El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional

R. Huerta Mendoza.
Exploración y Producción Occidente. Gerencia de Mantenimiento.
Ingeniería de Mantenimiento. Edificio Mantenimiento Sur. Oficina PB-17.
Petróleos de Venezuela, S.A. (PDVSA)
Carretera Nacional, PDVSA Lagunillas, Estado Zulia, Venezuela.
Apartado Postal 173. Zona Postal 4016-A
Teléfono: (58) 65 306795 Fax: (58) 65 306946
E-mail: huertar@pdvsa.com

(Ponencia recibida para ser presentada en el 2º Congreso Cubano de Ingeniería Mecánica, ISPJAE, Ciudad de la Habana, Septiembre 2000)

Resumen

El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional, basado en la realidad actual.

El mejoramiento de la confiabilidad operacional de cualquier instalación o de sus sistemas y componentes, está asociado con cuatro aspectos fundamentales: confiabilidad humana, confiabilidad del proceso, confiabilidad del diseño y la confiabilidad del mantenimiento. Lamentablemente, difícilmente se disponen de recursos ilimitados, tanto económicos como humanos, para poder mejorar al mismo tiempo, estos cuatro aspectos en todas las áreas de una empresa.

¿ Cómo establecer que una planta, proceso, sistema o equipo es más crítico que otro? ¿Que criterio se debe utilizar? ¿Todos los que toman decisiones, utilizan el mismo criterio? El análisis de criticidades da respuesta a estas interrogantes, dado que genera una lista ponderada desde el elemento más crítico hasta el menos crítico del total del universo analizado, diferenciando tres zonas de clasificación: alta criticidad, mediana criticidad y baja criticidad. Una vez identificadas estas zonas, es mucho más fácil diseñar una estrategia, para realizar estudios o proyectos que mejoren la confiabilidad operacional, iniciando las aplicaciones en el conjunto de procesos ó elementos que formen parte de la zona de alta criticidad.

Los criterios para realizar un análisis de criticidad están asociados con: seguridad, ambiente, producción, costos de operación y mantenimiento, rata de fallas y tiempo de reparación principalmente. Estos criterios se relacionan con una ecuación matemática, que genera puntuación para cada elemento evaluado.

La lista generada, resultado de un trabajo de equipo, permite nivelar y homologar criterios para establecer prioridades, y focalizar el esfuerzo que garantice el éxito maximizando la rentabilidad.

Palabras claves: confiabilidad, criticidad, seguridad, ambiente, riesgo, disponibilidad, mejoramiento.

1. Introducción

Definiciones importantes.

ANALISIS DE CRITICIDAD: es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones. Para realizar un análisis de criticidad se debe: definir un alcance y propósito para el análisis, establecer los criterios de evaluación y seleccionar un método de evaluación para jerarquizar la selección de los sistemas objeto del análisis [1]

CONFIABILIDAD: se define como la probabilidad de que un equipo o sistema opere sin falla por un determinado período de tiempo, bajo unas condiciones de operación previamente establecidas.

CONFIABILIDAD OPERACIONAL: es la capacidad de una instalación o sistema (integrados por procesos, tecnología y gente), para cumplir su función

© 2000 – Ediciones ISPJAE.

dentro de sus límites de diseño y bajo un contexto operacional específico. Es importante puntualizar que en un programa de optimización de Confiabilidad Operacional, es necesario el análisis de los siguientes cuatro parámetros: confiabilidad humana, confiabilidad de los procesos, mantenibilidad de los equipos y la confiabilidad de los equipos.

La variación en conjunto o individual de cualquiera de los cuatro parámetros presentados en la figura 1, afectará el comportamiento global de la confiabilidad operacional de un determinado sistema.

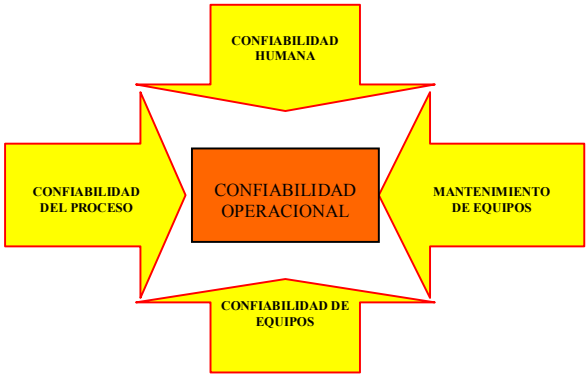

Figura 1. Aspectos de la confiabilidad operacional [2]

EQUIPOS NATURALES DE TRABAJO: en el contexto de confiabilidad operacional, se define como el conjunto de personas de diferentes funciones de la organización, que trabajan juntas por un periodo de tiempo determinado en un clima de potenciación de energía, para analizar problemas comunes de los distintos departamentos, apuntando al logro de un objetivo común.

En un enfoque tradicional, el concepto de trabajo en equipo comprende un sistema de progresión de carrera que exige a cada nuevo gerente "*producir su impacto individual y significativo al negocio*". Gerentes rotando en ciclos cortos en diversos campos, creando la necesidad de cambios de iniciativa para "*dejar su huella*".

Sin embargo, en la cultura de los más exitosos existe afinidad por el trabajo en equipo. Los equipos naturales de trabajo son vistos como los mayores contribuyentes al valor de la empresa, y trabajan consistentemente a largo plazo. Los gerentes guían a los miembros hacia el crecimiento del equipo y a obtener mejores resultados bajo el esquema "*ganar-ganar*". Los éxitos del equipo son logros del líder de turno.

JERARQUIA DE ACTIVOS: define el número de elementos o componentes de una instalación y/o planta en agrupaciones secundarias que trabajan conjuntamente para alcanzar propósitos preestablecidos. La figura 2 muestra el estilo de agrupación típica de una instalación, donde se observa que la jerarquía de los activos la constituyen grupos consecutivos.

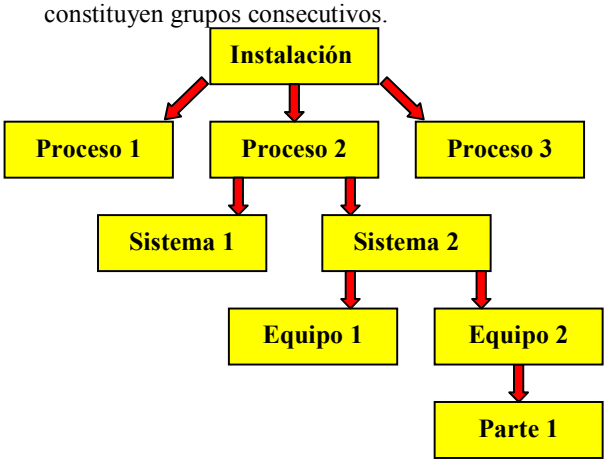

Figura 2. Agrupación típica de instalaciones.

Como puede verse en la figura 2, una planta compleja tiene asociada muchas unidades de proceso, y cada unidad de proceso podría contar con muchos sistemas, al tiempo que cada sistema tendría varios paquetes de equipos, y así sucesivamente. A medida que descendamos por la jerarquía, crecerá el número de elementos a ser considerados.

UNIDADES DE PROCESO: se define como una agrupación lógica de sistemas que funcionan unidos para suministrar un servicio (ej. electricidad) o producto (ej. gasolina) al procesar y manipular materia prima e insumos (ej. agua, crudo, gas natural, catalizador).

SISTEMAS: conjunto de elementos interrelacionados dentro de las unidades de proceso, que tienen una función específica. Ej. separación de gas, suministrar aire, regeneración de catalizador, etc.

2. Antecedentes

La necesidad cada día más acentuada por mejorar los estándares en materia de seguridad, ambiente y productividad de las instalaciones y sus procesos, obliga a incorporar nuevas tecnologías que permitan alcanzar las metas propuestas. En el ámbito internacional las empresas exitosas han basado su estrategia en la búsqueda de la excelencia a través de la *filosofía de Clase Mundial*, la cual tiene asociada la aplicación de diez prácticas. Estas prácticas son:

Trabajo en equipo
Contratistas orientadas a la productividad
Integración con proveedores de materiales y servicios
Apoyo y visión de la gerencia
Planificación y programación proactiva

Mejoramiento continuo
Gestión disciplinada de procura de materiales
Integración de sistemas
Gerencia de paradas de planta
Producción basada en confiabilidad

Todas estas prácticas están orientadas al mejoramiento de la confiabilidad operacional de las instalaciones y sus procesos, sistemas y equipos asociados, con la finalidad de hacer a las empresas más *competitivas y rentables*, disponer de una excelente *imagen* con el entorno, así como la satisfacción de sus trabajadores, clientes y suplidores.

El análisis de criticidad es una de las metodologías que integran la práctica 10, sin embargo puede ser utilizada de forma efectiva para acelerar la selección, desarrollo e implantación de las restantes nueve prácticas.

3. El análisis de criticidad

El objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de una planta compleja, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable.

Desde el punto de vista matemático la criticidad se puede expresar como:

Criticidad = Frecuencia x Consecuencia

Donde la frecuencia esta asociada al número de eventos o fallas que presenta el sistema o proceso evaluado y, la consecuencia está referida con: el impacto y flexibilidad operacional, los costos de reparación y los impactos en seguridad y ambiente. En función de lo antes expuesto se establecen como criterios fundamentales para realizar un análisis de criticidad los siguientes:

Seguridad
Ambiente
Producción
Costos (operacionales y de mantenimiento)
Tiempo promedio para reparar
Frecuencia de falla

Un modelo básico de análisis de criticidad, es equivalente al mostrado en la figura 3. El establecimiento de criterios se basa en los seis (6) criterios fundamentales nombrados en el párrafo anterior. Para la selección del método de evaluación se toman criterios de ingeniería, factores de ponderación y cuantificación. Para la aplicación de un procedimiento definido se trata del cumplimiento de la guía de aplicación que se haya diseñado. Por último, la lista jerarquizada es el producto que se obtiene del análisis.

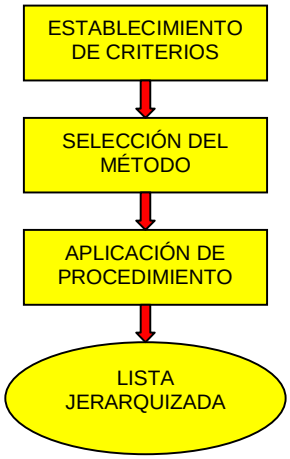

Figura 3. Modelo básico de criticidad.

Emprender un análisis de criticidad tiene su máxima aplicabilidad cuando se han identificado al menos una de las siguientes necesidades:

Fijar prioridades en sistemas complejos
Administrar recursos escasos
Crear valor
Determinar impacto en el negocio
Aplicar metodologías de confiabilidad operacional

El análisis de criticidad aplica en cualquier conjunto de procesos, plantas, sistemas, equipos y/o componentes que requieran ser jerarquizados en función de su impacto en el proceso o negocio donde formen parte. Sus áreas comunes de aplicación se orientan a establecer programas de implantación y prioridades en los siguientes campos:

Mantenimiento
Inspección
Materiales
Disponibilidad de planta
Personal

<u>En el ámbito de mantenimiento:</u>

Al tener plenamente establecido cuales sistemas son más críticos, se podrá establecer de una manera más eficiente la priorización de los programas y *planes de mantenimiento* de tipo: predictivo, preventivo, correctivo, detectivo e inclusive posibles rediseños a nivel de procedimientos y modificaciones menores; inclusive permitirá establecer la prioridad para la programación y ejecución de órdenes de trabajo.

En el ámbito de inspección:

El estudio de criticidad facilita y centraliza la implantación de un programa de inspección, dado que la lista jerarquizada indica donde vale la pena realizar inspecciones y ayuda en los criterios de selección de los *intervalos* y tipo de inspección requerida para sistemas de protección y control (presión, temperatura, nivel, velocidad, espesores, flujo, etc.), así como para equipos dinámicos, estáticos y estructurales.

En el ámbito de materiales:

La criticidad de los sistemas ayuda a tomar decisiones más acertadas sobre el nivel de equipos y piezas de repuesto que deben existir en el almacén central, así como los requerimientos de partes, materiales y herramientas que deben estar disponibles en los almacenes de planta, es decir, podemos sincerar el *stock* de materiales y repuestos de cada sistema y/o equipo logrando un *costo optimo de inventario*.

En el ámbito de disponibilidad de planta:

Los datos de criticidad permiten una orientación certera en la ejecución de proyectos, dado que es el mejor punto de partida para realizar estudios de *inversión de capital* y renovaciones en los procesos, sistemas o equipos de una instalación, basados en el área de mayor impacto total, que será aquella con el mayor nivel de criticidad.

A nivel del personal:

Un buen estudio de criticidad permite potenciar el adiestramiento y desarrollo de *habilidades en el personal*, dado que se puede diseñar un plan de formación técnica, artesanal y de crecimiento personal, basado en las necesidades reales de la instalación, tomando en cuenta primero las áreas más críticas, que es donde se concentra las mejores oportunidades iniciales de mejora y de agregar el máximo valor.

4. Información requerida

La condición ideal sería disponer de datos estadísticos de los sistemas a evaluar que sean bien precisos, lo cual permitiría cálculos "*exactos y absolutos*". Sin embargo desde el punto de vista práctico, dado que pocas veces se dispone de una data histórica de excelente calidad, el análisis de criticidad permite trabajar en rangos, es decir, establecer cual sería la condición más favorable, así como la condición menos favorable de cada uno de los criterios a evaluar. La información requerida para el análisis siempre estará referida con la frecuencia de fallas y sus consecuencias.

Para obtener la información requerida, el paso inicial es formar un *equipo natural de trabajo* integrado por un *facilitador* (experto en análisis de criticidad, y quien será el encargado de conducir la actividad), y personal de las organizaciones involucradas en el estudio como lo son operaciones, mantenimiento y especialidades, quienes serán los puntos focales para identificar, seleccionar y conducir al personal conocedor de la realidad operativa de los sistemas objeto del análisis. Este personal debe conocer el sistema, y formar parte de las áreas de: operaciones, mecánica, electricidad, instrumentación, estructura, programadores, especialistas en proceso, diseñadores, etc.; adicionalmente deben formar parte de todos los estratos de la organización, es decir, personal gerencial, supervisorio, capataces y obreros, dado que cada uno de ellos tiene un nivel particular de conocimiento así como diferente *visión del negocio*.

Mientras mayor sea el número de personas involucradas en el análisis, se tendrán mayores puntos de vista evitando resultados parcializados, además el personal que participa nivela conocimientos y acepta con mayor facilidad los resultados, dado que su opinión fue tomada en cuenta.

5. Manejo de la información

El nivel natural entre las labores a realizar comienza con una discusión entre los representantes principales del equipo natural de trabajo, para preparar una lista de todos los sistemas que formaran parte del análisis. El método es sencillo y está basado exclusivamente en el *conocimiento* de los participantes, el cual será plasmado en una encuesta preferiblemente personal (puede adoptarse el trabajo de grupo, pero con mucho cuidado para evitar que "líderes naturales" parcialicen los resultados con su opinión personal)

El *facilitador* del análisis debe garantizar que todo el personal involucrado entienda la finalidad del trabajo que se realiza, así como el uso que se le dará a los resultados que se obtengan. Esto permitirá que los involucrados le den mayor nivel de importancia y las respuestas sean orientadas de forma más responsable, evitando así el menor número de desviaciones.

La mejor forma de conducir el manejo de la información es que el *facilitador* aclare cada pregunta, dando ejemplos para cada caso, para que luego los encuestados procedan con su respectiva respuesta.

Es aconsejable que el modelo de encuesta sea sencillo, para facilitar la dinámica de la entrevista a la ves de permitir máximo confort a los entrevistados.

La tabla 1 muestra el modelo estándar de encuesta, utilizado en PDVSA E & P Occidente para establecer la criticidad de sus sistemas.

Tabla 1. Encuesta para el análisis de criticidad

Gerencia de Mantenimiento
Confiabilidad Operacional
Encuesta de Evaluación de Criticidad

AREA	
PERSONA ENTREVISTADA	
FECHA	

Propósito de este trabajo:
La Información recolectada, servirá para estandarizar priorización de trabajos asociados a confiabilidad y
Priorizar ordenes de trabajo de mantenimiento y operaciones, proyectos y respuestos

Nivel de Prod. de la Instalación	4

Sistem	Frecuencia de Falla (Peso)	Impacto Producción (Peso)	TPPR (Peso)	Costo de Reparación (Peso)	Impacto Segurida (Peso)	Impacto Ambiente (Peso)	Criticida
Sistema 1	4	6	2	5	0	0	212
Sistema 2	3	4	2	10	0	0	126
Sistema 3	1	8	2	5	35	30	134
Sistema 4	3	8	1	5	0	0	111
Sistema 5	1	6	1	25	0	0	49
Sistema 6	4	4	2	5	0	0	148
Sistema 7	3	8	2	5	0	0	207
Sistema 8	3	6	2	10	0	0	174
Sistema 9	3	4	1	5	0	0	63

Como se puede observar en la tabla 1, la encuesta indica la empresa y organización responsable de ejecutar la actividad. De igual forma se indica el área donde se efectúa el trabajo, la persona entrevistada y la fecha de ejecución. También se incluye una breve descripción del propósito del trabajo en cuanto al uso que se le dará a los resultados. El número de sistemas a ser listados, dependerá del alcance que el equipo natural de trabajo fijó al inicio, por lo cual la cantidad será variable dependiendo de cada caso. El orden en el que se listan no tiene ninguna relación con su nivel de criticidad, dado que es esa la información que arrojarán los resultados. Las columnas de: frecuencia de falla, impacto operacional, tiempo promedio para reparar (TPPR), costo de reparación, impacto en seguridad e impacto ambiental, son los criterios a tomar en cuenta en el análisis. Los valores que aparecen registrados son un ejemplo de los pesos asignados a cada sistema, establecidos según rangos predeterminados (criterios de evaluación). La ultima columna corresponde con la criticidad, donde basados en una fórmula que relaciona la frecuencia de falla por su consecuencia, estimará un valor para cada sistema.

Los valores de criticidad obtenidos serán ordenados de mayor a menor, y serán graficados utilizando diagramas de barra, lo cual permitirá de forma fácil visualizar la distribución descendente de los sistemas evaluados.

La distribución de barras, en la mayoría de los casos, permitirá establecer de forma fácil tres zonas específicas: alta criticidad, mediana criticidad y baja criticidad

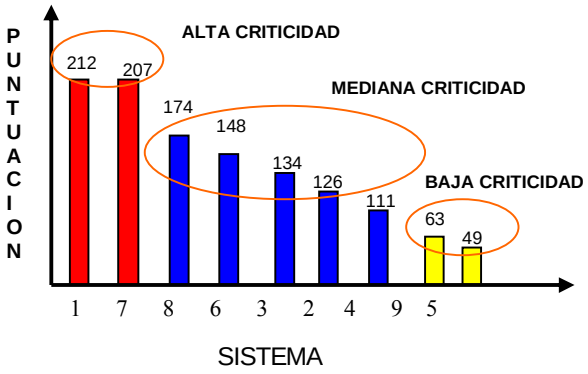

Figura 4. Gráfico de resultados de un análisis de criticidad

Esta información es la que permite orientar la toma de decisiones, focalizando los esfuerzos en la zona de alta criticidad, donde se ubica la mejor oportunidad de agregar valor y aumentar la rentabilidad del negocio.

La figura 4 muestra el diagrama de barra correspondiente a los resultados mostrados en la tabla 1, para indicar las tres zonas que caracterizan un análisis de criticidad.

6. Criterios de evaluación

La tabla 2 muestra un estándar PDVSA, para dar la puntuación a cada uno de los criterios empleados en el análisis de criticidad.

Tabla 2. Criterios de evaluación de criticidades

GERENCIA DE MANTENIMIENTO
CONFIABILIDAD OPERACIONAL
TABLA DE VALORES DE CRITICIDAD

GUIA DE CRITICIDAD								
1.- FRECUENCIA DE FALLA (todo tipo de falla)								**Puntaje**
.- No más 1 por								1
.- Entre 2 y 12 por								3
.- Entre 13 y 52 por								4
.- Mas de 52 por año (Mas de 1 interrupción semanal)								6
2.- IMPACTO OPERACIONAL								
2.1.- NIVEL DE PRODUCCIÓN (de la Instalación)								**Puntaje**
CRUDO			**GAS**			**GABARRAS/OTR**		
0	-	100 bbl / día	0	-	0.2 MMPCN / día	Menos de 10		1
101	-	1000 bbl / día	0.2	-	20 MMPCN / día	11	- 23	2
1001	-	5000 bbl / día	20	-	100 MMPCN / día	23	- 40	4
5001	-	10000 bbl / día	100	-	200 MMPCN / día	40	- 60	6
10001	-	20000 bbl / día	200	-	400 MMPCN / día	60	- 80	9
Mas de 20000 bbl / día			Mas de 400 MMPCN / dia			80	- 100	12
2.2.- TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR (TPPR)								**Puntaje**
Menos de 4								1
Entre 4 y 8								2
Entre 9 y 24								4
Mas de 24 horas								6
2.3.- IMPACTO EN PRODUCCIÓN (por falla)								**Puntaje**
No Afecta								0.05
25% de								0.30
50% de								0.50
75% de								0.80
La Impacta Totalmente								1
2.4.- COSTO DE REPARACION								**Puntaje**
Menos de 25 MMBs								3
Entre 25 - 50 MMBs								5
Entre 51 - 100 MMBs								10
Mas de 100 MMBs								25
2.5.- IMPACTO EN LA SEGURIDAD PERSONAL (Cualquier tipo de daños, heridas, fatalidad)								**Puntaje**
SI								35
NO								0
2.6.- IMPACTO AMBIENTAL (Daños a terceros, fuera de la instalación)								**Puntaje**
SI								30
NO								0

Formula de Criticidad = { (Nivel Prod.*TPPR*Imp. Prod.) + Costo Rep.+ Imp. Seg. + Imp. Amb. } * Frec.Falla (1)

La definición de cada criterio es:

Frecuencia de falla: son las veces que falla cualquier componente del sistema.

Impacto operacional: es el porcentaje de producción que se afecta cuando ocurre la falla.

Nivel de producción manejado: es la capacidad que se deja de producir cuando ocurre la falla.

Tiempo promedio para reparar: es el tiempo para reparar la falla.

Costo de reparación: costo de la falla

Impacto en seguridad: posibilidad de ocurrencia de eventos no deseados con daños a personas.

Impacto ambiental: posibilidad de ocurrencia de eventos no deseados con daños al ambiente.

La fórmula 1 permite sobre la base de los valores utilizados y plasmados en la encuesta, definir una puntuación para cada sistema, lo cual realizando el ordenamiento descendente permitirá obtener la lista jerarquizada, como la mostrada en la figura 4.

7. Conclusiones

El uso del análisis de criticidad permite la toma de decisiones acertadas. En el caso de PDVSA E & P Occidente el promedio de ahorros directos al año, está en el orden de los 3500 MMBs por selección certera de los estudios de confiabilidad operacional.

Adicionalmente se encuentran otros beneficios por redireccionar el presupuesto en áreas de mayor rentabilidad para la empresa.

8. Bibliografía

1. 1. PDVSA CIED, Instituto de Desarrollo Profesional y Técnico: Introducción a la Confiabilidad Operacional. Venezuela, Septiembre de 1999.
2. The Woodhouse Partnership LTD, "Operational Reliability", England 1998.

Criticality analysis , a methodology to improve the operational reliability.

Abstract:

The criticality analysis is a methodology that allows to establish the hierarchy or priorities of processes, systems and equipments, creating a structure that facilitates the taking of effective and correct decisions, addressing the effort and the resources in areas where it is more important or necessary to improve the operational dependability, based on the current reality.

The improvement of the operational dependability of any installation or their systems and components is associated with four fundamental aspects: human dependability, dependability of the process, dependability of the design and the dependability of the maintenance. Regrettably, difficultly is in our hands limitless resources, so much economic as human, to be able to improve at the same time, these four aspects in all the areas of a company.

The approaches to carry out a criticality analysis are associated with: security, surroundings, production, operation costs and maintenance, failure rate and repair time mainly. These approaches are related with a mathematical equation that generates punctuation for each evaluated element.

The generated list, result of a team work, allows to even and to homologate approaches to establish priorities, and focalise the effort that guarantees the success maximizing the profitability.

.Key words:. PDVSA, dependability, criticality, security, surroundings, risk, readiness, improvement, changes.