



Industrial Data

ISSN: 1560-9146

[iifi@unmsm.edu.pe](mailto:iifi@unmsm.edu.pe)

Universidad Nacional Mayor de San  
Marcos  
Perú

Kraenau Espinal, Erwin; Santos de la Cruz, Eulogio; Canales del Mar, Manuel Rolando  
Métrica difusa para la evaluación del desempeño en la gestión por procesos  
Industrial Data, vol. 18, núm. 1, 2015, pp. 19-30  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Lima, Perú

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81642256003>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en [redalyc.org](http://redalyc.org)

[redalyc.org](http://redalyc.org)

Sistema de Información Científica  
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# Métrica difusa para la evaluación del desempeño en la gestión por procesos

ERWIN KRAENAU ESPINAL\*

EULOGIO SANTOS DE LA CRUZ\*\*

MANUEL ROLANDO CANALES DEL MAR\*\*\*

RECIBIDO: 20/11/14 ACEPTADO: 02/04/15

## RESUMEN

Se diseña una métrica de desempeño mediante la lógica difusa (fuzzy logic), con la finalidad de que se incorpore más aspectos de los procesos de una gestión de cualquier organización incluyendo aquellos subjetivos. Para mostrar lo anterior se aplicó esta métrica a un proceso de facturación de una empresa de herbicidas, donde esta métrica se construyó a través de los indicadores tradicionales de eficiencia y eficacia, produciendo medidas de desempeño difusas. Los resultados obtenidos, demuestran que esta métrica difusa de desempeño es estable y válida ya que está construida en base a indicadores de desempeño clásicos con las propiedades ya conocidas que poseen. Estas métricas difusas, estandarizan de alguna manera los procesos de la organización. La construcción de los softwares y los resultados se obtuvieron a partir del módulo de lógica difusa del MATLAB versión 7.0 (fuzzy toolbox).

**Palabras clave:** estrés laboral, salud mental ocupacional, síndrome de Burnout, supervisor

FUZZY METRIC FOR EVALUATING PERFORMANCE IN THE PROCESS MANAGEMENT

## ABSTRACT

Designing a performance metric by the fuzzy logic, the purpose of which is incorporated more aspects of the management processes of any organization including those subjective. To show how this metric was applied prior to a billing process of a company of herbicides, where this metric was constructed by traditional indicators of efficiency and effectiveness, producing fuzzy performance measures. The results show that this fuzzy measure performance is stable and valid as it is built on classical performance indicators already familiar with the properties they own. These metrics diff se somehow standardize the processes of the organization. The construction of the software and the results obtained from the fuzzy logic module of MATLAB version 7.0 (fuzzy toolbox).

**Keywords:** fuzzy logic, performance measure, herbicides, process management, nonlinear model

## 1. INTRODUCCIÓN

El desempeño de las organizaciones determina el desempeño de un país. El desempeño de una organización se refiere al grado de que sus éxitos logran los objetivos de esta. El desempeño exitoso es el producto de una conducta eficiente.

El principal asunto a investigar es: ¿cómo es medido el desempeño en una organización?. El crecimiento de la competencia, cambia a cada momento los mercados y la tecnología la incertidumbre y complejidad crean cada vez un medio ambiente más competitivo.

Esos cambios dejan en la obsolescencia cada vez en más corto tiempo lo establecido, por lo que debe mejorarse la eficiencia, eficacia, ya que los consumidores exigen más alta calidad en los productos o servicios y rápida respuesta a sus demandas.

A pesar de que la mejora del desempeño y/o actuación constituye el objetivo de la estrategia de una organización muy poco esfuerzo se ha realizado sobre la definición y operacionalización de medidas apropiadas para evaluar el impacto de la estrategia. Sobre este aspecto, resulta evidente que se necesitan mayores estudios sobre cómo medir y evaluar el desempeño como lo afirma Leong [1].

Según De Meyer [2], el enfoque actual de medición del desempeño que subyace en la mayoría de las organizaciones se basa en sistemas de contabilidad de costos, incluso para valorar el rendimiento operativo, centrándose típicamente en los costos e ignorando otras medidas que podrían reflejar mejor el rendimiento en términos de calidad, de flexibilidad o de oportunidad.

Numerosos autores, entre los que destacan Huge & Anderson [3], Kaplan [4], De Meyer [2], coinciden en que los sistemas de contabilidad de costos no son suficientes para medir el rendimiento, ya que la competencia actual no se basa únicamente en precios ni en presiones de costo, sino que hay que ser capaces de proveer otras prioridades, intangibles en algunos casos, para poder captar la atención y pedidos del usuario.

En este sentido, es necesario incluir otras medidas “no-financieras”, que reflejen ciertamente el desempeño. Una dificultad adicional de las prácticas contables es su incapacidad

\* Departamento Académico de Estadística, UNMSM. E-mail: stoned@ec-red.com

\*\* Departamento Académico de Diseño y Tecnología Industrial, UNMSM.  
 E-mail: egsantosd@hotmail.com

\*\*\* Departamento Académico de Estadística, UNMSM. E-mail: rcanalesdelmar@hotmail.com

de medir el aprendizaje. El conocimiento de los recursos utilizados para obtener el producto es importante, pero también lo es, aprender cómo usarlos más eficientemente [4]. Estos autores señalan que un buen sistema de medición del rendimiento, debería empujar a las organizaciones a rediseñar su sistema de medidas, de modo que se controlase integralmente la cadena de valor, siempre con el objetivo de reducir las actividades ineficientes y mejorar la creación global de valor.

Como se observa a menudo, muchos fabricantes son frecuentemente incapaces de cumplir sus objetivos, debido a las mediciones utilizadas para evaluar sus resultados. Los métodos tradicionales fundamentados en medidas financieras parecen ser en gran parte culpables de que buenas organizaciones hayan perdido valiosas capacidades técnicas, buenos directivos y hasta la propia organización.

La evaluación del desempeño es una de las principales preocupaciones de los tomadores de decisiones. La exigencia por optimizar los niveles de eficiencia y eficacia en el uso de los recursos, es el fundamento básico para impulsar el desarrollo de medidas de desempeño. Las medidas de desempeño han adquirido trascendencia a partir del auge de los sistemas de gestión de calidad total. Son importantes herramientas de gestión que proveen un valor de referencia a partir del cual se puede establecer una comparación entre las metas planeadas y el desempeño logrado. Son imprescindibles en cualquier evaluación del desempeño que se quiera llevar a cabo.

Uno de los problemas que se plantean al buscar un método de valoración de empresas que incluya cualidades es el de la representación de los conocimientos ambiguos de los especialistas. Es más, si se consulta a diferentes especialistas del mismo tema, probablemente ofrecerán conocimientos y opiniones diferentes, e incluso totalmente opuestas.

El desempeño percibido no puede predecirse solamente a partir de medidas objetivas, sino que existe la necesidad de buscar métodos fiables y válidos para “medir” lo subjetivo y enlazarlos a los factores objetivos que se pueden aplicar a los procesos de la organización. Cualquier modelo por el que se evalúe el desempeño no es más que una representación simplificada de la realidad, en la que se toman en consideración algunos de los elementos básicos que explican los niveles de desempeño alcanzados por la organización, dejando fuera del modelo, otros elementos de naturaleza más intangible, y por tanto de más difícil

cuantificación. Todos estos estudios muestran la dificultad de medir el desempeño percibido, ya que además de tener un fuerte carácter subjetivo, también se ve influenciada por factores como el coste asociado y la tarea realizada. Ante esta dificultad en estos modelos se crea una realidad modificada en lugar de hacer lo contrario, es decir, una adaptación de los modelos a los hechos reales. En este sentido, la lógica difusa (fuzzy logic) es un intento de rehabilitar el subjetivismo y la imprecisión, considerando el fenómeno tal cual se presenta en la vida real y realizar su tratamiento sin intentar deformarlo para hacerlo preciso y cierto.

Este trabajo tiene como objetivo principal diseñar una métrica difusa para evaluar el desempeño que incorpore los aspectos objetivos y subjetivos del funcionamiento de una comercializadora de herbicidas, basado en las medidas de desempeño tradicionales. Estas medidas de desempeño clásicas son utilizadas como variables de entrada en el sistema difuso construido para evaluar el proceso de facturación de esta comercializadora. La salida del sistema es la métrica difusa de desempeño en sí. Cabe señalar también, que la medida de desempeño difusa fue construida con el proceso estándar de facturación de las comercializadoras de herbicidas, no es complicado generalizarlas a otros procesos y ámbitos. Por otro lado, este sistema difuso puede ser fácilmente adaptado modificando algunos de sus parámetros.

Para el desarrollo del presente trabajo se utilizó el módulo Fuzzy Toolbox del software MATLAB versión 7.0.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Gestión

Según el ISO 9000:2005 la define como: actividades coordinadas para dirigir y controlar una organización [5]. La gestión es cuestión de herramientas; es la idoneidad de las herramientas, reside en buena medida de la eficacia de estas. En resumen es hacer adecuadamente las cosas, previamente planificadas, para conseguir objetivos.

#### 2.1.1 El Ciclo de la Gestión- PDCA

La gestión lleva asociada la acción para que los objetivos planteados se cumplan. Los elementos necesarios (ver Figura 1) se resume en el “Ciclo de la Gestión”. La primera fase del ciclo la conforma la Planificación (Plan) que está conformada por los procedimientos, recursos y sistema de control. La segunda parte de este ciclo es la Ejecución (Do),

que la conforma la Implementación. La tercera fase está dada por la Medición y Seguimiento (Check) que se compone del control, autoevaluación y el cuadro de mando y la fase que cierra este ciclo es la de Actuar (Act) que está formada por las acciones correctoras y mejora continua.

### 2.1.2. Gestión de Procesos

Según el ISO 9000:2005 el Proceso lo define como: conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en resultados. También se puede entender como una secuencia ordenada de actividades repetitivas cuyo producto tiene valor intrínseco para el usuario o cliente. La gestión de procesos es la aplicación del ciclo PDCA a los procesos de cualquier organización. El ciclo de la gestión de los procesos está conformado por la fase de Planificación que se refiere al diseño del proceso que se hace mediante la hoja de proceso. La segunda etapa la conforma la Ejecución o Implementación y se desarrolla mediante seminarios. La tercera parte de este ciclo la conforma la Medición que se compone por el control, auditoría, autoevaluación y el cuadro de mando, y la fase que cierra este ciclo es la Mejora

que se hace mediante las herramientas para la mejora continua y workshops. Todo este ciclo se ilustra en la Figura 2.

### 2.2. Métrica de Desempeño

Son medidas compuestas, complejas, que combinan indicadores.

Supóngase que se desea evaluar el comportamiento de una variable, para la cual, una vez elaboradas las definiciones correspondientes, se hayan encontrado diversos indicadores capaces de expresar los valores que asume en distintos objetos. A través de cada indicador se podrán obtener los datos pertinentes, que deberán ser llevados a escalas adecuadas para ordenarlos.

Por cada indicador que se utilice será necesario adoptar o construir una escala adecuada, que cuantifique las observaciones. Esta podrá ser del tipo más simple, como la escala dicotómica “si-no”, “0-1”, de dos valores solamente, o más compleja con varias opciones posibles, lo que aumenta su sensibilidad o grado de discriminación frente a los fenómenos medidos.

Si es posible, se tratará de utilizar una escala de razón, o intervalar; en el caso de que no se pueda

Figura 1. Ciclo PDCA

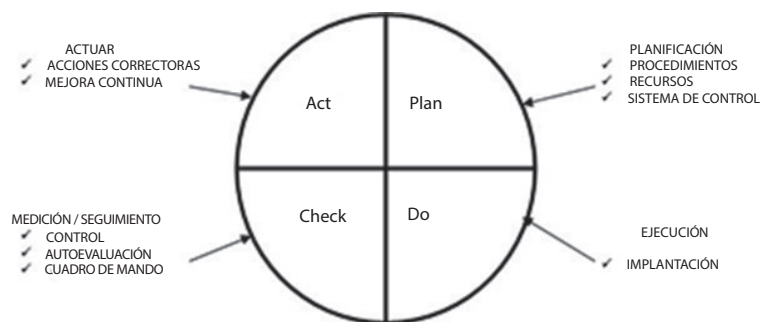
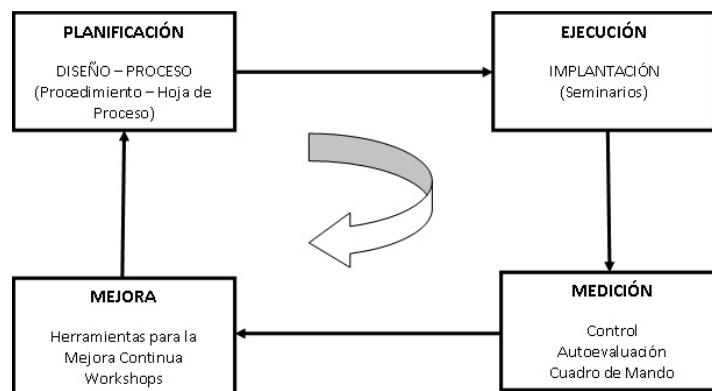


Figura 2. Ciclo de la Gestión de Procesos



llegar a tanta precisión se adoptarán escalas ordinales, o aun nominales, dado el caso. De acuerdo a los datos obtenidos se llegará a evaluar en cada escala el comportamiento que, en el objeto de estudio, sigue cada indicador. No obstante, ello no permite medir claramente la variable, pues no entrega más que información fragmentada, todavía parcial, que debe ser integrada o sintetizada para llegar a un valor único, final que exprese lo que en realidad ocurre con la variable. Para lograrlo es que los valores de los indicadores se combinan en forma ponderada, obteniéndose un valor total que hemos denominado métrica, y que es el que a la postre permite una claridad sobre el problema en estudio.

McClure [6] los definió como herramientas de gestión que se ocupan tanto de las entradas (indicadores en relación a recursos esenciales para proveer un servicio), procesos o actividades (cómo es utilizado un recurso), indicadores de los servicios resultantes del uso de esos recursos y el impacto (el efecto de esas salidas sobre otras variables o factores).

Lakos [7] diferencia mediciones de las entradas como el personal, materiales y recursos financieros; mediciones de las salidas como los resultados o productos y mediciones del rendimiento o de impacto, como los efectos de las salidas sobre los usuarios, los usos que hacen los mismos de las salidas o el grado de satisfacción experimentado por los usuarios de algunos de los servicios.

Estos indicadores conforman un conjunto de herramientas que apuntan a los aspectos organizacionales del desempeño, que son esenciales para el éxito actual y futuro de la organización.

### 2.2.1. Importancia de la Medición

La medición, junto con la planificación, son las etapas clave del ciclo de la gestión, la medición es precisamente la etapa que desencadena la fase que permite “cerrar el ciclo”. Si el propósito de cualquier gestión es alcanzar determinados objetivos, la medición ha de facilitar su consecución proporcionando la información necesaria y en el momento preciso facilitar la toma de decisiones.

La cantidad de mejora está relacionada con la frecuencia de la medición. Es bien cierto que no se puede controlar aquello que no se mide y no se puede gestionar lo que no está bajo control [5].

La medición permite:

1. Planificar con mayor certeza y confiabilidad.

2. Discernir con mayor precisión las oportunidades de mejora de un proceso dado.
3. Analizar y explicar cómo han sucedido los hechos.

La acción basada en los resultados de la medición es lo que se conoce como Gestión de Calidad. Su aplicación es necesaria e indispensable para conocer a fondo los procesos ya sean administrativos o técnicos, de producción o de apoyo que se den en la organización y para su mejoramiento.

El conocimiento profundo de la variabilidad de un proceso y sus causas, son imposibles de conocer sin medición. Conocer esto es precisamente la clave para mejorar el proceso y conquistar los objetivos de excelencia que se plantea la organización.

Sin medición no se sigue con rigurosidad y sistematización las actividades del proceso, para: evaluar, planificar, diseñar, prevenir, corregir y mantener, innovar y muchos más. La medición no solo puede entenderse como un proceso de recoger datos, sino que debe insertarse adecuadamente en el sistema de toma de decisiones [6].

### 2.2.2. Propiedades de una Métrica de Desempeño

Las métricas de desempeño de la gestión deben cumplir con algunos requisitos y elementos para conseguir el o los objetivos. Estas propiedades pueden ser:

1. PERTINENTE. Las mediciones que se hagan deben ser tomadas en cuenta y tener importancia en las decisiones que se toma sobre la base de la misma.

En cualquier departamento o sección de la organización se puede hacer mediciones sobre un sin número de características, comportamientos, situaciones, pero, ¿para qué se hace cada una de éstas?, ¿cuál es realmente la utilización que se hace de la información obtenida?.

El grado de pertinencia de una medición debe revisarse periódicamente, ya que algo que sea muy importante en un momento determinado, puede dejar de serlo al transcurrir el tiempo [8].

El grado de pertinencia de una medición, es relativa al conjunto de mediciones a realizar, debido a los recursos y capacidades de procesamiento y dirección con que se cuente. Por demás, a medida que se coloca un sistema bajo control, se puede manejar por excepción un conjunto de variables y ello ayuda a concentrarse en otras que requieren mayor dedicación.



2. **PRECISA.** Este término se refiere al grado en que la medida obtenida refleje fielmente la magnitud que se quiere analizar o corroborar, lo importante es conocer un proceso, tomar decisiones para tener resultados esperados. De ahí entonces que interese conocer a fondo la precisión del dato que se está obteniendo.

Para lograr la precisión de una medición, deben darse los siguientes pasos:

- a) Realizar una buena definición operativa, vale decir definición de la característica.
  - b) Elegir un instrumento de medición con el nivel de apreciación adecuado.
  - c) Asegurar que el dato dado por el instrumento de medición, sea aceptado.
3. **OPORTUNA.** La medición es información para el logro de ese conocimiento profundo de los procesos, que permite tomar decisiones más adecuadas, bien sea para corregir estableciendo la estabilidad deseada del sistema, bien sea para prevenir y tomar decisiones antes de que se produzca la anomalía indeseada o más aún, para diseñar incorporando elementos que impiden que las características deseadas se salgan fuera de los límites de tolerancia.

Por ello, la necesidad de contar oportunamente con la información procesada de la manera más adecuada que dan las mediciones, es un requisito al que deben atenderse quienes diseñen un sistema de medición.

4. **CONFIABLE.** Si bien esta característica no está desvinculada de las anteriores, especialmente de la precisión, se refiere fundamentalmente al hecho de que la medición en la organización no es un acto que se haga una sola vez, por el contrario es un acto repetitivo y de naturaleza periódica. Si se quiere estar seguro que lo que se

mede sea la base adecuada para las decisiones que se tomen, se debe revisar periódicamente todo sistema de medición.

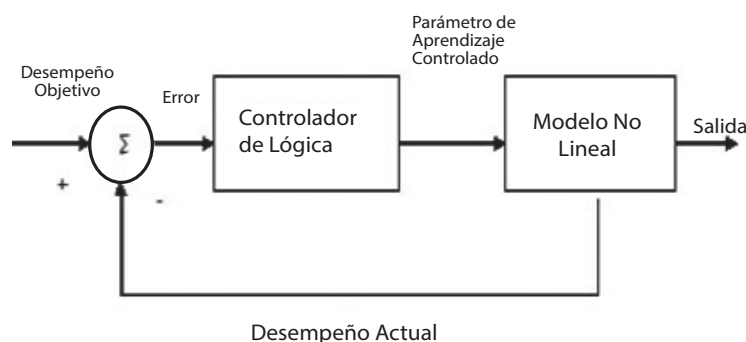
### 2.3. Lógica Difusa

Es un sistema matemático que modela funciones no lineales, que convierte las entradas en salidas acorde con los planteamientos lógicos que usan el razonamiento aproximado. Es una lógica alternativa a la lógica clásica que pretende introducir un grado de vaguedad en las cosas que califica. En el mundo real existe mucho conocimiento no-perfecto, es decir, conocimiento vago, impreciso, incierto, ambiguo, inexacto, o probabilístico por naturaleza. El razonamiento y pensamiento humano frecuentemente conlleva información de este tipo, probablemente originada de la inexactitud inherente de los conceptos humanos y del razonamiento basado en experiencias similares pero no idénticas a experiencias anteriores.

Con la lógica difusa se puede gobernar un sistema por medio de reglas de “sentido común” las cuales se refieren a cantidades indefinidas. En general la lógica difusa se puede aplicar tanto a sistemas de control como para modelar cualquier sistema continuo.

Las lógicas difusas han tenido aplicaciones de suma relevancia en el procesamiento electrónico de datos. En determinadas áreas de conocimiento, a sus enunciados se les asocia valores de verdad que son grados de veracidad o falsedad, mucho más amplios que los meros “verdadero” y “falso”. En un sistema deductivo se distingue enunciados “de entrada” y enunciados “de salida”. El objetivo de todo sistema manejador de una lógica difusa es describir los grados de los enunciados de salida en términos de los de entrada. Más aún, algunos sistemas son capaces de refinar los grados de veracidad de los enunciados de salida conforme se refinan los de los

**Figura 3.** Control Difuso de Aprendizaje Retropropagado.



de entrada. Por estas propiedades es que ciertos sistemas de lógica difusa aparentan una labor de aprendizaje, y son excelentes mecanismos de control de procesos [9]. El controlador de lógica difusa incorpora descripciones lingüísticas humanas se muestra en la Figura 1.

Desde el punto de vista tecnológico, las lógicas difusas se encuadran en el área de la llamada Inteligencia Artificial y han dado origen a sistemas expertos de tipo difuso y a sistemas de control automático. Las figuras 3 y 4 muestran en forma visual un sistema híbrido de aprendizaje en la cual el controlador lógico difuso es utilizado para adaptar los parámetros de aprendizaje de un modelo no lineal (cibernético) con un aprendizaje retropropagado. La figura 4 muestra un sistema difuso consistente en cuatro componentes principales.

### 2.3.1 Conjuntos Difusos

Son imprecisos, es decir, tienen implícito un cierto grado de difusidad en la descripción de su naturaleza. Esta imprecisión puede estar asociada con su forma, posición, momento, color, textura, o incluso en lo que son.

Un conjunto difuso A se define como una función de pertenencia que enlaza o empareja los elementos

de un dominio o universo con elementos en el intervalo  $[0, 1] : A : X \rightarrow [0, 1]$ .

Cuanto más cerca esté  $A(x)$  del valor 1, mayor será la pertenencia del objeto x al conjunto A.

Los valores de pertenencia varían entre 0 (no pertenece en absoluto) y 1 (pertenencia total). Estas funciones se generalizan de forma que los valores asignados a los elementos del conjunto caigan en un rango particular, y con ello indiquen el grado de pertenencia de los elementos al conjunto en cuestión. Esta función se llama función de pertenencia y el conjunto por ella definida conjunto difuso. La función de pertenencia  $\mu_A$  por la que un conjunto difuso se define, siendo  $[0, 1]$  el intervalo de números reales que incluye los extremos, tiene la forma  $\mu_A : X \rightarrow [0, 1]$

Es decir, mientras que en un conjunto clásico los elementos pertenecen o no pertenecen a él totalmente (por ejemplo un número puede pertenecer o no al conjunto de los pares, pero no pertenecerá con un determinado grado), en los conjuntos difusos hay grados de pertenencia en referencia a un universo local. A es un subconjunto difuso de B cuando

$$\mu_A(x) \leq \mu_B(x), \forall x \in X$$

Figura 4. Diagrama de Bloques de un Sistema Difuso

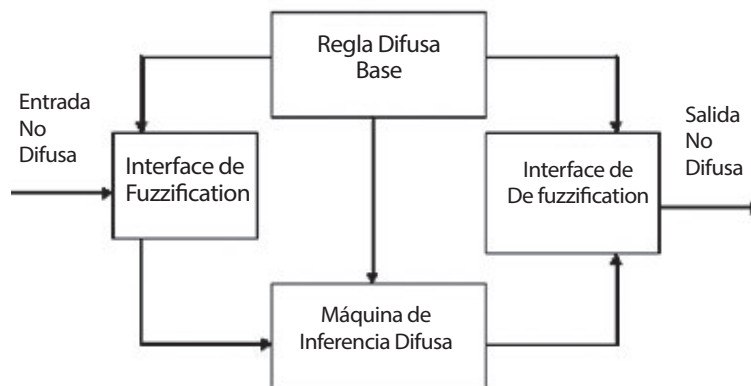
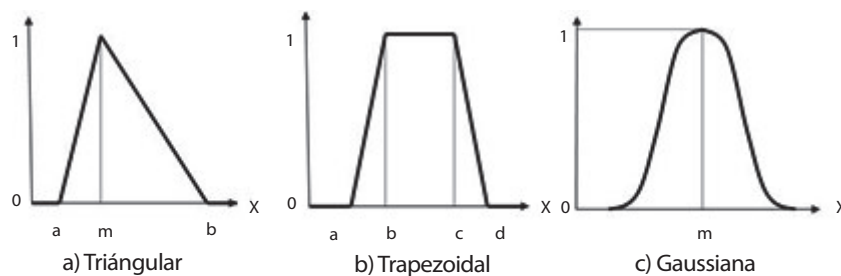


Figura 5: Funciones de Pertenencia



### 2.3.2. Funciones de Pertenencia

Aunque en principio cualquier función sería válida para definir conjuntos difusos, en la práctica hay ciertas funciones típicas que siempre se suelen usar, tanto por la facilidad del cálculo que su uso conlleva como por su estructura lógica para definir su valor lingüístico asociado.

Existen numerosas formas de representar las funciones de pertenencia; existiendo una estrecha relación entre la forma de representación, los distintos enfoques que se siguen en la construcción de las funciones de pertenencia y la naturaleza del problema que ellas representan.

Entre las representaciones de funciones de pertenencia basadas en modelos matemáticos lineales se encuentran las campanas, los triángulos y los trapecios entre otras.

Las funciones de pertenencia más utilizadas son las siguientes:

1. **FUNCIÓN TRIANGULAR.** Las funciones de pertenencia triangulares pueden o no ser simétricas y están determinadas por tres parámetros. Definido por sus límites inferior  $a$  y superior  $b$ , y el valor modal  $m$ , tal que  $a < m < b$ . Esta función de pertenencia es mostrada en el extremo izquierdo de la Figura 5.

Las aristas del triángulo indican un descenso lineal del grado de pertenencia a partir del vértice superior hasta que el grado de pertenencia llega a ser cero.

2. **FUNCIÓN TRAPEZOIDAL.** Las funciones de pertenencia trapezoidales, por su parte pueden verse como triángulos truncados donde se forma una meseta que se muestra entre los valores  $b$  y  $c$  de la parte central de la Figura 5. Los elementos de la meseta se corresponden con los elementos del universo donde se alcanza el máximo grado de pertenencia.

3. **FUNCIÓN GAUSSIANA.** Es la típica campana de Gauss. Definida por su valor medio  $m$  y el valor  $k >$

0,  $A(x) = e^{-k(x-m)^2}$ . Obsérvese en la imagen del extremo derecho de la Figura 5, que cuanto mayor es  $k$ , más estrecha es la campana.

### 2.3.3. Operaciones con Conjuntos Difusos

Es análogo a las operaciones sobre conjuntos booleanos, también se puede intersectar, unir y negar conjuntos difusos. En su primer artículo sobre conjuntos difusos, L. A. Zadeh sugirió el operador mínimo para la intersección y el operador máximo para la unión de dos conjuntos difusos. Estos operadores coinciden con la unificación booleana, e intersección si únicamente se considera los grados de membresía 0 y 1.

Originalmente la teoría de conjuntos difusos se formuló en base a un conjunto de operadores también válidos para conjuntos clásicos, entre los que se tiene principalmente a la negación que se define como uno menos la función de pertenencia, la unión de conjuntos difusos se obtiene mediante el máximo de las funciones de pertenencia de cada conjunto y la intersección se define como el mínimo de las funciones de pertenencia de los conjuntos difusos. Estas tres operaciones se visualizan en el lado izquierdo, central y derecho, respectivamente, de la Figura 6.

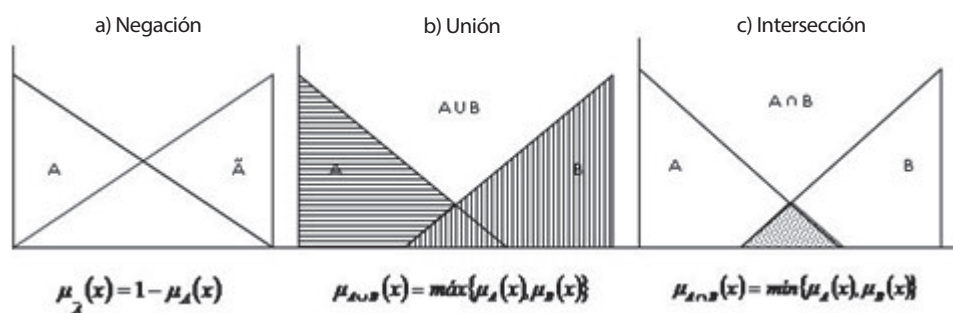
Una operación más compleja como la implicación difusa es en general una función de la forma:

$$I : [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$$

Para cualesquiera dos valores ciertos  $a$  y  $b$  de proposiciones difusas  $p$ ,  $q$ , define el valor cierto  $I(a, b)$  de la proposición condicional "si  $p$  entonces  $q$ ". Es una extensión de la implicación clásica  $p \rightarrow q$  del dominio restringido  $\{0, 1\}$  al dominio completo  $[0, 1]$ .

Así como en lógica clásica una implicación se puede expresar de distintas formas y todas son equivalentes, sus extensiones a lógica difusa resultan no ser equivalentes y han dado lugar a diferentes clases de implicaciones difusas.

**Figura 6.** Operaciones con Conjuntos Difusos.





Por último, existe un principio que permite la generalización de conceptos matemáticos crisp a la teoría de conjuntos difusos. Cualquier función que asocie puntos  $x_1, x_2, \dots, x_n$  del conjunto crisp  $X$  al  $Y$  puede generalizarse de forma que asocie subconjuntos difusos de  $X$  en  $Y$ , es el denominado Principio de Extensión [10].

### 2.3.4. Generación de Reglas Difusas

Los datos representativos seleccionan directamente las regiones en un espacio granulado. Esas regiones pueden ser descritas con las reglas difusas correspondientes. En el siguiente ejemplo, cuatro regiones son seleccionadas, uno para cada valor lingüístico de entrada difuso, y ellos son representados en la Figura 7 con una aproximación crisp correspondiente (una línea delgada a través del medio de las regiones). Esas regiones son representaciones gráficas de reglas difusas. Las mismas reglas pueden ser expresadas lingüísticamente como un conjunto de construcciones SI-ENTONCES:

R1: SI  $x$  es pequeño ENTONCES  $y$  es promedio alto.

R2: SI  $x$  es promedio bajo ENTONCES  $y$  es promedio alto

R3: SI  $x$  es promedio alto ENTONCES  $y$  es alto

R4: SI  $x$  es alto ENTONCES  $y$  es promedio alto

El modelo generado pierde los extremos que caen lejos de las reglas centrales existentes. Este comportamiento ocurre a causa que solamente un patrón por regla es utilizada para determinar el resultado de esta regla. Igual una aproximación combinada dependería mucho de la granulación predefinida. Si la función a ser modelada tiene una alta variabilidad dentro de la regla, el modelo de reglas difusas resultante fallará al modelar este comportamiento.

### 2.3.5. Desdifusificación

La operación de desdifusificar consiste en seleccionar un elemento representativo de un conjunto difuso. Con esta operación se suprime lo difuso porque habiendo estimado propiedades de un conjunto difuso, se elige a un objeto concreto que lo representa. El criterio más común es el del centroide.

Figura 7. Representación Gráfica de Reglas Difusas Generadas.

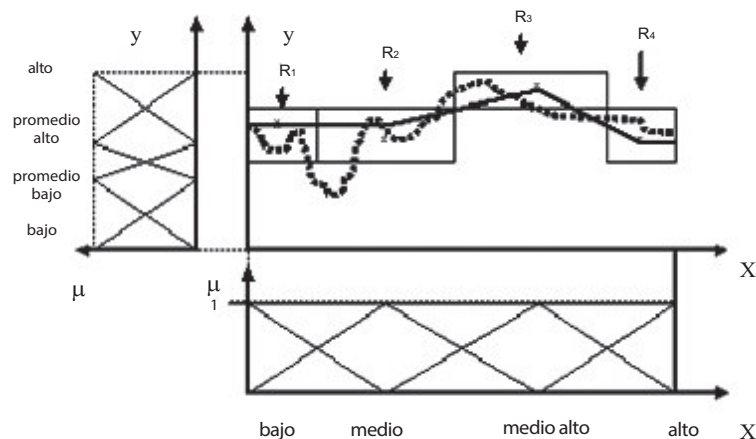
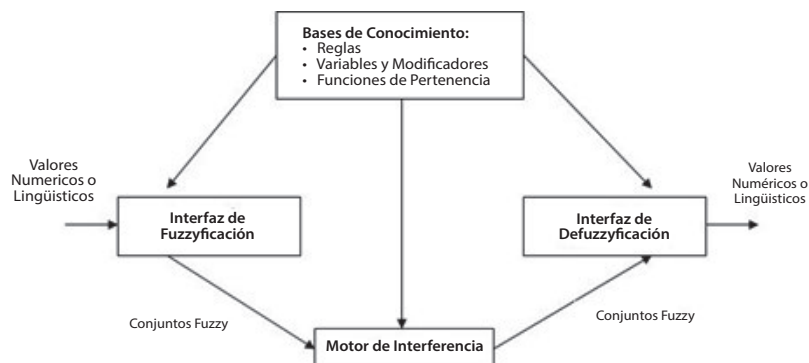


Figura 8. Partes de un Sistema Difuso



Centroide. Dado un conjunto difuso  $A$  en un universo  $X$ , sea  $m_1(A) = \sum_{x \in X} A(x)p_A(x)$  su centroide. Se elige el elemento  $x_0 \in X$  tal que  $|A(x_0) - m_1(A)| = \min\{|A(x) - m_1(A)|; x \in X\}$ , es decir,  $x_0$  es uno de los elementos en el universo  $X$  cuyo grado de pertenencia a  $A$  es el más cercano al valor esperado de los valores de  $A$ .

### 2.3.6 Arquitectura de los Sistemas Difusos

En la Figura 8, se presenta la arquitectura de un sistema difuso típico, aquí, la etapa de fuzzificación es encargada de convertir el dato de entrada crisp en un dato difuso que represente el grado de membresía de la entrada en alguna o algunas funciones de membresía de la variable lingüística. La etapa de inferencia se encarga de decidir, mediante reglas difusas, cuál será la conclusión de la regla de entrada, según el modelo difuso del cual se trate. Las diferencias más importantes con otros tipos de sistemas son:

1. Los sistemas difusos no suelen usar encadenamiento de reglas. El resultado de aplicar las entradas a las reglas es la salida del sistema.
2. Las reglas del sistema se activan en paralelo, de modo que la salida global es una combinación de la salida de cada una de las reglas.

La base de conocimiento almacena las reglas del sistema, las funciones de pertenencia y las variables y modificadores lingüísticos.

### 2.4. Construcción de la Métrica Difusa

En esta parte se construyen las distintas medidas difusas de desempeño en lo que se refiere a la eficiencia, basados en la minimización de los tiempos requeridos para completar un proceso. En el caso de los tiempos de holgura, estos toman en cuenta el tiempo máximo contemplado menos el tiempo real empleado en la actividad, por lo que si la actividad no excede el tiempo máximo permitido el indicador correspondiente tomará el valor de 1, mientras que en caso contrario tomará el valor de 0. Se considera un muy buen desempeño si todos los indicadores toman el valor de 1, además este desempeño se considerará mejor si los tiempos empleados en completar la actividad es mucho menor al máximo.

Las variables que se describen a continuación, hacen posible la construcción y funcionamiento del sistema referido al proceso de facturación, cuya secuencia de actividades está descrita en la Figura 9. El código fuente de este sistema está hecho en MATLAB.

#### 2.4.1. Codificación de las Variables para el Proceso de Facturación

TRECEPCION = Tiempo de recepción y revisión de pedidos del cliente de la ciudad y campo (estado de cuenta cliente, stocks, descuentos) en minutos

THOLG1 = Tiempo máximo permitido menos TRECEPCION

INDICADOR1 = Indicador si TRECEPCION excedió el tiempo máximo

TROCPEDIDO = Tiempo en que se procesa el pedido y direcciona al almacén central para el despacho de productos dado en minutos.

THOLG2 = Tiempo máximo permitido menos TROCPEDIDO

PEDIDO = Indica si el pedido es de la ciudad o campo

INDICADOR2 = Indicador si TROCPEDIDO excedió el tiempo máximo

TINFEVEND = Tiempo en que se informa al vendedor o local en el campo el dato del documento generado por pedido para que proceda con la entrega del producto a cliente o proceden con el envío según instrucciones dado en minutos

THOLG3 = Tiempo máximo permitido menos TINFEVEND

INDICADOR3 = Indicador si TINFEVEND excedió el tiempo máximo

TFORMATOFACT = Tiempo en que se hace el formato factura original que se imprimen en el almacén central automáticamente y son enviados a la oficina principal para su distribución dado en minutos

THOLG4 = Tiempo máximo permitido menos TFORMATOFACT

INDICADOR4 = Indicador si TFORMATOFACT excedió el tiempo máximo

TDOCRECEP = Tiempo en que los documentos son recepcionados por facturación, entregados y/o enviados según corresponda dado en minutos

THOLG5 = Tiempo máximo permitido menos TDOCRECEP

INDICADOR5 = Indicador si TDOCRECEP excedió el tiempo máximo

SUMAINDICADOR = Sumatoria de los cinco indicadores anteriores. Es utilizada como variable de entrada en el sistema difuso PROCFACTURACIONCIUDAD o PROCFACTURACIONCAMPO

TMAXIMO = Tiempo máximo total del proceso de facturación dado en minutos

TTOTAL = Tiempo total utilizado en el proceso de facturación dado en minutos

TIEMPO DIFERENCIA = Es la diferencia entre TMAXIMO y TTOTAL. Es utilizada como variable de entrada en el sistema difuso PROCFACTURACIONCIUDAD o PROCFACTURACIONCAMPO

IND1 = Medida de desempeño difusa obtenida del sistema difuso PROCFACTURACIONCIUDAD o PROCFACTURACIONCAMPO

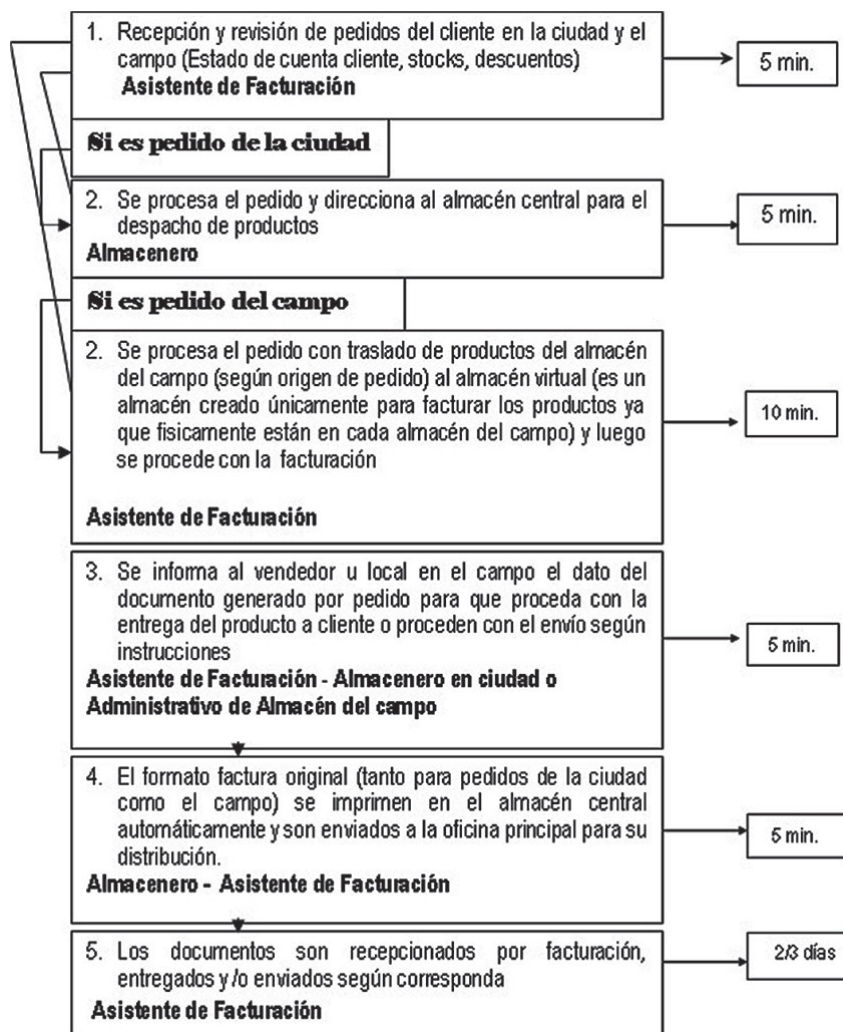
Construcción de la Métrica en el Fuzzy Toolbox del MATLAB

La Figura 10 muestra la secuencia de pantallas del Fuzzy Toolbox del MATLAB, de acuerdo a lo

expuesto en la sección anterior. Todo este sistema difuso se denomina PROCFACTURACIONCIUDAD, si el pedido fue hecho en la ciudad. Si el proceso fue hecho en el campo al sistema difuso construido se le denomina PROCFACTURACIONCAMPO.

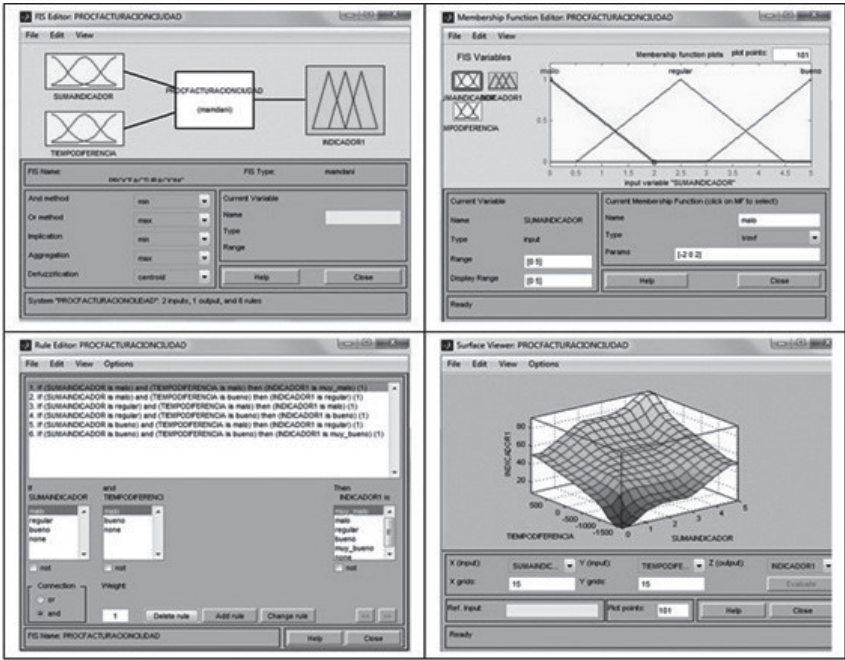
En la parte superior izquierda de la Figura 10, se muestra el editor de variables, donde se definen las variables de entrada (indicadores) y la variable de salida (difusa). En la parte superior derecha, se muestra las funciones de pertenencia (triangulares) definidas a partir de lo ingresado en el editor de variables. En la parte inferior izquierda se muestra el editor de reglas difusas, donde estas reglas se construyen a partir de la definición inicial de las variables. Por último, en la parte inferior derecha de la Figura 10, se muestra la superficie de respuesta, que indicará para qué valores de entrada (indicadores) se obtiene un mejor desempeño.

**Figura 9.** Proceso de Facturación de una comercializadora de herbicidas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 10. Editores del Fuzzy Toolbox del MATLAB.



3. RESULTADOS

Se muestran los resultados de las corridas de los sistemas difusos construidos, a partir de los códigos fuente diseñados en MATLAB. Se hacen las pruebas para situaciones de pobre, medio y buen desempeño. Esto se hace con el objeto de mostrar la estabilidad de las medidas generadas. En todos los casos al peor desempeño posible, se le da una calificación de 8 y al mejor desempeño posible se le da una calificación máxima de 92.

El código fuente de este proceso, necesita conocer si el pedido es realizado para la ciudad o el campo. La Tabla 1, contempla estas dos posibilidades. Si se toman los tiempos máximos (dados en minutos) para cumplir con las actividades de este proceso, las medidas oscilan entre 67 y 68 que indican un desempeño regular, mientras que si se reducen los tiempos al mínimo para cumplir con las actividades, esta medida tiende a acercarse a 92 como puede observarse.

4. DISCUSIÓN

Los resultados muestran que las medidas de desempeño difusas incluyen diversos aspectos en la parte cuantitativa, así como en la parte cualitativa. Así como se cuantifica el desempeño de los procesos individuales, se puede extender a los procesos en conjunto obteniéndose una evaluación global.

Por otra parte, la lógica difusa suaviza los desempeños extremos, los muy malos así como los excelentes, siendo esto más adecuado, ya que las distintas apreciaciones sobre el desempeño puede involucrar subjetividad y por ende la evaluación contiene sesgos. De esta manera se humaniza la forma de evaluar el comportamiento de una organización, combinando la parte cuantitativa y cualitativa para construir esta medida.

Las medidas de desempeño clásicas, solo informan si el proceso es bueno o malo, haciéndolo sólo de

Tabla 1. Evolución de la métrica difusa para el proceso de facturación

TIEMPOS	Máximo	Máximo	Medio	Medio	Mínimo	Mínimo
PEDIDO	Ciudad	Campo	Ciudad	Campo	Ciudad	Campo
TRECEPCION	5	5	2.5	2.5	0	0
TPROCPEDIDO	5	10	2.5	5	0	0
TINPVEND	5	5	2.5	2.5	0	0
TFORMATOFACT	5	5	2.5	2.5	0	0
TDOCRECEP	960	960	480	480	0	0
METRICA DIFUSA	67.47	67.73	76.67	79.19	92	92



forma individual. No contemplan la opinión de más de un experto o una escuela. Como es posible apreciar, son múltiples los análisis factibles de realizar, pudiendo medir la eficacia, eficiencia y efectividad de la gestión en una comercializadora de herbicidas. Sin embargo, el objetivo del presente estudio es más bien, aportar una metodología que permita contribuir a lograr una mejor evaluación del desempeño y como consecuencia, una mejor gestión en cualquier organización.

En la actualidad, la elaboración de los herbicidas y su relación con el medio ambiente son temas de vital importancia a nivel mundial. Es por esto que se ha intentado generar nuevas medidas, más modernas e integrales, constituyendo este estudio sólo una representación de los múltiples aspectos que pueden ser evaluados mediante estas. Finalmente, el establecer nuevas medidas de desempeño, considerando además de resultados de eficacia, eficiencia y efectividad, puede contribuir significativamente en una mejor administración de los recursos en la comercializadora de herbicidas en particular y en cualquier organización en general.

## 5. CONCLUSIONES

1. Se pudo construir una métrica difusa de desempeño que incorpora los aspectos objetivos, subjetivos y vaguedad de la información de una organización.
2. Las medidas difusas de desempeño construidas aquí son conceptualmente fáciles de entender porque los conceptos matemáticos que maneja no son complejos.
3. Estas medidas difusas de desempeño son flexibles, ya que se van adaptando a la complejidad de la organización sin necesidad de reconstruir todo desde el principio.
4. Las medidas difusas de desempeño son tolerantes a los datos imprecisos, los incorpora de por sí dentro de su filosofía.
5. Las medidas difusas de desempeño pueden ser modificadas en sus parámetros a partir de la experiencia de los expertos.
6. Las medidas difusas de desempeño son poco sensibles a las variaciones de las funciones de pertenencia, y fácilmente puede ponerse a prueba y modificarse si es preciso.
7. Las medidas difusas de desempeño aquí construidas informan acerca del desempeño de la organización, así pudiéndose tomar rápidamente las acciones correctivas.
8. Estas medidas difusas tienen la filosofía de que algo no puede desempeñarse totalmente mal ni ser excelente, es intrínseco al ser humano, por lo que sus puntajes mínimos y máximos no alcanzan los valores de 0 y 100, respectivamente.
9. Al probar el sistema difuso construido con desempeño pobre, medio y bueno, se obtuvo calificaciones acorde a la situación planteada, con lo que se demuestra que son medidas estables.
10. Estas medidas difusas de desempeño, al construirse basándose en medidas clásicas, poseen las propiedades que debe tener una métrica de desempeño.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Leong, G.k.; Snyder, D.I.; Ward, P.T. Research in the Process and Content of Manufacturing Strategy. Omega: International Journal of Management Science, Vol. 18 No. 2, pp. 109-122; 1990.
- [2] De Meyer, A.; Wittenberg - cox, A. Nuevo enfoque de la Función de Producción. Barcelona: Folio.; 1994
- [3] HUGE, E.C. ; ANDERSON, A.D. El paradigma de la excelencia en fabricación. Madrid: TGP.; 1989.
- [4] KAPLAN, R.S. Measures for Manufacturing Excellence. Boston: Harvard Business School Press; 1990.
- [5] PÉREZ, J. Gestión por procesos. Madrid: ESIC, 2010.
- [6] MCCLURE, C. Performance Measures and Quality Standars. Disponible en: <http://www.library.arizona.edu/library/teams/perf/measurements.html>; 2001.
- [7] LAKOS, A. Assesment of Library Network Services: Issues and Options. Disponible en: <http://www.lib.uwaterloo.ca/aalakos/present/Olita97/olita97a.html>; 2001.
- [8] MÉRIDA, A.; HERNÁNDEZ, M. Validación de un Sistema de Indicadores para Medir el Desempeño en la Empresa de Materiales de la Construcción. Monografias.com S. A.; 1997.
- [9] KANTARDZIC, M. Data Mining: Concepts, Models, Methods, and Algorithms. Wiley Interscience; 2001.
- [10] TRILLAS, E.; ALSINA, C. ; TERRICABRAS, J. Introducción a la Lógica Borrosa. Barcelona, España: Editorial Ariel, S. A.; 1995.