIRO PARDO GONZÁLEZ\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Capacitación, análisis de vibraciones, mantenimiento predictivo, recurso humano.

### CONTENIDO:

El mantenimiento predictivo es un término cada vez más aplicado en empresas que quieren lograr competitividad y productividad, ello implica capacitar al recurso humano, en técnicas como el análisis de vibraciones, para evitar fallas en máquinas críticas de la línea de producción, lo cual minimiza paradas no programadas y hace que la capacitación no sea un gasto sino una inversión dirigida hacia el personal, con el fin de alcanzar los objetivos de la empresa de una manera óptima.

En el desarrollo de esta monografía se selecciona un mercado a investigar como es el caso de la capacitación del recurso humano, específicamente en la técnica de análisis de vibraciones, donde se establecen variables a investigar y sirve como información esencial para la formación de un plan de negocios, orientado a la capacitación de personal en el área de mantenimiento industrial.

Mediante el estudio de mercado se logra analizar variables como: empresas interesadas, posibles competidores, costos de la capacitación, determinación de contenidos del programa, técnicas de entrenamiento en cuanto a lugar, uso, tiempo de aplicación, plantear estrategias que se convierten en una ventaja competitiva. De esta manera se brinda al personal de mantenimiento el uso de herramientas para el monitoreo de equipos basado en la condición y diagnosticar fallas comunes en maquinaria tales como la desalineación y desbalanceo, entre otras, de una manera confiable y eficaz.

---

\* Monografía

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director M. Sc. Jaid Eduardo Quiroga Méndez.

## SUMMARY

**TITLE:** DESIGN OF A PROGRAM OF TRAINING FOR THE PERSONNEL TRAINING BY MEANS OF THE USE OF THE TECHNOLOGY OF ANALYSIS OF VIBRATIONS\*

**AUTHORS:** MARÍA CALDERÓN RANGEL  
JOHN JAIRO PARDO GONZÁLEZ\*\*

**KEY WORDS:** Training, analysis of vibrations, predictive maintenance, human resource.

### CONTENT:

The predictive maintenance is a term increasingly applied in companies that want to achieve competitiveness and productivity, it implies qualifying to the human resource, in technologies as the analysis of vibrations, to avoid faults in critical machines of the line of production, which minimizes not programmed stops and does that the training is not an expense but an investment directed to the personnel, in order to reach the aims of the company of an ideal way.

In the development of this monograph a market is selected to investigating since it is the case of the training of the human resource, specifically in the technology of analysis of vibrations, where variables are established to investigating and serves as essential information for the formation of a business plan, orientated to the training personnel in the area of industrial maintenance.

The market research it is achieved to analyze variables as: interested companies, possible competitors, costs of the training, determination of contents of the program, technologies of training as for place, use, time of application, to raise strategies that turn into a competitive advantage. Hereby the use of tools is offered to the personnel of maintenance for the monitoring equipment based on the condition and to diagnose common faults in machinery such as the misalignment and mass unbalance, between others, in a reliable and effective way.

---

\* Monograph

\*\* Faculty of Engineerings Physicist - mechanics. School of Mechanical Engineering. Director M. Sc. Jabid Eduardo Quiroga Méndez.

## INTRODUCCIÓN

Para realizar el monitoreo basado en la condición, el personal de mantenimiento predictivo con frecuencia utiliza una técnica muy conocida como son los sentidos humanos, el problema es que en el momento de detectar la fallas potenciales el deterioro ya es demasiado avanzado, además de ser difícil, se tienen criterios de inspección precisos.

En la actualidad empresas dedicadas al mantenimiento, todavía no han cambiado su modelo organizacional, aún continúan con sus paradigmas, haciendo que se desperdicien a sus empleados, equipos, materiales, inventarios disminuyendo su productividad y competitividad, debido a causas tales como falta de “reclutamiento, entrenamiento y capacitación a empleados y trabajadores”<sup>1</sup> teniéndose como consecuencia que el personal no tenga alguna formación en el uso de técnicas como el análisis de vibraciones mecánicas, para realizar monitoreo de la condición y de esta manera detectar fallas potenciales. Además la falta de capacitación hace que dicho personal no cuente con características tales como el hábito por la lectura de textos técnicos, que sea comunicativa, confiable en sus apreciaciones, capacidad de análisis, minuciosa, observadora y ordenada, afectando de esta manera la eficiencia y calidad de los trabajos de mantenimiento predictivo.

El presente trabajo tiene como objetivo realizar un estudio de mercado que permita analizar posibles competidores y empresas interesadas en solicitar formación de personal en el uso de la técnica análisis de vibraciones, con el fin de fortalecer el recurso humano, así mismo elaborar una propuesta sobre contenido del programa de capacitación en el área de análisis de vibraciones, con la cual se

---

<sup>1</sup> VELANDIA JAGUA, Holger. Gerencia de recursos Humanos. Bucaramanga. Especialización gerencia de Mantenimiento. P. 15

pueda formar el respectivo personal, promoviendo el uso de herramientas tecnológicas para realizar labores de mantenimiento a nivel industrial, basado en el monitoreo de condición.

La necesidad de un programa de capacitación radica en la existencia de problemas presentes y futuros en las empresas dedicadas al mantenimiento predictivo, que se suscitan por la modificación de estrategias, procedimientos y tecnologías, inadecuada administración, políticas inoperantes, o cuando los problemas se deben a deficiencias en los conocimientos, en las destrezas manuales o actitudes inadecuadas del personal. “Por tanto cuando un gerente conoce las características y habilidades de sus trabajadores, las deficiencias actuales del personal como sus necesidades futuras.”<sup>2</sup>, se puede planear, elaborar y aplicar con éxito el programa de capacitación.

---

<sup>2</sup> Diagnostico de necesidades de Capacitación. Disponible en <[www.stps.gob.mx](http://www.stps.gob.mx)> 65 p.

## **1. CONTEXTUALIZACIÓN**

### **1.1 PROGRAMAS DE CAPACITACIÓN**

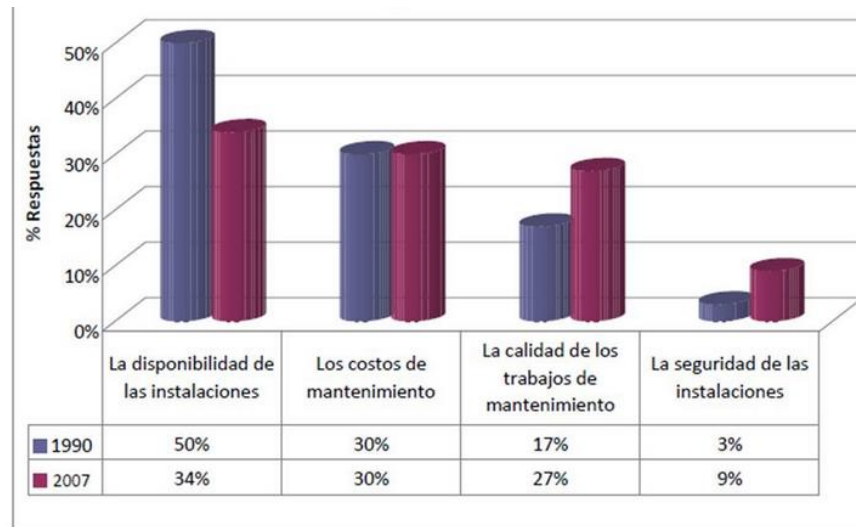
Empresas de los sectores como química, petróleo, metalmeccánica, plásticos, textil, muebles, cementera, energético, alimentos y bebidas, servicios, entre otras, requieren de la función del mantenimiento, entre los que se destaca la aplicación del mantenimiento predictivo en aquellas empresas que quieren lograr competitividad y productividad, ello implica “entrenamiento y capacitación del personal”.

En Colombia la capacitación del recurso humano en el área de vibraciones actualmente lo ofrecen empresas como representantes en muchos de los casos del Vibration Institute, los cuales certifican y preparan al personal para la respectiva certificación (Nivel I, Nivel II, Nivel III), sin embargo las respectivas capacitaciones normalmente tienen un costo bastante elevado lo que hace que el personal de mantenimiento no pueda acceder a ellos y renuncie a la posibilidad de capacitarse.

En el estudio del arte del mantenimiento en Colombia 2007, desarrollado por ACIEM, se realizó una encuesta a 257 empresas de diferentes sectores económicos la cual dio como resultado que la mayor preocupación de las empresas radicaba en tener la disponibilidad de las instalaciones (34%) y en la calidad de las actividades de mantenimiento (24%), el interés de la calidad de las labores de mantenimiento se encuentra sustentada en relevancia que han tomado los conceptos de calidad ante las exigencias de la norma ISO (9001, 14000,

18000) para efectos de la certificación y normalización de las empresas y su proceso.<sup>3</sup> Como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 1. Aspectos más valorados por la dirección empresarial.**



Fuente. <http://waemprendimiento.blogspot.com/2010/11/plan-de-negocio-empresa-de-consultoria.html>

Entonces las empresas se están dando cuenta que no basta solo ofrecer capacitación básica del puesto de trabajo sino que además se le debe brindar actualización para mejorar las condiciones laborales. Por tanto los programas de capacitación plantean una metodología didáctica adecuada que contribuyen al desarrollo personal y profesional de los trabajadores, a tener actitudes más positivas y una rentabilidad más alta, mejorar en el conocimiento del puesto de trabajo en todos los niveles, promover la comunicación a toda la organización, así mismo a disminuir “costos de rotación de personal: Primarios (Costos de reclutamiento y selección, costo de registro y documentación costos de integración, costos de desvinculación), Secundarios (efectos en la producción, efectos en la actitud del personal, costo extra laboral, costo operativo, terciarios

<sup>3</sup> Disponible en <<http://waemprendimiento.blogspot.com/2010/11/plan-de-negocio-empresa-de-consultoria.html>>

(costos por inversiones extras, pérdidas en los negocios)” y ser una de las principales fuentes de bienestar para el personal y la organización.

Para lograr los objetivos en una organización se requiere de recursos, entre los que se encuentran el recurso humano. “El recurso humano es el único recurso vivo y dinámico de la organización y decide el manejo de los demás que son físicos y materiales además constituye un tipo de recurso que posee una vocación encaminada hacia el crecimiento y desarrollo, aportan a la organización sus habilidades conocimientos, actitudes, comportamientos, percepciones, etc.”

La necesidad de un programa de capacitación radica en la existencia de problemas presentes y futuros en las empresas de la región dedicada al mantenimiento predictivo, que se suscitan por la modificación de estrategias, procedimientos y tecnologías, inadecuada administración, políticas inoperantes, o cuando los problemas se deben a deficiencias en los conocimientos, en las destrezas manuales o actitudes inadecuadas del personal. “Por tanto se hace necesario conocer con exactitud tanto las “deficiencias actuales del personal como sus necesidades futuras”. Igualmente número exacto de trabajadores que necesitan capacitación, características de los trabajadores que necesitan ser capacitados y descripción precisa y completa de las actividades en que necesitan ser capacitados.” . Partiendo de lo anteriormente nombrado se puede planear, elaborar y aplicar con éxito el programa de capacitación.

## 2. ENTRENAMIENTO Y DESARROLLO DE PERSONAL

### 2.1 CONCEPTOS Y TIPOS DE EDUCACIÓN

Desde el nacimiento hasta la muerte, el ser humano vive en constante interacción con el ambiente, recibiendo influencias e influyendo en sus relaciones con este. Educación es toda influencia que el ser humano recibe del ambiente social durante su existencia para adaptarse a las normas y valores sociales vigentes y aceptados. No obstante el ser humano recibe estas influencias y las asimila según sus inclinaciones y predisposiciones y enriquece o modifica su comportamiento de acuerdo con sus propios principios.

La educación puede ser institucionalizada y ejercida no solo de modo organizado y sistemático como en las escuelas e iglesias donde se sigue un plan preestablecido, sino que también puede ser desarrollada de modo difuso, desorganizado y asistemático, como en el hogar y grupos sociales a los que pertenece el individuo, sin obedecer a ningún plan preestablecido. La educación es la preparación para la vida y por la vida. Puede hablarse de varios tipos de educación: social, religiosa, cultural, política moral, profesional, etc.

La educación profesional, institucionalizada o no, prepara al hombre para la vida profesional, comprende tres etapas interdependientes, pero perfectamente diferenciadas:

- ✓ **Formación profesional:** La formación profesional busca preparar y formar al hombre para el ejercicio de una profesión en determinado mercado de trabajo, sus objetivos son amplios y a largo plazo, puede impartirse en las escuelas (primaria, secundaria, educación superior).

- ✓ **Perfeccionamiento o desarrollo profesional:** busca desarrollar y perfeccionar al hombre para su crecimiento profesional en determinada carrera en la empresa o para que sea más eficiente y productivo en su cargo, sus objetivos se sitúan a mediano plazo, buscando proporcionar al hombre aquellos conocimientos preparándolo para asumir funciones más complejas.
- ✓ **Entrenamiento:** es la educación profesional que busca adaptar al hombre a determinado cargo, sus objetivos se sitúan a corto plazo, son limitados e inmediatos, buscando dar al individuo los elementos esenciales para los ejercicios de un cargo y preparándolo de manera adecuada. Se imparte en las empresas o en firmas especializadas en entrenamiento.

## 2.2 ENTRENAMIENTO

Hoyler<sup>4</sup>, considera que el entrenamiento es “una inversión empresarial destinada a capacitar un equipo de trabajo para reducir o eliminar la diferencia entre el desempeño actual, los objetivos y las realizaciones propuestas. En un sentido más amplio el entrenamiento es un esfuerzo dirigido hacia el equipo con la finalidad de que el mismo alcance los objetivos de la empresa de la manera más económica posible”. El contenido del entrenamiento puede incluir cuatro tipos de cambio de comportamiento:

- ✓ **Transmisión de información:** el elemento esencial en muchos programas de entrenamiento es el contenido, a menudo la información es genérica y referente al trabajo: información acerca de la empresa, sus productos, sus servicios, su organización, su política, sus reglamentos, etc.

---

<sup>4</sup> CHIAVENATO, Idalberto. Administración de recursos humanos. Quinta edición. Editorial Mc Graw-Hill. Bogotá. 2000. P 558.

- ✓ **Desarrollo de habilidades:** aquellas destrezas y conocimientos relacionados directamente con el desempeño del cargo actual o posibles ocupaciones futuras, es un entrenamiento orientado de manera directa a las tareas y operaciones que van a ejecutarse.
  
- ✓ **Desarrollo o modificación de actitudes:** se refiere al cambio de actitudes negativas por actitudes más favorables entre los trabajadores, aumento de la motivación, desarrollo de la sensibilidad del personal, también puede implicar adquisición de nuevos hábitos y actitudes ante todo relacionados con los clientes o usuarios.
  
- ✓ **Desarrollo de conceptos:** puede estar dirigido a elevar el nivel de abstracción y conceptualización de ideas y pensamientos, ya sea para facilitar la aplicación de conceptos en la práctica administrativa o para elevar el nivel de generalización, relacionados con la filosofía de la empresa y la ética profesional.

Estos cuatro tipos de contenido del entrenamiento pueden utilizarse por separado o en conjunto.

**2.2.1 Objetivos del entrenamiento** Los objetivos principales del entrenamiento son:

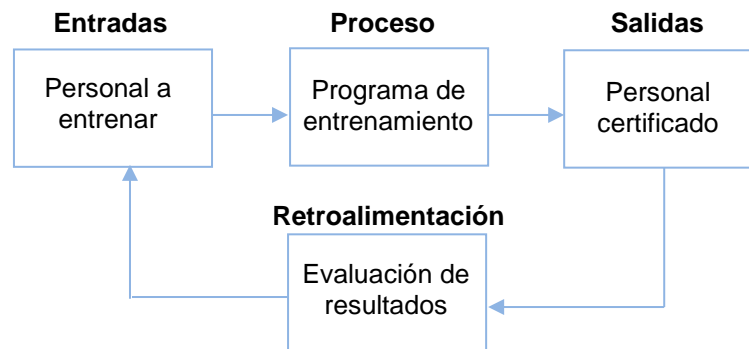
- ✓ Preparar al personal para la ejecución inmediata de las diversas actividades del cargo.
  
- ✓ Proporcionar oportunidades para el desarrollo personal continuo, no solo en su cargo actual, sino también en otras funciones en las cuales puede ser considerada la persona.

- ✓ Cambiar la actitud de las personas, bien sea para crear un clima más satisfactorio entre los empleados, aumentar su motivación, o hacerlos más receptivos a las técnicas de supervisión y gerencia.

**2.2.2 Proceso del entrenamiento.** Entrenamiento es el acto intencional de proporcionar los medios para posibilitar el aprendizaje. El aprendizaje es un fenómeno que surge dentro del individuo como resultado de sus mismos esfuerzos. El aprendizaje es un cambio del comportamiento, que ocurre día tras día en todos los individuos. El entrenamiento debe tratar de orientar tales experiencias de aprendizaje hacia lo positivo y lo benéfico, complementarlas y reforzarlas con actividades planeadas para que los individuos en todos los niveles de la empresa puedan adquirir conocimientos con mayor rapidez y desarrollar aquellas actitudes y habilidades que los beneficiaran así mismos y a su empresa.

Por consiguiente, el entrenamiento cubre una secuencia programada de eventos: entradas, proceso, salidas, retroalimentación, que pueden expresarse como un proceso continuo cuyo ciclo se renueva cada vez que se repite, como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 2. Proceso de entrenamiento.**

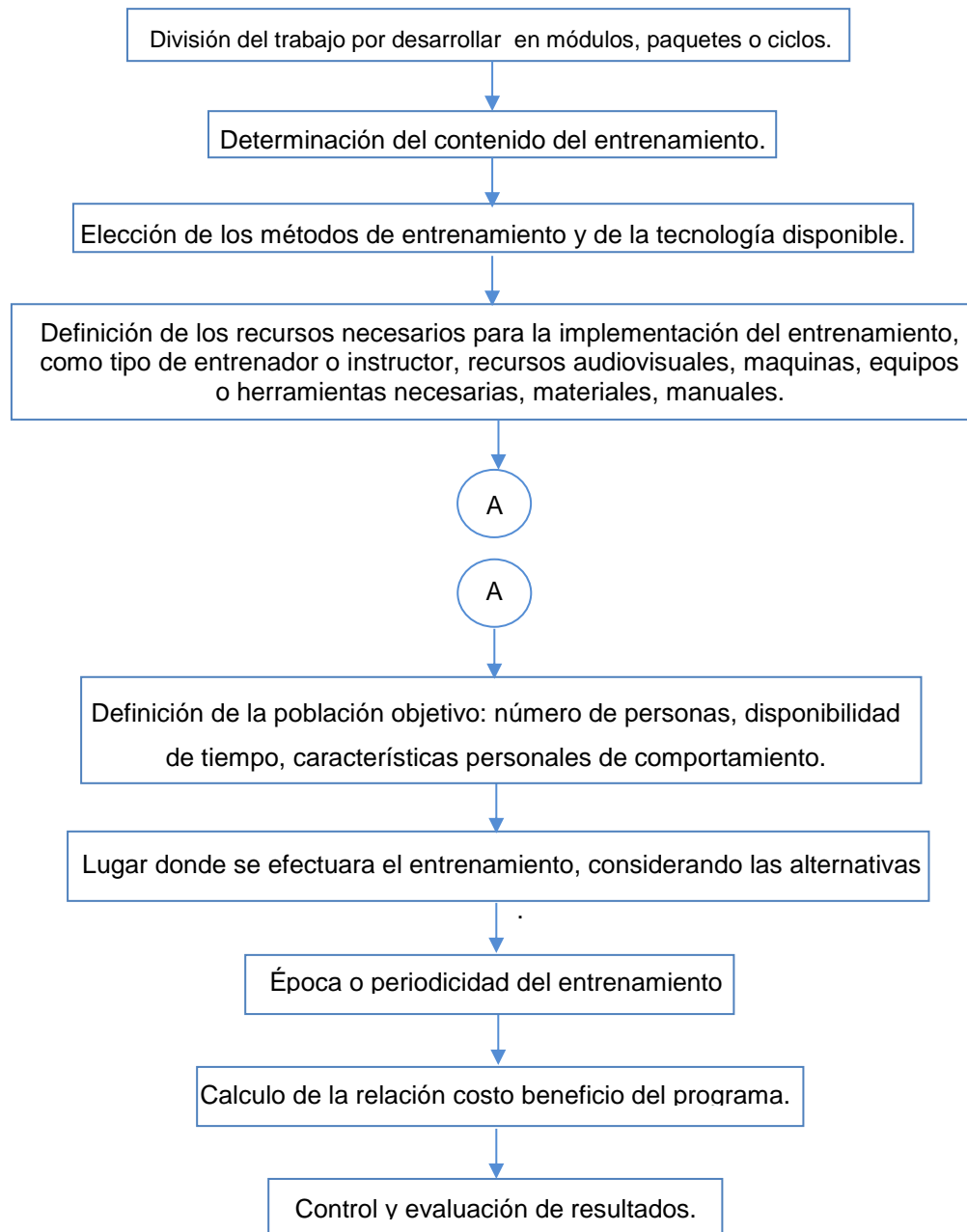


Fuente. Autores

## 2.3 PLANEACIÓN DEL ENTRENAMIENTO

Un programa de entrenamiento exige una planeación que incluye aspectos tales como se muestra en el siguiente esquema:

**Figura 3. Aspectos en la planeación del entrenamiento**



Fuente. Autores

## 2.4 TECNOLOGÍA EDUCATIVA DE ENTRENAMIENTO

Con el fin de optimizar el aprendizaje, es decir alcanzar el mayor volumen de aprendizaje con la menor inversión de esfuerzo, tiempo y dinero, las técnicas de entrenamiento pueden clasificarse en cuanto al uso, tiempo y lugar de aplicación.

### 2.4.1 Técnicas de entrenamiento en cuanto a uso

- ✓ **Técnicas de entrenamiento orientadas al contenido:** se usan técnicas de lectura, recursos audiovisuales, instrucción programada e instrucción asistida por computador.
- ✓ **Técnicas de entrenamiento orientadas al proceso:** diseñadas para cambiar actitudes, entre las técnicas orientadas al proceso están el role-playing (juego de roles o dramatización).
- ✓ **Técnicas mixtas de entrenamiento:** se emplean tanto para transmitir información y cambiar actitudes y comportamientos. Entre las técnicas mixtas sobresalen las conferencias, los estudios de casos, las simulaciones y casos, técnicas de entrenamiento en el cargo (on the job).

### 2.4.2 Técnicas de entrenamiento en cuanto al tiempo

- ✓ **Entrenamiento de inducción o de integración a la empresa:** busca la adaptación y ambientación inicial del nuevo empleado a la empresa, y al ambiente social y físico donde va a trabajar la introducción del nuevo empleado se hace mediante programación sistemática llevada por quien será su jefe inmediato.

- ✓ **Entrenamiento después del ingreso al trabajo:** esta se puede desarrollar en servicio (lugar o sitio de trabajo) o fuera del servicio (fuera del lugar de trabajo).

#### **2.4.3 Técnicas de entrenamiento en cuanto al lugar**

- ✓ **Entrenamiento en el lugar de trabajo:** no requiere de acondicionamiento ni equipos especiales y constituye la forma más común de transmitir las enseñanzas necesarias a los empleados. Tiene mucha acogida debido a que es muy práctico ya que el empleado aprende mientras trabaja.
- ✓ **Entrenamiento fuera del lugar de trabajo:** su principal ventaja se encuentra en que el personal entrenado puede dedicar toda la atención al entrenamiento lo cual no es posible cuando uno está involucrado en las tareas propias del cargo, las técnicas que se destacan son: películas, diapositivas, videos, estudio de casos.

### **3. MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

#### **3.1 PERSONAL DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

La capacidad del personal es el principal factor que afecta a la eficiencia de los trabajos de Mantenimiento Predictivo, porque sus éxitos dependen de ellos; El personal que integra el grupo de trabajo de Predictivo, deberá cumplir con lo siguiente:

- ✓ Excelente formación técnica.
- ✓ Autodidacta con hábito de lectura de textos técnicos.
- ✓ Responsable.
- ✓ Confiable y honesto en sus apreciaciones.
- ✓ Experiencia en los trabajos de Mantenimiento.
- ✓ Condiciones de Trabajo en grupo.
- ✓ Capacidad de análisis.
- ✓ Minucioso, observador y ordenado.
- ✓ Comunicativo.

#### **3.2 VIBRACIONES MECÁNICAS**

En la práctica las vibraciones ocurren como un fenómeno de transmisión de fuerzas cíclicas a través de los mecanismos; al haber una variación de fuerzas actuando sobre un cuerpo, éste tiende en mayor o menor medida a recobrar su forma o posición original, dependiendo de sus características de elasticidad y amortiguamiento, generando así condiciones dinámicas que se traducen en fenómenos vibratorios.

Por tanto se define la vibración como la oscilación de un sistema físico o de una propiedad alrededor de una posición de equilibrio o de referencia. El movimiento oscilatorio de un cuerpo unido a un resorte, las oscilaciones de presión, de temperatura, de corriente eléctrica, son ejemplos de vibraciones. Vibración Mecánica es la oscilación de un sistema mecánico alrededor de su posición de equilibrio.

La ingeniería de vibraciones comprende dos grandes categorías de aplicación:

- ✓ Eliminación y supresión de vibraciones indeseables.
- ✓ Generación de las formas y cantidades necesarias de vibraciones útiles.

El fenómeno vibratorio (o problema de vibraciones) está constituido por tres elementos esenciales: la excitación, dada por la fuerza que actúa sobre el sistema, el sistema cuyas características están representadas por su movilidad y la respuesta del sistema, que es la vibración resultante.

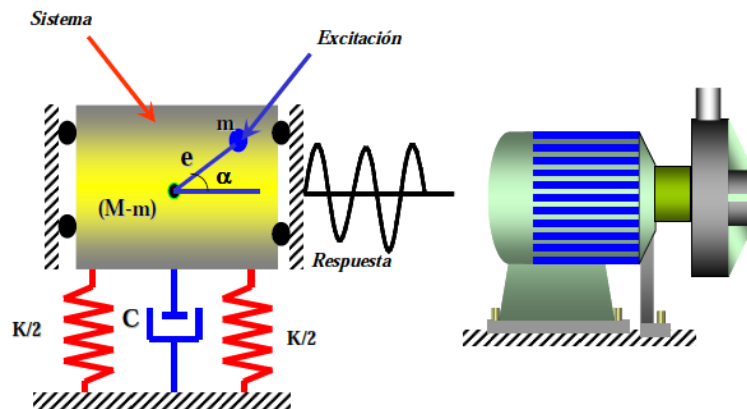
$$V = F \times \text{Mov.}$$

Dónde:

- ✓ V: Vibración (velocidad)
- ✓ F: Fuerza
- ✓ Mov: Movilidad

En el siguiente esquema se muestra los elementos del fenómeno vibratorio.

**Figura 4. Elementos del fenómeno vibratorio**



Fuente. GARCÍA CASTRO, Alfonso. Análisis de vibraciones en máquinas diagnóstico de fallas y mantenimiento predictivo. Universidad Industrial de Santander. Especialización en Gerencia de mantenimiento. 2011. p 12.

**3.2.1 Características de la vibración** Las características fundamentales de la vibración son:

- ✓ **Frecuencia ( $f = 1/T$ ):** Es el número de ciclos en un determinado período de tiempo, se expresa en; Ciclos por segundo (Hertz), Ciclos por minuto (CPM) o múltiplos de la velocidad de operación de la máquina (Órdenes). Período (T); Es el tiempo requerido para completar un ciclo de vibración.
- ✓ **Amplitud (A):** Es el desplazamiento máximo de la vibración, puede ser expresada en múltiples formas, tales como:

Pico: se mide desde el punto neutral hasta la cresta. ( $A_p$ )

Pico - Pico: se mide desde la cresta inferior hasta la superior. ( $A_{p-p}$ )

RMS: Raíz cuadrática media, ( $ARMS = 0.707 A_p$ ) solamente para una onda sinusoidal.

- ✓ **Angulo de Fase de la Vibración ( $\theta$ ):** Es la posición angular de un objeto en cualquier instante con respecto a una referencia de la misma frecuencia (Grados).

### 3.2.2 Parámetros de vibración

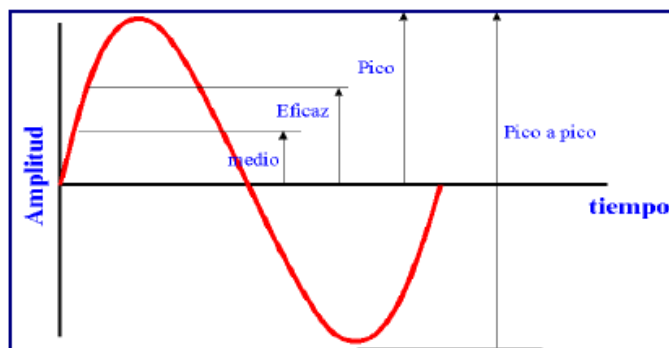
- ✓ **Desplazamiento:** es la medida dominante a bajas frecuencias, inferiores a 600 CPM y está relacionado a los esfuerzos de flexión de sus elementos.
- ✓ **Velocidad:** Es la medida dominante en el rango de frecuencias de 600 CPM hasta 60,000 CPM, está relacionado a la fatiga del material.
- ✓ **Aceleración:** Es la medida dominante a altas frecuencias, mayores que 60,000 CPM y está relacionado a las fuerzas presentes en la máquina.

**3.2.3 Niveles de vibración** La amplitud de vibración puede ser cuantificada en diferentes formas denominadas niveles, escalas o promedios de vibración. Los más utilizados son los siguientes:

- ✓ **Pico-Pico:** Se mide desde el límite inferior de la cresta hasta el límite superior. Indica el recorrido o desplazamiento total de la pieza. Es útil cuando el desplazamiento es crítico por los esfuerzos generados o por el espacio disponible.
- ✓ **Pico:** Es la amplitud máxima de la vibración a partir de la posición de equilibrio. Es útil para indicar niveles de choque de corta duración, pero no considera la historia de la vibración en el tiempo.

- ✓ **Valor medio:** Hace intervenir la historia de la vibración en el tiempo, pero es de poco interés práctico porque no está relacionado directamente con alguna magnitud física.
- ✓ **Valor rms (Root Mean Square):** Es el valor más significativo de la amplitud de vibración porque además de tener en cuenta la historia de la vibración en el tiempo da un valor de amplitud relacionado directamente con la energía, es decir, con la capacidad destructora de la vibración.

**Figura 5. Niveles o valores de vibración**



Fuente. GARCÍA CASTRO, Alfonso. Análisis de vibraciones en máquinas diagnóstico de fallas y mantenimiento predictivo. Universidad Industrial de Santander. Especialización en Gerencia de mantenimiento. 2011. p 15.

Los factores de conversión entre los diferentes niveles de vibración se encuentran en la siguiente tabla.

**Tabla 1. Factores de conversión para niveles de vibración**

<b>FACTORES DE CONVERSIÓN PARA NIVELES DE VIBRACIÓN</b>				
<b>A</b> \ <b>DE</b>	<b>Pk-Pk</b>	<b>P</b>	<b>rms</b>	<b>Valor Medio</b>
<b>Pk-Pk</b>	1	2	2.828	3.142
<b>P</b>	0.500	1	1.414	1.571
<b>rms</b>	0.354	0.707	1	1.111
<b>Valor Medio</b>	0.318	0.637	0.900	1

Fuente. Autores

## **4. ESTUDIO DE MERCADO**

Es importante que para el diseño del programa de capacitación se realice un estudio de mercado el cual sirve como herramienta para conocer información valiosa acerca del cliente, competidores, precios, servicios ofrecidos, disminuir riesgos, entre otras; además de aportar información esencial para la toma de decisiones. Por tal motivo, se evalúa el mercado a través de la encuesta para obtener dicha información.

### **4.1 TÉCNICA UTILIZADA**

La encuesta de mercado que se pretende aplicar son preguntas claras, concretas que no necesitan de cálculos difíciles, es breve y arroja la información que se busca. El personal seleccionado son trabajadores de la empresa Ecopetrol S.A y en la gran mayoría lleva más de 6 años en la compañía. Se encuentran en diferentes cargos del área de mantenimiento en los que se incluyen operadores de planta, técnicos en mantenimiento, supervisores.

Para el diseño del programa de capacitación y luego esta se desarrolle en un plan de negocio, se hace necesaria la identificación clara del objetivo de dicho programa. Se utiliza la técnica de encuesta, con el fin de analizar las características del mercado, si es interesante ingresar en él, es decir analizar la oferta y demanda del servicio que se quiere ofrecer, con el fin de plantear estrategias que permitan tener ventaja competitiva. A continuación se muestra las preguntas que se tienen en cuenta para el desarrollo de la encuesta.

1. ¿Conoce el uso de la técnica de análisis de vibraciones? Si \_\_\_\_ No\_\_\_\_

2. ¿Existe en su empresa programas de capacitación orientados al mantenimiento predictivo? Si \_\_\_\_ No\_\_\_\_

3. ¿Usted cree que es necesario que haya una empresa de capacitación en Barrancabermeja que oriente cursos en la técnica de análisis de vibraciones?  
Si \_\_\_\_ No\_\_\_\_

4. ¿Cuál sería el costo que pagaría por una capacitación en la técnica de análisis de vibraciones?

\$200.000 a \$400.000

\$400.000 a \$600.000

Indique otro valor\_\_\_\_\_

5. ¿Qué tipo de fallas le gustaría diagnosticar mediante el uso de la técnica de análisis de vibraciones? Marque con una X

- ✓ Desalineamiento ( )
- ✓ Desbalanceo ( )
- ✓ Fallas en rodamientos ( )
- ✓ Cavitación en bombas ( )
- ✓ Fallas en engranajes ( )
- ✓ Soltura Mecánica ( )
- ✓ Fallas eléctricas ( )

6. ¿Cree que en su empresa puede utilizarse el análisis de vibraciones en las labores de mantenimiento? Si \_\_\_\_ No\_\_\_\_

7. ¿Qué tipo de máquinas le gustaría utilizar análisis de vibraciones?

- ✓ Equipo rotativo ( )

✓ Equipo reciprocante ( )

8. ¿Cree que una capacitación en análisis de vibraciones mejoraría sus condiciones laborales en su empresa? Si \_\_\_\_\_ No\_\_\_\_\_

9. ¿Cuánto tiempo le gustaría que tuviera en programa de capacitación? Marque con una X

✓ 10 horas a 20 horas ( )

✓ 20 horas a 30 horas ( )

✓ 30 horas a 40 horas ( )

✓ Indique otro\_\_\_\_\_

10. ¿El horario que le gustaría recibir la capacitación sería? Marque con una X

✓ Mañana ( )

✓ Tarde ( )

✓ Noche ( )

✓ Fines de semana ( )

11. ¿Cuándo ha recibido capacitaciones en mantenimiento predictivo los costos por capacitación son? Marque con una X

✓ Altos ( )

✓ Medios ( )

✓ Bajos ( )

12. ¿La capacitación que le gustaría recibir en vibraciones mecánicas sea?

Marque con una X

✓ 50% teoría 50% práctica ( )

✓ 70% teoría 30% practica ( )

✓ 30% teoría 70% práctica ( )

✓ Otro porcentaje ( ) cual \_\_\_\_\_

13. ¿A qué ciudad lo envían a capacitaciones relacionadas con mantenimiento predictivo? Marque con una X

- ✓ Bucaramanga ( )
- ✓ Bogotá ( )
- ✓ Medellín ( )
- ✓ Otra ciudad \_\_\_\_\_

14. ¿Qué ventajas cree usted que hay en la creación de una empresa dedicada a la capacitación de mantenimiento predictivo? Marque con una X

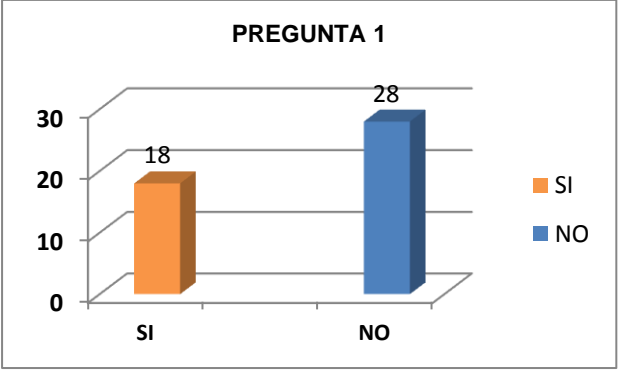
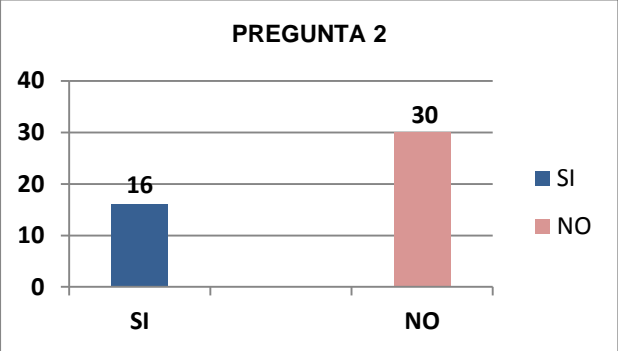

- ✓ Disminución en costos de envío de personal a capacitación ( )
- ✓ Ofrecer formación de calidad. ( )
- ✓ Disminución en valor por programa de capacitación ( )
- ✓ Disposición del personal en la ciudad ( )
- ✓ Otros \_\_\_\_\_

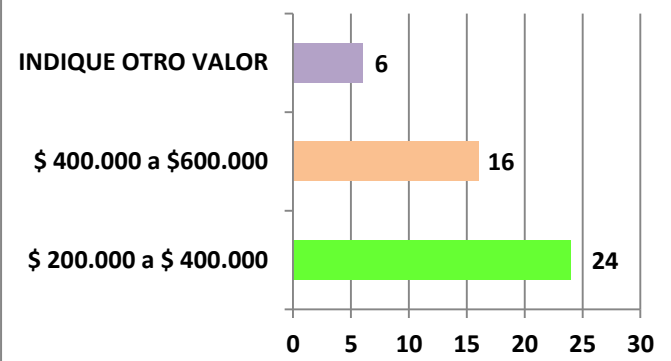
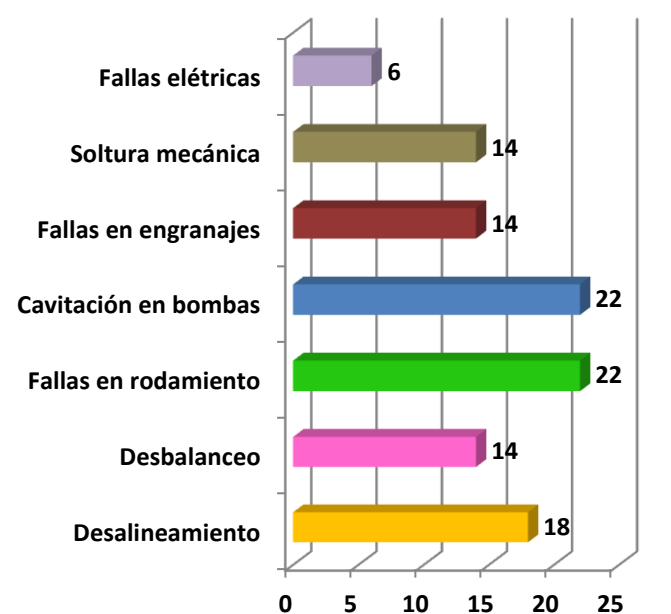
15. ¿Le gustaría que la formación en vibraciones mecánicas fuera? Marque con una X.

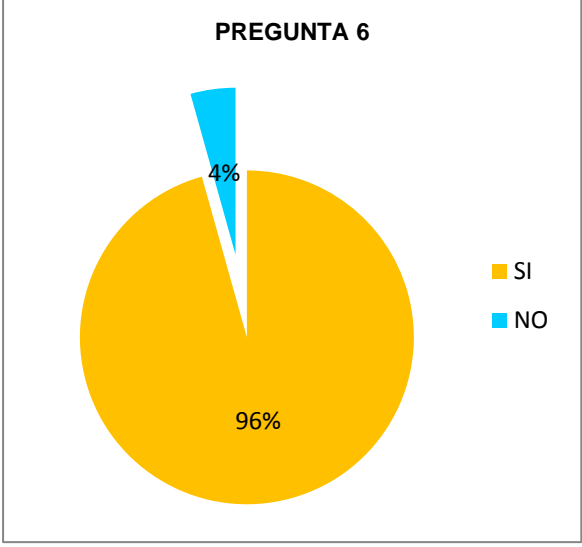
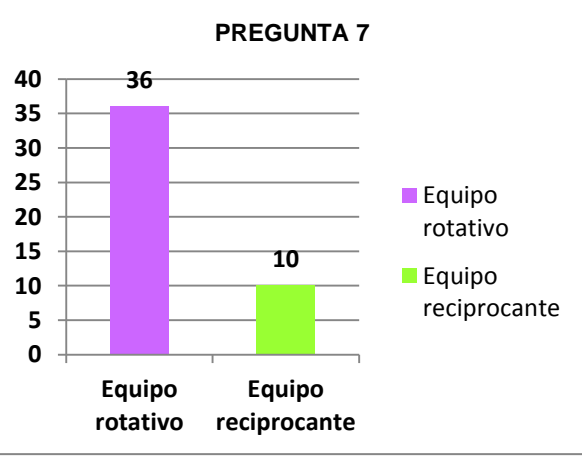
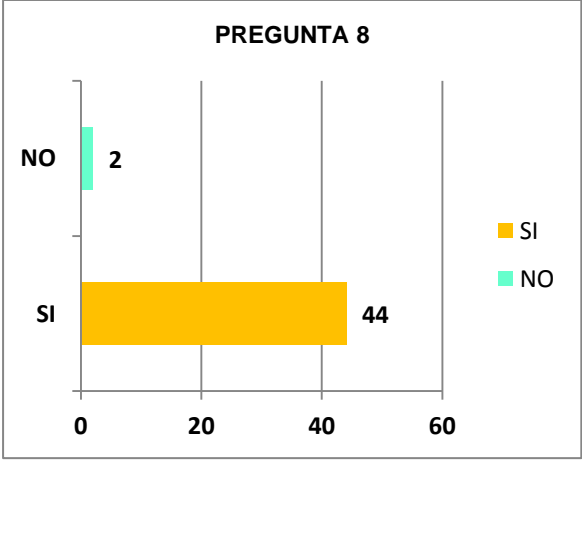
- ✓ Presencial ( )
- ✓ Virtual ( )
- ✓ Semipresencial ( )

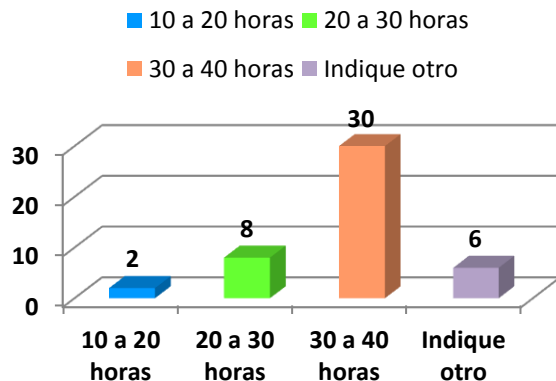
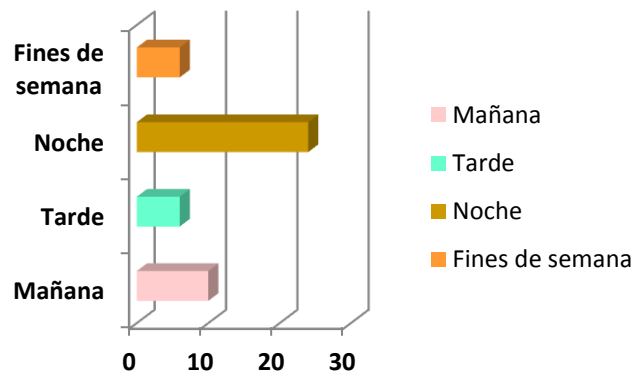
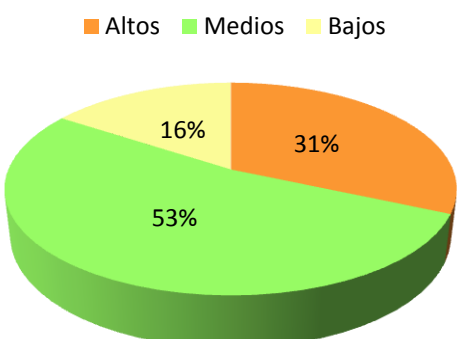
## 4.2 TABULACIÓN DE LA ENCUESTA

**Tabla 2. Tabulación de datos**

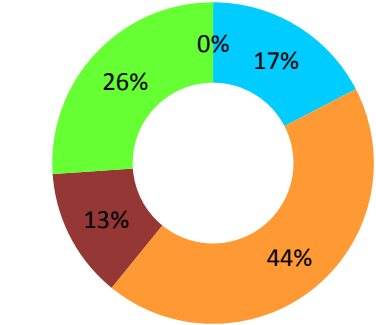
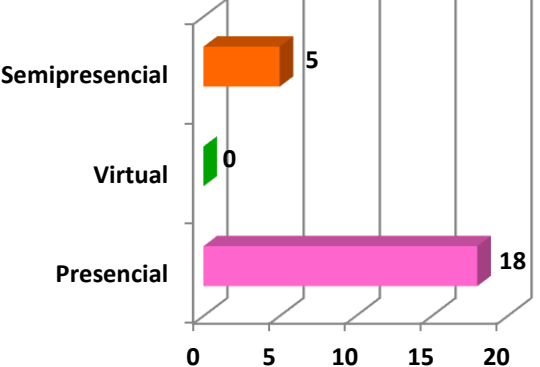
PREGUNTA	GRAFICO						
<p>1. ¿Conoce el uso de la técnica de análisis de vibraciones? Si ____ No ____</p>	 <p><b>PREGUNTA 1</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Respuesta</th> <th>Cantidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SI</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>NO</td> <td>28</td> </tr> </tbody> </table>	Respuesta	Cantidad	SI	18	NO	28
Respuesta	Cantidad						
SI	18						
NO	28						
<p>2. ¿Existe en su empresa programas de capacitación orientados al mantenimiento predictivo? Si ____ No ____</p>	 <p><b>PREGUNTA 2</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Respuesta</th> <th>Cantidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SI</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>NO</td> <td>30</td> </tr> </tbody> </table>	Respuesta	Cantidad	SI	16	NO	30
Respuesta	Cantidad						
SI	16						
NO	30						
<p>3. ¿Usted cree que es necesario que haya una empresa de capacitación en Barrancabermeja que oriente cursos en la técnica de análisis de vibraciones? Si ____ No ____</p>	 <p><b>PREGUNTA 3</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Respuesta</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SI</td> <td>96%</td> </tr> <tr> <td>NO</td> <td>4%</td> </tr> </tbody> </table>	Respuesta	Porcentaje	SI	96%	NO	4%
Respuesta	Porcentaje						
SI	96%						
NO	4%						

PREGUNTA	GRAFICO																
<p>4. ¿Cuál sería el costo que pagaría por una capacitación en la técnica de análisis de vibraciones?</p> <p>\$200.000 a \$400.000            \$400.000 a \$600.000            Indique otro valor _____</p>	<p style="text-align: center;"><b>PREGUNTA 4</b></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="display: flex; gap: 10px;"> <span style="color: green;">■</span> \$ 200.000 a \$ 400.000</div> <div style="display: flex; gap: 10px;"> <span style="color: orange;">■</span> \$ 400.000 a \$600.000</div> <div style="display: flex; gap: 10px;"> <span style="color: purple;">■</span> INDIQUE OTRO VALOR</div> </div>  <table border="1" style="margin-top: 10px;"> <caption>Data for PREGUNTA 4</caption> <thead> <tr> <th>Categoría</th> <th>Respuestas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>\$ 200.000 a \$ 400.000</td> <td>24</td> </tr> <tr> <td>\$ 400.000 a \$600.000</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>INDIQUE OTRO VALOR</td> <td>6</td> </tr> </tbody> </table>	Categoría	Respuestas	\$ 200.000 a \$ 400.000	24	\$ 400.000 a \$600.000	16	INDIQUE OTRO VALOR	6								
Categoría	Respuestas																
\$ 200.000 a \$ 400.000	24																
\$ 400.000 a \$600.000	16																
INDIQUE OTRO VALOR	6																
<p>5. ¿Qué tipo de fallas le gustaría diagnosticar mediante el uso de la técnica de análisis de vibraciones? Marque con una X</p> <p>✓ Desalineamiento ( )            ✓ Desbalanceo ( )            ✓ Fallas en rodamientos ( )            ✓ Cavitación en bombas ( )            ✓ Fallas en engranajes ( )            ✓ Soltura Mecánica ( )            ✓ Fallas eléctricas ( )</p>	<p style="text-align: center;"><b>PREGUNTA 5</b></p> <div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around;"> <div style="display: flex; gap: 10px; margin-bottom: 5px;"> <span style="color: yellow;">■</span> Desalineamiento</div> <div style="display: flex; gap: 10px; margin-bottom: 5px;"> <span style="color: pink;">■</span> Desbalanceo</div> <div style="display: flex; gap: 10px; margin-bottom: 5px;"> <span style="color: green;">■</span> Fallas en rodamiento</div> <div style="display: flex; gap: 10px; margin-bottom: 5px;"> <span style="color: blue;">■</span> Cavitación en bombas</div> <div style="display: flex; gap: 10px; margin-bottom: 5px;"> <span style="color: brown;">■</span> Fallas en engranajes</div> <div style="display: flex; gap: 10px; margin-bottom: 5px;"> <span style="color: olive;">■</span> Soltura mecánica</div> <div style="display: flex; gap: 10px; margin-bottom: 5px;"> <span style="color: purple;">■</span> Fallas eléctricas</div> </div>  <table border="1" style="margin-top: 10px;"> <caption>Data for PREGUNTA 5</caption> <thead> <tr> <th>Tipo de falla</th> <th>Respuestas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Desalineamiento</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>Desbalanceo</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>Fallas en rodamiento</td> <td>22</td> </tr> <tr> <td>Cavitación en bombas</td> <td>22</td> </tr> <tr> <td>Fallas en engranajes</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>Soltura mecánica</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>Fallas eléctricas</td> <td>6</td> </tr> </tbody> </table>	Tipo de falla	Respuestas	Desalineamiento	18	Desbalanceo	14	Fallas en rodamiento	22	Cavitación en bombas	22	Fallas en engranajes	14	Soltura mecánica	14	Fallas eléctricas	6
Tipo de falla	Respuestas																
Desalineamiento	18																
Desbalanceo	14																
Fallas en rodamiento	22																
Cavitación en bombas	22																
Fallas en engranajes	14																
Soltura mecánica	14																
Fallas eléctricas	6																

PREGUNTA	GRAFICO						
<p>6. ¿Cree que en su empresa puede utilizarse el análisis de vibraciones en las labores de mantenimiento? Si _____ No_____</p>	<p style="text-align: center;"><b>PREGUNTA 6</b></p>  <p>A pie chart titled 'PREGUNTA 6' showing the distribution of responses. The 'SI' (Yes) category is represented by a large yellow slice at 96%, and the 'NO' (No) category is represented by a small cyan slice at 4%. A legend on the right shows a yellow square for 'SI' and a cyan square for 'NO'.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Respuesta</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SI</td> <td>96%</td> </tr> <tr> <td>NO</td> <td>4%</td> </tr> </tbody> </table>	Respuesta	Porcentaje	SI	96%	NO	4%
Respuesta	Porcentaje						
SI	96%						
NO	4%						
<p>7. ¿Qué tipo de máquinas le gustaría utilizar análisis de vibraciones?  ✓ Equipo rotativo ( )  ✓ Equipo recíprocante ( )</p>	<p style="text-align: center;"><b>PREGUNTA 7</b></p>  <p>A bar chart titled 'PREGUNTA 7' showing the number of responses for two equipment types. The y-axis ranges from 0 to 40. The 'Equipo rotativo' (rotary equipment) bar is purple and reaches 36. The 'Equipo recíprocante' (reciprocating equipment) bar is green and reaches 10. A legend on the right shows a purple square for 'Equipo rotativo' and a green square for 'Equipo recíprocante'.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Equipo</th> <th>Cantidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Equipo rotativo</td> <td>36</td> </tr> <tr> <td>Equipo recíprocante</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table>	Equipo	Cantidad	Equipo rotativo	36	Equipo recíprocante	10
Equipo	Cantidad						
Equipo rotativo	36						
Equipo recíprocante	10						
<p>8. ¿Cree que una capacitación en análisis de vibraciones mejoraría sus condiciones laborales en su empresa? Si _____ No_____</p>	<p style="text-align: center;"><b>PREGUNTA 8</b></p>  <p>A horizontal bar chart titled 'PREGUNTA 8' showing the number of responses for two categories. The x-axis ranges from 0 to 60. The 'SI' (Yes) bar is yellow and reaches 44. The 'NO' (No) bar is cyan and reaches 2. A legend on the right shows a yellow square for 'SI' and a cyan square for 'NO'.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Respuesta</th> <th>Cantidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SI</td> <td>44</td> </tr> <tr> <td>NO</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>	Respuesta	Cantidad	SI	44	NO	2
Respuesta	Cantidad						
SI	44						
NO	2						

PREGUNTA	GRAFICO										
<p>9. ¿Cuánto tiempo le gustaría que tuviera en programa de capacitación? Marque con una X</p> <p>✓ 10 horas a 20 horas ( )</p> <p>✓ 20 horas a 30 horas ( )</p> <p>✓ 30 horas a 40 horas ( )</p> <p>✓ Indique otro _____</p>	<p><b>PREGUNTA 9</b></p>  <p>Legend: 10 a 20 horas (blue), 20 a 30 horas (green), 30 a 40 horas (orange), Indique otro (purple)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Categoría</th> <th>Respuestas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10 a 20 horas</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>20 a 30 horas</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>30 a 40 horas</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>Indique otro</td> <td>6</td> </tr> </tbody> </table>	Categoría	Respuestas	10 a 20 horas	2	20 a 30 horas	8	30 a 40 horas	30	Indique otro	6
Categoría	Respuestas										
10 a 20 horas	2										
20 a 30 horas	8										
30 a 40 horas	30										
Indique otro	6										
<p>10. ¿El horario que le gustaría recibir la capacitación sería? Marque con una X</p> <p>✓ Mañana ( )</p> <p>✓ Tarde ( )</p> <p>✓ Noche ( )</p> <p>✓ Fines de semana ( )</p>	<p><b>PREGUNTA 10</b></p>  <p>Legend: Mañana (pink), Tarde (teal), Noche (gold), Fines de semana (orange)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Horario</th> <th>Respuestas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mañana</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>Tarde</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>Noche</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>Fines de semana</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>	Horario	Respuestas	Mañana	10	Tarde	8	Noche	25	Fines de semana	5
Horario	Respuestas										
Mañana	10										
Tarde	8										
Noche	25										
Fines de semana	5										
<p>11. ¿Cuándo ha recibido capacitaciones en mantenimiento predictivo los costos por capacitación son? Marque con una X</p> <p>✓ Altos ( )</p> <p>✓ Medios ( )</p> <p>✓ Bajos ( )</p>	<p><b>PREGUNTA 11</b></p>  <p>Legend: Altos (orange), Medios (green), Bajos (yellow)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Nivel de Costo</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Altos</td> <td>31%</td> </tr> <tr> <td>Medios</td> <td>53%</td> </tr> <tr> <td>Bajos</td> <td>16%</td> </tr> </tbody> </table>	Nivel de Costo	Porcentaje	Altos	31%	Medios	53%	Bajos	16%		
Nivel de Costo	Porcentaje										
Altos	31%										
Medios	53%										
Bajos	16%										

PREGUNTA	GRAFICO												
<p>12. ¿La capacitación que le gustaría recibir en vibraciones mecánicas sea?  Marque con una X  50% teoría 50% práctica ( )  70% teoría 30% practica ( )  30% teoría 70% práctica ( )  Otro porcentaje ( )  cual _____</p>	<p style="text-align: center;"><b>PREGUNTA 12</b></p> <table border="1"> <caption>Data for PREGUNTA 12</caption> <thead> <tr> <th>Ratio</th> <th>Count</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>50% teoría 50% práctica</td> <td>22</td> </tr> <tr> <td>70% teoría 30% práctica</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>30% teoría 70% práctica</td> <td>22</td> </tr> </tbody> </table>	Ratio	Count	50% teoría 50% práctica	22	70% teoría 30% práctica	2	30% teoría 70% práctica	22				
Ratio	Count												
50% teoría 50% práctica	22												
70% teoría 30% práctica	2												
30% teoría 70% práctica	22												
<p>13. ¿A qué ciudad lo envían a capacitaciones relacionadas con mantenimiento predictivo?  Marque con una X  ✓ Bucaramanga ( )  ✓ Bogotá ( )  ✓ Medellín ( )  ✓ Otra ciudad _____</p>	<p style="text-align: center;"><b>PREGUNTA 13</b></p> <table border="1"> <caption>Data for PREGUNTA 13</caption> <thead> <tr> <th>Ciudad</th> <th>Count</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Bucaramanga</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>Bogotá</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>Otra ciudad</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>No contestaron</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>Medellín</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	Ciudad	Count	Bucaramanga	16	Bogotá	10	Otra ciudad	14	No contestaron	6	Medellín	0
Ciudad	Count												
Bucaramanga	16												
Bogotá	10												
Otra ciudad	14												
No contestaron	6												
Medellín	0												

PREGUNTA	GRAFICO												
<p>14. ¿Qué ventajas cree usted que hay en la creación de una empresa dedicada a la capacitación de mantenimiento predictivo?</p> <p>Marque con una X</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Disminución en costos de envío de personal a capacitación ( )</li> <li>✓ Ofrecer formación de calidad. ( )</li> <li>✓ Disminución en valor por programa de capacitación ( )</li> <li>✓ Disposición del personal en la ciudad ( )</li> <li>✓ Otros _____</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>PREGUNTA 14</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: blue;">■</span> Disminución en los costos de envío de personal a capacitación</li> <li><span style="color: orange;">■</span> Ofrecer formación de calidad</li> <li><span style="color: brown;">■</span> Disminución en valor por programa de capacitación</li> <li><span style="color: green;">■</span> Disposición del personal en la ciudad</li> <li><span style="color: blue;">■</span> Otros</li> </ul>  <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <caption>Datos del Gráfico de Pregunta 14</caption> <thead> <tr> <th>Categoría</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disminución en los costos de envío de personal a capacitación</td> <td>17%</td> </tr> <tr> <td>Ofrecer formación de calidad</td> <td>44%</td> </tr> <tr> <td>Disminución en valor por programa de capacitación</td> <td>13%</td> </tr> <tr> <td>Disposición del personal en la ciudad</td> <td>26%</td> </tr> <tr> <td>Otros</td> <td>0%</td> </tr> </tbody> </table>	Categoría	Porcentaje	Disminución en los costos de envío de personal a capacitación	17%	Ofrecer formación de calidad	44%	Disminución en valor por programa de capacitación	13%	Disposición del personal en la ciudad	26%	Otros	0%
Categoría	Porcentaje												
Disminución en los costos de envío de personal a capacitación	17%												
Ofrecer formación de calidad	44%												
Disminución en valor por programa de capacitación	13%												
Disposición del personal en la ciudad	26%												
Otros	0%												
<p>15. ¿Le gustaría que la formación en vibraciones mecánicas fuera? Marque con una X.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Presencial ( )</li> <li>✓ Virtual ( )</li> <li>✓ Semipresencial ( )</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>PREGUNTA 15</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: pink;">■</span> Presencial</li> <li><span style="color: green;">■</span> Virtual</li> <li><span style="color: orange;">■</span> Semipresencial</li> </ul>  <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <caption>Datos del Gráfico de Pregunta 15</caption> <thead> <tr> <th>Categoría</th> <th>Cantidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Presencial</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>Virtual</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Semipresencial</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>	Categoría	Cantidad	Presencial	18	Virtual	0	Semipresencial	5				
Categoría	Cantidad												
Presencial	18												
Virtual	0												
Semipresencial	5												

Fuente. Autores

## **OBSERVACIONES**

- ✓ En la pregunta 11 las personas que no contestaron manifiestan que no han recibido ninguna capacitación en mantenimiento predictivo, otros dicen que los costos los asume la empresa.
- ✓ En la pregunta 13 las personas que no contestaron manifiestan que ya no se ofrece ese tipo de capacitación.

## **4.3 ANALISIS DOFA**

El análisis DOFA es una herramienta de análisis estratégico con el fin de analizar variables de tipo interno como el recurso humano, tecnología, técnico, financiero, etc. y variables de tipo externo como competidores, los clientes, canales de distribución, proveedores, etc.; con el fin de comprender la situación del diseño del programa de capacitación y plantear estrategias diferenciadoras para mejorar las fortalezas y contrarrestar los puntos débiles.

A continuación se plantea la matriz DOFA:

**Tabla 3. Matriz DOFA**

<p><b>DEBILIDADES</b></p> <p><b>D1.</b> Falta de programas de capacitación en el uso de otras técnicas de mantenimiento predictivo.</p> <p><b>D2.</b> Necesidad de pagar por el alquiler del equipo analizador de vibraciones.</p> <p><b>D3.</b> No tener una empresa constituida que tenga reconocimiento en el mercado.</p> <p><b>D4.</b> Resistencia a la guerra de precios.</p> <p><b>D5.</b> Publicidad no masiva.</p> <p><b>D6.</b> Bajo nivel de ventas.</p>	<p><b>FORTALEZAS</b></p> <p><b>F1.</b> Ubicación geográfica.</p> <p><b>F2.</b> Facilitador certificado con experiencia.</p> <p><b>F3.</b> Costos de capacitación más económicos.</p> <p><b>F4.</b> Disponibilidad de tiempo y lugar.</p> <p><b>F5.</b> Técnicas utilizadas durante el entrenamiento.</p> <p><b>F6.</b> Estudiar la gran mayoría de fallas presentes en maquinaria industrial.</p>
<p><b>OPORTUNIDADES</b></p> <p><b>O1.</b> Demanda de capacitaciones a pequeñas empresas.</p> <p><b>O2.</b> Ser de las pocas empresas en la región que orienten capacitaciones en análisis de vibraciones.</p> <p><b>O3.</b> Brindar la formación de personal en otras técnicas de mantenimiento predictivo.</p> <p><b>O4.</b> Empresas cada vez más interesadas en aplicación de nuevas tecnologías de mantenimiento predictivo.</p>	<p><b>AMENAZAS</b></p> <p><b>A1.</b> Ganancias a largo plazo</p> <p><b>A2.</b> Vulnerabilidad ante la competencia</p> <p><b>A3.</b> Poca demanda del servicio de capacitación.</p> <p><b>A4.</b> No tener respaldo financiero sostenible para necesidades y requerimientos.</p> <p><b>A5.</b> Posible publicidad negativa.</p>

Fuente. Autores

Para el análisis de la respectiva matriz y determinar los factores a corregir o potenciar se utiliza el software “**Sistema de Diagnóstico y evaluación del Área de Marketing**” (SDE). A continuación se muestra el entorno del software.

**Figura 6. Entorno software SDE del Área de Marketing**



Fuente. Software SDE del Área de Marketing y Ventas

Para la obtención de resultados se tienen en cuenta las siguientes indicaciones:

Se selecciona el tema (IDEA DE NEGOCIO), luego se asigna un valor comprendido de 1 a 5 a la “**situación actual**” donde:

1. Total Desacuerdo
2. Desacuerdo
3. Indiferente
4. Desacuerdo
5. Total acuerdo

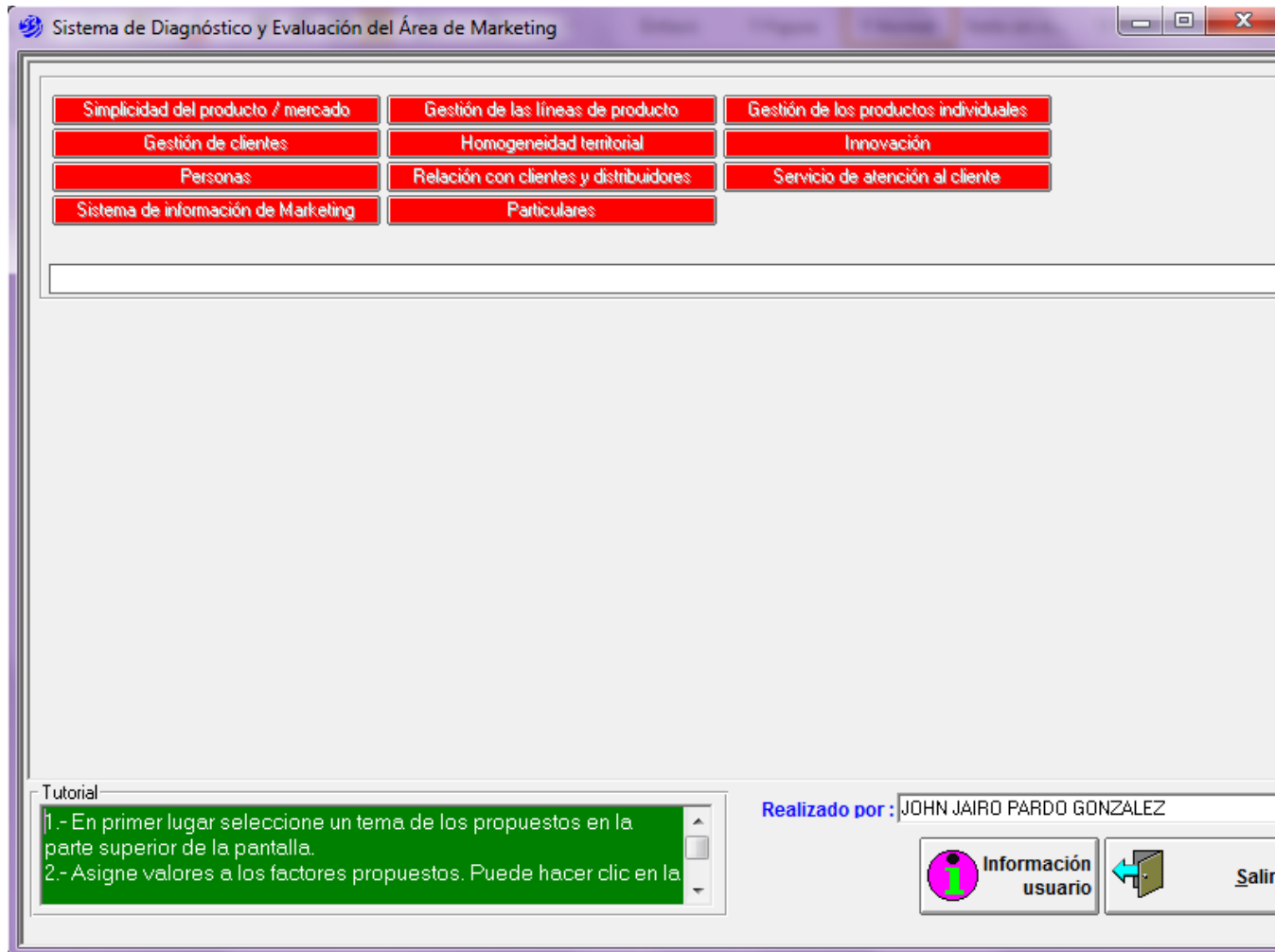
Respectivamente también se le asigna la respectiva “**prioridad**” con valores de 1 a 3, donde:

1. Alto
2. Medio
3. Bajo

Los factores que se encuentran en la tabla 3 matriz DOFA, se tienen en cuenta para el diagnóstico y evaluación del diseño del programa de capacitación bajo los siguientes nombres como se escriben a continuación:

- ✓ Simplicidad del producto / Mercado
- ✓ Gestión de clientes
- ✓ Personas
- ✓ Sistema de información de marketing
- ✓ Gestión de las líneas de producto
- ✓ Homogeneidad territorial
- ✓ Relación con clientes y distribuidores
- ✓ Gestión de los productos individuales
- ✓ Innovación
- ✓ Servicio de atención al cliente.

**Figura 7.** Factores para la evaluación y diagnóstico del programa de capacitación



Fuente. Software SDE del Área de Marketing y Ventas

Figura 8. Factor simplicidad del producto / mercado

Sistema de Diagnóstico y Evaluación del Área de Marketing

Simplicidad del producto / mercado    Gestión de las líneas de producto    Gestión de los productos individuales    1 - Total desacuerdo

Gestión de clientes    Homogeneidad territorial    Innovación    2 - Desacuerdo

Personas    Relación con clientes y distribuidores    Servicio de atención al cliente    3 - Indiferente

Sistema de información de Marketing    Particulares    4 - De acuerdo

5 - Total acuerdo

Simplicidad del producto / mercado    Añadir    Modificar    Quitar

Situación actual	Prioridad	
3 - Indiferente	1 - Alta	1
2 - Desacuerdo	2 - Media	2
1 - Total desacuerdo	1 - Alta	1
2 - Desacuerdo	2 - Media	2
2 - Desacuerdo	2 - Media	2
2 - Desacuerdo	2 - Media	2
2 - Desacuerdo	1 - Alta	1
3 - Indiferente	1 - Alta	1

Tutorial

- 1.- En primer lugar seleccione un tema de los propuestos en la parte superior de la pantalla.
- 2.- Asigne valores a los factores propuestos. Puede hacer clic en la

Realizado por: JOHN JAIRO PARDO GONZALEZ

Información usuario    Salir

Fuente. Software SDE del Área de Marketing y Ventas

**Figura 9. Factor Gestión de clientes**

Sistema de Diagnóstico y Evaluación del Área de Marketing

Simplicidad del producto / mercado
Gestión de las líneas de producto
Gestión de los productos individuales
1 - Total desacuerdo

Gestión de clientes
Homogeneidad territorial
Innovación
2 - Desacuerdo

Personas
Relación con clientes y distribuidores
Servicio de atención al cliente
3 - Indiferente

Sistema de información de Marketing
Particulares
4 - De acuerdo
5 - Total acuerdo

Gestión de clientes Añadir Modificar Quitar

	Situación actual	Prioridad	
<b>Es fácil conocer las necesidades de sus clientes</b>	2 - Desacuerdo	1 - Alta	1
Las necesidades de los clientes son estables	1 - Total desacuerdo	1 - Alta	1
Las necesidades de sus clientes son todas similares	4 - De acuerdo	1 - Alta	1
El volumen de facturación que representa cada cliente es similar	2 - Desacuerdo	2 - Media	2
La rentabilidad de los clientes es similar	2 - Desacuerdo	1 - Alta	1
La empresa tiene la misma imagen entre todos sus clientes	4 - De acuerdo	1 - Alta	1
La empresa desea la misma imagen entre todos sus clientes	5 - Total acuerdo	1 - Alta	1

Tutorial

1.- En primer lugar seleccione un tema de los propuestos en la parte superior de la pantalla.  
2.- Asigne valores a los factores propuestos. Puede hacer clic en la

Realizado por: JOHN JAIRO PARDO GONZALEZ

Información usuario
 
Salir

Fuente. Software SDE del Área de Marketing y Ventas

Figura 10. Factor Personas

Sistema de Diagnóstico y Evaluación del Área de Marketing

Simplicidad del producto / mercado	Gestión de las líneas de producto	Gestión de los productos individuales	1 - Total desacuerdo
Gestión de clientes	Homogeneidad territorial	Innovación	2 - Desacuerdo
<b>Personas</b>	Relación con clientes y distribuidores	Servicio de atención al cliente	3 - Indiferente
Sistema de información de Marketing	Particulares		4 - De acuerdo
			5 - Total acuerdo

Personas      Añadir      Modificar      Quitar

	Situación actual	Prioridad	
<b>La capacidad de los miembros del departamento de Marketing es adecuada para sus tareas</b>	4 - De acuerdo	4	1 - Alta
La plantilla actual es suficiente	3 - Indiferente	3	2 - Media
Las personas disponen de los recursos materiales suficientes para llevar a cabo sus tareas	4 - De acuerdo	4	1 - Alta
La remuneración es suficiente	4 - De acuerdo	4	1 - Alta
Los empleados son reconocidos suficientemente por su trabajo	5 - Total acuerdo	5	1 - Alta
Los empleados tienen iniciativa y autonomía de acción	2 - Desacuerdo	2	2 - Media

Tutorial

1.- En primer lugar seleccione un tema de los propuestos en la parte superior de la pantalla.  
 2.- Asigne valores a los factores propuestos. Puede hacer clic en la

Realizado por: JOHN JAIRO PARDO GONZALEZ

Información usuario      Salir

Fuente. Software SDE del Área de Marketing y Ventas

**Figura 11.** Factor Sistema de información de marketing

Fuente. Software SDE del Área de Marketing y Ventas

**Figura 12.** Factor Gestión de las líneas de producto

Sistema de Diagnóstico y Evaluación del Área de Marketing

Simplicidad del producto / mercado

Gestión de las líneas de producto

Gestión de los productos individuales

Gestión de clientes

Homogeneidad territorial

Innovación

Personas

Relación con clientes y distribuidores

Servicio de atención al cliente

Sistema de información de Marketing

Particulares

1 - Total desacuerdo

2 - Desacuerdo

3 - Indiferente

4 - De acuerdo

5 - Total acuerdo

Gestión de las líneas de producto

Añadir
Modificar
Quitar

	Situación actual		Prioridad	
<b>Las diferentes líneas de productos de la empresa se dirigen a públicos objetivos similares</b>	5 - Total acuerdo	5	1 - Alta	1
Las líneas de productos pueden comercializarse por los mismos canales	4 - De acuerdo	4	1 - Alta	1
Las líneas de producto requieren un tipo de publicidad parecida	4 - De acuerdo	4	3 - Baja	3
Las líneas de producto son manejables por su número de referencias	4 - De acuerdo	4	3 - Baja	3
Las líneas de producto no requieren una gestión muy compleja	2 - Desacuerdo	2	2 - Media	2
Las empresas competidoras en cada línea de producto son las mismas	1 - Total desacuerdo	1	3 - Baja	3

Tutorial

1.- En primer lugar seleccione un tema de los propuestos en la parte superior de la pantalla.  
 2.- Asigne valores a los factores propuestos. Puede hacer clic en la

Realizado por : JOHN JAIRO PARDO GONZALEZ

i

**Información usuario**

←
Salir

Fuente. Software SDE del Área de Marketing y Ventas

**Figura 13.** Factor Homogeneidad territorial

Sistema de Diagnóstico y Evaluación del Área de Marketing

Simplicidad del producto / mercado	Gestión de las líneas de producto	Gestión de los productos individuales	1 - Total desacuerdo
Gestión de clientes	<b>Homogeneidad territorial</b>	Innovación	2 - Desacuerdo
Personas	Relación con clientes y distribuidores	Servicio de atención al cliente	3 - Indiferente
Sistema de información de Marketing	Particulares		4 - De acuerdo
			5 - Total acuerdo

Homogeneidad territorial    Añadir    Modificar    Quitar

	Situación actual	Prioridad
<b>La empresa comercializa sus productos en la misma área geográfica</b>	1 - Total desacuerdo	1 - Alta
El entorno legal es similar en todas las áreas geográficas	3 - Indiferente	3 - Baja
El entorno social es similar en todas las áreas geográficas	3 - Indiferente	3 - Baja
Las necesidades de los clientes son idénticas en todas las áreas geográficas donde vende la empresa	3 - Indiferente	2 - Media
Los mismos productos pueden venderse en todas las áreas geográficas	4 - De acuerdo	2 - Media
Los productos competidores son los mismos en las distintas áreas	4 - De acuerdo	2 - Media
La competencia usa la misma estrategia en todas las áreas geográficas	4 - De acuerdo	1 - Alta
La distribución puede hacerse sin un conocimiento exhaustivo de las áreas geográficas	4 - De acuerdo	2 - Media
La gestión de ventas puede hacerse sin un conocimiento exhaustivo de las áreas geográficas	4 - De acuerdo	2 - Media

Tutorial

1.- En primer lugar seleccione un tema de los propuestos en la parte superior de la pantalla.  
 2.- Asigne valores a los factores propuestos. Puede hacer clic en la

Realizado por: JOHN JAIRO PARDO GONZALEZ

Información usuario    Salir

Fuente. Software SDE del Área de Marketing y Ventas

**Figura 14.** Factor Relación con clientes y distribuidores

**Sistema de Diagnóstico y Evaluación del Área de Marketing**

Simplicidad del producto / mercado    Gestión de las líneas de producto    Gestión de los productos individuales    1 - Total desacuerdo  
 Gestión de clientes    Homogeneidad territorial    Innovación    2 - Desacuerdo  
 Personas    **Relación con clientes y distribuidores**    Servicio de atención al cliente    3 - Indiferente  
 Sistema de información de Marketing    Particulares    4 - De acuerdo  
 5 - Total acuerdo

Relación con clientes y distribuidores    Añadir    Modificar    Quitar

	Situación actual	Prioridad
<b>La empresa mantiene una relación directa con los clientes</b>	2 - Desacuerdo	2 - Media
La empresa mantiene una relación directa con los distribuidores	2 - Desacuerdo	3 - Baja
La empresa desea mantener una relación personal con clientes y distribuidores	5 - Total acuerdo	1 - Alta
Los clientes son adecuadamente informados sobre la forma de uso de los productos	5 - Total acuerdo	1 - Alta
Los clientes son informados correctamente sobre el mantenimiento de los productos	5 - Total acuerdo	1 - Alta
Los productos son adecuadamente personalizados según las necesidades de los clientes	5 - Total acuerdo	1 - Alta

Tutorial

1.- En primer lugar seleccione un tema de los propuestos en la parte superior de la pantalla.  
 2.- Asigne valores a los factores propuestos. Puede hacer clic en la

Realizado por: JOHN JAIRO PARDO GONZÁLEZ

Información usuario    Salir

Fuente. Software SDE del Área de Marketing y Ventas

Figura 15. Factor Gestión de los productos individuales

Sistema de Diagnóstico y Evaluación del Área de Marketing

Simplicidad del producto / mercado	Gestión de las líneas de producto	<b>Gestión de los productos individuales</b>	1 - Total desacuerdo
Gestión de clientes	Homogeneidad territorial	Innovación	2 - Desacuerdo
Personas	Relación con clientes y distribuidores	Servicio de atención al cliente	3 - Indiferente
Sistema de información de Marketing	Particulares		4 - De acuerdo
			5 - Total acuerdo

Gestión de los productos individuales    Añadir    Modificar    Quitar

	Situación actual		Prioridad	
<b>Dentro de cada línea, todos los productos tienen necesidades parecidas de gestión</b>	4 - De acuerdo	4	3 - Baja	3
Los públicos objetivo de los productos son muy similares	4 - De acuerdo	4	2 - Media	2
La estrategia de precios en todos los productos es muy similar	2 - Desacuerdo	2	3 - Baja	3
Todos los productos se distribuyen por los mismos canales	3 - Indiferente	3	2 - Media	2
Los productos tienen unas necesidades de comunicación similar	2 - Desacuerdo	2	2 - Media	2
Es posible seguir los movimientos de la competencia sin analizar producto a producto	4 - De acuerdo	4	2 - Media	2
Se suele disponer de bastante tiempo para reaccionar ante las promociones de la competencia	3 - Indiferente	3	3 - Baja	3
La competencia suele hacer campañas promocionales en todos los productos de una línea a la vez	2 - Desacuerdo	2	3 - Baja	3
Los ataques de la competencia suelen ser similares en todos los productos	4 - De acuerdo	4	2 - Media	2

Tutorial

1.- En primer lugar seleccione un tema de los propuestos en la parte superior de la pantalla.  
2.- Asigne valores a los factores propuestos. Puede hacer clic en la

Realizado por: JOHN JAIRO PARDO GONZALEZ

Información usuario    Salir

Fuente. Software SDE del Área de Marketing y Ventas

Figura 16. Factor innovación

Sistema de Diagnóstico y Evaluación del Área de Marketing

Simplicidad del producto / mercado	Gestión de las líneas de producto	Gestión de los productos individuales	1 - Total desacuerdo
Gestión de clientes	Homogeneidad territorial	<b>Innovación</b>	2 - Desacuerdo
Personas	Relación con clientes y distribuidores	Servicio de atención al cliente	3 - Indiferente
Sistema de información de Marketing	Particulares		4 - De acuerdo
			5 - Total acuerdo

Innovación    Añadir    Modificar    Quitar

	Situación actual	Prioridad
<b>Su empresa lanza muchos nuevos productos anualmente</b>	2 - Desacuerdo	2 - Media
Los nuevos productos que lanza su empresa son muy diferentes de los actuales	2 - Desacuerdo	2 - Media
En su sector, el diseño de nuevos productos es muy complejo	1 - Total desacuerdo	2 - Media
Su empresa es muy innovadora en su sector	4 - De acuerdo	2 - Media
Su empresa sigue una estrategia de líder en su sector	4 - De acuerdo	2 - Media

Tutorial

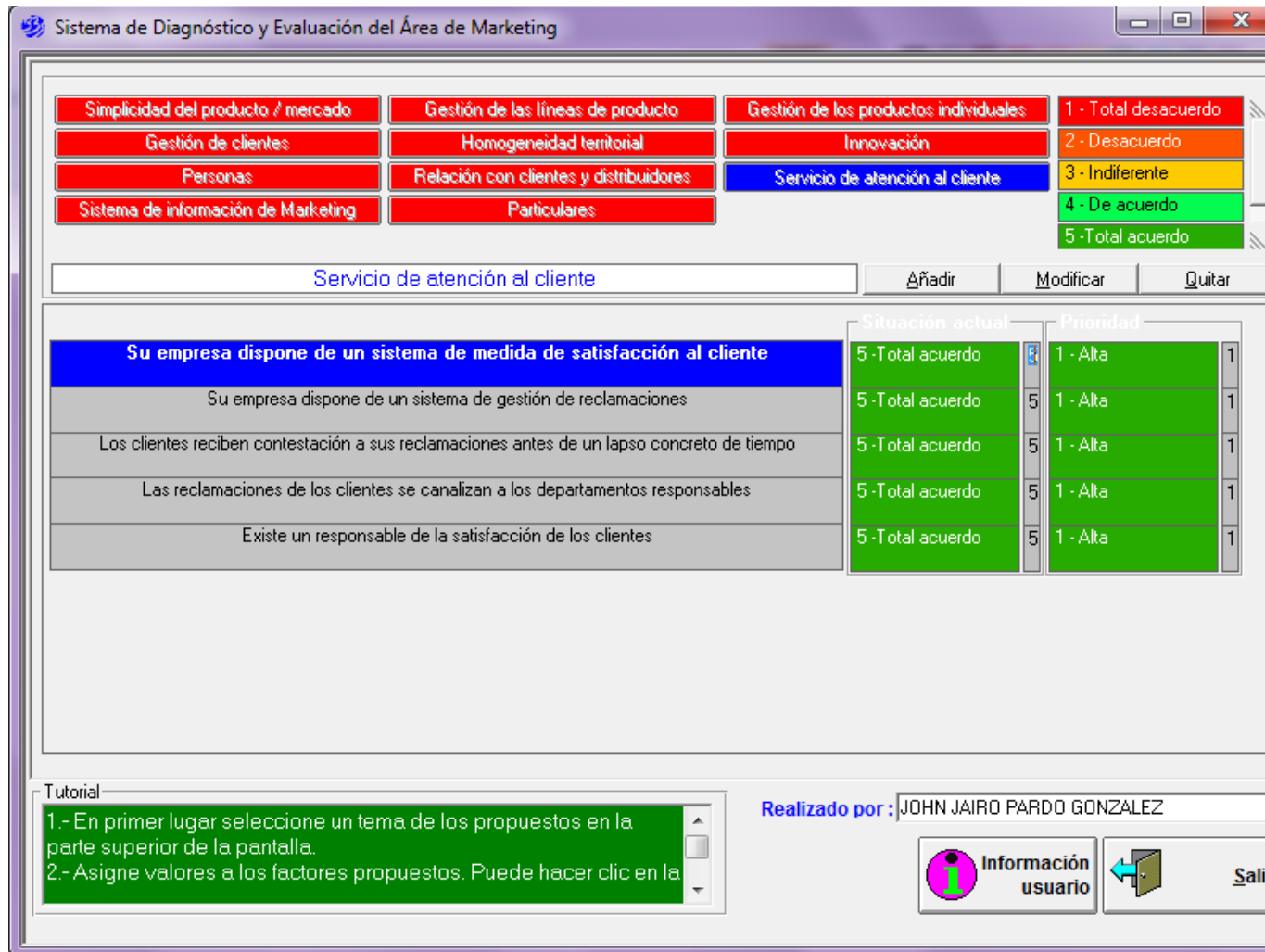
1.- En primer lugar seleccione un tema de los propuestos en la parte superior de la pantalla.  
 2.- Asigne valores a los factores propuestos. Puede hacer clic en la

Realizado por: JOHN JAIRO PARDO GONZALEZ

Información usuario    Salir

Fuente. Software SDE del Área de Marketing y Ventas

Figura 17. Factor servicio de atención al cliente

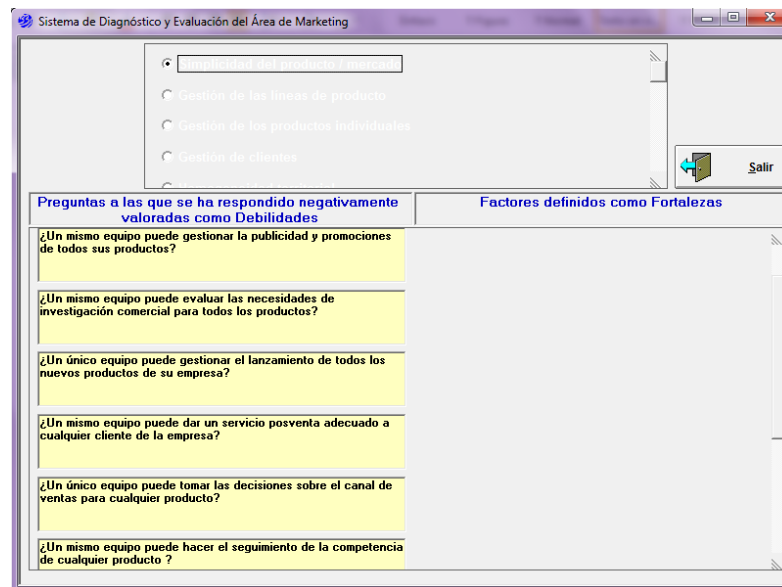


Fuente. Software SDE del Área de Marketing y Ventas

## 5. RESULTADOS

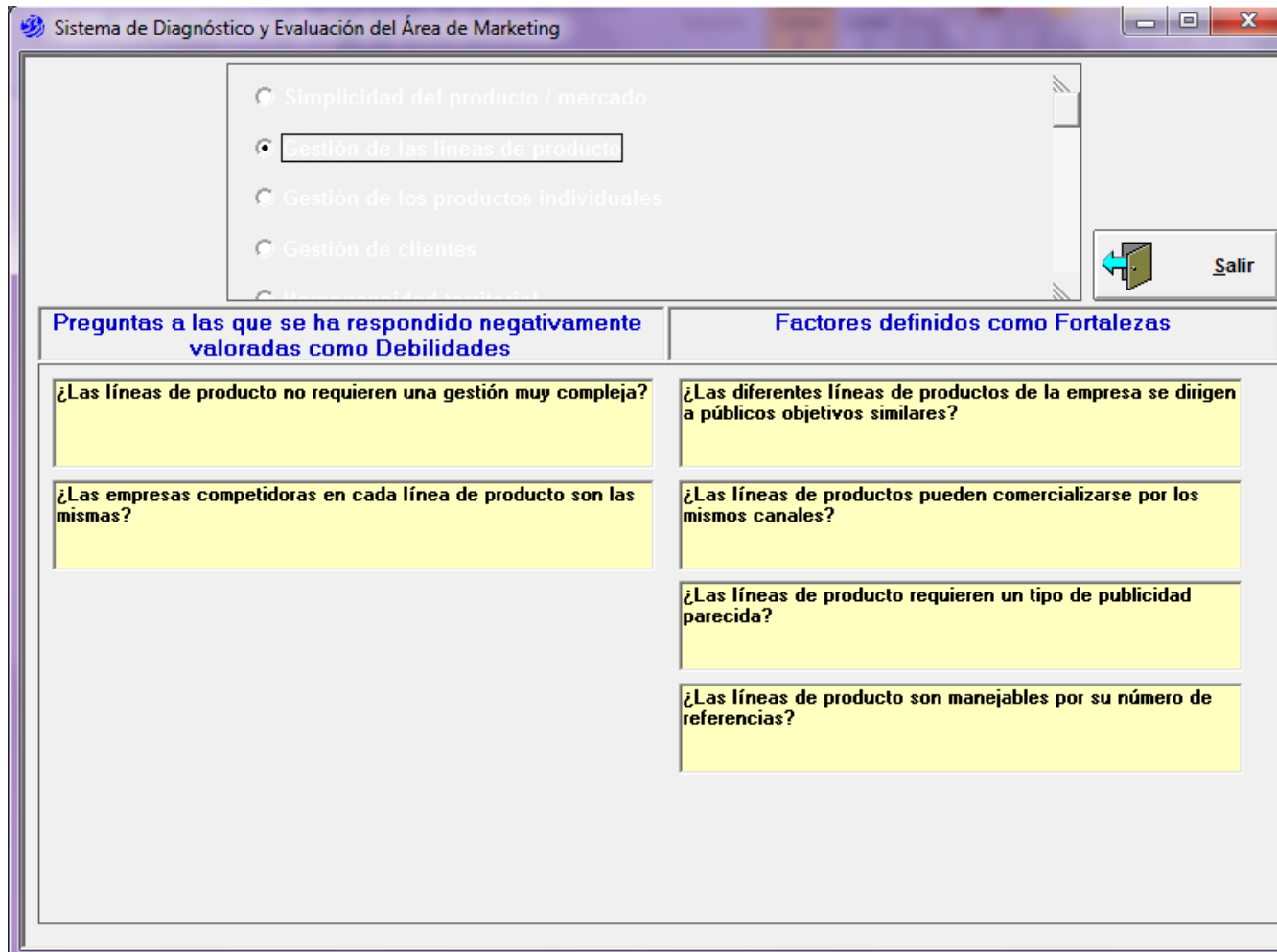
A continuación se muestran los resultados obtenidos para cada factor planteados para la evaluación y diagnóstico del diseño del programa de capacitación. y evaluación de este proyecto, para que se pueda convertir en plan de negocio.

**Figura 18.** Resultados Factor simplicidad del producto / mercado



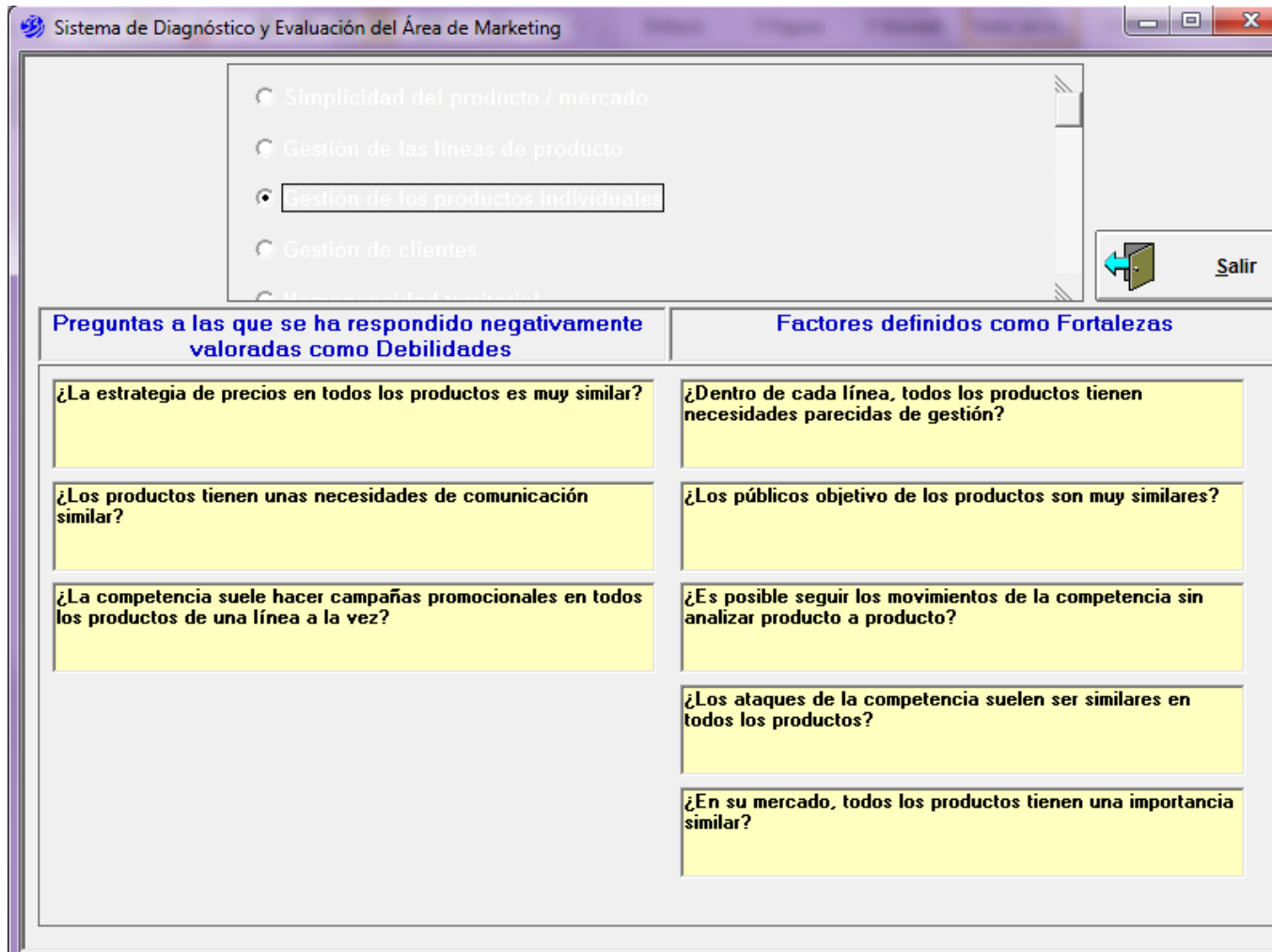
Fuente. Software SDE del Área de Marketing y Ventas

**Figura 19.** Resultados Factor Gestión de las líneas de producto



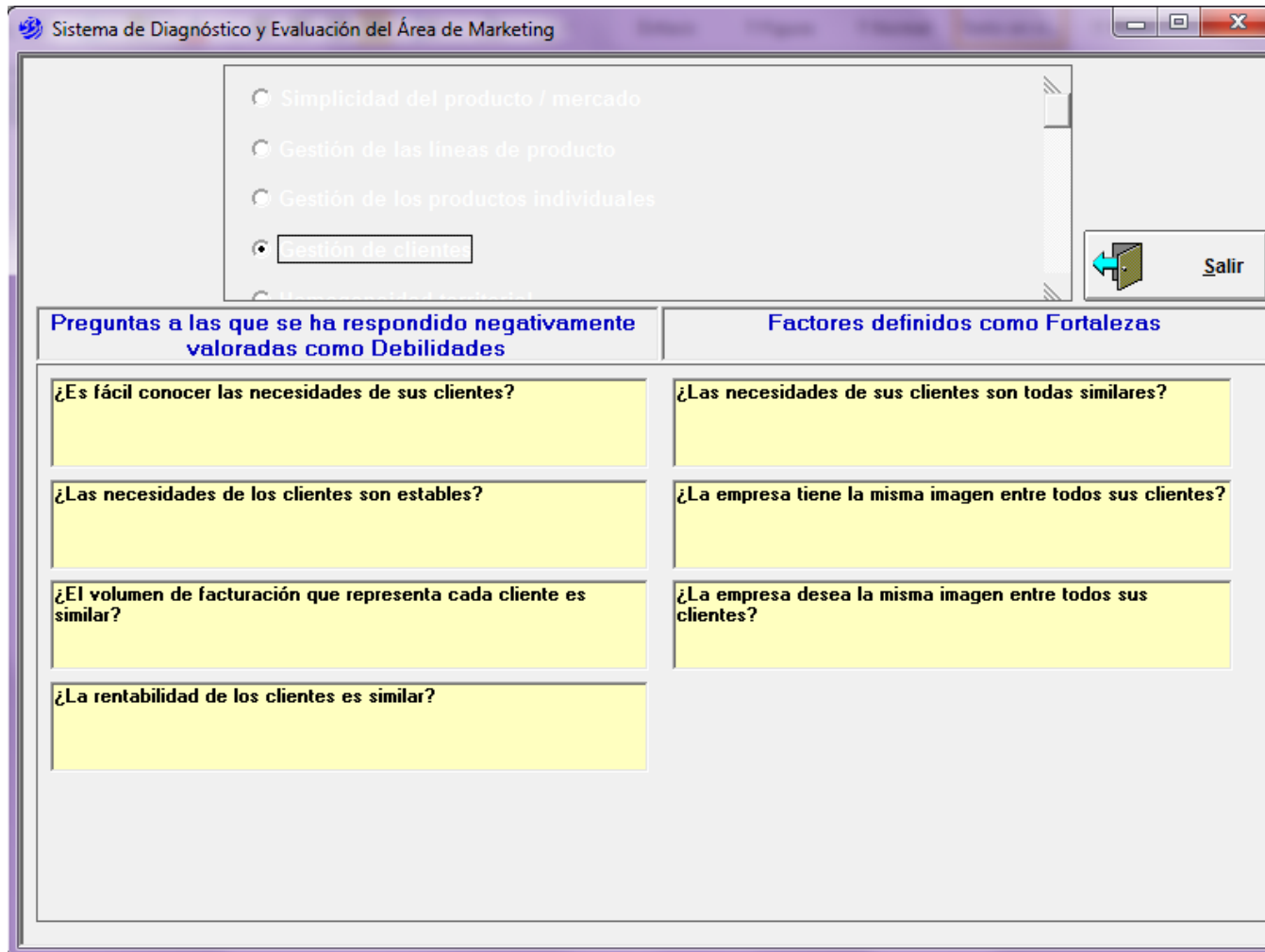
Fuente. Software SDE del Área de Marketing y Ventas

**Figura 20.** Resultados Factor Gestión de los productos individuales



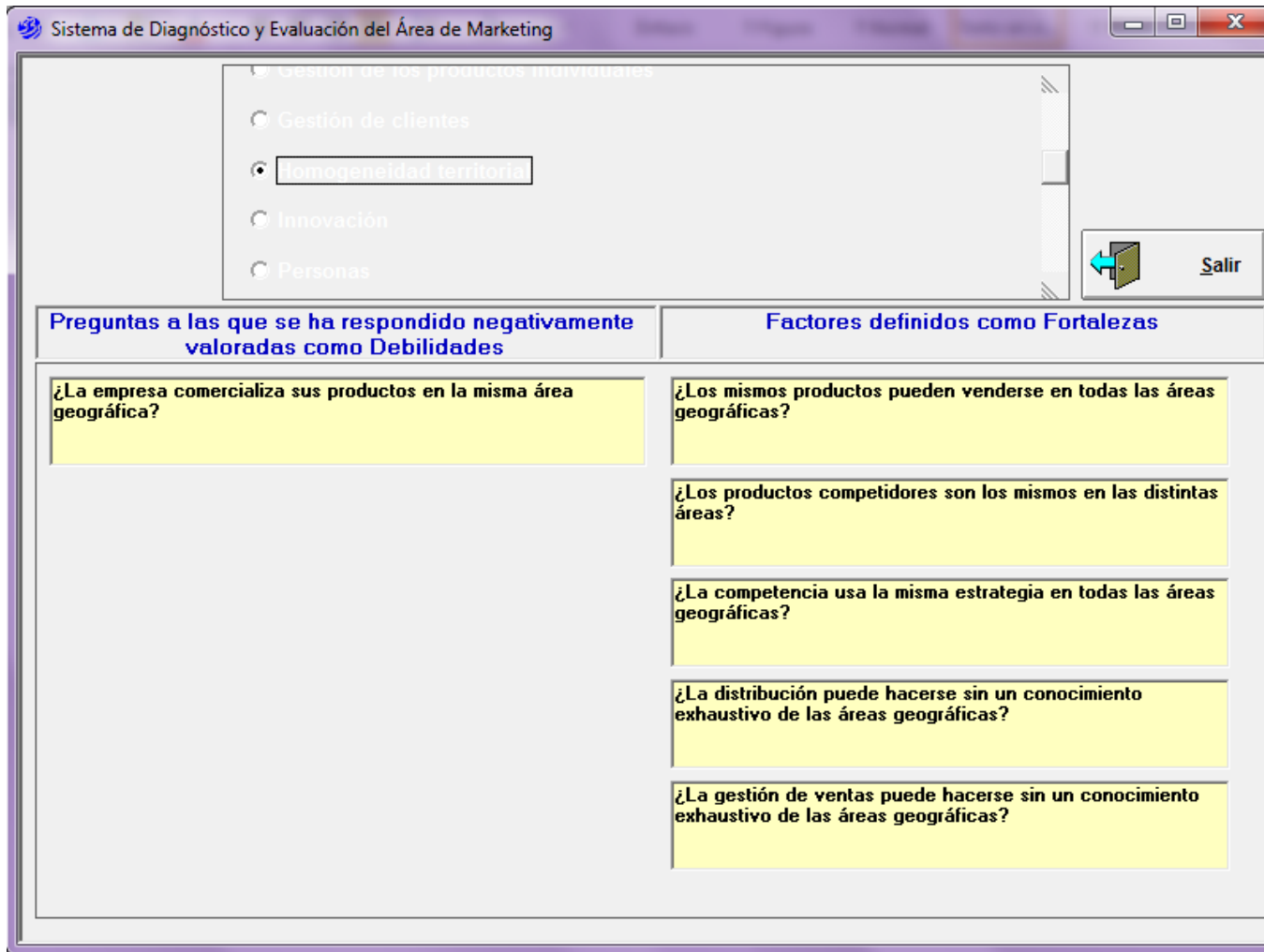
Fuente. Software SDE del Área de Marketing y Ventas

**Figura 21.** Resultados Factor Gestión de clientes



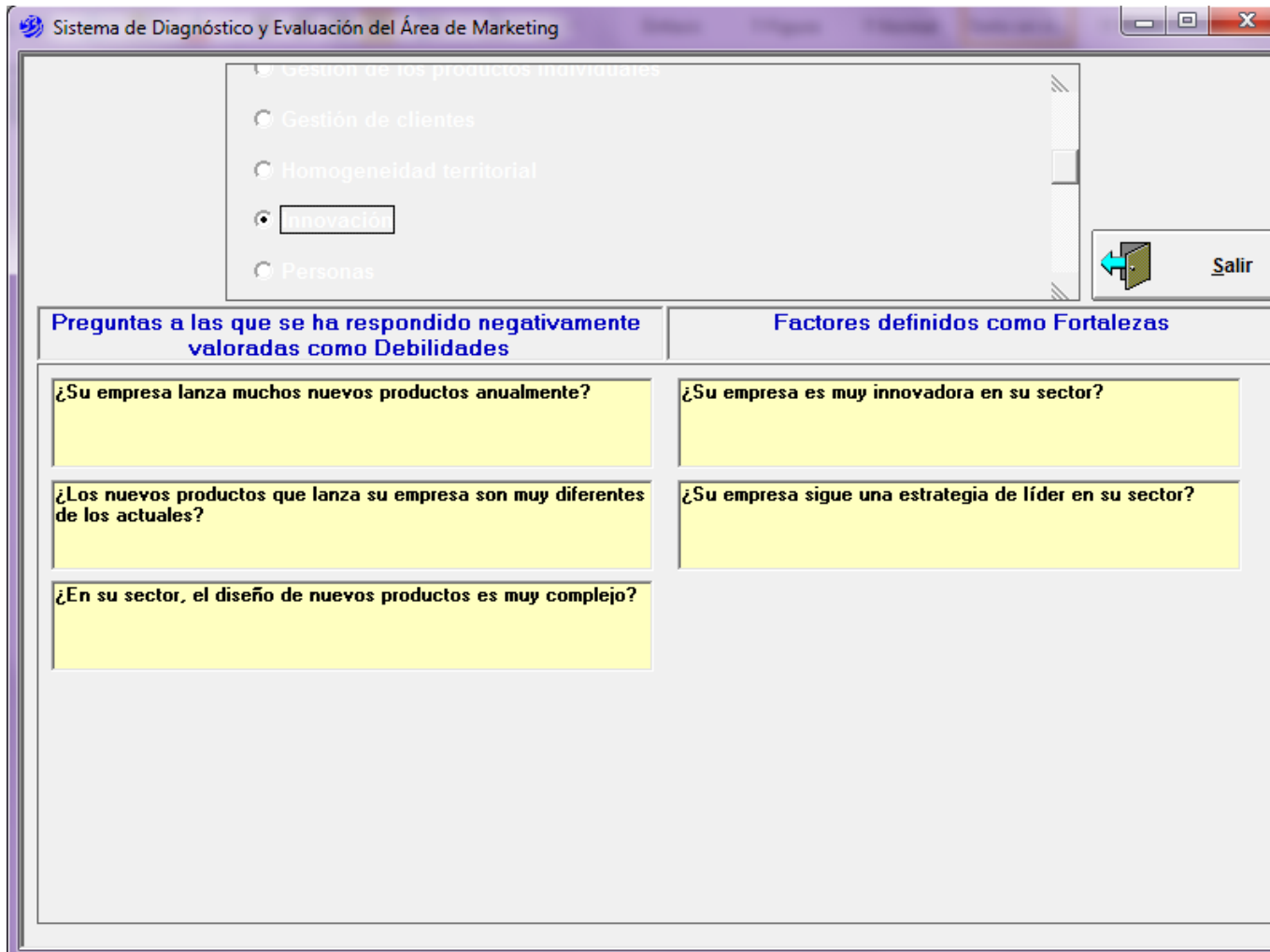
Fuente. Software SDE del Área de Marketing y Ventas

**Figura 22.** Resultados Factor Homogeneidad del territorio



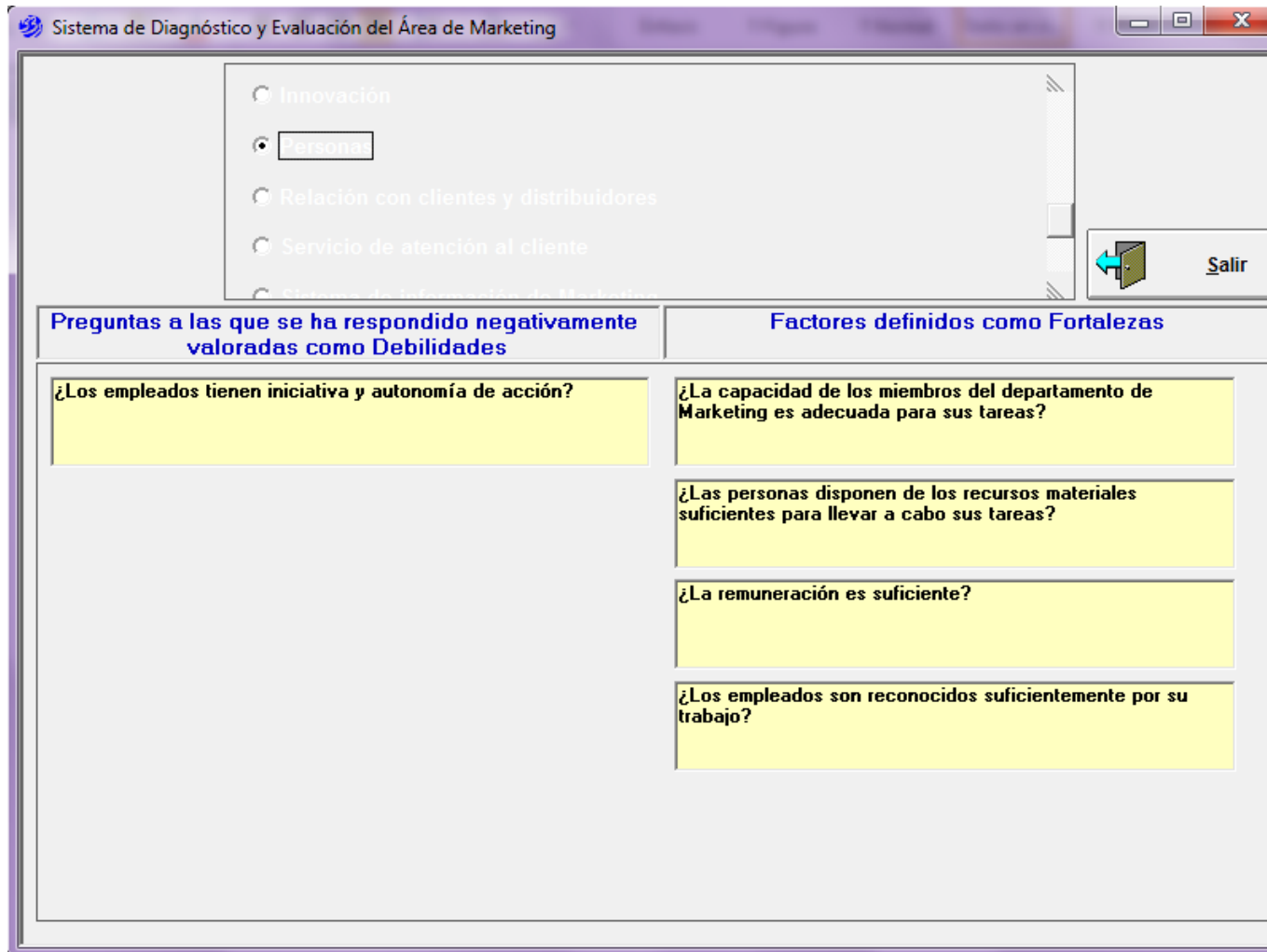
Fuente. Software SDE del Área de Marketing y Ventas

**Figura 23.** Resultados Factor innovación



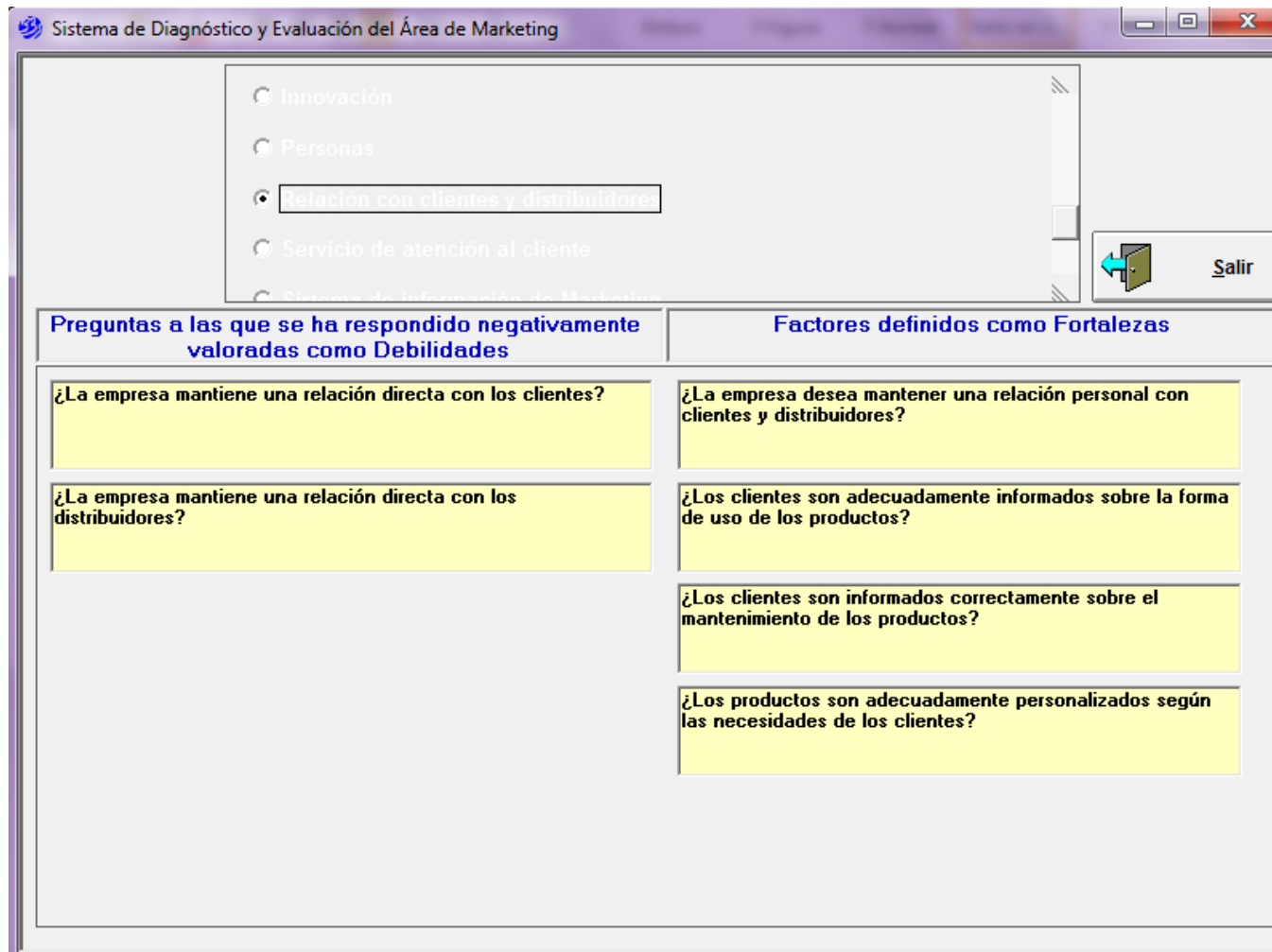
Fuente. Software SDE del Área de Marketing y Ventas

Figura 24. Resultados Factor personas



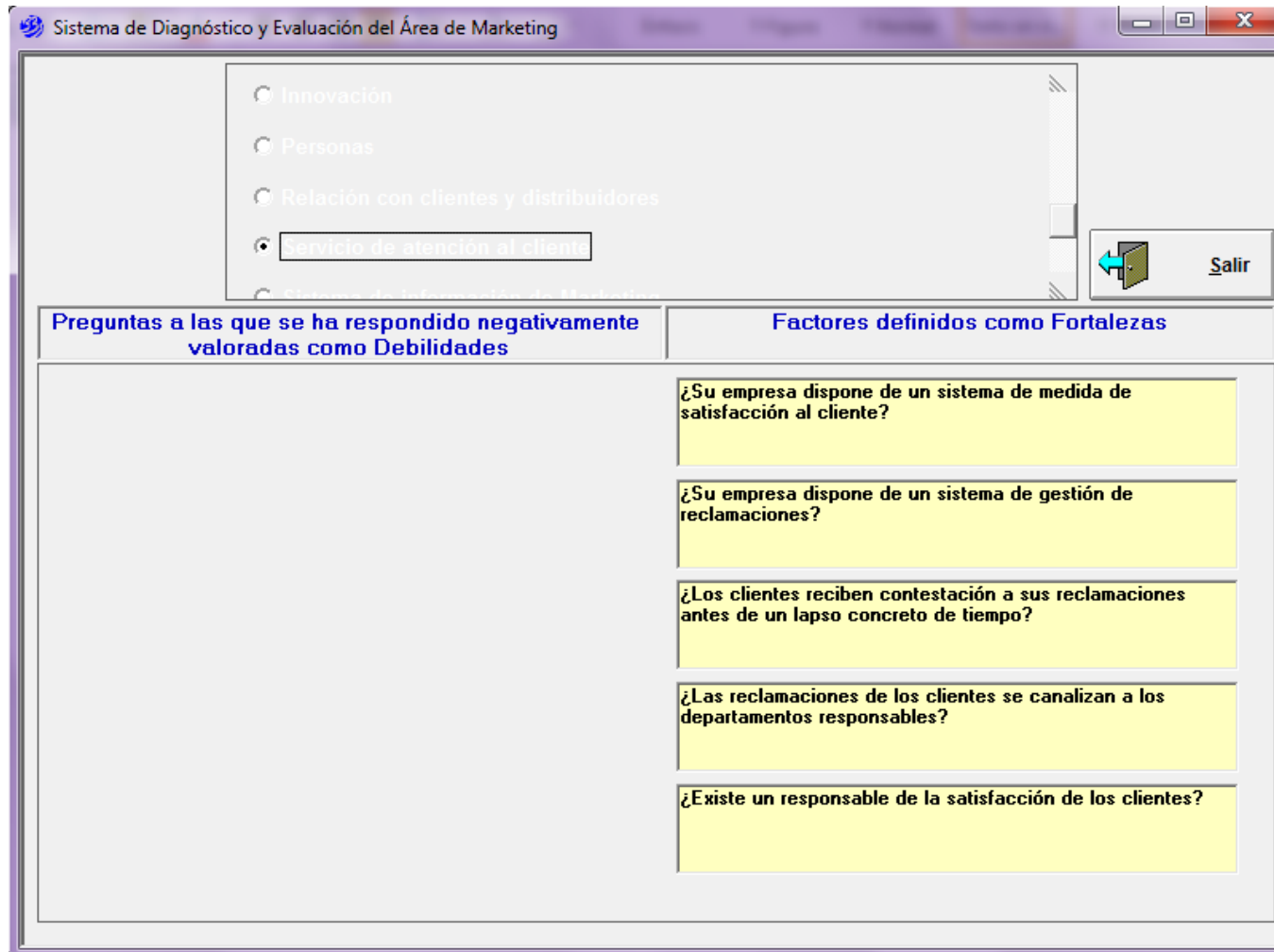
Fuente. Software SDE del Área de Marketing y Ventas

**Figura 25.** Resultados Factor relación con clientes y distribución



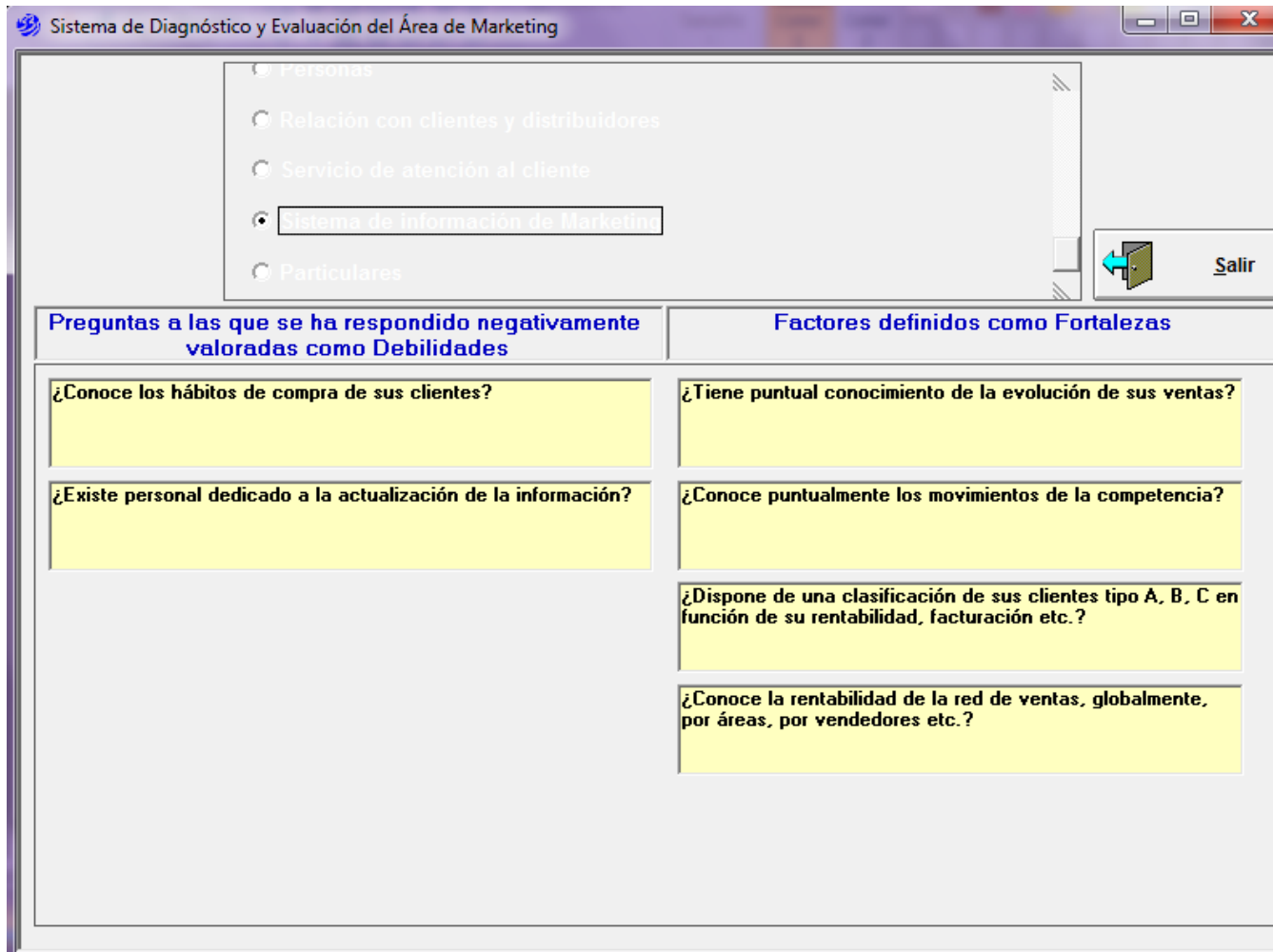
Fuente. Software SDE del Área de Marketing y Ventas

**Figura 26.** Resultados Factor servicio de atención al cliente



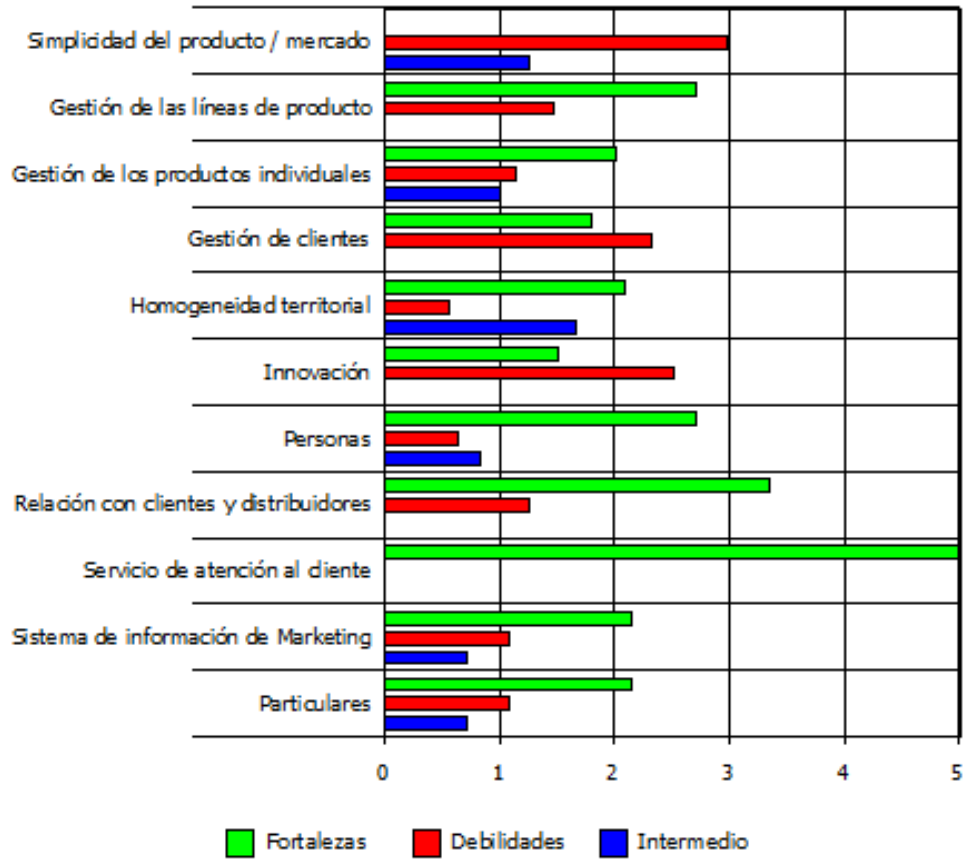
Fuente. Software SDE del Área de Marketing y Ventas

**Figura 27.** Resultados Factor sistema de información de marketing



Fuente. Software SDE del Área de Marketing y Ventas

**Figura 28.** Resultados Generales diagnóstico y evaluación del programa de capacitación



Fuente. Software SDE del Área de Marketing y Ventas

## **6. PROPUESTA DE ESTRATEGIAS PARA EL DISEÑO DEL PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ANÁLISIS DE VIBRACIONES**

### **6.1 PROGRAMA DE FIDELIZACIÓN LOS CLIENTES**

De acuerdo a los resultados obtenidos en el software SDE se obtiene que la variable de mayor fortaleza es servicio de atención al cliente, no se pretende retener al cliente ofreciéndole elementos como promociones, calidad y servicios, pues estos elementos no sirven para retener y fidelizar, por la sencilla razón de que no son nuevos valores, son simplemente “condiciones regulares de la oferta”. Que además todo el mundo está haciendo. Por lo que se propone utilizar una estrategia que permita retener al cliente y se convierta en una ventaja competitiva, que sea difícil de copiar o emular para ello se utiliza la metodología CRATER elaborado por Jose Ignacio Plans, gran experto en Marketing relacional y socio consultor de Ferre Trenzano Consulting Group junto a Jose Maria Ferre Trenzano.

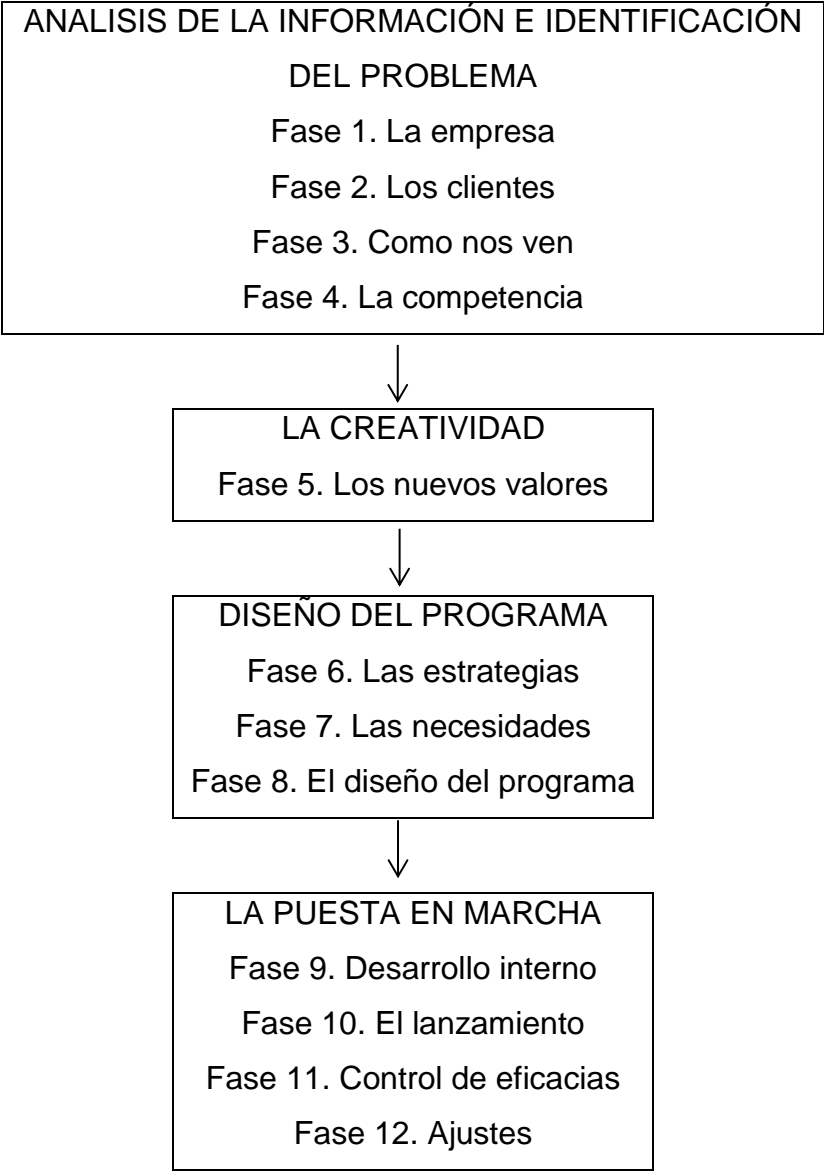
La palabra CRATER simboliza las cuatro grandes características que debe reunir un programa de fidelización de clientes:

- ✓ Creatividad: CR
- ✓ Análisis: A
- ✓ Técnica: T
- ✓ Responsabilidad: ER

El programa debe ser creativo ser fruto de análisis serios y profundos y utilizar técnicas adecuadas para la proyección en el tiempo de fidelización, así mismo exigen la responsabilidad de la empresa pues una vez iniciado el programa es difícil salirse de él, y se ha de entender las implicaciones y compromisos en su

mercado. La metodología CRATER consta de cuatro grandes bloques y de doce fases como se muestra a continuación.

**Figura 29. Metodología CRATER**



Fuente. Autores

## 6.2 ESTRATEGIA SIMPLICIDAD DEL PRODUCTO / MERCADO

En el diagnóstico y evaluación del diseño del programa de capacitación se obtiene como mayor debilidad el factor de simplicidad del producto / mercado, con lo cual se debe reflexionar y plantear como estrategia la Disección del producto, esto quiere decir que el programa de capacitación debe estar determinado y condicionado por “diez factores” que cuando se integran brindan la personalidad del producto, estos elementos funcionan de forma independiente según sea el producto genérico. Los diez factores deben ser los siguientes: formula-nucleo-materia, calidad, diseño, surtido gama, precio, envase, marca, servicio, imagen producto, imagen empresa.

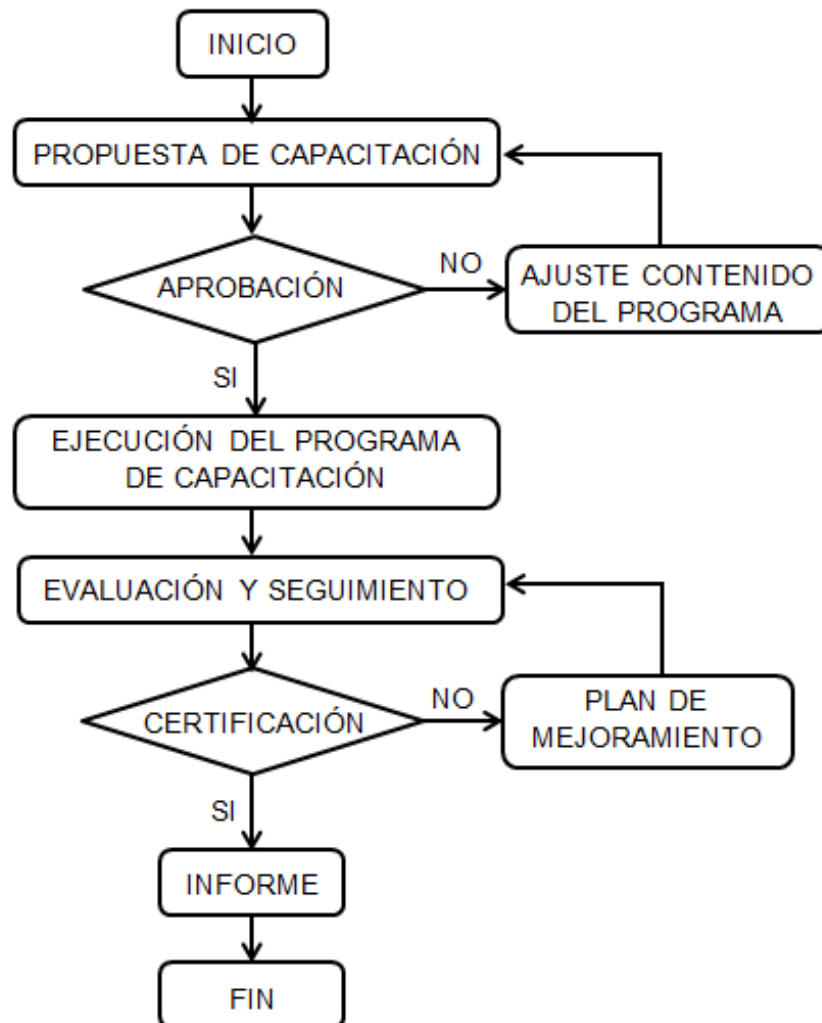
Igualmente otra estrategia a implementar es análisis de valor pues hay una ley que dice: el margen bruto de un producto tiende con el transcurso del tiempo a disminuir, y esto ocurre debido a que el responsable del producto se olvida de este tema porque lo que le preocupa son las ventas, o si no se olvida, le falta ayuda. Por tanto la clave del “análisis valor” está en que un grupo de trabajo diversificado se potencie, este grupo de trabajo debe ser dirigido por un único responsable, quien se encargue del beneficio del producto, obviamente siguiendo una línea de acción diseñada.

Otras técnicas de la planificación estratégica que se pueden tener en cuenta son el análisis dinámico de costes (realizar una situación comparativa de los propios costes con la competencia), la segmentación y el posicionamiento (dividir el mercado en segmentos cuya suma totaliza el mercado global), el análisis del portafolio (permite analizar cuales productos son interesantes para el programa de capacitación y cuales no de forma específica), el ciclo de vida (conocer los tiempos de duración de las diferentes etapas en las que se encuentra el producto), la estructura competitiva del mercado (crear un servicio de inteligencia con la competencia).

### 6.3 DISEÑO DEL PROCESO PARA EL PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN UNA EMPRESA

Para la presentación y autorización del programa de capacitación se realiza en varias etapas, las cuales se presentan en la siguiente figura. Cada fase a su vez está compuesta por procesos, metodologías y características particulares.

**Figura 30. Diseño del proceso para el programa de capacitación a una empresa**



Fuente. Autores

## 7. CONTENIDO DEL PROGRAMA DE CAPACITACIÓN

- ✓ **OBJETIVO:** Formación de personal mediante el uso de la técnicas de mantenimiento predictivo “Análisis de vibraciones”.
  
- ✓ **ALCANCE:** Cursos presenciales orientados a personal de mantenimiento aplicando técnicas de entrenamiento relacionadas con uso, tiempo y lugar Con el fin de optimizar el aprendizaje, alcanzando mayor volumen de aprendizaje con la menor inversión de esfuerzo. Se ofrece capacitaciones de acuerdo a las necesidades del cliente. Al finalizar el entrenamiento el personal estará en capacidad de usar y aplicar el análisis de vibraciones como una estrategia de mantenimiento. Manejo de conceptos técnicos y software empleado por equipos analizadores de vibraciones, cumpliendo con la normatividad establecida ISO 10816 y diagnosticar de esta manera confiable y eficaz las fallas presentes en maquinaria rotativa.
  
- ✓ **PRERREQUISITOS:** El postulante no necesariamente debe tener experiencia previa en mantenimiento predictivo de maquinaria industrial tal como bombas, compresores, motores de inducción, cajas de velocidades.
  
- ✓ **METODOLOGÍA:** 70% practica 30% teórica, con la utilización de técnicas de recursos audiovisuales, instrucción programada e instrucción asistida por computador, técnicas orientadas al proceso como el role-playing, estudios de casos, las simulaciones y casos, técnicas de entrenamiento en el cargo (on the job).
  
- ✓ **CONTENIDO DEL PROGRAMA:** Conceptos básicos empleados en mantenimiento predictivo, normatividad vigente para evaluación y severidad de

las vibraciones, características del fenómeno vibratorio, fuentes de vibración, cinemática de las vibraciones mecánicas, parámetros y niveles de vibración, cadena de medición, cartas de vibración para diagnóstico de fallas, tablas y criterios de severidad de fallas, selección de sensores, colectores analizadores FFT, sistemas off-line, sistemas on-line de vibración, análisis en dominio frecuencia, tiempo, diagnóstico de fallas en máquinas reales.

- ✓ **DURACIÓN:** 30 Horas
  
- ✓ **EVALUACIÓN Y CERTIFICACIÓN:** Se realiza una evaluación diagnóstica al iniciar y finalizar el entrenamiento, La Evaluación final incluye una prueba escrita con un valor del 70% y una prueba de desempeño con un valor del 30%. Para la respectiva certificación se debe alcanzar el 100%, de lo contrario la persona ingresa a un plan de mejoramiento en los puntos donde se encuentren deficiencias. La certificación sirve de apoyo para la certificación en análisis de vibraciones entregada por el Vibration Institute.
  
- ✓ **FECHAS Y CIUDADES:** Según acuerdo con el cliente.
  
- ✓ **VALOR:** La capacitación tiene un costo de quinientos mil pesos (\$ 500.000) por persona, el valor de la capacitación incluye material didáctico, certificación con el nombre: Uso del Análisis de vibraciones en maquinaria industrial.

## 8. CONCLUSIONES

Mediante el uso de software “SDE del Área de Marketing” se logró realizar el diagnóstico y evaluación de diferentes factores planteados para el diseño del programa de capacitación, donde se puede afirmar que la fortaleza más importante es el factor “servicio de atención al cliente” y la mayor debilidad es el factor de “simplicidad del producto /mercado”.

El estudio de mercado aportó información esencial acerca del cliente, competidores, precios, servicios ofrecidos, disminuir riesgos a la hora de tomar una decisión, pues en la tabulación de los datos se obtuvo que la gran mayoría del personal no conoce sobre el uso de técnicas de mantenimiento predictivo, además que las empresas no les ofrecen capacitaciones relacionadas con dicho tema. Además de conocer que aproximadamente el 80% de los problemas más comunes en equipo rotativo están asociados a fallas de Desalineamiento y desbalanceo, se evidencia que otras fallas interesantes para capacitar al personal son la cavitación en bombas y los rodamientos.

Las capacitaciones en análisis de vibraciones, las empresas generalmente envían al personal de mantenimiento a otras ciudades como Medellín, Bogotá, otras ciudades, y no en la misma localidad donde se encuentra el personal, lo cual hace que los costos de las capacitaciones ofrecidas por la competencia sean costosas.

En el desarrollo de un plan de negocios se debe realizar una planificación estratégica mediante el uso de alguna de las técnicas como el análisis de valor donde la clave está en que un grupo de trabajo diversificado se potencie, este grupo de trabajo debe ser dirigido por un único responsable, quien se encargue del beneficio del producto.

Para lograr una ventaja competitiva en el producto, se recomienda plantear estrategias para que el programa de capacitación tenga y este condicionado por los diez factores que integran un producto (formula-nucleo-materia, calidad, diseño, surtido gama, precio, envase, marca, servicio, imagen producto, imagen empresa).

En el diseño del programa de capacitación una variable clave es utilizar la metodología CRATER para lograr la retención y fidelización del cliente y que dicho programa sea difícil de copiar o emular.

De acuerdo a la tabulación de la encuesta se define que en el diseño del programa de capacitación se realice de manera presencial, en un horario nocturno, y con un costo que oscile entre \$400.000 a \$600.000, además de utilizar una metodología más práctica que teórica, donde se usen técnicas orientadas en cuanto al uso, tiempo y proceso, con el fin de afianzar mejor los conocimientos adquiridos.

Con el fin de corregir debilidades y disminuir amenazas se recomienda usar alguna de las técnicas que a continuación se nombran: análisis dinámico de costes, la segmentación y el posicionamiento, el análisis del portafolio, el ciclo de vida, la estructura competitiva del mercado.

Para mantener el punto de equilibrio el centro de capacitaciones debe realizar de 5 a 6 capacitaciones mensuales (Ver anexo B. Análisis financiero), con un numero de 15 personas por grupo y un costo por persona de \$400.000.

## BIBLIOGRAFÍA

ASME INTERNACIONAL. Análisis vibracional en equipos rotativos y mantenimiento predictivo. Capítulo I. mantenimiento predictivo. 14 p.

\_\_\_\_\_. Análisis vibracional en equipos rotativos y mantenimiento predictivo. Capítulo II. Teoría vibracional básica. 29 p.

A-MAQ. Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico. 2005. 41 p.

CASTRO, Yira Alejandra y PAEZ, Edwin German. Banco experimental para estudio de fallas en rodamientos mediante análisis de vibraciones. UIS. Bucaramanga. 2008. 246 p

CHIAVENATO, Idalberto. Iniciación a la administración general. Séptima edición Mc Graw-Hill. México. 2007.

\_\_\_\_\_. Administración de recursos humanos. Quinta edición. Editorial Mc Graw-Hill. Bogotá. 2000. 699 p.

CORNELIUS, Scheffer. Machinery vibration Analysis & Predictive Maintenance. Elsevier. 2004. 255 p.

Diagnóstico de necesidades de Capacitación. Disponible en <[www.stps.gob.mx](http://www.stps.gob.mx)> 65 p

DUFFUAA. RAOUF. DIXON. Sistemas de Mantenimiento Planeación Control. Editorial Limusa. México. 2009. 419 p.

FERRE TRENZANO, José. ROBINAT, José Ramón. TRIGO, Gustavo. Enciclopedia de Marketing y ventas. Grupo Océano. España.

GARCÍA CASTRO, Alfonso. Análisis de vibraciones en máquinas diagnóstico de fallas y mantenimiento predictivo. Universidad Industrial de Santander. Especialización en Gerencia de mantenimiento. 2011. 145p

MORA GUTIÉRREZ, Alberto. Mantenimiento Industrial Efectivo. Segunda Edición junio de 2012. Editorial Coldi Limitada Medellín.

MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en confiabilidad. Buenos Aires. 2004. P. 148

VELANDIA JAGUA, Holger. Gerencia de recursos Humanos. Bucaramanga. Especialización gerencia de Mantenimiento. P. 57

# ANEXOS

## Anexo A. Cartas de vibración para diagnóstico de fallas

### Cartas de vibración para diagnóstico de fallas

TABLE I - ILLUSTRATED VIBRATION DIAGNOSTIC CHART

PROBLEM SOURCE	TYPICAL SPECTRUM	PHASE RELATIONSHIP	REMARKS
<b>MASS UNBALANCE</b>			
A. FORCE UNBALANCE			Force Unbalance will be in-phase and steady. Amplitude due to unbalance will increase by the square of speed (3X speed increase = 9X higher vibration). 1X RPM always present and normally dominates spectrum. Can be corrected by placement of only one balance weight in one plane at Rotor center of gravity (CG).
B. COUPLE UNBALANCE			Couple Unbalance tends toward 180° out-of-phase on same shaft. 1X always present and normally dominates spectrum. Amplitude varies with square of increasing speed. May cause high axial vibrations as well as radial. Correction requires placement of balance weights in at least 2 planes. Note that approx. 180° phase difference should exist between OB & IB horizontals as well as OB & IB verticals.
C. OVERHUNG ROTOR UNBALANCE			Overhung Rotor Unbalance causes high 1X RPM in both Axial and Radial directions. Axial readings tend to be in-phase whereas radial phase readings might be unsteady. Overhung rotors often have both force and couple unbalance, each of which will likely require correction.
<b>ECCENTRIC ROTOR</b>			Eccentricity occurs when center of rotation is offset from geometric centerline of a sheave, gear, bearing, motor armature etc. Largest vibration occurs at 1X RPM of eccentric component in a direction thru centers of the two rotors. Comparative horizontal and vertical phase readings usually differ either by 0° or by 180° (each of which indicate straight-line motion). Attempts to balance eccentric rotor often result in reducing vibration in one direction, but increasing it in the other radial direction (depending on amount of eccentricity).
<b>BENT SHAFT</b>			Bent shaft problems cause high axial vibration with axial phase differences tending toward 180° on the same machine component. Dominant vibration normally at 1X if bent near shaft center, but at 2X if bent near the coupling. (Be careful to account for transducer orientation for each axial measurement if you reverse probe direction.)
<b>MISALIGNMENT</b>			
A. ANGULAR MISALIGNMENT			Angular Misalignment is characterized by high axial vibration, 180° out-of-phase across the coupling. Typically will have high axial vibration with both 1X and 2X RPM. However, not unusual for either 1X, 2X or 3X to dominate. These symptoms may also indicate coupling problems as well.
B. PARALLEL MISALIGNMENT			Offset Misalignment has similar vibration symptoms to Angular, but shows high radial vibration which approaches 180° out-of-phase across coupling. 2X often larger than 1X, but its height relative to 1X is often dictated by coupling type and construction. When either Angular or Radial Misalignment becomes severe, can generate either high amplitude peaks at much higher harmonics (4X-8X) or even a whole series of high frequency harmonics similar in appearance to mechanical looseness. Coupling construction will often greatly influence shape of spectrum when misalignment is severe.
C. MISALIGNED BEARING COCKED ON SHAFT			Cocked Bearing will generate considerable axial vibration. Will cause Twisting Motion with approximately 180° phase shift top to bottom and/or side to side as measured in axial direction of same bearing housing. Attempts to align coupling or balance the rotor will not alleviate problem. Bearing must be removed and correctly installed.
<b>RESONANCE</b>			Resonance occurs when a Forcing Frequency coincides with a System Natural Frequency, and can cause dramatic amplitude amplification, which can result in premature, or even catastrophic failure. This may be a natural frequency of the rotor, but can often originate from support frame, foundation, gearbox or even drive belts. If a rotor is at or near resonance, it will be almost impossible to balance due to the great phase shift it experiences (90° at resonance; nearly 180° when passes thru). Often requires changing natural frequency location. Natural Frequencies do not change with a change in speed which helps facilitate their identification.
<b>MECHANICAL LOOSENESS</b>			Mechanical Looseness is indicated by either Type A, B or C spectra. Type A is caused by Structural looseness/weakness of machine feet, baseplate or foundation, also by deteriorated grouting, loose hold-down bolts at the base, and distortion of the frame or base (i.e., soft foot). Phase analysis may reveal approx. 180° phase difference between vertical measurements on a machine foot, baseplate and base itself. Type B is generally caused by loose pillowblock bolts, cracks in frame structure or bearing pedestal. Type C is normally generated by improper fit between component parts to dynamic forces from rotor. Causes a truncation of line waveform. Type C is often caused by a bearing liner loose in its cap, excessive clearance in either a sleeve or rolling element bearing, or a loose impeller on a shaft. Type CX Phase is often unstable and may vary widely from one measurement to next, particularly if rotor shifts position on shaft from one startup to next. Mechanical Looseness is often highly directional and may cause noticeably different readings if compare levels at 30° increments in radial direction all the way around one bearing housing. Also, note that looseness will often cause subharmonic multiples at exactly 1/2 or 1/3 RPM (5X, 1.5X, 2.5X, etc.).

TABLE I - ILLUSTRATED VIBRATION DIAGNOSTIC CHART

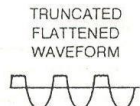
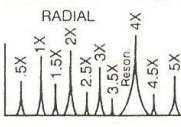
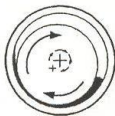
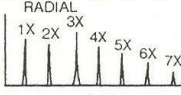
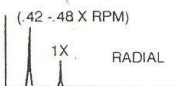
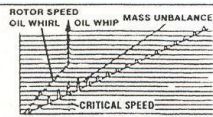
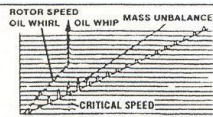
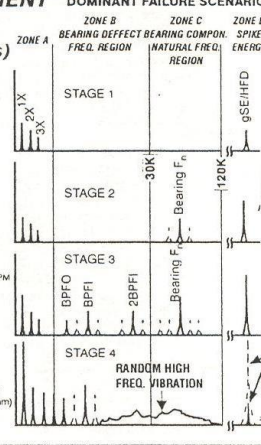
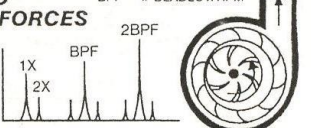
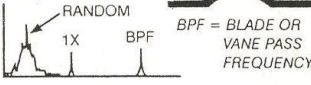
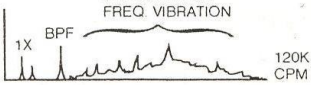
PROBLEM SOURCE	TYPICAL SPECTRUM	REMARKS
<b>ROTOR RUB</b>  		Rotor Rub produces similar spectra to Mechanical Looseness when rotating parts contact stationary components. Rub may be either partial or throughout the whole revolution. Usually generates a series of frequencies, often exciting one or more resonances. Often excites integer fraction subharmonics of running speed (1/2, 1/3, 1/4, 1/5, ... 1/n), depending on location of rotor natural frequencies. Rotor rub can excite many high frequencies (similar to wide-band noise when chalk is dragged along a blackboard). It can be very serious and of short duration if caused by shaft contacting bearing babbit, but less serious when shaft rubbing a seal, an agitator blade rubbing the wall of a tank, or a coupling guard pressing against a shaft.
<b>SLEEVE BEARINGS</b> A. WEAR/CLEARANCE PROBLEMS  B. OIL WHIRL INSTABILITY  	  	Latter stages of sleeve bearing wear are normally evidenced by presence of whole series of running speed harmonics (up to 10 or 20). Wiped sleeve bearings often will allow high vertical amplitudes compared to horizontal. Sleeve bearings with excessive clearance may allow a minor unbalance and/or misalignment to cause high vibration which would be much lower if bearing clearances were to spec.  Oil Whirl instability occurs at .42 - .48X RPM and is often quite severe. Considered excessive when amplitude exceeds 50% of bearing clearances. Oil Whirl is an oil film excited vibration where deviations in normal operating conditions (attitude angle and eccentricity ratio) cause oil wedge to "push" shaft around within bearing. Destabilizing force in direction of rotation results in a whirl (or precession). Whirl is inherently unstable since it increases centrifugal forces which increase whirl forces. Can cause oil to no longer support shaft, or can become unstable when whirl frequency coincides with a rotor natural frequency. Changes in oil viscosity, lube pressure and external preloads can affect oil whirl.
C. OIL WHIP INSTABILITY  		Oil Whip may occur if machine operated at or above 2X rotor critical frequency. When rotor brought up to twice critical speed, whirl will be very close to rotor critical and may cause excessive vibration that of oil film may no longer be capable of supporting. Whirl speed will actually "lock onto" rotor critical and this peak will not pass thru it even if machine brought to higher and higher speeds.
<b>ROLLING ELEMENT BEARINGS</b> (4 Failure Phases)	<b>DOMINANT FAILURE SCENARIO</b> 	<b>4 ROLLING ELEMENT BEARING FAILURE STAGES</b>  <b>STAGE 1:</b> Earliest indications of bearing problems appear in ultrasonic frequencies ranging from approximately 20,000 - 60,000 Hz (1,200,000 - 3,600,000 CPM). These are frequencies evaluated by Spike Energy (gSE), HFD(g) and Shock Pulse (dB). For example, spike energy may first appear at about .25 gSE in Stage 1 (actual value depending on measurement location and machine speed).  <b>STAGE 2:</b> Slight bearing defects begin to "ring" bearing component natural frequencies (f <sub>n</sub> ) which predominantly occur in 30K - 120K CPM range. Sideband frequencies appear above and below natural frequency peak at end of Stage 2. Spike energy grows (for example, from 25 to 50 gSE).  <b>STAGE 3:</b> Bearing defect frequencies and harmonics appear (see page entitled "Rolling Element Bearing Defect Frequencies"). When wear progresses, more defect frequency harmonics appear and number of sidebands grow, both around these and around bearing natural frequencies. Spike energy continues to increase (for example, from 5 to over 1 gSE). Wear is now usually visible and may extend throughout periphery of bearing, particularly when well formed sidebands accompany bearing defect frequency harmonics. Replace bearings now.  <b>STAGE 4:</b> Towards the end, amplitude of 1X RPM is even effected. It grows, and normally causes growth of many running speed harmonics. Discrete bearing defect and component natural frequencies actually begin to "disappear" and are replaced by random, broad band high frequency "noise floor". In addition, amplitudes of both high frequency noise floor and spike energy may in fact decrease; but just prior to failure, spike energy will usually grow to excessive amplitudes.
<b>HYDRAULIC AND AERODYNAMIC FORCES</b> A. BLADE PASS & VANE PASS  B. FLOW TURBULENCE  C. CAVITATION	    	Blade Pass Frequency (BPF) = No. of Blades (or Vanes) X RPM. This frequency is inherent in pumps, fans and compressors, and normally does not present a problem. However, large amplitude BPF (and harmonics) can be generated in pump if gap between rotating vanes and stationary diffusers is not kept equal all way around. Also, BPF (or harmonic) sometimes can coincide with a system natural frequency causing high vibration. High BPF can be generated if impeller wear ring seizes on shaft or if welds fastening diffusers fail. Also, high BPF can be caused by abrupt bends in pipe (or duct), obstructions which disturb flow, or if pump or fan rotor is positioned eccentrically within housing.  Flow Turbulence often occurs in blowers due to variations in pressure or velocity of the air passing thru the fan or connected ductwork. This flow disruption causes turbulence which will generate random, low frequency vibration, typically in the range of 50 to 2000 CPM.  Cavitation normally generates random, higher frequency broadband energy which is sometimes superimposed with blade pass frequency harmonics. Normally indicates insufficient suction pressure (starvation). Cavitation can be quite destructive to pump internals if left uncorrected. It can particularly erode impeller vanes. When present, it often sounds as if "gravel" is passing thru pump.

TABLE I - ILLUSTRATED VIBRATION DIAGNOSTIC CHART

PROBLEM SOURCE	TYPICAL SPECTRUM	REMARKS
<b>GEARS</b>		
<b>A. NORMAL SPECTRUM</b>		Normal Spectrum shows 1X and 2X RPM, along with Gear Mesh Frequency (GMF). GMF commonly will have running speed sidebands around it. All peaks are of low amplitude, and no natural frequencies of gears are excited.
<b>B. TOOTH WEAR</b>		Key indicator of Tooth Wear is excitation of Gear Natural Frequency, along with sidebands around it spaced at the running speed of the bad gear. Gear Mesh Frequency (GMF) may or may not change in amplitude, although high amplitude sidebands surrounding GMF usually occur when wear is noticeable. Sidebands may be better wear indicator than GMF frequencies themselves.
<b>C. TOOTH LOAD</b>		Gear Mesh Frequencies are often very sensitive to load. High GMF amplitudes do not necessarily indicate a problem, particularly if sideband frequencies remain low level and no gear natural frequencies are excited. Each Analysis should be performed with system at maximum operating load.
<b>D. GEAR ECCENTRICITY AND BACKLASH</b>		Fairly high amplitude sidebands around GMF often suggest gear eccentricity, backlash, or non-parallel shafts which allow the rotation of one gear to "modulate" the running speed of the other. The gear with the problem is indicated by the spacing of the sideband frequencies. Improper backlash normally excites GMF and Gear Natural Frequency, both of which will be sidebanded at 1X RPM. GMF amplitudes will often decrease with increasing load if backlash is the problem.
<b>E. GEAR MISALIGNMENT</b>		Gear Misalignment almost always excites second order or higher GMF harmonics which are sidebanded at running speed. Often will show only small amplitude 1X GMF, but much higher levels at 2X or 3X GMF. Important to set FMAX high enough to capture at least 2 GMF harmonics if transducer system has the capability.
<b>F. CRACKED/BROKEN TOOTH</b>		A Cracked or Broken Tooth will generate a high amplitude at 1X RPM of this gear, plus it will excite gear natural frequency (fn) sidebanded at its running speed. It is best detected in Time Waveform which will show a pronounced spike every time the problem tooth tries to mesh with teeth on the mating gear. Time between impacts (Δ) will correspond to 1/speed of gear with the problem. Amplitudes of Impact Spikes in Time Waveform often will be much higher than that of 1X RPM in FFT.
<b>G. HUNTING TOOTH PROBLEMS</b>		Hunting Tooth Frequency (fHT) is particularly effective for detecting faults on both the gear and pinion that might have occurred during the manufacturing process or due to mishandling. It can cause quite high vibration, but since it occurs at low frequencies predominately less than 600 CPM, it is often missed. A gear set with this tooth repeat problem normally emits a "growling" sound from the drive. The maximum effect occurs when the faulty pinion and gear teeth both enter mesh at the same time (on some drives, this may occur only 1 of every 10 to 20 revolutions, depending on the fHT formula). Note that TGEAR and TPINION refer to number of teeth on gear and pinion, respectively. Na = number of unique assembly phases for a given tooth combination which equals the product of prime factors common to the number of teeth on each gear.
<b>BEAT VIBRATION</b>		
	<p>A Beat Frequency is the result of two closely spaced frequencies going into and out of synchronization with one another. The wideband spectrum normally will show one peak pulsating up and down. When you zoom into this peak (lower spectrum), it actually shows two closely spaced peaks. The difference in these two peaks (F<sub>2</sub>-F<sub>1</sub>) is the beat frequency which itself appears in the wideband spectrum. The beat frequency is not commonly seen in normal frequency range measurements since it is inherently low frequency, usually ranging from only approximately 5 to 100 CPM.</p> <p>Maximum vibration will result when the time waveform of one frequency (F<sub>1</sub>) comes into phase with other frequency (F<sub>2</sub>). Minimum vibration occurs when waveforms of these two frequencies line up 180° out of phase.</p>	
		WIDEBAND SPECTRUM
		ZOOM SPECTRUM

PROBLEM SOURCE	TYPICAL SPECTRUM	REMARKS
<b>BELT DRIVE PROBLEMS</b>		
<b>A. WORN, LOOSE OR MISMATCHED BELTS</b> 		BELT FREQ. = $3.142 \times \text{PULLEY RPM} \times \text{PITCH DIAM.}$ BELT LENGTH TIMING BELT FREQ. = BELT FREQ. X # BELT TEETH = PULLEY RPM X # PULLEY TEETH  Belt frequencies are below the RPM of either the motor or the driven machine. When they are worn, loose or mismatched, they normally cause 3 to 4 multiples of belt frequency. Often 2X belt freq. is the dominant peak. Amplitudes are normally unsteady, sometimes pulsing with either driver or driven RPM. On timing belt drives, wear or pulley misalignment is indicated by high amplitudes at the Timing Belt Frequency.
<b>B. BELT/SHEAVE MISALIGNMENT</b> 		Misalignment of sheaves produces high vibration at 1X RPM predominantly in the axial direction. The ratio of amplitudes of driver to driven RPM depends on where the data is taken as well as on relative mass and frame stiffness. Often with sheave misalignment, the highest axial vibration on the motor will be at fan RPM.
<b>C. ECCENTRIC SHEAVES</b> 		Eccentric and/or unbalanced sheaves cause high vibration at 1X RPM of this sheave. The amplitude is normally highest in line with the belts, and should show up on both driver and driven bearings. It is sometimes possible to balance eccentric sheaves by attaching washers to taper lock bolts. However, even if balanced, the eccentricity will still induce vibration and reversible fatigue stresses in the belt.
<b>D. BELT RESONANCE</b> 		Belt Resonance can cause high amplitudes if the belt natural frequency should happen to approach or coincide with either the motor or driven RPM. Belt natural frequency can be altered by changing either the belt tension or length. Can be detected by tensioning and then releasing belt while measuring response on sheaves or bearings.
<b>ELECTRICAL PROBLEMS</b>		
<b>A. STATOR ECCENTRICITY, SHORTED LAMINATIONS AND LOOSE IRON</b>		Stator problems generate high vibration at 2X line frequency (2FL). Stator eccentricity produces uneven stationary air gap between rotor and stator which produces very directional vibration. Differential Air Gap should not exceed 5% for induction motors and 10% for synchronous motors. Soft foot and wrapped bases can produce an eccentric stator. Loose iron is due to stator support weakness or looseness. Shorted stator laminations can cause uneven, localized heating which can bow motor shaft. Produces thermally-induced vibration which can significantly grow with operating time.
<b>B. ECCENTRIC ROTOR (Variable Air Gap)</b> $F_L = \text{Electrical Line Freq.}$ $N_s = \text{Synch. Speed} = \frac{120F_L}{P}$ $F_s = \text{Slip Freq.} = N_s - \text{RPM}$ $F_p = \text{Pole Pass Freq.} = F_s \times P$ $P = \# \text{ Poles}$		Eccentric Rotors produce a rotating variable air gap between rotor and stator which induces pulsating vibration (normally between 2FL and closest running speed harmonic). Often requires "zoom" spectrum to separate 2FL and running speed harmonic. Eccentric rotors generate 2FL surrounded by Pole Pass frequency sidebands (FP), as well as FP sidebands around running speed. FP appears itself at low frequency. (Pole Pass Frequency = Slip Frequency X # Poles). Common values of FP range from approx. 20 to 120 CPM (.30 - 2.0 Hz).
<b>C. ROTOR PROBLEMS</b> 		Broken or Cracked rotor bars or shorting rings, bad joints between rotor bars and shorting rings, or shorted rotor laminations will produce high 1X running speed vibration with pole pass frequency sidebands (FP). In addition, cracked rotor bars often will generate FP sidebands around the third, fourth and fifth running speed harmonics. Loose rotor bars are indicated by 2X line freq. (2FL) sidebands surrounding Rotor Bar Pass Frequency (RBPF) and/or its harmonics (RBPF = Number of Bars X RPM). Often will cause high levels at 2X RBPF, with only a small amplitude at 1X RBPF.
<b>D. PHASING PROBLEM (Loose Connector)</b>		Phasing problems due to loose or broken connectors can cause excessive vibration at 2X Line Freq. (2FL) which will have sidebands around it at 1/3 Line Freq. (1/3 FL). Levels at 2FL can exceed 1.0 in/sec if left uncorrected. This is particularly a problem if the defective connector is only sporadically making contact and periodically not.
<b>E. SYNCHRONOUS MOTORS (Loose Stator Coils)</b>		Loose stator coils in synchronous motors will generate fairly high vibration at Coil Pass Freq. (CPF) which equals number of stator coils X RPM (# Stator Coils = # Poles X # Coils/Pole). The Coil Pass Frequency will be surrounded by 1X RPM sidebands.
<b>F. DC MOTOR PROBLEMS</b>		DC motor problems can be detected by higher than normal amplitudes at SCR Firing Freq. (6FL) and harmonics. These problems include broken field windings, bad SCRs and loose connections. Other problems including loose or blown fuses and shorted control cards can cause high amplitude peaks at 1X thru 5X Line Frequencies (3600 - 18,000 CPM).

## Anexo B. Análisis financiero programa de capacitación

<b>SERVICIO OFRECIDO</b>				
<b>COSTO X GRUPO</b>				<b>\$ 6.000.000</b>
Servicio ofrecido (capacitación x persona \$400.000)	01/06/2014 (grupos a capacitar)	01/07/2014 (grupos a capacitar)	01/08/2014 (grupos a capacitar)	01/09/2014 (grupos a capacitar)
Capacitación (15 personas) para la formación de personal mediante el uso de la técnica de análisis de vibraciones	6	6	6	6
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 36.000.000</b>			

### A. RECURSO HUMANO

CANTIDAD	DESCRIPCION	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	GERENTE GENERAL	\$ 1.800.000	\$ 1.800.000
2	INSTRUCTOR	\$ 1.400.000	\$ 2.800.000
1	ASESOR COMERCIAL	\$ 850.000	\$ 850.000
1	CONTADOR CONTRATADO POR PRESTACION DE SERVICIOS 10 HORAS MENSUALES	\$ 40.000	\$ 400.000
<b>COSTO TOTAL DE RECURSO HUMANO</b>			<b>\$ 5.850.000</b>

CANTIDAD	COSTO X CAPACITACION MENSUAL
6	\$ 975.000
6	\$ 975.000
6	\$ 975.000
6	\$ 975.000
<b>COSTO TOTAL RECURSO HUMANO X CAPACITACIÓN</b>	
	<b>\$ 3.900.000</b>

**B. RECURSO TECNICO**

<b>CANTIDAD</b>	<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>VR. UNITARIO</b>	<b>VR. TOTAL</b>
4	ESCRITORIOS	MUEBLES Y ENSERES PARA OFICINA	\$ 180.000	\$ 720.000
4	SILLAS ERGONOMICAS	SILLA EJECUTIVA	\$ 150.000	\$ 600.000
30	PUPITRES	SALONES DE FORMACIÓN	\$ 70.000	\$ 2.100.000
1	SILLAS OFICINA	SILLA PARA SALA DE ESPERA	\$ 80.000	\$ 80.000
2	ARCHIVADORES	MOBILIARIO DE OFICINA	\$ 120.000	\$ 240.000
2	MODULARES	MONTAJE DIVISIONES PARA SALONES DE CAPACITACIÓN	\$ 270.000	\$ 540.000
1	FOTOCOPIADORA	FOTOCOPIADORA	\$ 480.900	\$ 480.900
1	FAX CON TELEFONO	TELEFONO FAX LASER	\$ 120.000	\$ 120.000
1	TELEFONOS	TELEFONOS OFICINA	\$ 20.000	\$ 20.000
1	CAFETERA	CAFETERA ELECTRICA	\$ 35.000	\$ 35.000
1	NEVERA	NEVERA HACEB	\$ 350.000	\$ 350.000
1	DISPENSADOR AGUA	DISPENSADOR AGUA FRIA Y CALIENTE	\$ 490.000	\$ 490.000
				\$ 5.775.900

<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO X CAPACITACION MENSUAL</b>
6	\$ 962.650
6	\$ 962.650
6	\$ 962.650
6	\$ 962.650
<b>COSTOTOTAL RECURSO TÉCNICO X CAPACITACIÓN</b>	<b>\$ 3.850.600</b>

**C. RECURSOS TECNOLÓGICOS**

<b>CANTIDAD</b>	<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>VR. UNITARIO</b>	<b>VR. TOTAL</b>
4	COMPUTADOR PORTATIL	COMPUTADOR PORTATIL COMPAC	\$ 1.200.000	\$ 4.800.000
15	COMPUTADOR DE ESCRITORIO	COMPUTADOR ESCRITORIO HP	\$ 900.000	\$ 13.500.000
2	ANALIZADOR DE VIBRACIONES	ALQUILER MENSUAL ANALIZADOR DE VIBRACIONES	\$ 2.000.000	\$ 4.000.000
1	IMPRESORA MULTIFUNCIONA	IMPRESORA WI-FI MULTIFUNCIONAL	\$ 149.900	\$ 149.900
2	CELULARES	CELULARES NOKIA	\$ 60.000	\$ 120.000
2	VIDEO BEAM	VIDEO BEAM EPSON	\$ 700.000	\$ 1.400.000
				\$ 23.969.900

<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO X CAPACITACION MENSUAL</b>
6	\$ 3.994.983
6	\$ 3.994.983
6	\$ 3.994.983
6	\$ 3.994.983
<b>COSTO TOTAL RECURSOS TECNOLÓGICOS X CAPACITACIÓN</b>	<b>\$ 15.979.933</b>

**C. RECURSO OPERATIVO**

<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>VR. TOTAL</b>
<b>SERVICIOS PUBLICOS</b>	<b>MENSUAL</b>	\$ 630.000
<b>TELEFONO E INTERNET</b>	<b>MENSUAL</b>	\$ 200.000
<b>ARRIENDO DE OFICINA</b>	<b>MENSUAL</b>	\$ 1.200.000
<b>PLANES DE CELULARES</b>	<b>MENSUAL/PLAN CERRADO POR 79900 C/U</b>	\$ 159.800
<b>Articulos de aseo</b>	<b>JABON, AXION, LIMPIDO, FA</b>	\$ 85.000
<b>AGUA DE DISPENSADOR</b>	<b>MENSUAL</b>	\$ 35.000
<b>AZUCAR</b>	<b>1 KILO MENSUAL</b>	\$ 3.500
<b>CAFÉ</b>	<b>1 KILO MENSUAL</b>	\$ 5.000
<b>VASOS DESECHABLES</b>	<b>2 PAQUETES AL MES C/U 1200</b>	\$ 2.400
<b>TOTAL RECURSO OPERATIVO GASTOS EN EL MES</b>		<b>\$ 2.320.700</b>

<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO X CAPACITACION MENSUAL</b>
<b>6</b>	\$ 386.783
<b>6</b>	\$ 386.783
<b>6</b>	\$ 386.783
<b>6</b>	\$ 386.783
<b>COSTO TOTAL RECURSO OPERATIVO X CAPACITACIÓN</b>	<b>\$ 1.547.133</b>

<b>ITEM</b>	<b>VALOR MENSUAL</b>
<b>COSTO TOTAL RECURSO HUMANO X CAPACITACIÓN</b>	\$ 3.900.000
<b>COSTOTOTAL RECURSO TÉCNICO X CAPACITACIÓN</b>	\$ 3.850.600
<b>COSTO TOTAL RECURSOS TECNOLÓGICOS X CAPACITACIÓN</b>	\$ 15.979.933
<b>COSTO TOTAL RECURSO OPERATIVO X CAPACITACIÓN</b>	\$ 1.547.133
<b>TOTAL</b>	\$ 25.277.667

## **Anexo C. Diseño de prácticas del programas de capacitación**

Para el desarrollo de las diferentes prácticas del programa de capacitación se propone la elaboración de un informe teniendo los siguientes ítems:

### **NOMBRE DE LA PRÁCTICA: MEDICION DE AMPLITUD Y FRECUENCIA**

#### **OBJETIVOS**

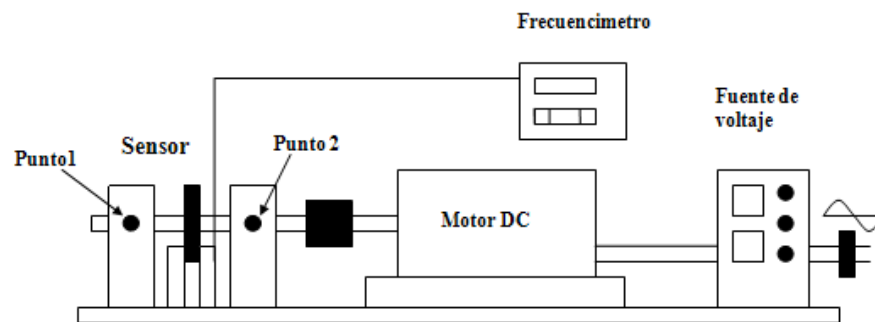
##### **OBJETIVOS GENERALES**

- ✓ Practicar los conceptos teóricos sobre las características, parámetros, y niveles del fenómeno vibratorio.

##### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- ✓ Identificar, y determinar los diversos parámetros que caracterizan una vibración. Además de conocer los diferentes instrumentos utilizados para el desarrollo de la experiencia.
- ✓ Realizar la medición de frecuencia mediante diferentes instrumentos, teniendo en cuenta uno como valor de referencia y calcular los respectivos porcentajes de error.
- ✓ Medir, calcular y encontrar el porcentaje de error de cada uno de los parámetros cinemáticos partiendo de uno ya medido o registrado durante el desarrollo de la prueba.

- ✓ Hallar, y comparar tanto teórica como experimental las constantes de conversión para los distintos niveles o valores de vibración.
- ✓ Observar los factores que intervienen para tener una buena medición.
- ✓ **MARCO TEORICO**
- ✓ **EQUIPO UTILIZADO:** Osciloscopio, Frecuencímetro, Analizador de vibraciones
- ✓ **DESCRIPCION DE LA PRUEBA**



**PROCESO:** La medición y el análisis de vibración comprende las siguientes fases: Captación, acondicionamiento, medición o valoración y análisis. Cada una de estas fases puede llevarse a cabo en un instrumento distinto, instalado consecuentemente, o bien varias fases integradas en un único instrumento.

**CAPTACIÓN:** Es la transformación de una variable mecánica a una eléctrica a través de un dispositivo llamado sensor.

**ACONDICIONAMIENTO:** Llamamos de esta manera a la adecuación de las señales que vienen del sensor para que puedan ser analizadas y visualizadas correctamente, esto se realiza por medio de filtros, dispositivos que amplifican la señal dependiendo de las necesidades.

**VISUALIZACIÓN:** Generalmente es necesario visualizar lo que se está midiendo o el comportamiento de las señales por esto se hace necesario un dispositivo que nos represente visualmente el comportamiento de estas variables.

**MEDICIÓN:** Consiste en la valoración de las características de la vibración. Dependiendo de lo que se quiera medir y de las características del movimiento vibratorio tales como velocidad angular, aceleración desplazamiento; la intensidad la podemos valorar dependiendo del nivel en pico (PK), pico-pico (PK-PK), RMS y promedio.

**ANÁLISIS:** Es la descomposición de una vibración mecánica en sus componentes armónicas y esto se logra por los datos suministrados por la medición dependiendo del tipo de la vibración, ya que esto va a incidir en el tratamiento matemático de la misma.

✓ **DATOS**

<i>TABLA DE FRECUENCIAS</i>		
<i>f<sub>osciloscopio</sub> (Hz)</i>	<i>f<sub>frecuencimetro</sub>(Hz)</i>	<i>f<sub>analizador</sub> (Hz)</i>

## ✓ DESARROLLO MATEMÁTICO

Determinar el período, así mismo tener en cuenta que la frecuencia y el periodo son inversamente proporcionales. Por tanto calcular las frecuencias (Hz) para cada uno de los equipos utilizados.

$$f_{osciloscopio} = \text{(Valor de referencia)}$$

$$f_{frecuencimetro} =$$

$$f_{analizador} =$$

Luego calcular el % error para cada uno de los instrumentos de medición lo determinamos mediante la siguiente expresión:

$$\% \text{ error } f_{frecuencimetro} = \frac{f_{osciloscopio} - f_{frecuencimetro}}{f_{osciloscopio}} \times 100$$

$$\% \text{ error } f_{analizador} = \frac{f_{osciloscopio} - f_{analizador}}{f_{osciloscopio}} \times 100$$

## ✓ RESULTADOS

Calcular el porcentaje de error de las frecuencias correspondiente a cada equipo.

% ERROR FRECUENCIAS	
% error <i>frecuencimetro</i>	% error <i>analizador</i>

Teniendo los datos de desplazamiento de entrada calcular los parámetros de velocidad y aceleración.

<b>UNIDAD ES</b>	<b>FRECUEN CIA ANALIZAD OR (Hz)</b>	<b>FRECUEN CIA (w) (RAD/S)</b>	<b>DESPLAZAMIE NTO (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>VELOCID AD (mm/s)</b>	<b>ACELERACI ON (<math>\text{m/s}^2</math>) *g=9,8m/s<sup>2</sup></b>
Pk					
Pk-Pk					
RMS					
$\ddot{y}$					

Teniendo los datos de velocidad de entrada calcular los parámetros de desplazamiento y aceleración.

<b>UNIDAD ES</b>	<b>FRECUEN CIA ANALIZAD OR (Hz)</b>	<b>FRECUEN CIA (w) (RAD/S)</b>	<b>DESPLAZAMIE NTO (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>VELOCID AD (mm/s)</b>	<b>ACELERACI ON (<math>\text{m/s}^2</math>) *g=9,8m/s<sup>2</sup></b>
Pk					
Pk-Pk					
RMS					
$\ddot{y}$					

Teniendo los datos de aceleración de entrada calcular los parámetros de desplazamiento y velocidad.

UNIDADES	FRECUENCIA ANALIZADOR (Hz)	FRECUENCIA ( $\omega$ ) (RAD/S)	DESPLAZAMIENTO ( $\mu\text{m}$ )	VELOCIDAD (mm/s)	ACELERACION ( $\text{m/s}^2$ ) *g=9,8m/s <sup>2</sup>
Pk					
Pk-Pk					
RMS					
$\ddot{y}$					

Calcular el porcentaje de error de los diferentes parámetros cinemáticos:

DESPLAZAMIENTO				
DESPLAZAMIENTO ( $\mu\text{m}$ )	DESPLAZAMIENTO ( $\mu\text{m}$ )	DESPLAZAMIENTO ( $\mu\text{m}$ )	% DE ERROR	% DE ERROR

VELOCIDAD				
VELOCIDAD (mm/s)	VELOCIDAD (mm/s)	VELOCIDAD (mm/s)	% DE ERROR	% DE ERROR

<b>ACELERACIÓN</b>				
<b>ACELERACION</b> <b>(m/s<sup>2</sup>)</b> <b>*g=9,8m/s<sup>2</sup></b>	<b>ACELERACION</b> <b>(m/s<sup>2</sup>)</b> <b>*g=9,8m/s<sup>2</sup></b>	<b>ACELERACION</b> <b>(m/s<sup>2</sup>)</b> <b>*g=9,8m/s<sup>2</sup></b>	<b>% DE</b> <b>ERROR</b>	<b>% DE</b> <b>ERROR</b>

✓ **OBSERVACIONES**

✓ **CONCLUSIONES**

✓ **BIBLIOGRAFIA**

## **NOMBRE DE LA PRÁCTICA: BALANCEO DE ROTORES MÉTODO GRAFICO**

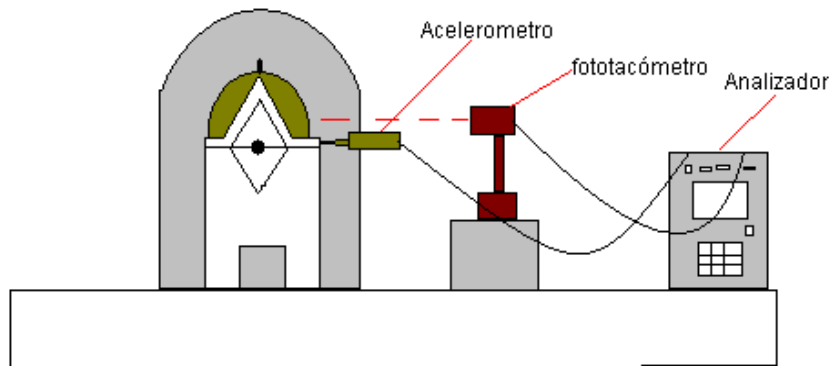
### **OBJETIVOS**

#### **OBJETIVOS GENERALES**

- ✓ Conocer y estudiar el método grafico de balanceo de rotores.

#### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- ✓ Estudiar y analizar los diferentes métodos utilizados para el balanceo dinámico de rotores, entre los que se encuentran el método matemático y el método gráfico, aplicando el respectivo y adecuado procedimiento para balancear un rotor rígido por balanceo dinámico en un plano.
- ✓ Medir, calcular y encontrar el porcentaje de error de cada uno de los métodos utilizados para el balanceo de rotores, para determinar si los resultados se encuentran dentro de un rango admisible por la norma.
- ✓ Estudiar los diferentes factores que causan el desequilibrio másico y sus respectivas consecuencias o efectos que provoca en la máquina.
- ✓ **MARCO TEORICO**
- ✓ **DESCRIPCION DE LA PRUEBA**
- ✓ **DIAGRAMA DEL MONTAJE**



✓ **PROCESO**

Para un  $w$  constante:

1. Medir amplitud y fase de la vibración  $V_o$  y  $\Phi_o$  respectivamente.
2. Ubicar una masa de prueba  $m_p$  y  $\Phi_p$ .
3. Medir  $V_1$  y  $\Phi_1$ .
4. Graficar y encontrar  $V_c$  y  $\Phi_c$ .
5. Se ubica  $m_c$  a  $\Phi_c$  medido desde  $\Phi_p$ .
6. Medir  $V_r$  y  $\Phi_r$  (vibración residual).

✓ **DATOS**

$V_o$ ( $\mu\text{m}$ )	
$V_1$ ( $\mu\text{m}$ )	
$m_p$ (g)	
$\Phi_p$ ( $^\circ$ )	
$\Phi_o$ ( $^\circ$ )	
$\Phi_1$ ( $^\circ$ )	

✓ **DESARROLLO MATEMATICO**

✓ **METODO GRAFICO**

Determinar el valor de frecuencia en unidades de Hz

1. Medimos amplitud y fase de la vibración  $V_0$  ( $\mu m$ ) y  $\phi_0$  ( $^\circ$ ) respectivamente.
2. Ubicamos una masa de prueba  $m_p$  y  $\Phi_p$ .
3. Medimos  $V_1$  y  $\Phi_1$ .
4. Graficamos y encontramos  $V_c$  y  $\Phi_c$ .

Entonces de la gráfica determinamos  $V_c$  y  $\Phi_c$ .

Por tanto la masa de corrección (g) la determinamos mediante la siguiente ecuación:

$$m_c = \frac{V_0}{V_c} \times m_p$$

5. Entonces ubicamos  $m_c$  a  $\Phi_c$  medido desde  $\Phi_p$ .
6. Medimos  $V_r$  y  $\Phi_r$  (vibración residual), lo cual nos da un valor:

✓ **MÉTODO MATEMÁTICO**

Tenemos en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$Y = A \times U$$

$$Y_1 = A \times (U + T) = AU + AT$$

Reemplazando Y en Y<sub>1</sub> queda:

$$Y_1 = Y + AT$$

De donde obtenemos:

$$A = \frac{Y_1 - Y}{T}$$

✓ **% ERROR DE REDUCCIÓN MÉTODO GRAFICO**

$$\% \text{ error de reduccion} = \frac{V_0 - V_r}{V_0} \times 100$$

✓ **% ERROR DE REDUCCIÓN METODO MATEMATICO**

$$\% \text{ error de reduccion} = \frac{V_0 - V_r}{V_0} \times 100$$

✓ **RESULTADOS**

% ERROR DE REDUCCIÓN	
% ERROR DE REDUCCIÓN MÉTODO GRAFICO	% ERROR DE REDUCCIÓN MÉTODO MATEMÁTICO

METODO GRAFICO	METODO MATEMATICO
----------------	-------------------

$V_c$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Phi_c$ ( $^\circ$ )	$m_c$ (g)	$V_r$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Phi_r$ ( $^\circ$ )	$V_c$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Phi_c$ ( $^\circ$ )	$m_c$ (g)	$V_r$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Phi_r$ ( $^\circ$ )

✓ **OBSERVACIONES**

✓ **CONCLUSIONES**

✓ **BIBLIOGRAFIA**