



Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”

FACULTAD: METALURGIA - ELECTROMECHANICA

TITULO DE LA TESIS

TOMA DE DECISIONES

MULTICRITERIO PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD
DEL SOTWARE UTILIZANDO TÉCNICAS DIFUSA

Trabajo en Opción del Título de Ingeniero en Informática

Autor: Henry Cuenca Martínez

Tutor: Dra. Yiezenia Rosario Ferrer

Moa, Holguín, julio, 2011

Año del 53 Aniversario del Triunfo de la Revolución

Declaración de Autoría

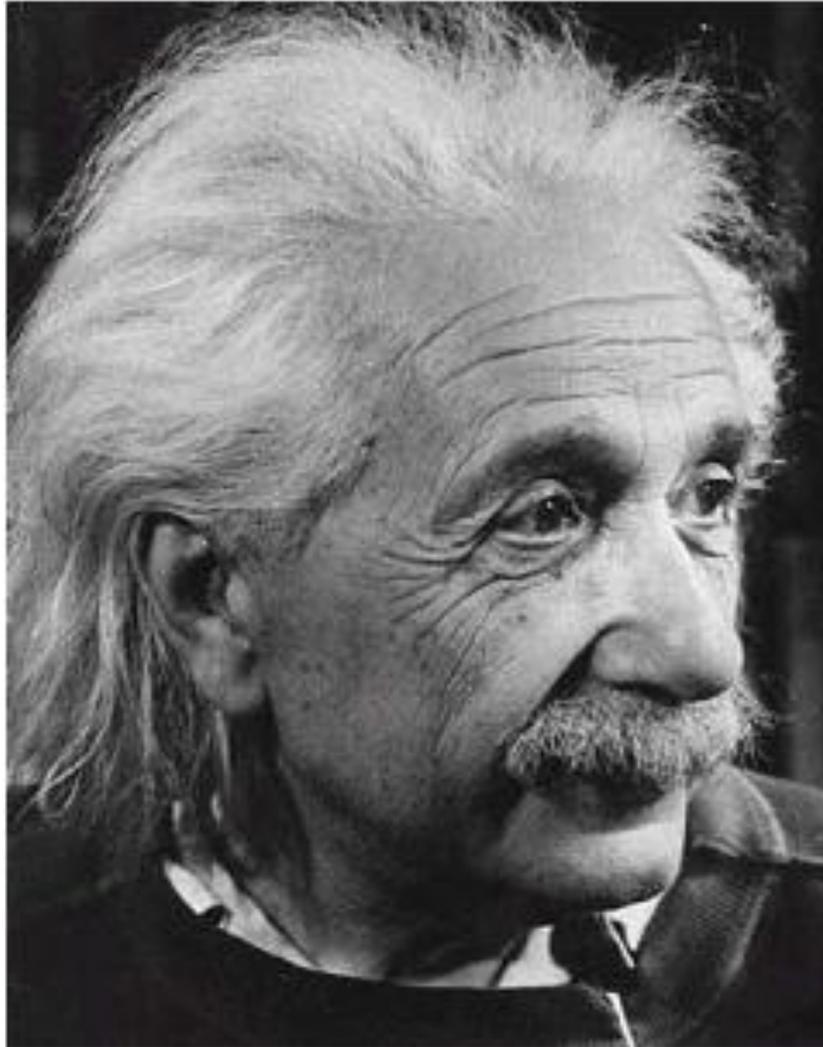
Declaro ser autor de la presente tesis y reconozco al Instituto Superior Minero Metalúrgico ISMM los derechos patrimoniales de la misma, con carácter exclusivo. Para que así conste firmamos la presente a los ____ días del mes de Junio del año 2011.

Henry Cuenca Martínez

Firma del Autor

Dra. Yiezenia Rosario Ferrer

Firma del Tutor



PENSAMIENTOS

"Sabiduría ante todo, adquiere sabiduría y sobre todas tus posesiones adquiere inteligencia. Engrandécela y ella te engrandecerá, ella te honrará cuando tú la hayas abrazado. Adorno de gracia dará a tu cabeza, corona de hermosura te entregará.".....

Proverbios 4 - 7.

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

Albert Einstein.

Agradecimientos:

En momentos cruciales de la vida es donde el ser humano se sobrepone a las adversidades y logra realizar acciones insospechadas, pero para la realización de las mismas necesita de personas que se convierten en guías o inspiraciones y de algunas que te ayuden tanto espiritualmente como de forma práctica. En momentos como estos se pudieran enumerar múltiples personas que contribuyeron a la realización de esta tesis, pero las dos personas más importantes las cuales siempre serán el principal motivo de mis futuras acciones son el Sr. Enrique Cuenca Pico (mi papa) y la Sra. Magalis Martínez de la Cruz (mi madre) son y serán los faros que siempre me guiarán realizar correctamente mis futuras acciones. Quisiera agradecer también de todo corazón, a mi tutora, que siempre me ayudó en los momentos que más lo necesité para la realización de la presente desde hasta (inicio y final). También agradecer a mis amigos Orlando Delgado Vásquez, Luís Enrique Rodríguez Sanamé, Miguel Ángel Barrera y Danny Pacheco que me ayudaron bastante con la búsqueda de información necesaria para la realización de esta tesis, a mi prima por ayudarme con la impresión de la misma, en fin a toda mi familia.

RESUMEN

Desarrollar un producto de software con un nivel de calidad alto, es el objetivo principal de los desarrolladores de software, pero alcanzarlo es un tema complicado, porque no solo depende de ellos ni de los clientes. Existen muchos factores subjetivos implicados en el tema, determinados por la diversidad de métricas existentes y la discrepancia entre expertos para determinar un estándar de calidad; otra dificultad es lo difuso del nivel de calidad a alcanzar por los expertos dentro de los rangos de valores cercanos a la frontera de definición de los criterios de evaluación. Se evidencia entonces la insuficiencia en el método de evaluación de calidad utilizando métricas. Por ello crear un modelo multicriterio difuso para determinar la calidad del software, en el cual se elimine dicho problema, es el objetivo que se ha propuesto. Para enfrentar este problema se utilizó la lógica difusa utilizando el Sistema basado en reglas difusas Mamdani y la toma de decisiones multicriterio aplicando el método del Análisis Jerárquico de Procesos (AHP). Esto permitió optimizar entre las distintas evaluaciones de calidad del software, realizadas por varios expertos a través de la modelación realizada, corroborado con la concordancia de Kendall. Como caso de estudio se evaluaron cuatro expertos que utilizaron la métrica de calidad externa para la evaluación de un software, después de aplicar la metodología se logró definir los niveles de calidad de cada uno.

ABSTRACT

Developing a product of software with a level of high quality, it is the main objective of the development of software, but reach it is a complicated topic, because not single depends of them/it nor of the clients. There are many involved subjective factors in the topic, decided for the diversity of existent metrics and the discrepancy between experts to decide a standard of quality; other difficulty is the diffuse thing of the level of quality to reach for the experts in the ranks of near values to the frontier of definition of the criterions of evaluation. It makes evident to him then the insufficiency in the method of evaluation of quality using metric. For it creates a diffuse multicriterial model to decide the quality of the software, in which eliminate to him this problem, it is the objective that has proposed. To face this problem used the diffuse logic by using the system based on rule diffuse Mamdani and takes it of multicriterial decisions by applying the method of the hierarchical analysis of processes (AHP). This permitted optimizer between the different evaluations of quality of the software, carried out for several experts through the carried out modulation, corroborated with the concordance of Kendall. As case of study evaluated four expert that used the metrics of external quality for the evaluation of a software, after applying the methodology achieved define the levels of quality of everyone

Indice de contenidos

Indice de contenidos

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1 FUNDAMENTACION TEÓRICA	7
1.1 INTRODUCCIÓN	7
1.2 Qué es la Calidad del Software	8
1.3 El Modelo de Integración de Madurez y Capacidad (CMMI)	9
1.4 Qué es un Sistema de Calidad	10
1.5 Modelo para la Calidad Interna y Externa	11
1.6 Norma ISO/IEC 9126	12
1.6.1 Subcriterios Evaluados	13
1.7 Factores que Determinan la Calidad del Software	13
1.8 Que es la Lógica Difusa	15
1.8.1 Conjunto Difuso	15
1.8.2 Función de Pertenencia	16
1.8.3 Variables Lingüísticas	16
1.8.4 Reglas Difusas	17
1.8.5 Sistemas Difusos	17
1.9 Que son la Toma de Decisiones	18
1.10 Métodos para la Toma de Decisiones	19
1.10.1 Filosofía de los Métodos Ellectree	19
1.10.2 El Método Análisis Jerárquico de Procesos (AHP)	20
1.10.3. El Método Promethee	20
1.11 CONCLUSIONES	21
CAPITULO 2 PROPUESTA DE SOLUCIÓN	22
2.1 INTRODUCCIÓN	22
2.2 Modelo de Calidad Difuso	22
2.2.1 El Modelo Estructurado:	24
2.3 Procedimiento Multicriterio Difuso	25
2.3.1 Selección de la mejor calidad	26
2.3.2 Identificación de criterios	27
2.3.3 Identificación de los Subcriterios.	27
2.3.4 Recopilación de los expertos	27
2.3.5 Comparación de los criterios	28
2.3.6 Estándar de calidad	28
2.3.7 Recopilación de datos	29
2.3.8 Fuzzificación	29

2.3.9 Evaluación de las reglas difusas _____	29
2.3.10 Síntesis _____	31
2.4 Ejemplo Práctico: _____	32
2.5 Comparación con el Método de Fajardo 08,09 _____	45
2.6 CONCLUSIONES _____	45
CAPÍTULO 3: VALIDACION DE LOS RESULTADOS	47
3.1 INTRODUCCIÓN _____	47
3.2 Métodos de Validación. _____	47
3.2.1 Método Delphi. _____	47
3.2.2 Test de Turing. _____	48
3.2.3 Método Multicriterio _____	48
3.3 Selección de los Expertos _____	49
3.3.1 Expertos Seleccionados _____	49
3.4 Elaboración de la Encuesta. _____	50
3.5 Criterios de Evaluación _____	50
3.6 Matriz de respuesta con el peso de cada Experto _____	51
3.7 Concordancia de Kendall _____	52
3.8 Sugerencias _____	53
3.9 CONCLUSIONES _____	55
3.10 CONCLUSIONES GENERALES _____	55
3.11 RECOMENDACIONES _____	55
FICHAS BIBLIOGRAFICAS	57
GLOSARIO DE TERMINOS	60
ANEXO 1	62
ENCUESTA A LOS EXPERTOS	62
ANEXO 2	66
EXPLICACIÓN DE LOS CRITERIOS Y SUBCRITERIOS	66
ANEXO 3	68
OPERADORES LÓGICOS DIFUSOS	68
ANEXO 4	69
FUNCIONES DE PERTENENCIA	69
ANEXO 5	71
SISTEMAS DIFUSO MAMDAMI	71
ANEXO 6	72

SISTEMA DIFUSO SUGENO KANG	72
ANEXO 7	74
METODO ELLECTREE	74
ANEXO 8	75
METODO PROMETHEE.....	75
ANEXO 9	77
METODOS ANÁLISIS JÉRARQUICO DE PROCESOS (AHP).....	77
INDICE DE TABLAS	80
TABLA 1 DE SAATY	80
TABLA 2 IMPORTANCIA RELATIVA ENTRE CRITERIOS.....	81
TABLA 3 IMPORTANCIA RELATIVA ENTRE CRITERIOS CON RESPECTO A UNA ALTERNATIVA	81
TABLA 4 IMPORTANCIA RELATIVA ENTRE ALTERNATIVAS CON RESPECTO A UN CRITERIO	81



INTRODUCCIÓN

La calidad de un producto de software es sinónimo de eficiencia, flexibilidad portabilidad, usabilidad, seguridad e integridad, la calidad es el conjunto de cualidades medibles y específicas que varía de un sistema a otro, dependiendo del tipo de software que se va a desarrollar, para determinar su utilidad y existencia. Este desarrollo debe ser confiable, mantenible y flexible para disminuir los costos de mantenimiento y perfeccionamiento durante el tiempo de utilización y durante las etapas del ciclo de vida del software. Otro concepto utilizado de calidad es el que se define como la concordancia con los requisitos funcionales y de rendimiento explícitamente establecidos, con los estándares de desarrollo explícitamente documentados y con las características implícitas que se esperan de todo software desarrollado profesionalmente [1]. Esta definición puntualiza que los requisitos del software son la base de las medidas de calidad; la falta de concordancia con los requisitos es una falta de calidad, los estándares definen un conjunto de criterios de desarrollo que guían la forma en que se aplica la Ingeniería de software; violar esos criterios afecta la calidad. Para comprender la importancia que tiene la evaluación de la calidad de software habría que remitirse a los descubrimientos que se han hecho a través del mundo; el progreso de la tecnología figura en casi todos los lugares las necesidades aumentan en todos lados, especialmente en la ciencia; las tecnologías se mueven a gran velocidad todo va muy rápido los desarrolladores por su parte, elaboran software usando los nuevos descubrimientos; dado que el mercado es muy competitivo, el software es desarrollado con gran calidad. Todo usuario quiere comprar un producto rápido, pero que a la vez satisfaga las necesidades que este demanda del mismo. Remitiéndose a lo anteriormente expuesto conociendo ya lo que es calidad y su importancia se realizará la siguiente investigación sobre la evaluación de la calidad del software utilizando técnicas difusas y toma de decisión multicriterio, durante el transcurso de la misma se explicará en que consiste cada uno de estos campos. Para poder realizar la evaluación sobre la calidad del software, primero habría que remitirse a los estándares de calidad internacionales que existen, puesto de que estos facilitan el trabajo de los desarrolladores además de mostrar la forma de



que es lo que hay que hacer con respecto a la evaluación y no el como hay que hacerlo (no confundir esto). A continuación se enunciarán tres normas o estándares internacionales de calidad del software de las cuales se escogerá una como guía para el trabajo a realizar. Dentro de las mismas se encuentran el modelo de integración de madurez y capacidad CMMI (Capacity Maturity Model Integrated). El segundo es el estándar IEEE para la calidad del software [Pressman, (2001)]. El tercero y último es el de ISO /IEC 9126. Estos estándares serán mejor analizados posteriormente en el primer capítulo. Las ventajas que proporciona la evaluación de la calidad de un producto de software son varias puesto de que a través de la misma se aseguraría el éxito con respecto a la competitividad que siempre existirá con otros productos similares realizados; otras de las ventajas es que el producto sería mucho mas adquirido por el cliente a la hora de realizar su compra, puesto de que le brindaría una mayor confiabilidad y seguridad de que no ha invertido su dinero en vano ;otra de las ventajas es que con la realización de la misma se trabaja sobre estándares o normas internacionales las cuales definen un conjunto de criterios de desarrollo que guían la manera en que el software debe evaluarse para obtener su nivel de calidad.

Como quedaron expuestas anteriormente las ventajas tampoco esta exenta de debilidades o desventajas proporcionadas en su gran mayoría por las métricas. Uno de los problemas que tienen, es que no existe un esquema de criterios generalmente aceptado (un estándar), como no hay acuerdo en los criterios involucrados abundan las propuestas de métricas que abordan la calidad con criterios propios; para un mejor entendimiento del término métrica que se utiliza recurrentemente se expondrá el concepto de las mismas: son una medida cuantitativa del grado en el que un sistema, componente o proceso posee un atributo dado. En años anteriores se han realizado exactamente en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa dos tesis en las cuales se evaluaron el campo de las métricas la primera de Joel Fajardo [2], y la segunda de William Columbié [3] y se propusieron métodos para la evaluación de la calidad del software, utilizándose en una de ellas un método basado en métricas, pero puesto de que las métricas ya sean de calidad interna ,externa y de calidad de uso no están



exenta de problemas subjetivos, que pudieran estar relacionados con que no proporcionan información por sí solas y a veces en vez de claridad aportan confusión a la contraparte del modelador dentro del proceso, esto se debe a que muchas métricas no guardan relación con los intereses de las partes, y el indicador de la calidad de un esquema se construye generalmente con todas ellas. Durante la realización de un producto de software los desarrolladores actúan por cuenta propia, atendiendo a la necesidad que se desea resolver; para realizar la evaluación de la calidad del mismo se evalúan algunos factores donde está presente la imprecisión, la incertidumbre, las necesidades de muchos clientes podrían influir; es decir que existirían disímiles criterios que pudieran influir para obtener una calidad final luego de realizado el software. En el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa como se expresó anteriormente se han realizado dos tesis relacionadas con la evaluación de calidad pero no se ha llegado a un consenso entre los evaluadores, de la importancia de cada uno de los criterios evaluados. Por lo anteriormente planteado surge la siguiente: **SITUACIÓN PROBLEMICA:** Existencia de criterios en la evaluación de la calidad de un producto de software donde están presente la incertidumbre, la subjetividad, la falta de precisión en las métricas de calidad externa que se pretenden evaluar y la incongruencia entre evaluadores; de lo anteriormente explicado se desprende el siguiente **PROBLEMA CIENTÍFICO:** Insuficiencia en la evaluación de la calidad del software en lo que respecta a el método de utilización de las métricas, atendiendo a la presencia de factores subjetivos implícitos, con respecto a las métricas de calidad externa. Se trabajará con el siguiente **OBJETO DE ESTUDIO:** La calidad del software .Con todo lo anteriormente expuesto se define como **CAMPO DE ACCIÓN:** Los métodos de evaluación de calidad de los productos de software. Puesto de que en los estudios que se han realizado sobre la evaluación de calidad del software, cada evaluador trabaja con una filosofía distinta y no son evaluados los factores subjetivos implícitos que se encuentran presente en los criterios de evaluación, confiabilidad, usabilidad y funcionalidad esto será utilizado como base para trabajar con la siguiente **HIPÓTESIS:** Crear una metodología multicriterio difusa, donde se tengan en cuenta las imprecisiones, incongruencias y



subjetividades de la calidad del software, donde se obtenga un razonamiento aproximado de los distintos niveles de calidad y se optimicen las alternativas de soluciones. En la presente investigación se utilizará la lógica difusa, para modelar la incertidumbre de los criterios involucrados en la evaluación, además de realizar un razonamiento aproximado del cual podría ser el grado de pertenencia que se asignaría a cada uno de ellos y así poder tener una visión mas clara del peso que tienen los mismos a la hora de evaluar la calidad, también se utilizará la toma de decisiones multicriterio para obtener una solución óptima final a partir de las respuestas recogidas de los criterios que darán los expertos. Para darle una solución al problema que se está analizando se ha trazado el siguiente **OBJETIVO GENERAL**: Elaborar una metodología multicriterio para la evaluación de calidad de software utilizando técnicas difusas .Por lo que se utilizarán los siguientes:

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Proponer un modelo difuso de calidad de productos de software.
2. Proponer un método de decisión multicriterio para la evaluación de calidad de productos de software utilizando el modelo de calidad difuso propuesto.

Para el desarrollo exitoso de la siguiente investigación se utilizará una planificación a través de tareas específicas para poder cumplir con los objetivos específicos que se han definido anteriormente, los cuales se exponen a continuación.

TAREAS DE INVESTIGACIÓN:

1. Revisión bibliográfica de los campos técnicas fuzzy y toma de decisión multicriterio.
2. Estudio de los tipos de Sistemas basados en las reglas difusas
3. Estudio y análisis de los diferentes tipos de métodos para resolver problemas de decisión multicriterio.



4. Realizar encuestas a desarrolladores, líderes de proyecto y procesar los resultados de las encuestas.
5. Realizar comparaciones binarias entre los subcriterios de las métricas de calidad externa, para establecer una escala de prioridad y preferencia entre diferentes alternativas de solución.

Las métodos que se utilizarán para conducir la investigación serán del tipo descriptiva, ya que se persigue establecer la caracterización estructural de las métricas dentro de la calidad del software, las técnicas difusas y la toma de decisión multicriterio, además se utilizará el método histórico y lógico para la búsqueda de antecedentes que hayan relacionado a estas tres vertientes en investigaciones anteriores y la empírica; a través de las entrevistas que se le realizará a los expertos para conocer un criterio final del trabajo que se realizó.

Esta metodología proporcionará tener un razonamiento aproximado claro del grado de pertenencia que tendrán los criterios funcionalidad, usabilidad y confiabilidad dentro de la métrica de calidad externa, atendiendo al peso asignado por expertos a cada una de ellas .A la hora de establecer una evaluación de la calidad del software

CAPITULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEORICA: En este capítulo se realiza un análisis de algunos estándares internacionales, para determinar el nivel de calidad del software, también se aborda sobre algunos temas como son la gestión de la calidad, además de analizar el modelo de calidad interna y externa. También se exponen algunas definiciones sobre algunos términos principales para la comprensión y posterior utilización de los temas de la lógica difusa y la toma de decisiones multicriterio.

CAPITULO 2: PROPUESTA DE SOLUCIÓN: En este capítulo se presenta el modelo de calidad difuso y el modelo multicriterio difuso, presentados ambos de forma teórica y práctica a través de un ejemplo, además de las fases que se utilizaron para su realización, las características que se identificaron sobre el campo lógica difusa y que se usaron en el Sistema basado en reglas difusas y la estructura que se utilizó



para la evaluación de calidad del software a través del análisis jerárquico de procesos, esto último atendiendo a la toma de decisiones multicriterio, también se estableció una comparación entre el modelo realizado y el método de evaluación de calidad del software utilizado por el ingeniero Joel Fajardo

CAPITULO 3: VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS En este capítulo se muestran los métodos de validación que se utilizaron en la presente investigación, además de presentar los resultados de las respuestas que dieron cada uno de los expertos encuestados con respecto a los modelos presentados y al mismo tiempo se presenta el método estadístico de Kendall que se usa para establecer la concordancia que hubo entre las respuestas recogidas de los expertos.



CAPITULO 1 FUNDAMENTACION TEÓRICA

1.1 INTRODUCCIÓN

Actualmente las entidades en Cuba dedicadas a la producción de software tienen entre sus principales objetivos desarrollar productos y servicios informáticos de alta calidad. Para poder obtener estos resultados y lograr un posicionamiento y reconocimiento en el mercado, es necesaria la implantación de Modelos o Estándares de Calidad que garanticen la comprobación objetiva de la evaluación de la calidad de los productos de software desarrollados en cada una de las entidades. En Cuba se han realizado pocas investigaciones que relacionen el tema de la evaluación de la calidad del software con las técnicas difusas y además con las de decisiones multicriterio, puesto que estos dos últimos campos han alcanzado un auge impresionante en los últimos años debido a su amplia utilización y por los múltiples beneficios que estas técnicas le reportan tanto a grandes empresas como a usuarios interesados en determinar un razonamiento aproximado en cualquier dominio donde existe un alto grado de imprecisión e incertidumbre, en los criterios o variables implicadas y además para tomar decisiones efectivas y óptimas cuando existen múltiples criterios en conflicto, en ciertos problemas preferiblemente económicos como tecnológicos escogidos estos por su gran complejidad implícita. A raíz de los últimos descubrimientos que se han hecho en estas técnicas su utilización ha alcanzado un auge mayoritario. En el presente capítulo se realizará un análisis bien estructurado de los aspectos fundamentales de los tres campos a relacionar en la presente investigación; sobre la calidad del software se abordará en los tipos de evaluación de calidad que existen; algunas normas de evaluación de calidad internacionales, también se presentará un modelo de calidad interna y externa de software; sobre la lógica difusa, se expondrán los dos tipos de sistemas difusos basados en reglas difusas con sus características y diferencias, además se explicará que es un conjunto difuso, una función de pertenencia, las etiquetas lingüísticas y otros aspectos. Sobre la toma de decisiones multicriterio se explicarán algunos de los métodos que existen, sus diferencias y por qué se escogió el (AHP). Además cuales son



utilizados internacionalmente y se explicará en que consisten como surgieron y cuál es su objetivo principal.

CALIDAD

1.2 Qué es la Calidad del Software

La calidad está de moda en todos los aspectos, pero especialmente en el desarrollo de software. El interés por la calidad crece de forma continua, a medida que los clientes se vuelven más selectivos y comienzan a rechazar los productos poco fiables o que realmente no dan respuesta a sus necesidades. Ahora bien, ¿qué es la calidad del software?. A la hora de definir la calidad del software se pueden adoptar diferentes aproximaciones, como primera aproximación es importante diferenciar entre la calidad del PRODUCTO software y la calidad del PROCESO de desarrollo. No obstante, las metas que se establezcan para la calidad del producto van a determinar las metas a establecer para la calidad del proceso de desarrollo, ya que la calidad del producto va a estar en función de la calidad del proceso de desarrollo. Sin un buen proceso de desarrollo es casi imposible obtener un buen producto [4]. La calidad del producto software se diferencia de la calidad de otros productos de fabricación industrial, ya que el software tiene ciertas características especiales

- El software es un producto mental, no restringido por las leyes de la Física ó por los límites de los procesos de fabricación. Es algo abstracto, y su calidad también lo es.
- Se desarrolla, no se fabrica. El coste está fundamentalmente en el proceso de diseño, no en la producción. Y los errores se introducen también en el diseño, no en la producción.
- El software no se deteriora con el tiempo. No es susceptible a los efectos del entorno, y su curva de fallos es muy diferente de la del hardware. Todos los problemas que surjan durante el mantenimiento estaban allí desde el principio, y afectan a todas las copias del mismo; no se generan nuevos errores.



- Es artesanal en gran medida. El software en su mayoría, se construye a medida, en vez de ser construido ensamblando componentes existentes y ya probados, lo que dificulta aún más el control de su calidad. Aunque se ha escrito mucho sobre la reutilización del software, hasta ahora se han conseguido pocos éxitos tangibles.

El software con errores no se rechaza. Se asume que es inevitable que el software presente errores.

1.3 El Modelo de Integración de Madurez y Capacidad (CMMI)

Se ha convertido en un factor estándar de calidad de software para industrias europeas (españolas) e internacionales, donde se ha concebido como un modelo la capacidad de los procesos en la organización, el objetivo es crear productos de calidad predecibles y consistentes, este modelo integra la disciplinas de la ingeniería de sistemas de ingeniería de software, de esta manera nos permite eliminar redundancias e inconsistencias.

Modelo CMMI

Básicamente el CMMI son normas para calidad enfocada al mundo del Software. Estas se aplican a los diferentes procesos que hay que llevar a cabo para lograr producir software con calidad, es muy importante mencionar que igual que las normas ISO 90003, este modelo nos dice que hay que hacer, y no como hay que hacerlo

El modelo CMMI permite:

1. Describir los componentes del modelo y sus relaciones.
2. Comprender las áreas de proceso.
3. Localizar información relevante en el modelo.
4. Aplicar los conocimientos a su entorno de trabajo y en un equipo de evaluación de componentes y sus relaciones de un modelo

El estado de madurez se divide en seis niveles (incompleto, ejecutado, gestionado, definido, cuantitativamente gestionado y optimizado).



Ventajas

- Mejor organización interna y homogeneización • Temprana detección de errores en el desarrollo del producto o en la prestación de nuestro servicio en procesos de actuación.
- Importante reducción del número de incidencias • Control continuo de los proyectos, en cuanto a: Riegos, Recursos, Esfuerzo, Costos, Plazos
- Obtención de un importante caudal de datos históricos susceptibles de ser analizados.
- Creación de una cultura para compartir conocimientos. Mejor servicio a nuestros clientes.
- Nuevas oportunidades de negocio.

Desventajas

- Plazo de implantación del proyecto. • Se utiliza para empresas grandes. • Tamaño y complejidad mucho mayor que modelos vigentes. • El proceso de evaluación es más costoso en tiempo y esfuerzo • La complejidad de la evaluación continua puede atentar contra la definición de objetivos concretos de madurez

Gestión de la calidad del software

1.4 Qué es un Sistema de Calidad

El tipo y número de actividades de garantía de calidad que es necesario adoptar en un proyecto o en una organización concreta depende mucho del tamaño y complejidad de los productos de software que se estén desarrollando. También influyen otros muchos factores, como pueden ser el tipo de proceso de desarrollo de software que se utiliza, la estructura organizativa de la empresa, la motivación del personal, los métodos y herramientas que se estén utilizando, etc. El Sistema de Calidad es el que define cómo implementar la Garantía de Calidad. Es un marco en el que se establecen las diferentes estrategias, actividades y herramientas de garantía de calidad que se van a utilizar. Se puede definir un sistema de calidad en tres niveles diferentes:

- Organización: Es este el nivel en el que normalmente se establece el sistema de calidad.
- Proyecto



- Fase de desarrollo

El Sistema de Calidad establece también de qué forma se reparten las tareas y responsabilidades de garantía de calidad entre las diferentes unidades organizativas de la empresa y el personal. La forma en que esto se efectúe dependerá mucho de la estructura organizativa de la empresa y aún no existe un modelo generalmente aceptado de cómo hacerlo. Es también necesario especificar cómo integrar las diferentes tareas de Garantía de Calidad en el modelo de proceso de desarrollo de software que sigue la organización o el proyecto en cuestión. Esta integración quedará documentada en un Plan de Garantía de Calidad, que será uno más de los distintos planes que se elaboren para cada proyecto. En este plan se deben identificar los diferentes criterios de calidad que se van a considerar en cada fase del desarrollo, tanto los relativos al producto como los relativos al proceso, así como los métodos y recursos que se van a utilizar para comprobar dichos criterios, y los informes que será necesario producir. El Manual de Calidad debe ser una guía al Sistema de Calidad. Debe especificar la terminología, políticas, principios, responsabilidades y procesos del sistema, así como los estándares en los que se basa (por ejemplo, ISO 9001, 9002 o 9003). Debe dar respuesta a las cuestiones de Quién, Dónde y Por qué la Garantía de Calidad. Es también necesario adoptar un estándar para la elaboración de Planes de Garantía de Calidad, como por ejemplo el IEEE Std 730-1989. [5]

1.5 Modelo para la Calidad Interna y Externa

Este modelo se ha desarrollado en un intento de identificar los atributos más importantes para la calidad interna y externa en un producto software. El modelo identifica seis características claves de calidad [NC-ISO/IEC9126-1,2005] donde cada una de ellas se descomponen en un conjunto de sub.-características como se muestra en la Figura 1.

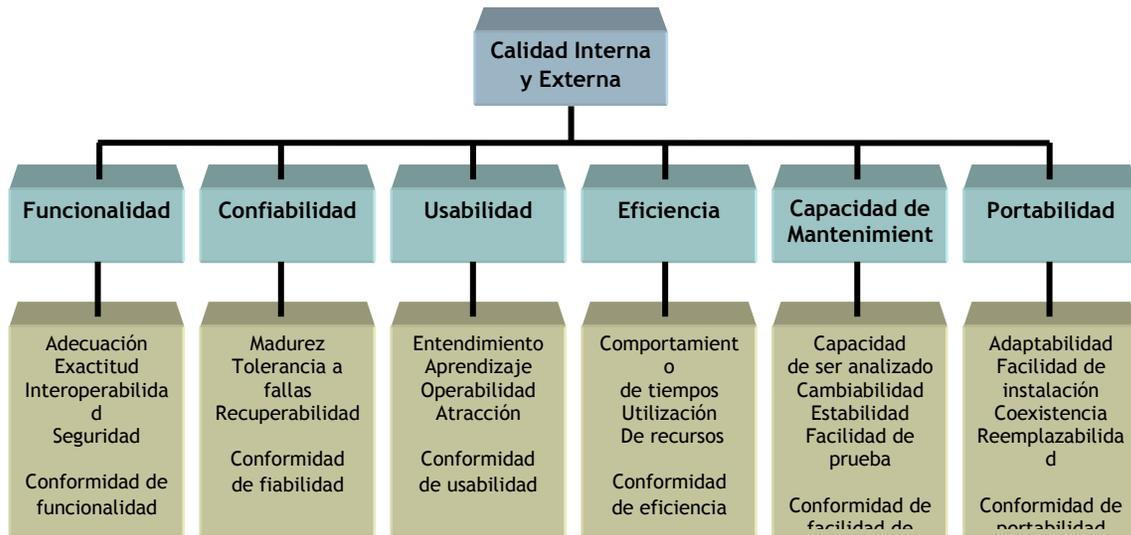


Figura 1. Modelo para la calidad Interna y Externa

La explicación de las métricas y sus subcaracterísticas que se exponen en este modelo por una cuestión de límite permisible mínimo que deben presentar los trabajos de tesis se explican en el anexo 2 de esta tesis.

1.6 Norma ISO/IEC 9126

Definición enfatiza tres puntos importantes:

Los requisitos del software constituyen el fundamento para medir la calidad, la carencia de conformidad con los requisitos es carencia de calidad. Los estándares especificados definen un conjunto de criterios de desarrollo que guían la manera en que el software se somete al trabajo ingenieril. Si no se siguen los criterios, la carencia de calidad será un resultado casi seguro.

3- Existe un conjunto de requisitos implícitos que a menudo no se mencionan (por ejemplo, mantenibilidad). Si el software se conforma con los requisitos explícitos pero falla en atender los requisitos implícitos, la calidad del software es sospechosa. Debido a que la calidad se compone, realmente, de muchas características, la noción de calidad se captura, usualmente, en un modelo que retrata las características compuestas y sus relaciones. Los modelos antiguos fueron McCall [6] y Boehm *et al.* (1978). Ambos modelos son jerárquicos con refinamientos sucesivos que culminan en primitivas que se pueden medir



directamente. La necesidad de comparar productos motiva el trabajo para la definición de un modelo estándar, ISO 9126 entrega la definición de las características y los procesos de evaluación de calidad asociados para usar cuando se especifican los requisitos y la evaluación de los productos de software a lo largo de su vida útil. Esta norma internacional define la Calidad del Software como “La totalidad de características de un producto de software que se manifiesta en su habilidad para satisfacer necesidades establecidas o implícitas. Se relaciona con seis factores: funcionalidad, confiabilidad, eficiencia usabilidad, mantenibilidad y portabilidad.

1.6.1 Subcriterios Evaluados

Fueron seleccionadas de la característica Funcionalidad las subcaracterísticas [Peña, 2009]:

- Idoneidad
- Exactitud
- Interoperabilidad

Fueron elegidas de la característica Confiabilidad las subcaracterísticas:

- Madurez
- Recuperabilidad
- Tolerancia de fallos

Fueron escogidas de la característica Usabilidad las subcaracterísticas:

- Comprensibilidad
- Atracción
- Cognoscibilidad

1.7 Factores que Determinan la Calidad del Software

Se clasifican en tres grupos:

- Operaciones del producto: características operativas Corrección (¿Hace lo que se le pide?)



- El grado en que una aplicación satisface sus especificaciones y consigue los objetivos encomendados por el cliente **Fiabilidad** (¿Lo hace de forma fiable todo el tiempo?)
- El grado que se puede esperar de una aplicación lleve a cabo las operaciones especificadas y con la precisión requerida **Eficiencia** (¿Qué recursos hardware y software necesito?)
- La cantidad de recursos hardware y software que necesita una aplicación para realizar las operaciones con los tiempos de respuesta adecuados **Integridad** (¿Puedo controlar su uso?)
- El grado con que puede controlarse el acceso al software o a los datos a personal no autorizado **Facilidad de uso** (¿Es fácil y cómodo de manejar?)
- El esfuerzo requerido para aprender el manejo de una aplicación, trabajar con ella, introducir datos y conseguir resultados
- Revisión del producto: capacidad para soportar cambios **Facilidad de mantenimiento** (¿Puedo localizar los fallos?)
- El esfuerzo requerido para localizar y reparar errores **Flexibilidad** (¿Puedo añadir nuevas opciones?)
- El esfuerzo requerido para modificar una aplicación en funcionamiento
 - **Facilidad de prueba** (¿Puedo probar todas las opciones?)
- El esfuerzo requerido para probar una aplicación de forma que cumpla con lo especificado en los requisitos
- Transición del producto: adaptabilidad a nuevos entornos **Portabilidad** (¿Podré usarlo en otra máquina?)
- El esfuerzo requerido para transferir la aplicación a otro hardware o sistema operativo-**Reusabilidad** (¿Podré utilizar alguna parte del software en otra aplicación?)
- Grado en que partes de una aplicación pueden utilizarse en otras aplicaciones **Interoperabilidad** (¿Podrá comunicarse con otras aplicaciones o sistemas informáticos?)
- El esfuerzo necesario para comunicar la aplicación con otras aplicaciones o sistemas informáticos



Estos son algunos de los elementos en forma general que están involucrados en la descripción de la calidad de un producto de software, a los que habría que remitirse en el caso que no se tenga ningún tipo de información sobre el tema. A continuación se expondrán algunos de los elementos sobre la llamada lógica difusa o lógica fuzzy.

LOGICA DIFUSA

1.8 Que es la Lógica Difusa

La lógica difusa es una metodología que proporciona una manera simple y elegante de obtener una conclusión a partir de información de entrada vaga, ambigua, imprecisa, con ruido o incompleta. En general la lógica difusa imita como una persona toma decisiones basada en información con las características mencionadas. Una de las ventajas de la lógica difusa es la posibilidad de implementar sistemas basados en ella tanto en hardware como en software o en combinación de ambos. La lógica difusa es una técnica de la inteligencia computacional que permite trabajar con información con alto grado de imprecisión, en esto se diferencia de la lógica convencional que trabaja con información bien definida y precisa. Es una lógica multievaluada que permite valores intermedios para poder definir evaluaciones entre si/no, verdadero/falso, negro/blanco, caliente/frío, etc. La lógica borrosa o difusa se basa en la relatividad de lo observado. En tal relatividad, este tipo de lógica toma para el análisis comparativo dos o más valores aleatorios pero contextualizados y auto referidos. [MORENO, 2009].

1.8.1 Conjunto Difuso

Surgieron como una nueva forma de representar la imprecisión y la incertidumbre, herramientas: Matemáticas, Probabilidad, Estadística, Filosofía, Psicología. Es un puente entre dos tipos de computaciones: Computación Numérica: Usada en aplicaciones científicas, Computación Simbólica: Usada en todos los campos de la Inteligencia Artificial. Definición: Un conjunto difuso A se define como una Función de Pertenencia que enlaza o empareja los elementos de un dominio Universo de discurso X con elementos del intervalo [0,1]: $A: X \rightarrow [0,1]$ cuánto 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). [7] Representación: Un conjunto difuso A puede representarse como un conjunto de pares de valores: Cada elemento $x \in X$ con su grado de pertenencia en

$$A = \{ A(x)/x, x \in X \}$$
$$A = \sum_{i=1}^n A(x_i) / x_i$$
 (Los pares en los que $A(x_i) = 0$, no se incluyen)].

1.8.2 Función de Pertenencia

Un conjunto difuso puede representarse también gráficamente como una función, especialmente cuando el universo de discurso X (o dominio subyacente) es continuo (no discreto).

- Abscisas (eje X): Universo de discurso X .
- Ordenadas (eje Y): Grados de pertenencia en el intervalo $[0,1]$.

Función de Pertenencia: $A: X \rightarrow [0,1]$

- Cualquier función A es válida: Su definición exacta depende del concepto a definir, del contexto al que se refiera, de la aplicación
- En general, es preferible usar funciones simples, debido a que simplifican muchos cálculos y no pierden exactitud, debido a que precisamente se está definiendo un concepto difuso [8]. Para más información de este tema ver anexo 5.

1.8.3 Variables Lingüísticas

Son variables cuyos valores se representan mediante términos lingüísticos. El significado de estos términos lingüísticos se determina mediante conjuntos difusos. Proporcionan una transición gradual de estados, tienen capacidad para expresar y trabajar con observaciones y medidas de incertidumbre, por capturar medidas de incertidumbre son más ajustadas a la realidad que las variables nítidas. Variable Lingüística (Lingüística Variable): Es una variable cuyos valores son palabras ó sentencias (no números). A menudo queremos describir el estado de un objeto ó



fenómeno [9], para ello usamos una variable cuyo valor hace la descripción. Ejemplos: Temperatura, Limpieza, Sabiduría.

– Una variable lingüística admite que sus valores sean Etiquetas Lingüísticas, que son términos lingüísticos definidos como conjuntos difusos (sobre cierto dominio subyacente). Cálida

1.8.4 Reglas Difusas

Los conjuntos difusos y los operadores difusos forman el sujeto y verbo de la lógica difusa y la forma de comprimirlos, es a través de las reglas difusas. Las reglas difusas son la representación en lenguaje natural del conocimiento (empírico ó no) que se tiene acerca de un problema del mundo real. Las reglas difusas combinan uno o más conjuntos difusos de entrada, llamados antecedentes o premisas, y las asocian a un conjunto difuso de salida llamado consecuente. Estas reglas son las que permiten expresar el conocimiento que se dispone sobre la relación entre antecedentes y consecuentes. [10]

Una regla difusa ampliamente usada, es del tipo “Si-Entonces” por ejemplo: Si A es x y B es y Entonces C es Z Donde los antecedentes son: A es x Y B es y La consecuencia: C es Z (Y el operador lógico de intersección)

1.8.5 Sistemas Difusos

Los Sistemas difusos son utilizados particularmente para modelar el comportamiento de las variables, que se definen en el dominio donde existe un alto grado de imprecisión y darle una solución al problema existente. Existen varios sistemas pero para la realización de la presente se estudiaron dos, el Sistema basado en reglas difusas MAMDAMI y el TAKAGI SUGENO KANG estos dos sistemas presentan características que lo asemejan, pero a la vez lo diferencian, ambos trabajan en su estructura con un primer paso que es el de Fuzzificación, este es el que convierte los valores nítidos a difusos los primeros son los valores que se designan en el medio del dominio que se definió pero estos no podrán ser procesados por el sistema por lo que hay que convertirlos a valores difusos, a través de funciones de pertenencia que son utilizadas para determinar el grado de pertenencia de las variables en el conjunto difuso definido. Luego de determinar los



valores difusos estos serán procesados por un mecanismo de inferencia, que es el que contiene las reglas difusas que se definieron y un último paso que será el de defuzzificación que hará el proceso contrario a el de Fuzzificación convierte de valores difusos a valores nítidos sobre este último paso es donde se muestra la diferencia entre los dos sistemas, el primero mencionado la salida difusa es a través de conjuntos difusos y la del segundo es a través de funciones de pertenencia. En el caso del ejemplo que se mostrará posteriormente se utilizó el sistema difuso mamdani porque presenta una mayor interpretabilidad a la hora de evaluar las reglas difusas además que la salida difusa es a través de conjuntos difusos es decir valores cualitativos.

Toma de Decisiones Multicriterio

1.9 Que son la Toma de Decisiones

La toma de decisiones es el proceso mediante el cual se realiza una elección entre las alternativas o formas para resolver diferentes situaciones de la vida, estas se pueden presentar en diferentes contextos: a nivel laboral, familiar, sentimental, empresarial (utilizando metodologías cuantitativas que brinda la administración), etc, es decir, en todo momento se toman decisiones, la diferencia entre cada una de estas es el proceso o la forma en la cual se llega a ellas. La toma de decisiones consiste, básicamente, en elegir una alternativa entre las disponibles, a los efectos de resolver un problema actual o potencial, (aún cuando no se evidencie un conflicto latente). Los problemas de decisión en el ámbito económico, político, financiero, industrial o social, son casi siempre problemas multicriterio. De esta forma, el problema de selección o de ordenamiento de un conjunto de alternativas factibles sometidas a una evaluación multicriterio, no resulta ser un problema sencillo ni económico ni matemáticamente. Usualmente, no existe una solución óptima, es decir aquella alternativa que sea la mejor para todos los criterios simultáneamente. Por tal razón, la alternativa óptima cede su liderazgo a favor de la búsqueda de soluciones de compromiso.



1.10 Métodos para la Toma de Decisiones

Existen varios métodos que son utilizados para realizar la toma de decisión multicriterio en dependencia del tipo de problema que se está analizando. En el presente trabajo se estudiaron tres métodos: el Promethee, el Ellectree y el Análisis Jerárquico de Procesos, escogiéndose este último. El proceso de toma de decisiones es inherente al ser humano y cada acción que realiza está determinada por la valoración previa de diferentes alternativas, pero cada vez más, las decisiones consideran múltiples criterios que están en conflicto y no exentas de subjetividad e incertidumbre que no pueden obviarse. Esto requiere de una técnica “inteligente” que haga más objetivo el proceso de decisión; a través de sistemas autónomos con énfasis en la información simbólica y el uso de representaciones declarativas del conocimiento. El presente trabajo centra en el análisis de algunas técnicas exponiendo sus aspectos fundamentales para luego escoger una de ellas y aplicarla al problema que se está analizando. A continuación se hará un análisis de la toma de decisión de análisis jerárquico de procesos, los métodos Ellectree y el método promethee y análisis jerárquico de procesos. [11]

1.10.1 Filosofía de los Métodos Ellectree

La filosofía de los métodos Ellectree, clasificado dentro de los métodos de sobreclasificación, pertenecen a la escuela francesa. Son utilizados principalmente para resolver problemas de elección o clasificación, se dividen en varios apartados: Ellectree 1, Ellectree 2, Ellectree 3, Ellectree 4, trabajan a través de matriz de comparaciones. En las cuales se representan la importancia relativa que existe entre los criterios y las alternativas con respecto a un criterio común. Para resolver problemas por este método tiene que haber sido definido primero el peso o valor cuantitativo para cada uno de los criterios, luego el peso entre cada uno de los criterios (este valor es cualitativo). En este método se utilizan varias relaciones para resolver el problema en cuestión, atendiendo a la importancia dada a cada uno de los criterios, como son: Preferencia débil (P); Preferencia estricta (Q); Incomparabilidad (R); Indiferencia (I). Luego se realiza el establecimiento de la superioridad, el mismo se efectúa a través de dos tests o pruebas: el test de



concordancia y el test de veto para optimizar las alternativas de soluciones: [12]. Para obtener mas información sobre este método ver anexo 7.

1.10.2 El Método Análisis Jerárquico de Procesos (AHP)

Este es el método que es utilizado para modelar la evaluación de la calidad del software a través del modelo de calidad difuso, por múltiples razones, en primer lugar porque permite la construcción de un modelo jerárquico de una manera eficiente y grafica, puesto que organiza la información respecto de un problema descomponerla y analizarla por partes, visualizar los efectos de cambios en los niveles y sintetizar; además permite desmenuzar un problema y luego unir todas las soluciones de los subproblemas en una conclusión .Con lo anteriormente expuesto se trabaja de la siguiente manera con el modelo jerárquico; representación del problema mediante identificación de metas en este caso el mejor nivel de calidad para los expertos encuestados, identificación de criterios que se utilizaran para determinar el nivel de calidad en este caso funcionalidad ,confiabilidad y usabilidad, identificación subcriterios serán las subcaracterísticas de los criterios que serán utilizadas de la funcionalidad (interoperabilidad idoneidad y exactitud), de la usabilidad (madurez recuperabilidad y tolerancia de fallos) y de la usabilidad (atracción cognoscibilidad y apariencia) y con respecto a el ultimo criterio de representación del modelo las alternativas estas serán determinadas por la cantidad de expertos encuestados otra de las ventajas del método son priorización de los elementos de modelo y comparaciones binarias entre los elementos esto sirvió como base para determinar el estándar de calidad del software eliminando una de las subjetividades presentes [13] .Para obtener mas información sobre este método ver anexo 9.

1.10.3. El Método Promethee

El método promethee pertenece a los métodos de sobreclasificación, al igual que el método ellectree. Son utilizados principalmente para la resolución de problemas de elección y clasificación se divide en cuatro apartados, Promethee 1 o superioridad parcial; Promethee 2 superioridad completa; Promethee 3 superioridad basada en intervalos; Promethee 4 superioridad en caso continuo.



Este método presenta tres relaciones de dominancia, Preferencia (P), Incomparabilidad (Q), e Indiferencia (I). Este es un método que su ventaja es su requerimiento de información adicional, clara y fácil, de entrada para las decisiones multicriterios y analistas. Esta información puede ser íntercriterio (representan los pesos que caracterizan la importancia relativa de los diferentes criterios comparaciones entre criterios) o información intracriterio comparación entre alternativas con respecto a cada criterio. Este método se basa en tres etapas 1- Enriquecimiento de la estructura 2-Enriquecimiento de la estructura de dominancia 3-Ayuda a la decisión [14]. Para obtener mas información sobre este método ver anexo 8.

1.11 CONCLUSIONES

En este capítulo se han presentado aspectos fundamentales que servirán como base para conseguir el objetivo que se persigue en el presente trabajo de investigación. Diferenciados por los tres epígrafes que se definieron atendiendo al campo correspondiente en cada uno de ellos se encuentra la información necesaria para comprender lo que se presenta en el segundo capítulo o propuesta de solución que se presenta.



CAPITULO 2 PROPUESTA DE SOLUCIÓN

2.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se realiza la descripción de la propuesta de solución, utilizando la lógica difusa y la toma de decisiones multicriterio en un solo modelo. Fueron definidas una serie de pasos y conceptualizaciones imprescindibles para la realización del procedimiento, como fueron, la elección de las variables lingüísticas, las etiquetas lingüísticas el conjunto de reglas difusas, el sistema basado en reglas difusas que se utilizó, entre otros aspectos que serán mejor abordados en el capítulo. En lo que respecta a la toma de decisiones se presentará al lector la Tabla de Saaty, para asignar los pesos a los diferentes criterios y subcriterios que se utilizaron, puntuación esta recogida de las encuestas realizadas a los expertos a los cuales se les preguntó sobre el tema, la estructura del método utilizado en la evaluación de calidad representa un modelo jerárquico, en el cual se definieron, identificación de metas, criterios subcriterios y alternativas lo cual significa que es lo que se quiere obtener atendiendo a las diferentes alternativas de solución existentes; el tipo de medida que se utilizó para realizar el trabajo entre otros aspectos que serán mejor abordados en el capítulo. Por último se estableció un esquema jerárquico que relaciona los dos campos y a través del mismo utilizando el modelo difuso, podrá obtener un razonamiento aproximado de las alternativas de solución que se presenten y a la misma vez escoger cual de las presentadas es la mejor.

2.2 Modelo de Calidad Difuso

Para la realización del modelo de calidad difuso, lo primero que se define es el proceso de recopilación de datos, que incluye algunos aspectos propios de la lógica difusa, como son, las variables lingüísticas, en el caso del ejemplo que se realizará posteriormente se definieron las métricas de calidad externa particularmente los criterios funcionalidad, confiabilidad y usabilidad, pero para futuros trabajos pudieran utilizarse métricas de complejidad, de calidad interna, de calidad de uso, o factores de calidad, luego, lo segundo sería definir las etiquetas lingüísticas que serán las que representen el estado que podrá tomar la variable en

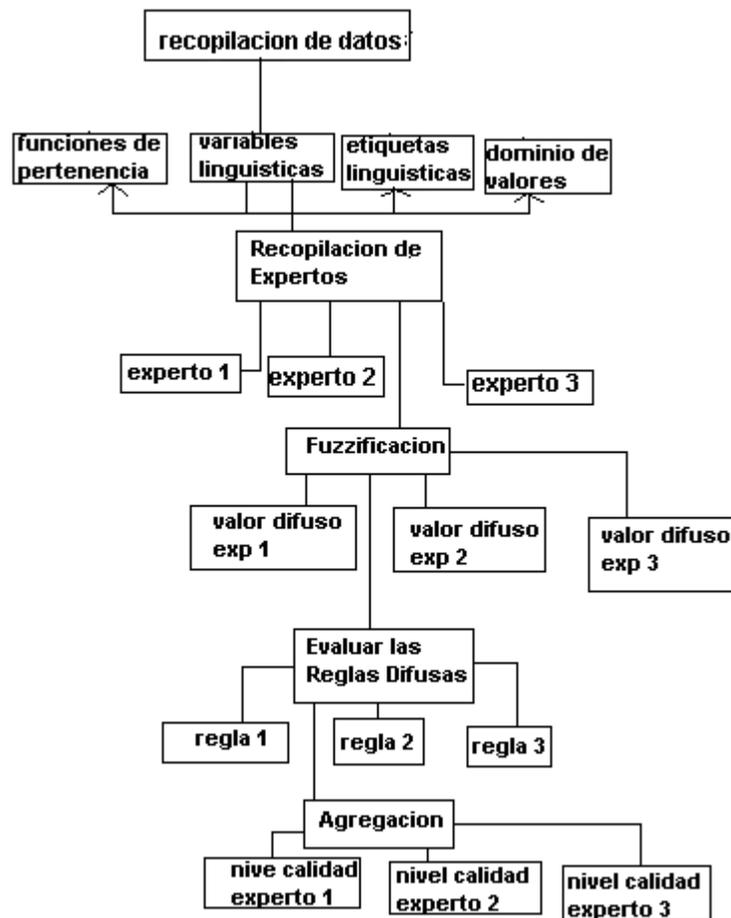


cada caso, es decir, este valor es particularmente cualitativo palabras ó sentencias de palabras, fueron escogidas malo, regular, bueno ó muy bueno, estos valores son determinados por el dominio numérico que asignaron los expertos o evaluadores a los criterios, luego se definirán las funciones de pertenencia las cuales representarán el grado de pertenencia de una variable atendiendo al conjunto difuso que represente, el modelo estructurado se representará posteriormente. Estos son los pasos del modelo más claros, recopilación de datos: El proceso consiste en identificar que características de la lógica difusa serán elegidas para evaluar la calidad de un producto de software, atendiendo al método de evaluación (utilizando métricas) y sobre que sistema difuso basado en reglas se trabajará. El siguiente paso es el de la definición de las variables lingüísticas: estas variables serán escogidas dependiendo del tipo de métrica de calidad que se pretende evaluar ya sean de calidad interna, externa o de calidad de uso o las tres en conjunto, criterios de evaluación de la calidad o elementos de evaluación, para cada variable se definen etiquetas lingüísticas, que serán las que representarán el estado de cada una de las variables a utilizar, también deberán definirse las funciones de pertenencia para cada variable las cuales a través de una gráfica constituirán el grado de pertenencia de la variable atendiendo a el conjunto difuso que pertenece. El siguiente paso será la selección de personas que teniendo en cuenta su experiencia profesional o el trabajo que realizan, pueden emitir un criterio responsable sobre el tema en cuanto a la evaluación de la calidad de un producto de software, además se les preguntará a los expertos y los mismos responderán, sobre el peso que cada uno de ellos le asignan a los criterios que se están evaluando (valor numérico). El siguiente paso es el de Proceso de fuzzificación que consiste en convertir los valores nítidos (numéricos) obtenidos en el paso anterior en valores difusos que representan los grados de pertenencia de cada variable atendiendo a la etiqueta lingüística que represente. El posterior paso es el de evaluar las reglas difusas (son las acciones que se van a realizar teniendo en cuenta el estado de la variable en este caso variable) para determinar los niveles de calidad de las personas envueltas en la evaluación. El siguiente paso es el de Proceso de agregación. El último paso consiste en determinar de los grados



de pertenencia de los conjuntos difusos que son evaluados a través de las reglas el valor más óptimo para cada persona envuelta en la evaluación en el caso que se utilice el operador lógico de disyunción se escogerá para la variable de salida o consecuente de la regla el menor valor en el caso que se utilice el operador lógico de conjunción se escogerá el mayor(entiéndase lo anteriormente explicado que a través de este paso para el caso de la investigación; como grado de pertenencia del nivel da calidad determinado

2.2.1 El Modelo Estructurado:



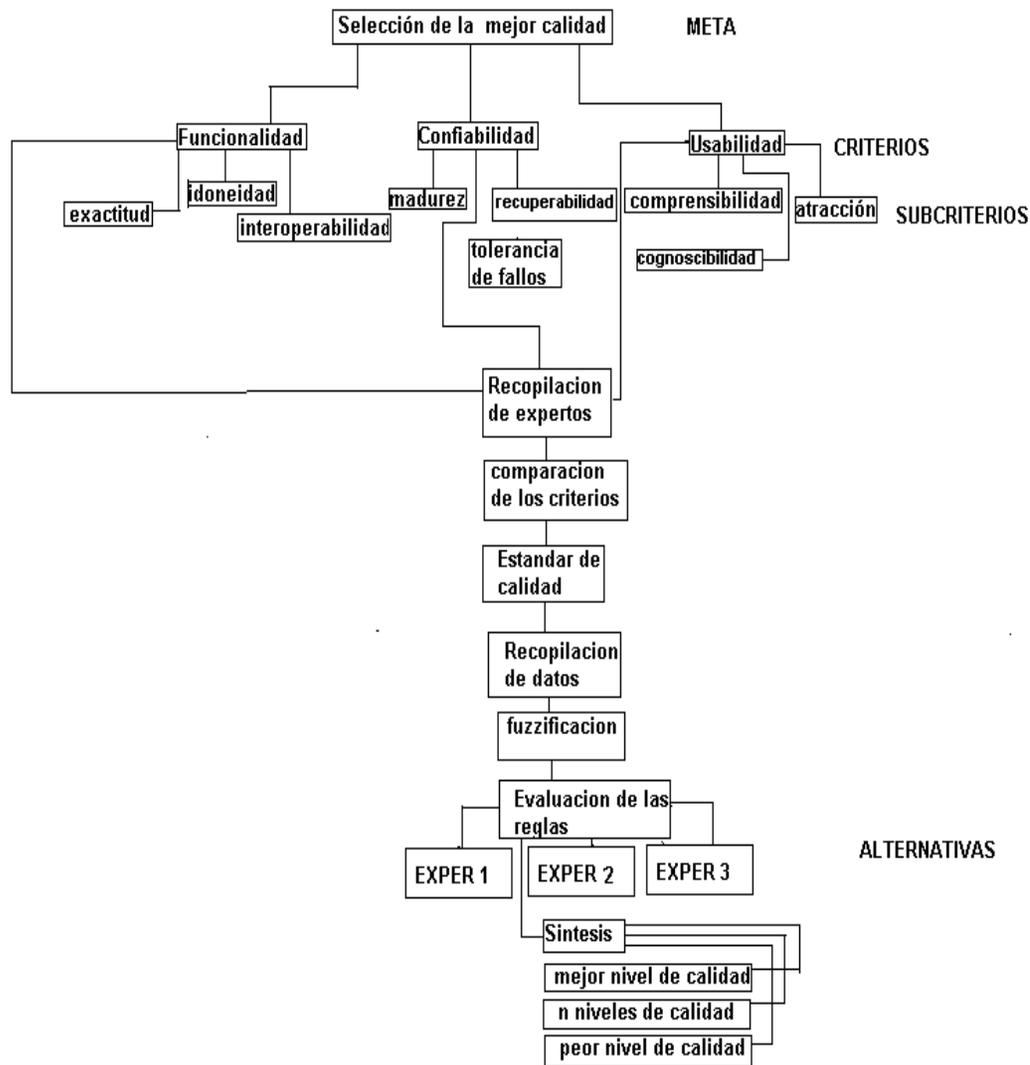


2.3 Procedimiento Multicriterio Difuso

El objetivo principal que persigue el presente trabajo es lograr interrelacionar los dos campos que se han expuesto hasta el momento. Logrando con el mismo evaluar distintas alternativas de soluciones de diferentes expertos atendiendo a la importancia que cada uno de ellos le atribuye a un criterio con respecto a el otro, sobre el tema de la evaluación de la calidad y obtener los distintos niveles de calidad para cada uno de ellos, optimizando las alternativas de solución (entiéndase ordenar las alternativas de la mejor hasta la peor).

Para comenzar con la explicación del método se recomienda que lo primero que se haga sea estudiar bien el problema en cuestión, definir que es lo que se quiere hacer, por qué y para qué. Luego entrando en materia se pasará a la identificación del objetivo final que se persigue, luego los criterios que influyen para determinar que el objetivo se cumpla satisfactoriamente (criterios en conflicto) en el caso de que estos criterios presenten factores aparejados a cada uno de ellos para poder determinar un valor final se designan los subcriterios. Para que sea más claro y entendible el procedimiento se analizara a través del análisis jerárquico de procesos AHP, que es un método de la toma de decisiones multicriterio

Modelo jerárquico multicriterio-difuso para la calidad del software



2.3.1 Selección de la mejor calidad

El primer paso para utilizar el modelo anteriormente planteado, es definir cual de las alternativas que se pretenden evaluar es la mejor, atendiendo a los criterios de calidad que fueron definidos para evaluarla. Este es el objetivo principal que se persigue representado sobre el análisis jerárquico de procesos (AHP) el cual se define a través de meta, criterios, subcriterios y alternativas.



2.3.2 Identificación de criterios

Para poder definir cualquier evaluación de calidad de un producto de software, es un paso fundamental la identificación de criterios, puesto de que existen múltiples opciones definidas principalmente por las normas internacionales de calidad en este caso en particular se trabajará con la ISO/IEC 9126 que es una de las más utilizadas a la hora de trabajar sobre este tema es válido plantear que dentro de esta norma existen varios apartados los cuales definen la calidad en tres partes la ISO/IEC 9126-1 (calidad externa), ISO/IEC 9126-2 (calidad interna), ISO/IEC 9126-3 módulos de evaluación, en la presente investigación se trabajará sobre el primer apartado ISO/IEC 9126-1 (calidad externa).

2.3.3 Identificación de los Subcriterios.

Generalmente a la hora de realizar la evaluación de calidad de un producto de software, la misma esta condicionada por criterios, pero también por subcriterios, que son los que definen el peso que cada persona le atribuye a el criterio que se esta analizando, este paso es importantísimo, el mismo define cuantitativamente o cualitativamente el valor final que cada persona o experto involucrado en el proceso le asigna a la misma.

2.3.4 Recopilación de los expertos

El siguiente paso, consta de escoger un conjunto de expertos sobre el tema de la evaluación de calidad del software. Para poder establecer un estándar de calidad confiable, es decir personas que puedan emitir un juicio sobre el tema atendiendo a su experiencia laboral y a su currículum como profesional, en el caso que se presentará más adelante fueron utilizados 4 personas se sugiere que para futuras evaluaciones se escojan mas expertos. En este paso se les realizó dos preguntas a los expertos 1- ¿Que valor numérico le atribuye cada uno de ellos a los criterios en conflicto, atendiendo a que el valor representa la importancia de una con respecto a la otra, a la hora de evaluar la calidad del software? (Tabla de SAATY) 2- ¿El peso que cada uno de los expertos le da a las subcaracterísticas con respecto a el criterio que corresponda?



2.3.5 Comparación de los criterios

Para la realización de este paso es necesario que la persona encargada presente un mínimo de conocimiento sobre el campo de la toma de decisiones multicriterio puesto de que aquí se utilizará la tabla de Saaty (presentada en el ejemplo más adelante) a través de esta tabla se establecen los niveles de importancia de cada uno de los criterios que serán imprescindibles a la hora de establecer los diferentes niveles de calidad para cada uno de los expertos esto se realizará a través de la reglas difusas

2.3.6 Estándar de calidad

Previendo que existirá incongruencia a la hora de emitir sus juicios con respecto a la importancia que cada experto emitirá se necesitará establecer un estándar con cada una de las respuestas obtenidas. El estándar que se obtuvo se presentará en el ejemplo (atendiendo al nivel de importancia dado por cada uno de los expertos se sumaron o se restaron) entiéndase esta parte atendiendo a el criterio que tenga una mayor importancia en cada caso. Para la realización del estándar de calidad se utilizaron algunas fórmulas que se presentarán a continuación y se expondrán posteriormente para la priorización de los criterios. Atendiendo a que se estará trabajando con factores subjetivos sobre la importancia que cada experto le da a cada uno de los criterios involucrados se deberá calcular la consistencia aleatoria de los factores involucrados.

CI índice de consistencia

CR consistencia aleatoria

RI índice consistencia aleatorio

λ_{max} = Vector prioritario * Sumatoria

CI = $\frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$ (n = numero de criterios)

CR = CI / RI



Tabla del índice consistencia aleatorio

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Esto es utilizado para establecer las reglas difusas, que serán las que definirán el resultado final de los niveles de calidad para cada experto encuestado. Estas fórmulas son mejor explicadas en el ejemplo práctico.

2.3.7 Recopilación de datos

En este paso es donde entra a jugar su papel el modelo difuso, el cual se utilizará para evaluar las distintas alternativas de soluciones con respecto a los niveles de calidad que se desglosarán para cada experto. Con la evaluación de las reglas difusas definidas, además se definirán las variables lingüísticas, etiquetas lingüísticas, dominio de valores para cada etiqueta, funciones de pertenencia para cada una de los conjuntos difusos que fueron definidos.

2.3.8 Fuzzificación

A través de este paso es donde se definirá el grado de pertenencia que tendrá cada uno de los valores que se obtuvieron de las encuestas realizadas a los expertos, atendiendo a los conjuntos difusos que se definieron para las variables o criterios que se encuentran en conflicto, a través de las funciones de pertenencia que se utilizaron para luego ser procesadas a través de las reglas difusas.

2.3.9 Evaluación de las reglas difusas

Las reglas difusas se deben evaluar en dos partes: primero, la evaluación de los antecedentes que involucra la Fuzzificación de las entradas y la aplicación de los operadores lógicos difusos, y segundo, la aplicación que resulta de la consecuencia o Implicación. La implicación es la que modifica al conjunto difuso de salida en el grado especificado por el antecedente. Para hacer un poco más comprensible esto atendiendo a los valores que se presenten en el antecedente de las reglas se obtendrán los distintos valores de calidad para el consecuente (en



este caso). Atendiendo a que el operador lógico difuso que se utilizó para evaluar las reglas en el antecedente es el AND se deberá realizar el proceso de agregación que consiste en la evaluación de los conjuntos difusos definidos como resultado de los antecedentes quedando como resultado en el consecuente el mínimo de los valores definidos (entiéndase esto como nivel de calidad para cada experto). Fueron definidas las siguientes reglas en el ejemplo que se mostrará posteriormente.

IF Z1 = A3 AND Z2 = B3 AND Z3 = C3 THEN W = Q4

(0.8, 0.2, 0.1) (1.0, 1.0, 1.0) EXP 1 Y EXP 4 respectivamente

IF Z1 = A3 AND Z2 = B3 AND Z3 = C1 THEN W = Q2

IF Z1 = A2 AND Z2 = B3 AND Z3 = C3 THEN W = Q3

IF Z1 = A1 AND Z2 = B3 AND Z3 = C3 THEN W = Q2

IF Z1 = A2 AND Z2 = B3 AND Z3 = C3 THEN W = Q3 (0.5, 1.0, 1.0) EXP 2

IF Z1 = A2 AND Z2 = B2 AND Z3 = C3 THEN W = Q2

IF Z1 = A2 AND Z2 = B2 AND Z3 = C2 THEN W = Q2 (1.0, 0.5, 0.7) EXP 3

Z1 significa confiabilidad, Z2 significa funcionalidad, Z3 significa la usabilidad.

A1, significa mala, A2 significa regular, A3 significa buena son las etiquetas lingüísticas para la variable confiabilidad correspondiente.

B1, significa mala, B2 significa regular, B3 significa buena son las etiquetas lingüísticas para la variable funcionalidad.

C1 significa mala, C2 significa regular, C3 significa buena son las etiquetas lingüísticas para la variable usabilidad

Q1 significa nivel de calidad mala, Q2 significa nivel de calidad regular, Q3 significa nivel de calidad buena, Q4 significa nivel de calidad muy bueno son las etiquetas lingüísticas para la variable nivel de calidad.



Los resultados de la primera regla significan que el experto uno tendrá un nivel de calidad muy bueno con un 10 % de calidad y el experto cuatro tendrá un nivel de calidad muy bueno con 100% de calidad. Los resultados de la regla cinco indican que el experto dos tendrá un nivel de calidad bueno con un 50% calidad Los resultados de la regla siete indican que el experto tres tendrá un nivel de calidad regular con un 50% calidad.

2.3.10 Síntesis

Este paso es el último en el modelo multicriterio-difuso el cual consiste en optimizar los resultados obtenidos en el paso anterior, atendiendo a que ya se tienen los distintos niveles de calidad para cada uno de los expertos, el paso es sencillo, consiste en ordenar desde el mejor nivel de calidad hasta el peor.

A continuación se presenta un ejemplo de la utilización del modelo multicriterio-difuso con la utilización de 4 expertos los mismos fueron escogidos en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMMM) y el primero es ingeniero informático trabajador de la empresa Ernesto Che Guevara del mismo municipio ; Experto 1 ,Experto 2 ,Experto 3 , Experto 4 todos ingenieros informáticos en este caso se utilizaron solo estos cuatro, pero se exhorta que se utilicen la mayor cantidad de expertos posibles para que el nivel de calidad sea un poco mas confiable y que los mismos sean de empresas que se encuentren relacionadas con el tema de la evaluación de la calidad del software, pudiera ser DESOFT pero en este caso lo que se propone es que se entienda a la hora de llevar a la práctica el modelo, una aclaración importante sería que para que el lector comprenda mas fácilmente el modelo la estructura del mismo se presenta gradualmente(en la medida que se va conformando el modelo) hasta obtener la estructura final. También es preciso destacar que en este caso solo se evalúan los criterios de la calidad externa de un producto de software para futuros trabajos se pudieran llevar a cabo métricas como la de calidad interna y la de calidad de uso. Se comenzará presentando el modelo desde su estructura y se irá trabajando como se presento anteriormente.



2.4 Ejemplo Práctico:

Se necesita determinar de cuatro expertos escogidos para evaluar la calidad de un producto de software cual de ellos atendiendo a los pesos que cada uno asigna a las subcaracterísticas de las métricas de calidad externa, pudiera obtener un mejor nivel de calidad utilizando la toma de decisiones multicriterio a través del modelo de calidad difuso que se presentó anteriormente.

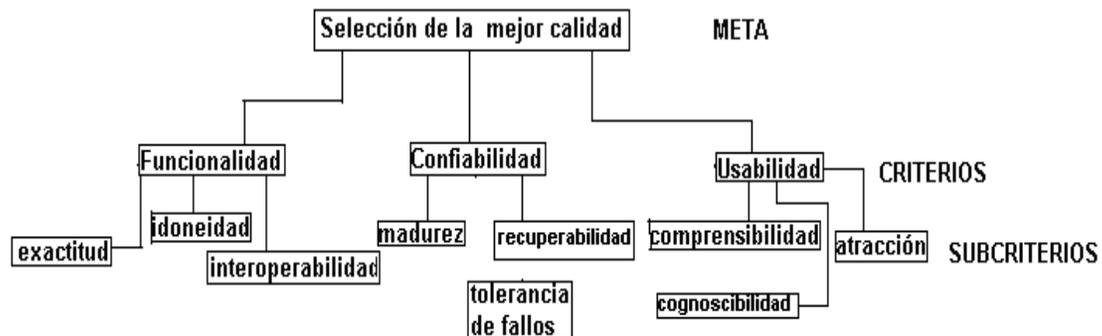
Objetivo final: Elección de la mejor calidad

Criterios: Funcionalidad, Confiabilidad, Usabilidad

Subcriterios de la Funcionalidad: interoperabilidad, idoneidad, exactitud.

Subcriterios de la Confiabilidad: madurez, recuperabilidad, tolerancia de fallos.

Subcriterios de la Usabilidad: comprensibilidad, cognoscibilidad, atracción.



El próximo paso sería escoger un conjunto de expertos sobre el tema de la evaluación de la calidad del software para poder establecer un estándar de calidad confiable es decir personas que puedan emitir un juicio sobre el tema atendiendo a su experiencia laboral y a su currículo como profesional en el caso del ejemplo que se esta analizando se escogieron 4 ingenieros informáticos 3 del ISMMM Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa y 1 de la Empresa del Níquel Ernesto Che Guevara.

ing. Informático: 1

ing. Informático: 2

ing. Informático: 3

ing. Informático: 4



Luego de realizado este paso se necesitará establecer una comparación de los criterios que se necesitan evaluar y esto se realizara a través de la llamada tabla de Saaty, la cual nos brindará la importancia que cada uno de estos expertos le asigna a los criterios en conflicto (comparación binaria entre las métricas) a continuación se muestra la tabla.

ESCALA NUMERICA	ESCALA VERBAL	EXPLICACION
1.0	Ambos elementos son de igual importancia	Ambos elementos contribuye con la propiedad en igual forma
3.0	Moderada importancia de un elemento sobre otro	La experiencia y el juicio favorece a un elemento sobre otro
5.0	Fuerte importancia de un elemento sobre otro	Un elemento es fuertemente favorecido
7.0	Muy fuerte importancia de un elemento sobre otro	Un elemento es muy fuertemente favorecido
9.0	Extrema importancia de un elemento sobre otro	Un elemento es favorecido por lo menos con un orden de magnitud de diferencia
2.0,4.0,6.0,8.0	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes	Usados como valores de consenso entre dos juicios
INCREMENTOS DE 0.1	Valores intermedios en la graduación mas fina de 0.1 (por ejemplo 7.3 es entrada valida)	Usados para graduaciones mas finas entre dos juicios

TABLA DE SAATY.



La pregunta que se le realiza a cada uno de los expertos encuestados para obtener los valores que se muestran es 1- ¿Que valor numérico le atribuye cada uno de ellos a las métricas en conflicto atendiendo a que el valor representa la importancia de una con respecto a la otra a la hora de evaluar la calidad del software? 2- ¿El peso que cada uno de los expertos le da a las subcaracterísticas con respecto a la métrica que corresponda? Los resultados que se muestran a continuación son representados a través de la llamada matriz de Eigen (Análisis jerárquico de procesos).

Valores que se obtuvieron de la primera pregunta

Ingeniero 1

CRITERIOS	funcionalidad	confiabilidad	usabilidad	Vector
funcionalidad	1	1	1/6	0.178
confiabilidad	1	1	1	0.306
Usabilidad	6	1	1	0.514
Sumatoria	8	3	2.166	

Ingeniero 2

CRITERIOS	funcionalidad	confiabilidad	usabilidad	Vector
funcionalidad	1	1/5	7	0.273
confiabilidad	5	1	5	0.599
Usabilidad	1/7	1/5	1	0.079
Sumatoria	7.142	1.4	13	

Ingeniero 3

CRITERIOS	Funcionalidad	confiabilidad	usabilidad	Vector
Funcionalidad	1	1	8	0.513
Confiabilidad	1	1	5	0.436
Usabilidad	1/8	1/5	1	0.074
Sumatoria	2.125	2.2	13	



Ingeniero 4

CRITERIOS	Funcionalidad	confiabilidad	usabilidad	Vector
Funcionalidad	1	1	7	0.486
Confiabilidad	1	1	5	0.434
Usabilidad	1/7	1/5	1	0.077
Sumatoria	2.142	2.2	13	

Previendo que existirá incongruencia a la hora de emitir sus juicios con respecto a la importancia que cada experto emitirá se necesitara establecer un estándar con cada una de las respuestas obtenidas. El estándar que se obtuvo es el siguiente (atendiendo al nivel de importancia dado por cada uno de los expertos se sumaron o se restaron en cada caso obteniéndose lo siguiente), como se puede observar en la matriz la confiabilidad tiene un mayor nivel de importancia que las otras dos métricas seguida por la funcionalidad y por ultimo la usabilidad. Atendiendo a estos resultados se realizaron las reglas difusas. (Presentadas más adelante).

ESTANDAR DE CALIDAD

CRITERIOS	Funcionalidad	confiabilidad	usabilidad	Vector prioritario
Funcionalidad	1 (0.307)	1/2 (0.280)	4 (0.470)	(0.352)
Confiabilidad	2 (0.615)	1 (0.560)	3.5 (0.411)	(0.528)
Usabilidad	¼ (0.076)	1/3.5 (0.160)	1 (0.117)	(0.117)
Sumatoria	3.25	1.785	8.5	
	$\lambda_{max}=3.08$	CI= 0.04	CR= 0.068	

PRIORIZACION DE LOS CRITERIOS EN CONFLICTO 1- CONFIABILIDAD 2- FUNCIONALIDAD 3- USABILIDAD
 CI índice de consistencia CR consistencia aleatoria RI índice consistencia aleatorio

$$\lambda_{max} = \text{Vector prioritario} * \text{Sumatoria}$$

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (n = \text{numero de criterios})$$

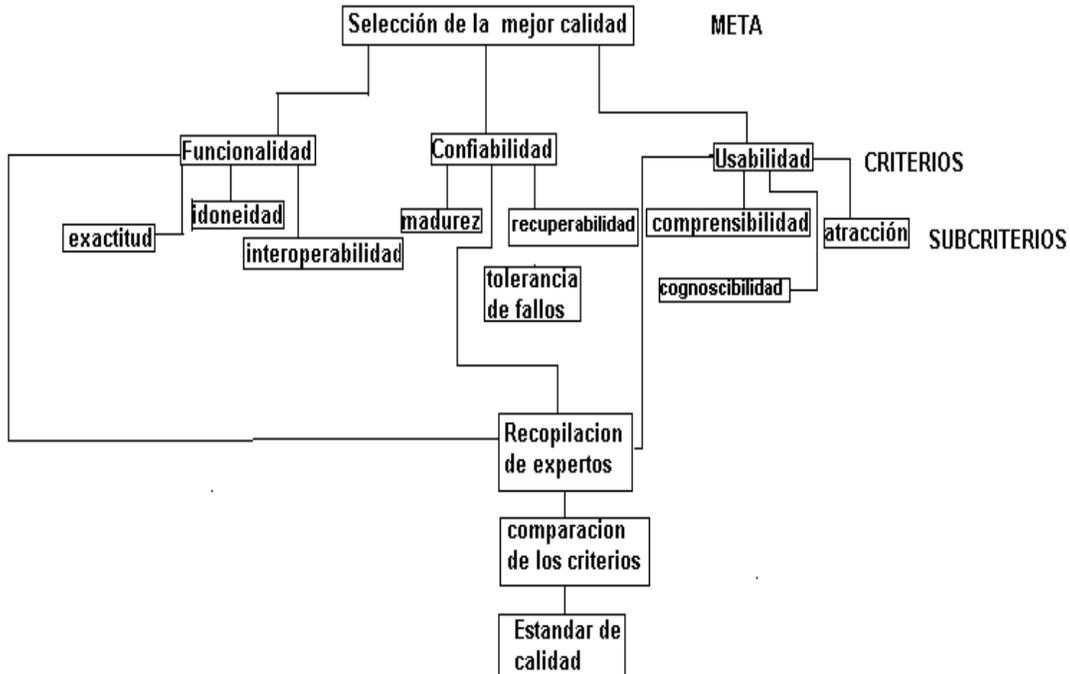
$$CR = CI / RI$$



Tabla del índice consistencia aleatorio

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

El valor obtenido con el $CR = 0.068 < 10\%$ (aceptable) esto significa que la evaluación subjetiva sobre la preferencia de los criterios es consistente
Hasta este momento la representación va tomando el siguiente esquema



Valores que se obtuvieron de la segunda pregunta

Experto 1

Funcionalidad =2.3
Interoperabilidad = 1
Idoneidad = 0.5
Exactitud = 0.4

Confiabilidad =1.7
madurez = 0.6
tolerancia de fallos = 0.5
recuperabilidad = 0.6

Usabilidad =1.6
comprensibilidad = 0.8
atracción = 0.3
cognoscibilidad = 0.5

Experto 2

Funcionalidad =2.8
Interoperabilidad = 1
Idoneidad = 0.8
Exactitud = 1

Confiabilidad =1.0
madurez = 0.5
tolerancia de fallos = 0
recuperabilidad = 0.5

Usabilidad =2.6
comprensibilidad = 1
atracción = 1
cognoscibilidad = 0.6

Experto 3

Funcionalidad =1.0
Interoperabilidad = 0.3
Idoneidad = 0.5
Exactitud = 0.2

Confiabilidad =1.5
madurez = 0.6
tolerancia de fallos = 0.3
recuperabilidad = 0.6

Usabilidad =1.2
comprensibilidad = 0.4
atracción = 0.6
cognoscibilidad = 0.2



Experto 4

Funcionalidad = 2.7

Confiabilidad = 2.6

Usabilidad = 2.7

Interoperabilidad = 1

madurez = 1.0

comprensibilidad = 1.0

Idoneidad = 0.9

tolerancia de fallos = 0.6

atracción = 1.0

Exactitud = 0.8

recuperabilidad = 1.0

cognoscibilidad = 0.7

El siguiente paso es la recopilación de los datos aquí es donde entra a jugar su papel el modelo difuso que se utilizara durante la realización del mismo se necesitará trabajar con varias definiciones de aspectos propios de la lógica difusa como son variables lingüísticas, etiquetas lingüísticas, dominio de valores para cada etiqueta, funciones de pertenencia para cada conjunto difuso y reglas difusas las cuales se definen a continuación.

Variables lingüísticas: Permiten que sus valores sean etiquetas lingüísticas

Variables lingüísticas utilizadas: (funcionalidad, usabilidad, confiabilidad y nivel de calidad)

Etiquetas lingüísticas: Son términos definidos como conjuntos difusos las que se utilizaron en el ejemplo son (malo, regular, bueno, muy bueno)

Funciones de pertenencia: triangular y trapezoidal

Dominio de valores para las etiquetas lingüísticas de las variables lingüísticas del antecedente (funcionalidad, usabilidad, confiabilidad de las reglas difusas): [0; 1.5] es malo, [0.5; 2.5] es regular y de [1.5; 3.0] es buena

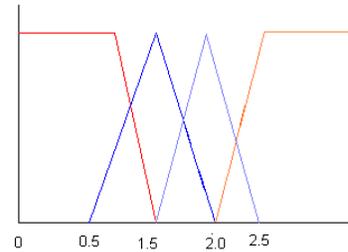
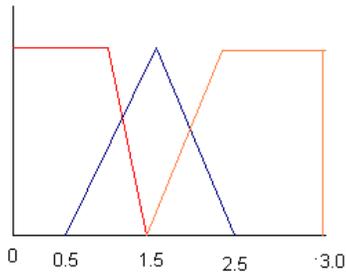
Dominio de valores para las etiquetas lingüísticas de las variables lingüísticas del consecuente nivel de calidad de las reglas a utilizar: [0; 1.5] es malo de [0.5; 2.0] es regular de [1.5; 2.5] es bueno de [2.0; 3.0] es muy bueno.

A continuación se expondrán las funciones de pertenencia correspondiente a los antecedentes y consecuentes de las reglas.



Función de pertenencia para la antecedente

Función de pertenencia para El consecuente



El siguiente paso es el de Fuzzificación

La entrada de un sistema difuso normalmente es un valor numérico para este ejemplo en cuestión se cuentan con los pesos relativos dados por cada uno de los expertos encuestados en la segunda pregunta que se le realizó.

Valores difusos obtenidos para cada experto atendiendo a el peso que cada uno dio a las tres métricas en cuestión y al correspondiente conjunto difuso.

Función de pertenencia para el trapecio 2

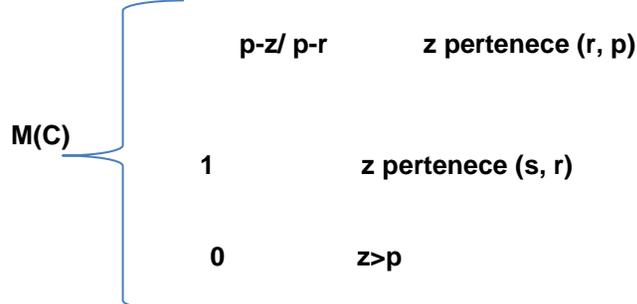
$$M(A) \begin{cases} (z-a) / (b - a) & z \text{ pertenece } (a, f] \\ 1 & z \geq f \\ 0 & z < a \end{cases}$$

Función de pertenencia para el triangulo

$$M(B) \begin{cases} 0 & z \leq d \\ (z-d) / (m-d) & z \text{ pertenece } (d, m] \\ 1 & z = m \\ (w-z) / (w-m) & z \text{ pertenece } (m, b) \\ 0 & z \geq w \end{cases}$$



Función de pertenencia para el trapecio 1



Experto	Métrica	Confianza	Usabilidad
Experto 1	Funcionalidad	Confianza	Usabilidad
	Z1 (A1) = 0	Z2 (A1) = 0	Z3 (A1) = 0
	Z1 (A2) = 0.2	Z2 (A2) = 0.8	Z3 (A2) = 0.9
	Z1 (A3) = 0.8	Z2 (A3) = 0.2	Z3 (A3) = 0.1
Experto 2	Funcionalidad	Confianza	Usabilidad
	Z1 (A1) = 0	Z2 (A1) = 0.5	Z3 (A1) = 0
	Z1 (A2) = 0	Z2 (A2) = 0.5	Z3 (A2) = 0
	Z1 (A3) = 1.0	Z2 (A3) = 0	Z3 (A3) = 1
Experto 3	Funcionalidad	Confianza	Usabilidad
	Z1 (A1) = 0.5	Z2 (A1) = 0	Z3 (A1) = 0.3
	Z1 (A2) = 0.5	Z2 (A2) = 1.0	Z3 (A2) = 0.7
	Z1 (A3) = 0	Z2 (A3) = 0	Z3 (A3) = 0
Experto 4	Funcionalidad	Confianza	Usabilidad
	Z1 (A1) = 0	Z2 (A1) = 0	Z3 (A1) = 0
	Z1 (A2) = 0	Z2 (A2) = 0	Z3 (A2) = 0
	Z1 (A3) = 1	Z2 (A3) = 1	Z3 (A3) = 1

Luego que se tienen estos valores difusos para cada uno de los expertos atendiendo a las métricas que se están evaluando se está listo para pasar al



penúltimo paso evaluación de las reglas difusas atendiendo a los valores obtenidos en el proceso anterior

Evaluación de las reglas difusas

Es válido destacar que las siguientes reglas fueron definidas atendiendo a la priorización de los criterios que se establecieron en el estándar de calidad.

IF Z1 = A3 AND Z2 = B3 AND Z3 = C3 THEN W = Q4 (0.8, 0.2, 0.1)

(1.0, 1.0, 1.0) = (EXP 1 y EXP 4, respectivamente).

IF Z1 = A3 AND Z2 = B3 AND Z3 = C1 THEN W = Q2

IF Z1 = A2 AND Z2 = B3 AND Z3 = C3 THEN W = Q3

IF Z1 = A1 AND Z2 = B3 AND Z3 = C3 THEN W = Q2

IF Z1 = A2 AND Z2 = B3 AND Z3 = C3 THEN W = Q3 (0.5, 1.0, 1.0) EXP 2

IF Z1 = A2 AND Z2 = B2 AND Z3 = C3 THEN W = Q2

IF Z1 = A2 AND Z2 = B2 AND Z3 = C2 THEN W = Q2 (1.0, 0.5, 0.7) EXP 3

Z1 es confiabilidad Z2 es funcionalidad Z3 es la usabilidad

A1, A2, A3 son las etiquetas lingüísticas para la variable confiabilidad correspondiente a malo regular y bueno.

B1, B2, B3 son las etiquetas lingüísticas para la variable funcionalidad para malo regular y bueno.

C1, C2, C3 son las etiquetas lingüísticas para la variable usabilidad para malo regular y bueno.

Q1, Q2, Q3, Q4 son las etiquetas lingüísticas para el variable nivel de calidad malo regular, bueno y muy bueno.

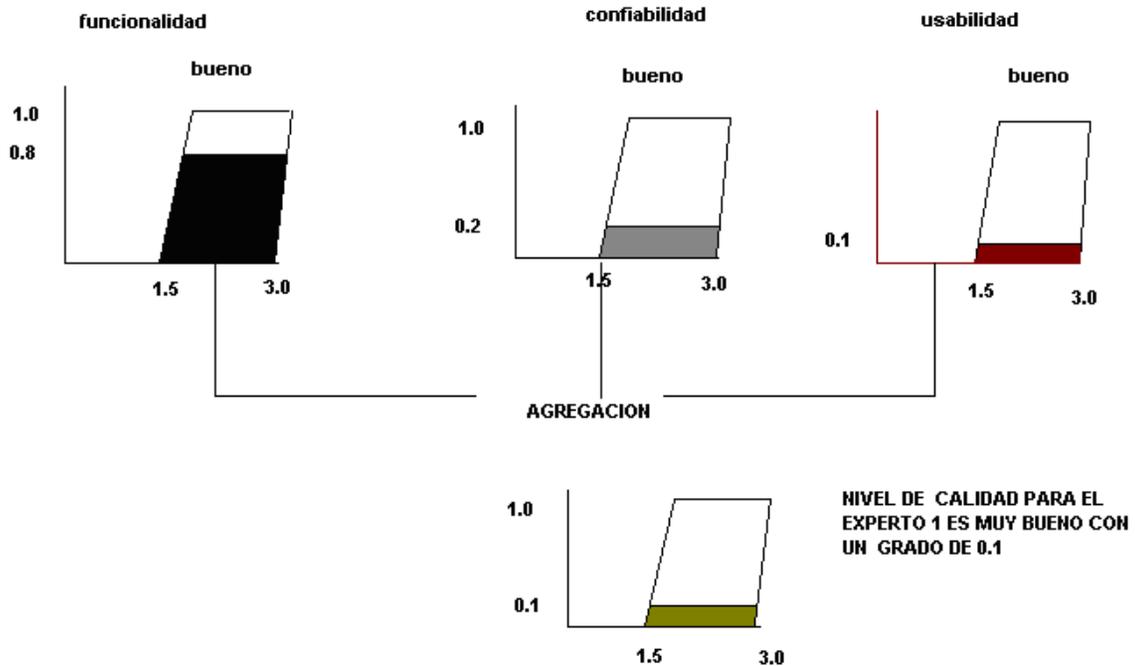
Los resultados de la primera regla significan que el experto uno tendrá un nivel de calidad muy bueno con un 10 % de calidad y el experto cuatro tendrá un nivel de calidad muy bueno con 100% de calidad Los resultados de la regla cinco indican que el experto dos tendrá un nivel de calidad bueno con un 50% calidad. Los resultados de la regla siete indican que el experto tres tendrá un nivel de calidad regular con un 50% calidad.

Luego de haber realizado el conjunto de reglas con las que trabajara el modelo difuso para la evaluación de calidad del software se procederá a realizar el proceso



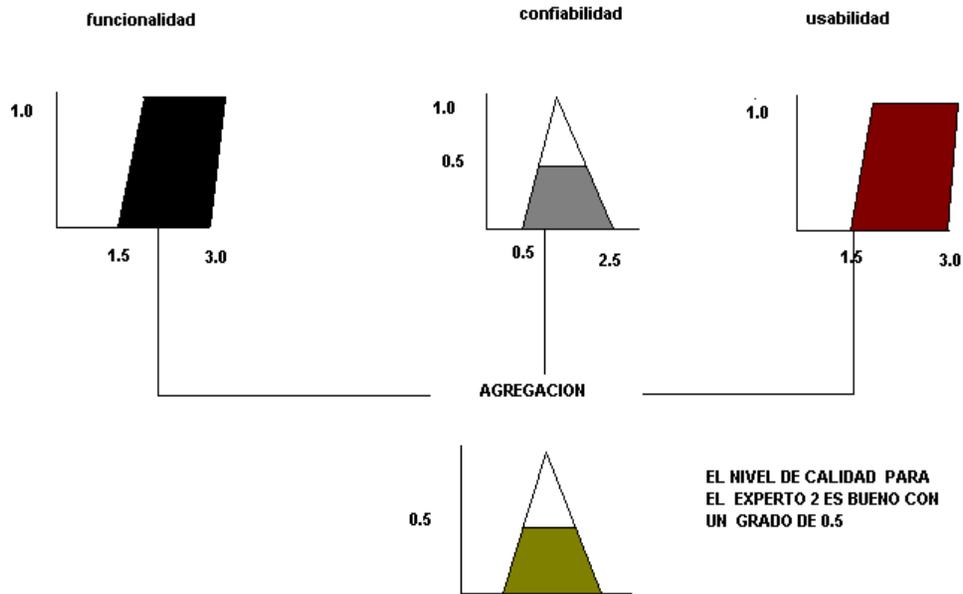
de agregación atendiendo a que el operador difuso que se ha utilizado para el conjunto de reglas es el AND (Y) esto implica que se escogerá el menor valor de los conjuntos difusos escogidos se utilizara el método en las reglas que lo permitan esto dará como resultado el nivel de calidad correspondiente a cada uno de los expertos que fueron encuestados pero antes de graficarlo explicar que solo se tomarán aquellas reglas en las que los valores de los conjuntos difusos sean distinto de cero puesto que para poder realizar el proceso de la agregación las variables lingüísticas utilizadas deben de tener un valor difuso correspondiente. A continuación se presentan el conjunto de reglas con sus correspondientes variables y valores difusos a la derecha del consecuente se muestra el valor de la inferencia utilizando el método del (MIN) anteriormente explicado ahora se pasara a el proceso de agregación y la graficación del resultado expuesto a través de las reglas expuestas

Experto 1

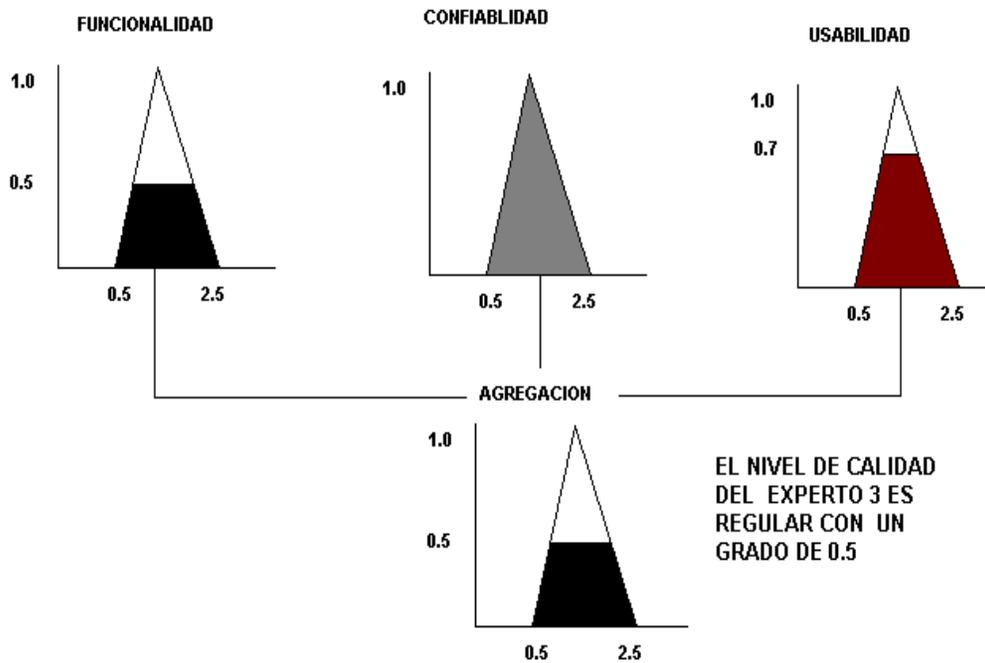


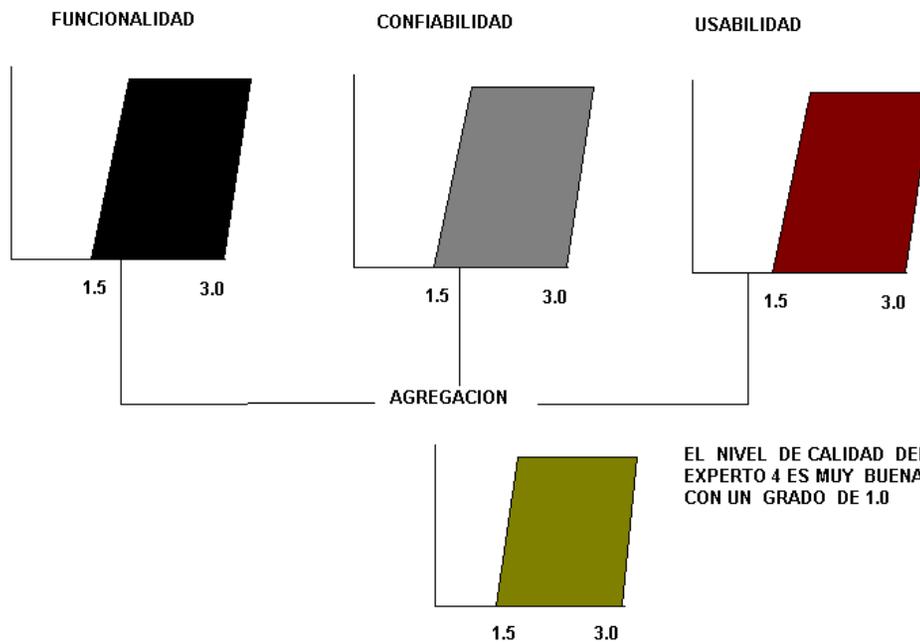


Experto 2



Experto 3



EXPERTO 4

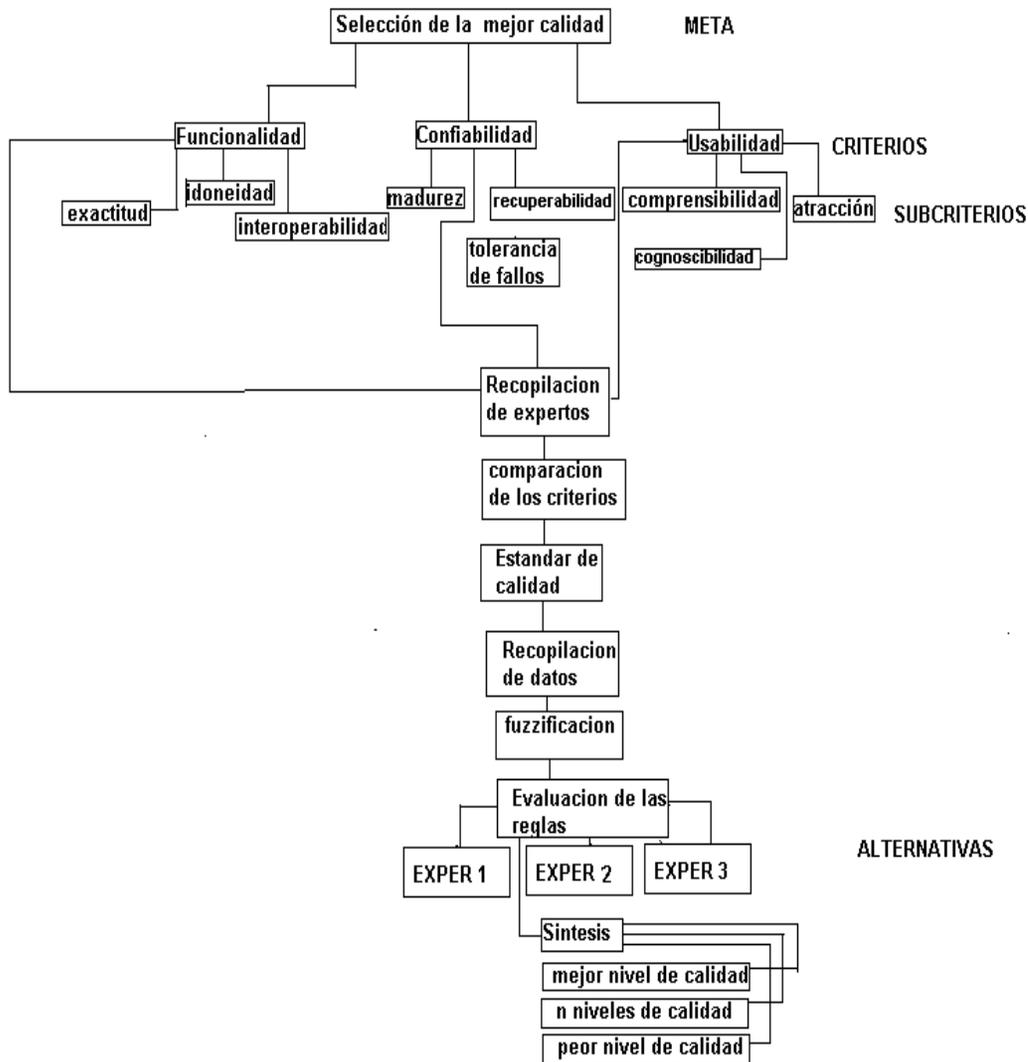
Luego que se halla realizado el paso anterior ya se tendrán los diferentes niveles de calidad obtenidos para cada uno de los expertos solo quedara organizar las alternativas desde la mejor hasta la peor (a este proceso se le llama síntesis dentro de la toma de decisiones multicriterio).

Proceso de Síntesis

1. Experto 4 (La mejor alternativa de evaluación de calidad)
2. Experto 1
3. Experto 2
4. Experto 3 (La peor alternativa de evaluación de calidad)



Resultando estructurado el modelo jerárquico multicriterio-difuso para la calidad de la siguiente forma.



En este momento ha quedado estructurado y explicado el modelo. El mismo fue realizado basándose en posibles deficiencias que pudieran haber sido no eliminadas o no tratadas en el trabajo de investigación del ingeniero Joel y en el campo de la evaluación de la calidad del software. Un trabajo que se realizó en el año 2009, 2010 en el ISMMM a continuación se establecerá una comparación del presente trabajo con el del mismo



2.5 Comparación con el Método de Fajardo 08,09

1- El método de [Fajardo, Joel. 08,09] es preciso, pero no evalúa la relatividad proporcionada por los distintos comportamientos que se pueden presentar entre las métricas, a la hora de determinar un posible nivel de calidad final, subjetividad esta erradicada con la lógica difusa con el modelo propuesto.(utilización de reglas para determinar un resultado optimo).

2- El método de Joel, no tiene en cuenta la incongruencia que se puede dar a la hora de evaluar la calidad del software, producto de las diferencias de pesos emitidos a los criterios, por expertos a la hora de expresar la preferencia de una métrica con respecto a la otra, para establecer un estándar, problema solucionado en el modelo que se propone.

3- El modelo proporciona un método para la evaluación de la calidad del software, más preciso que el método presentado por [Fajardo 08,09], jugando un papel fundamental la lógica difusa.

2.6 CONCLUSIONES

En el presente capítulo se utilizaron los fundamentos propios de la lógica difusa y la toma de decisiones multicriterio, obteniéndose un modelo multicriterio-difuso capaz de determinar de los distintos pesos emitidos por los expertos para cada una los criterios de calidad externa distintos niveles de calidad para cada uno de ellos. Obteniendo como resultado final cual de las alternativas es la mejor para evaluar la calidad (optimizando los distintos niveles de calidad), eliminando posibles incongruencias que puedan existir entre los expertos, subjetividades implícitas en el área de la evaluación erradicadas con la lógica difusa. Para la realización del mismo se definieron algunos aspectos concernientes a cada uno de ellos por separado como fueron la identificación de el objetivo final que se persigue la identificación de los criterios que se pretenden evaluar para determinar el nivel de calidad de cada uno de los expertos, los subcriterios que traen consigo cada uno



de los criterios que son utilizados, de la lógica difusa se definieron variables lingüísticas, etiquetas para cada una de estas variables, conjuntos difusos para la representación del comportamiento de cada una de las variables y las reglas difusas que son las que determinan la solución del problema que se está analizando.



CAPÍTULO 3: VALIDACION DE LOS RESULTADOS

3.1 INTRODUCCIÓN

Con el objetivo primordial de obtener las distintas opiniones acerca del modelo multicriterio-difuso propuesto en el capítulo anterior, se realiza una validación del mismo a través de encuestas. Las mismas fueron realizadas a personas con una vasta experiencia sobre el tema de la evaluación de la calidad, mostrando también las sugerencias que los expertos dieron sobre el modelo para posibles arreglos en un futuro.

3.2 Métodos de Validación.

Existen varios métodos de validación que se han venido utilizando generalmente en trabajos investigativos en años anteriores, en los cuales se hacen necesario un pequeño estudio para definir y caracterizar cada uno de estos. Los métodos de validación que se utilizarán son: [15]

1. Método Delphi.
2. Test de Turing.
3. Método multicriterio.

3.2.1 Método Delphi.

“Es una técnica para realizar estudios de predicción, es decir, de exploración del futuro, fundamentada en las opiniones de los expertos sobre el tema en cuestión.” (López, 2004). Este método presenta ventajas pues, se logra obtener una conformidad del resultado en el desarrollo de los cuestionarios sucesivos, o sea un mayor consenso. También desde el punto de vista de que todo esto se hace sin interacción entre los expertos y con fundamentos estadísticos se puede decir que logra recoger información generalmente rica y abundante sobre el problema estudiado y puede ser utilizado en varios campos de acción. Los resultados son cualitativamente apreciables. Sin embargo este método resulta dilatado por la cantidad de iteraciones que necesita. Realizar para llegar a un consenso final, además no brinda como resultado un valor cuantitativo que sirva para establecer prioridades de ejecución en los proyectos pues arroja como resultado las calificaciones cualitativas siguientes: adecuado aceptable, cuestionable y malo, estas evaluaciones aunque se pudieran cuantificar no son de gran ayuda para lo



que se quiere lograr pues se pierde mucha información en ese rango de resultados que establece el método. [16]

3.2.2 Test de Turing.

Alan Turing sugirió este método como un test de inteligencia artificial. En este test, a un experto, o grupo de expertos, se le presentan resúmenes o informes de resultados de ejecución del sistema y del modelo, a los que se les ha dado el mismo formato. Estos informes se reparten aleatoriamente a los ingenieros y administradores del sistema, para ver si son capaces de discernir cuales son los reales del sistema y cuales la imitación resultado de la simulación. Si los expertos no son capaces de distinguir entre ambos, se puede concluir que no hay evidencias para considerar inadecuado al modelo. Si descubren diferencias las respuestas sobre lo que encuentran inconsistente se puede utilizar para realizar mejoras en el modelo. Se puede considerar que este método es el inverso al método de Delphi. En el test de Turing se consulta a los expertos para ver si son capaces de identificar las respuestas del sistema, mientras que en el de Delphi se pregunta a los expertos para que predigan las respuestas del sistema. Aunque este test parece muy intuitivo, hay muy pocos informes de su uso, ya que requiere un esfuerzo considerable para formatear las medidas de ejecución del sistema a la hora de crear el informe que se da a los expertos. Otra dificultad está en ajustar las medias del sistema real ya que en ellas intervienen elementos que no se han considerado en el modelo. Por último este test requiere un análisis estadístico por parte del grupo de expertos para determinar si hay diferencias significativas entre el informe real y el simulado. [17]

3.2.3 Método Multicriterio

“Este procedimiento combina los métodos multicriterio con los cuantitativos. A partir de criterios de expertos, utilizando procedimientos estadísticos determina de manera muy rápida un índice de prioridad para el proyecto y su combinación con un estudio de factibilidad económica facilita la toma de decisiones sobre la posibilidad de éxito de los proyectos que intervienen en la evaluación, estableciendo un orden de prioridad para los mismos.” (Hernández, 2007). Este



método es uno de los más completos pues cuenta con la opinión de los expertos, además realiza un análisis cualitativo más preciso, se propone balancear este con el resultado de la factibilidad que se estableció para el proyecto a través de los métodos de evaluación económica, por lo que se pueden obtener resultados más acabados y eficaces para establecer un orden de prioridad a los proyectos. Este método genérico, cuenta con una secuencia de pasos que proporciona de igual forma una evaluación de los proyectos, resulta dilatado por la cantidad de iteraciones que debe realizar en caso de que no exista concordancia en el trabajo de expertos sin embargo servirá de base para el procedimiento que se quiere lograr.

3.3 Selección de los Expertos

Este es el primer paso que se define para la Validación de los resultados luego de escoger el método Delphi, como el mismo nombre lo describe el mismo se basa en escoger una serie de personas que atendiendo a su currículum como profesional y a su experiencia laboral puedan emitir un criterio consistente con respecto a el estudio que se esta realizando. Es decir como todo trabajo investigativo su función fundamental es crear una nueva metodología o crear un procedimiento sobre un método o un campo que necesita de una renovación deben de escogerse personas capacitadas para que se evalúe lo que se propone.

3.3.1 Expertos Seleccionados

1. Miguel Portuondo Hernández Lic. en Ciencias de la Computación Universidad de las Villas
2. Yaniesky Rodríguez Pupo Ingeniero en Informática Universidad de Holguín (UHO)
3. Yadira Romero Rodríguez Especialista B en Ciencias Informática Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
4. Andy Marcos Ramírez Aberasturi Graduado de Licenciado en Matemática Cargo Técnico superior en adiestramiento, Centro de estudios Universidad de Oriente



5. Juan Manuel Leyva García Ing. Industrial (Graduado en la Universidad de Holguín) Master en Dirección de Empresas (CUJAE) Ocupo el Cargo: Especialista en Ciencias Informáticas MOA NICKEL (PEDRO SOTO ALBA

6. Jailot González Céspedes ing. Informático (Graduado en el ISMM) Departamento: Sector TIC (tecnologías de informática y las comunicaciones Cargo Desarrollador

7 Virgen Cuza Noa Ingeniero en Informática Instituto Superior Minero Metalúrgico de MoA Especialista B Ciencias Computacionales, grupo Desarrollo de Software ESUNI

3.4 Elaboración de la Encuesta.

En este paso se realiza una serie de preguntas que tendrán que estar relacionadas con las deficiencias que fueron erradicadas con el método o metodología que se propone en la investigación. En este caso fueron realizadas siete preguntas que serán respondidas a través de dos gráficas, una evaluará calidad de la metodología y la otra importancia de las características definidas para ser evaluadas. Antes de las preguntas se debe de realizar una breve explicación de lo que se esta proponiendo es decir el por qué, y para qué servirá, para que el experto pueda tener una breve reseña de lo que se esta proponiendo.

3.5 Criterios de Evaluación

Es válido decir antes de presentar los criterios que estos forman parte de las preguntas realizadas a los expertos sobre la metodología. Las letras en negrita al culminar la explicación del criterio será utilizada posteriormente para representar el nombre de los criterios para cada experto en una matriz que se presentará posteriormente con su respectivo valor.

- 1) El modelo es factible a la hora de evaluar las subjetividades implicadas en la evaluación de la calidad del software. **(FSCS)**
- 2) El modelo fuzzifica los dos campos la lógica difusa y la toma de decisiones multicriterio sin perder la esencia y el objetivo por el cual son utilizados es cumplido. **(FCLM)**



- 3) La estructuración jerárquica del modelo multicriterio-difuso es lo suficientemente sencilla y comprensible para el cliente. **(EJMD)**
- 4) Son eliminadas las incongruencias entre evaluadores a la hora de establecer un estándar que sea común para todos y represente el criterio de cada uno de ellos **(EIEC)**
- 5) Que beneficios cree usted que tiene el modelo multicriterio-difuso para la evaluación de la calidad del software. **(BMMD)**
- 6) Se recogen los elementos mínimos sobre los tres campos la lógica difusa, la calidad el software y la toma de decisiones multicriterio para lograr un aceptado nivel de evaluación de calidad. **(LDCM)**
- 7) Importancia de la evaluación de la funcionalidad, confiabilidad usabilidad para determinar la calidad de un producto de software. **(IFCU)**

3.6 Matriz de respuesta con el peso de cada Experto

Crit/Exp	Exp1	Exp2	Exp3	Exp4	Exp5	Exp6	Exp7	PP	PM
(FSCS)	2	1	2	3	2	2	1	1.857	3
(FCLM)	2	2	2	2	2	3	2	2.14	3
(EJMD)	3	3	1	2	1	3	3	2.28	3
(EIEC)	2	2	1	3	1	3	2	2	3
(BMMD)	3	2	2	2	2	2	2	2.14	3
(LDCM)	3	3	1	3	2	3	2	2.42	3
(IFCU)	2	2	2	3	2	2	2	2.14	3

Luego de haber sido recibido la respuesta de cada uno de los expertos se presentó en la gráfica anterior

Leyenda.

Exp Experto, PP Puntuación Promedio, PM Puntuación Máxima, Crit Criterios

En esta matriz de respuesta se representan, los valores que cada uno de los expertos asignó a cada una de los criterios escogidos, para evaluar la calidad de los dos modelos que se propusieron, el de calidad difusa y el multicriterio difuso. Obteniéndose un resultado tanto cualitativo como cuantitativo de los mismos. A continuación se realizara la concordancia de kendall para establecer la



concordancia con respecto a los pesos que cada uno de los expertos dió sobre los criterios de evaluación de los modelos que se definieron.

3.7 Concordancia de Kendall

Procesamiento estadístico de los resultados

Para verificar la significación estadística de los resultados, se utilizó el coeficiente de concordancia de Kendall. El valor del coeficiente de concordancia de Kendall (W) oscila entre 0 y 1. El valor 1 significa una concordancia de juicios total, y el valor 0 un desacuerdo total.

El estadígrafo Kendall W se expresa de la forma siguiente:

$$W = \frac{S}{1/12K^2(N^3 - N) - K \sum T}$$

Donde: S = suma de los cuadrados de las desviaciones observadas de la media de R_j y se calcula mediante la expresión:

$$S = \sum (R_j - \sum R_j / N)^2 \quad T_j = \sum_{i=1}^{g_j} (t_i^3 - t_i),$$

$$\bar{R} = \frac{1}{2}m(n + 1).$$

Donde: K = número de expertos N = numero de factores ordenados (fuentes de información), \bar{R} puntuación promedio luego de haber calculado los R_i, m son los jueces o cantidad de expertos.

T = factor de corrección cuando existen observaciones ligadas, esto responde a que un experto de a misma ponderación a dos fuentes de información.

Donde t_i es el número de categorías atadas en el grupo de categorías atadas el g_j es el número de grupos de cintas en el conjunto de categorías (enfila de 1 a la n) para J de experto.

Matriz de cálculo de Rj y S

Crit/Exp	Exp1	Exp2	Exp3	Exp4	Exp5	Exp6	Exp7	Rj	S
C1	2	1	2	3	2	2	1	13	225
C2	2	2	2	2	2	3	2	15	169
C3	3	3	1	2	1	3	3	16	144
C4	2	2	1	3	1	3	2	14	196
C5	3	2	2	2	2	2	2	15	169
C6	3	3	1	3	2	3	2	17	121
C7	2	2	2	3	2	2	2	15	169
							\bar{R}	28	1193

Cálculo del factor de corrección T

	2,5	1	4,30	3,30	3,50	4,30	1	
		4,3					3	
					4,2		4,8	
			3,75	4,5		3,8		
	6							
		4,5						
$\sum T$	18,59	13,26	10,349	9,939	9,11	10,35	10,8	82,41378125

Luego de realizar todos los cálculos en el Excel de las fórmulas anteriormente expuestas se obtuvieron los siguientes resultados. S (dispersión de la media)

$$S = 14316, \sum T = 82,41 \text{ y } K^2(N^3 - N) - K \sum T = 15887,1 \text{ por lo que}$$

$$W = 14316 / 15887,1$$

$$W = 0,90110825$$

Por el resultado de la concordancia de Kendall anteriormente mostrado se puede decir que existió un alto grado de concordancia en los juicios totales.

3.8 Sugerencias

Experto 1

Se definen correctamente las métricas del modelo jerárquico, se hace una correcta interpretación del Método Analítico Jerárquico (AHP). Se recomienda analizar la factibilidad de la unificación de los pasos 4 y 5 en aras de consolidar la metodología.



Experto 2

Se debe pensar en futura versión, donde se pueda optimizar los pasos, dándole continuidad a este trabajo.

Experto 3

Respecto a la pregunta 7 creo que estos pueden ser los pasos, solo que en el caso del paso 2 y 3 pueden ir en un solo paso, es decir unificar ambos.

Experto 4

Sugerencias: La metodología está muy bien diseñada, no obstante es bueno seguir perfeccionándola, el mundo del software es muy complejo y los sistemas de calidad juegan un papel fundamental. La idea de crear un modelo multicriterio – difuso es favorable debido al nivel de confiabilidad que estos campos proporcionan. Es válido destacar además, que sería muy conveniente seguir estudiando la posibilidad de adicionarles pasos a la metodología que permita perfeccionarla y la vez hacerla más confiable

Experto 5

Este experto sugirió y envió una nueva encuesta para realizarles a los expertos con algunos arreglos para hacer más entendible el procedimiento de entendimiento y respuesta a las preguntas sobre cada uno de los modelos creados.

Experto 6

Pienso que los pasos presentados son idóneos para el objetivo que se persigue lo que se sugiere que en futuras investigaciones no solo sean evaluadas estas métricas sino que también se utilicen las de calidad interna, factores que influyen para determinar la calidad y métricas que puedan medir la complejidad del código utilizado.

Experto 7

Creo que la metodología creada es bastante buena teniendo en cuenta que los campos lógica fuzzy y toma de decisiones multicriterio son relativamente jóvenes pero debería pensarse en futuras investigaciones no solo utilizar este tipo de métrica para evaluar la calidad.



3.9 CONCLUSIONES

En este capítulo se ha utilizado el método de Validación Delphi, para determinar el nivel de aceptación y confiabilidad que tienen los dos modelos propuestos, a través de siete expertos que fueron encuestados, cada uno de ellos emitió un criterio a través de valores numéricos sobre los mismos que responden a lo anteriormente explicado. Se utilizaron dos gráficas una para medir calidad y la otra para medir importancia. Luego atendiendo a los valores que asignaron cada uno de los expertos a los criterios de evaluación de los modelos creados, se determinó la concordancia que hubo entre los expertos encuestados a través del procedimiento estadístico de kendall, también se muestra las sugerencias que cada uno de los expertos encuestados dió para poder mejorar el trabajo.

3.10 CONCLUSIONES GENERALES

En el presenta trabajo se han creado dos modelos para la evaluación de la calidad del software, atendiendo a las deficiencias que se han detectado para evaluar la calidad de un producto, con los campos lógica FUZZY y TDM, obteniéndose un razonamiento aproximado de los distintos niveles de calidad, para las distintas personas seleccionadas para evaluar la misma y con el segundo optimizar las distintas alternativas de soluciones que se presenten condicionadas por los expertos seleccionados, atendiendo a el peso que cada uno de ellos le asigna a los criterios de evaluación. Obteniéndose un modelo multicriterio difuso eficiente a la hora de determinar la calidad de un producto de software.

3.11 RECOMENDACIONES

Se propone que para futuros trabajos se trabajen con otros criterios de evaluación de la calidad del software, pudieran ser métricas de calidad interna, métricas de calidad de uso, factores que determinan la calidad del software, elementos de calidad o las nombradas métricas de complejidad de código. Se podrían usar una mayor cantidad de expertos que por lo menos fueran siete y que estuvieran una experiencia en evaluaciones de calidad del software corroborada por trabajos publicadas en revistas o en publicaciones nacionales de relevancia. También sería de una gran relevancia, implementar el presente trabajo a través de un software,



ya sea utilizando la inteligencia artificial y utilizar como pilar de ayuda al programador los dos modelos que se proponen.

**FICHAS BIBLIOGRAFICAS**

[1] Pressman. , 2001. *Ingeniería de Software*. Quinta Edición. Empresa Poligráfica. Holguín. 293p

[2] Fajardo, Joel, Procedimiento de Evaluación de la calidad del software, Instituto Superior MINERO Metalúrgico de Moa. [Tesis Trabajo de Diploma]. 95p

[3] Columbié, Ricardo, Rafael William, 2009, Evaluación de calidad de Sitios Web, Instituto Superior MINERO Metalúrgico de Moa. [Tesis Trabajo de Diploma]. 98p.

Que es la calidad

[4] de Antonio Jiménez, A Calidad del Software, Apuntes de la Asignatura de Planificación y Gestión del Desarrollo de Sistemas Informáticos, Facultad de Informática, Universidad Politécnica de Madrid, 1999 Consultado el [20110518] en línea Disponible en

<http://ntceis.cujae.edu.cu/documentacion/Clases/Postgrado>

Gestión de la calidad (ISO 9000)

[5] [IEEE, 730-89] es el estándar para la planificación de las actividades de garantía de calidad, mientras que [IEEE, 983-86] es una guía acerca de la aplicación de este estándar. [IEEE, 1012-86], por su parte, estandariza los planes de verificación y validación de software. Consultado el [20110415] Disponible

<http://ntceis.cujae.edu.cu/Documentacion/Clases/Postgrado/Bibliograf>

Norma ISO/IEC 9126

[6] McCall, 77, J.A. McCall, P.K. Richards, G.F. Walters, Factors in Software Quality, RADC-TR-77-369, Rome Air Development Center, United States Air Force, 1977

Conjunto Difuso

[7] Gómez, Galindo. Departamento de Lenguajes y Ciencias de la Computación Universidad de Málaga, *Conjuntos y Sistemas Difusos* (Lógica Difusa y Aplicaciones).

Funciones de Pertenencia

[8] Gómez, Galindo. Departamento de Lenguajes y Ciencias de la Computación Universidad de Málaga, *Conjuntos y Sistemas Difusos* (Lógica Difusa y Aplicaciones)

**Variables Lingüísticas**

[9] Gómez, Galindo. Departamento de Lenguajes y Ciencias de la Computación Universidad de Málaga, *Conjuntos y Sistemas Difusos* (Lógica Difusa y Aplicaciones).

Reglas Difusas.

[10] Martines, Carlos, 2005, *Uso de las Técnicas de Preprocesamiento de Datos e Inteligencia Artificial (Lógica Difusa) en la Clasificación/Predicción del Riesgo Bancario*, 1ed, 200p

Toma de Decisiones Multicriterio

[11] Fernández Barberis, Gabriela M, *Una metodología de ayuda a la toma de decisiones multicriterio*, 1ed, 186p.

El método EIICTREE

[12] Roy B. (1984): The outranking approach and the foundation of EIICTREE methods. En Reading in Multiple Criteria Decision Aid. Editores Bana e Costa

En qué consiste el AHP.

[13] Saaty T (1997): Toma de decisiones para líderes. El proceso analítico jerárquico. La toma de decisiones en un mundo complejo. RWS Publications USA.

El Método Promethee

[14] M. Gento Ángel, Redondo, Alfonso. Comparación del método ELECTRE III y PROMETHEEII, Consultado el [20110302] Disponible en

http://www.adingor.es/Documentacion/CIO/cio2005/item_s/ponencias/83.

Métodos de validación

[15] Joseph Adolf, Guirao, Goris. "*Método de Validación de Contenido de la taxonomía II de la nanda*". Valencia, España. 2004. Consultado el [20110425]

Disponible en

[www.di.ujaen.es/asignaturas/computación estadística/pdf/tema6.pdf](http://www.di.ujaen.es/asignaturas/computación%20estadística/pdf/tema6.pdf)

Método Delphi

[16] López, 2009. *Procedimiento Para la evaluación de proyectos y establecer un orden de prioridades*. Consultado el [20110220]. Disponible en



<http://usbvirtual.usbcali.edu.co/ijpm/images/stories/documento>

Método multicriterio

[17] Hernández, 2007. *Procedimiento Para la evaluación de proyectos y establecer un orden de prioridades*. Consultado el [20110220]. Disponible en <http://usbvirtual.usbcali.edu.co/ijpm/images/stories/>

Sistema Difuso Mamdani

[18] Sánchez Gómez, Raúl, *Inteligencia En Redes de comunicaciones, trabajo optativo*, 2ed, 300p

Sistema Difuso Sugeno Kang

[19] Sánchez Gómez, Raúl, *Inteligencia En Redes de comunicaciones, trabajo optativo*, 2ed, 300p



GLOSARIO DE TERMINOS

AHP Análisis jerárquico de procesos Método Multicriterio utilizado principalmente en problemas que necesiten de realizar una elección descomponiendo un problema en varios subproblemas.

LD Lógica Difusa Lógica Computacional utilizada en un dominio donde existe un alto grado de imprecisión

TDM Toma de decisiones Multicriterio Es utilizada para optimizar recursos en un amplio campo de la vida moderna se utiliza cuando existen al menos dos criterios en conflicto y existen al menos dos alternativas de soluciones

ISO Organización internacional para la estandarización

IEC: Comisión Internacional para la Electrónica

PROMETHEE Método multicriterio utilizado fundamentalmente en problemas que necesiten de una clasificación o elección

ELLECTREE Método multicriterio perteneciente a la escuela francesa presenta varias relaciones íntercriterio e intracriterio que lo diferencian del método promethee utilizado para la elección o clasificación

SBDR Sistemas basados en reglas difusas atendiendo a las características del problema se escogen estos u operadores lógicos difusos

Mamdani Sistema basados en reglas difusas.

TSK Takagi Sugeno Kang es un sistema basado en reglas difusas.

CMMI Norma internacional para evaluar la calidad de software Modelo de integridad madurez y capacidad del software

ISO/IEC 9126 Norma internacional para evaluar la calidad de software

ISW Ingeniería de software

Metodología: Son un conjunto de procedimientos, técnicas y ayudas a la Documentación para el desarrollo de productos software.

Producto: Artefactos que se crean durante la vida del proyecto, como los modelos, código fuente, ejecutables, y documentación

Software: Se refiere a los programas y datos almacenados en un ordenador.



Exp Experto persona que tiene un alto grado de conocimiento sobre un tema específico capaz de emitir un criterio confiable sobre una investigación que se realice.



ANEXO 1

ENCUESTA A LOS EXPERTOS

Cuestionario a Expertos sobre el modelo Multicriterio-Difuso para la Evaluación de la calidad del Software

Objetivo: Determinar el nivel real de calidad del modelo propuesto atendiendo a las respuestas recogidas por expertos en el tema

Usted fue seleccionado como posible experto, teniendo en cuenta su aval y experiencia en el campo objeto de estudio. Se le solicita que responda las siguientes interrogantes con el objetivo de poder llevar a feliz término la investigación. Se le agradece de antemano su cooperación. Muchas Gracias.

Temática que se investiga: Toma de Decisiones Multicriterio para la Evaluación de la calidad del Software utilizando técnicas difusas

Explicación de la metodología:

La presente metodología surge a raíz de imprecisiones, incongruencias y existencia de factores subjetivos presentes en el método de evaluación de la calidad del software utilizando métricas (tener en cuenta que la calidad del software es abstracta condicionado por ser un producto mental no restringido por las leyes de la física o por límites de los procesos de fabricación) con la utilización de la misma se obtendrá un razonamiento aproximado de los diferentes niveles de calidad para cada uno de los expertos encuestados atendiendo al comportamiento que tienen cada uno de los criterios o variables seleccionadas (métricas) condicionadas las mismas por los pesos que cada una de los expertos le asigna a cada una de las subcaracterísticas; a través de un modelo de calidad difuso se obtiene el objetivo que se persigue. La siguiente metodología elimina algunas de las imprecisiones y factores subjetivos determinados en el método de evaluación utilizado. Además de utilizar dos de los campos que más auge han tenido en el mundo actualmente atendiendo a su alto grado de eficacia y reportes de beneficios en problemas con alto grado de imprecisión y conflicto en un dominio determinado en los últimos años. Los pasos de la misma son los siguientes



1. El primero es la selección de la mejor calidad atendiendo a que fueron encuestados varios expertos y es el objetivo principal que se persigue definido desde el punto de vista del método utilizado AHP que representa un modelo jerárquico.
2. El segundo es la identificación de los criterios en este caso se utilizó el método de evaluación métricas (externas) por lo que las variables utilizadas son la funcionalidad, confiabilidad y usabilidad estos criterios o variables condicionan el nivel de calidad.
3. Identificación de los subcriterios cada criterio esta condicionado por subcaracterísticas que son las que determinaran el valor final de cada una de ellas.
4. Recopilación de los expertos: Responde a personas que puedan emitir un criterio confiable y consistente del tema que se esta evaluando
5. Comparación de los criterios: En este paso se comparan los criterios que no son mas que las métricas que se están evaluando para determinar el nivel de importancia de una con respecto a la otra
6. Estándar de calidad: En este paso se elimina una de las subjetividades existentes en la evaluación de la calidad utilizando la tabla de Saaty se representa un estándar de calidad óptimo para todos los expertos y que a la misma vez representa el criterio de cada uno de ellos.
7. Recopilación de los datos: A partir de este paso empieza a jugar su papel el modelo de calidad difuso se utilizan características propias de la lógica difusa para modelar el método (variables lingüísticas, etiquetas lingüísticas funciones pertenencia etc.).
8. Fuzzificación: En este paso se convierten los valores numéricos a valores difusos correspondientes a los conjuntos difusos que fueron definidos los sistemas basados en reglas difusas solo interpretan estos valores entre (0 y 1) valor de pertenencia total (1) valor de pertenencia nulo (0).
9. Reglas difusas: A través de este paso se determinan las acciones que se van a ejecutar en correspondencia al comportamiento de la variable (entiéndase esto como nivel de calidad).
10. Síntesis: Ordenamiento de las alternativas de soluciones



Se utilizaron características propias de la lógica difusa y la toma de decisiones multicriterio sobre este último campo se trabajó con el método análisis jerárquico de proceso o AHP.

ENCUESTA PARA LOS EXPERTOS

- 1) El modelo es factible a la hora de evaluar las subjetividades implicadas en la evaluación de la calidad del software
- 2) El modelo fuzzifica los dos campos la lógica difusa y la toma de decisiones multicriterio sin perder la esencia y el objetivo por el cual son utilizados es cumplido
- 3) La estructuración jerárquica del modelo multicriterio-difuso es lo suficientemente sencilla y comprensible para el cliente
- 4) Son eliminadas las incongruencias entre evaluadores a la hora de establecer un estándar que sea común para todos y represente el criterio de cada uno de ellos
- 5) Que beneficios cree usted que tiene el modelo multicriterio-difuso para la evaluación de la calidad del software.
- 6) Se recogen los elementos mínimos sobre los tres campos la lógica difusa, la calidad del software y la toma de decisiones multicriterio para lograr un aceptado nivel de evaluación de calidad
- 7) Cree usted que los pasos presentados en el modelo son los necesarios para efectuar la evaluación de la calidad del software. Si cree preciso proponer o eliminar alguno menciónelo y explíquelo
- 8) Importancia de la evaluación de la funcionalidad, confiabilidad usabilidad para determinar la calidad de un producto de software.

Las preguntas deben ser respondidas a través de la siguiente manera las preguntas 1 2 3 4 6 con la grafica 1 y la 5 y la 8 con la grafica 2



GRAFICA 1

GRAFICA 2

Significado verbal	Grado de conformidad
Muy bueno	
Bueno	
Regular	
Malo	
X1, X2,X3	Valores intermedios entre los grados

Significado verbal	Grado de conformidad
Muy importante	
Importante	
Leve importancia	
Poca importancia	
X1, X2,X3	Valores intermedios entre los grados

Significado verbal para la GRAFICA 1 (0 malo 1 regular 2 bueno 3 muy bueno)

Significado verbal para la GRAFICA 2 (0 Poca importancia 1 Leve importancia 2Importante 3 Muy importante)

Sugerencias

ANEXO 2

EXPLICACIÓN DE LOS CRITERIOS Y SUBCRITERIOS

Las métricas para la medición de la característica funcionalidad

Las métricas externas de funcionalidad deben ser capaces de medir un atributo como es el comportamiento funcional del sistema en el cual el software está presente. Según [Peña, 2009] estas son:

Métricas de idoneidad

Las métricas externas de idoneidad deben ser capaces de medir un atributo como es la ocurrencia de un funcionamiento insatisfactorio o la ocurrencia de una operación insatisfactoria.

Un funcionamiento u operación insatisfactoria puede ser: Funcionamiento u operación que no se desempeña de la forma especificada en el Manual de usuario o la especificación de requisitos. Funcionamiento u operación que no provee una salida aceptable o razonable al tomar en consideración un objetivo específico de las tareas del usuario.

Métricas de exactitud

Las métricas externas de precisión deben ser capaces de medir un atributo como es la frecuencia con que los usuarios se encuentren con la ocurrencia de una falta de exactitud o de precisión, como pueden ser:

- Resultados incorrecto o imprecisos causados por datos inadecuados; por ejemplo, un dato con pocos dígitos significativos para un cálculo de precisión.
- Inconsistencia entre el procedimiento de operación actual y el descrito en el manual de operación
- Diferencias entre el resultado actual y el razonablemente esperado producto de una tarea ejecutada durante la operación

Métricas de interoperabilidad

Las métricas externas de interoperabilidad deben ser capaces de medir un atributo como es el número de funciones o la ocurrencia de la menor incomunicación que involucre a datos y comandos o instrucciones que se han transferidos entre el



producto de software y otros sistemas, otros productos de software u otros equipos a los cuales está conectado.

Las métricas para la medición de la característica confiabilidad

Las métricas externas de confiabilidad deben ser capaces de medir atributos relacionados con el comportamiento del sistema del cual el software forma parte durante la ejecución de las pruebas para indicar la magnitud de la confiabilidad, o sea, seguridad de funcionamiento del software durante la operación del sistema, con las que en la mayor parte de los casos no se distingue entre el software y el sistema. Ellas son:

Métricas de madurez

Las métricas externas de madurez deben ser capaces de medir un atributo como la exención de fallas en el software, causados por la ocurrencia de fallos existentes en el propio software.

Métricas de tolerancia ante fallos

Las métricas externas de tolerancia ante fallos deben estar relacionadas con la capacidad del software de mantener un nivel de ejecución específico en casos de fallos de operación, o se infrinjan las interfaces especificadas.

Métricas de recuperabilidad

Las métricas externas de recuperabilidad deben ser capaces de medir aquellos atributos como son el software y sistemas capaces de reestablecer su nivel adecuado de ejecución y recuperar los datos directamente afectados en casos de fallos totales.

Las métricas para la medición de la característica usabilidad

Las métricas externas de usabilidad miden la dimensión con que el software puede ser comprendido, estudiado, operado, atractivo y concordante con las regulaciones y guías relativas a la usabilidad.

Resulta recomendable que la evaluación de estas métricas se haga por un grupo (7,8, aunque menores pueden obtener información de utilidad) de usuarios o evaluadores usuarios simulados o clonados (pero representativos de un rango de usuarios) sin que reciban asistencia externa alguna. A continuación se brindan las que en una primera etapa serán objeto de utilización.



Métricas de comprensibilidad

Las métricas externas de comprensibilidad deben ser capaces de valorar cómo un nuevo usuario podría comprender:

- Si el software es idóneo para la aplicación a la cual lo destina.
- Cómo el software puede ser usado para una tarea en particular.

Métricas de cognoscibilidad

Las métricas externas de cognoscibilidad (para medir el grado en que puede ser estudiado) y las de operabilidad (para medir el grado en que puede ser implementado y operado) emplean métodos de aplicación eminentemente de usuarios y no son idóneas para el empleo por terceros en una evaluación de certificación, por lo que no se abordan en el presente trabajo.

Métricas de atracción

Las métricas externas de atracción deben ser capaces de evaluar la apariencia del software, y van a estar influenciadas por factores tales como el color en la pantalla y su diseño.

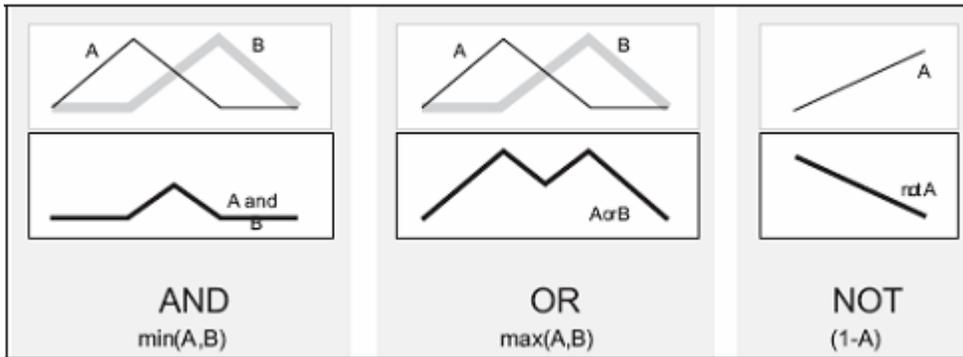
ANEXO 3

OPERADORES LÓGICOS DIFUSOS

En lógica difusa los operadores son identificados como difusos y su correspondencia con los operadores clásicos de la lógica Boolean (unión, intersección y negación), son la función mínimo para intersección, función máximo para unión y función complemento para negación

(Ver Gráfico

Gráfico. Representación de los Operadores Lógicos Difusos



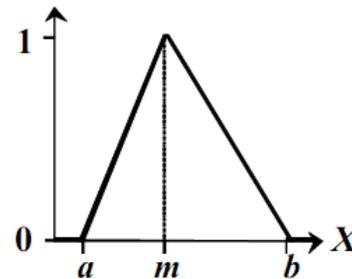
ANEXO 4

FUNCIONES DE PERTENENCIA

Funciones de Pertenencia Típicas:

- **1. Triangular:** Definido por sus límites inferior a y superior b , y el valor modal m , tal que $a < m < b$.

$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ (x-a)/(m-a) & \text{si } x \in (a, m] \\ (b-x)/(b-m) & \text{si } x \in (m, b) \\ 0 & \text{si } x \geq b \end{cases}$$



- También puede representarse así:

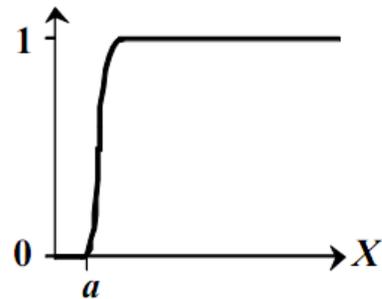
$$A(x; a, m, b) = \max \{ \min \{ (x-a)/(m-a), (b-x)/(b-m) \}, 0 \}$$

3. **Función G** (gamma): Definida por su límite inferior a y el valor $k > 0$.
4. **Función Gaussian:** Definida por su valor medio m y el valor $k > 0$.
5. **Función Trapezoidal:** Definida por sus límites inferior a y superior d , y los límites de su soporte, b y c , inferior y superior respectivamente.

2. **Función Γ (gamma):** Definida por su límite inferior a y el valor $k > 0$.

$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ 1 - e^{-k(x-a)^2} & \text{si } x > a \end{cases}$$

$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ \frac{k(x-a)^2}{1 + k(x-a)^2} & \text{si } x > a \end{cases}$$

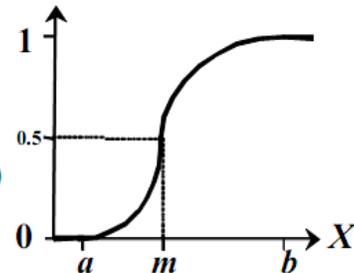


- Esta función se caracteriza por un rápido crecimiento a partir de a .
- Cuanto mayor es el valor de k , el crecimiento es más rápido aún.
- La primera definición tiene un crecimiento más rápido.
- Nunca toman el valor 1, aunque tienen una asíntota horizontal en 1.

- **3. Función S:** Definida por sus límites inferior a y superior b , y el valor m , o punto de inflexión tal que $a < m < b$.

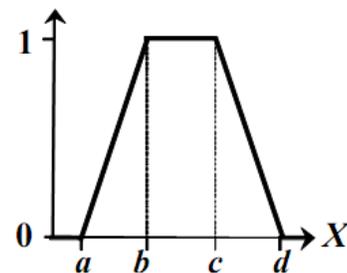
- Un valor típico es: $m = (a+b) / 2$.
- El crecimiento es más lento cuanto mayor sea la distancia $a-b$.

$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ 2 \left\{ \frac{(x-a)}{(b-a)} \right\}^2 & \text{si } x \in (a, m] \\ 1 - 2 \left\{ \frac{(x-b)}{(b-a)} \right\}^2 & \text{si } x \in (m, b) \\ 1 & \text{si } x \geq b \end{cases}$$



- **5. Función Trapezoidal:** Definida por sus límites inferior a y superior d , y los límites de su soporte, b y c , inferior y superior respectivamente.

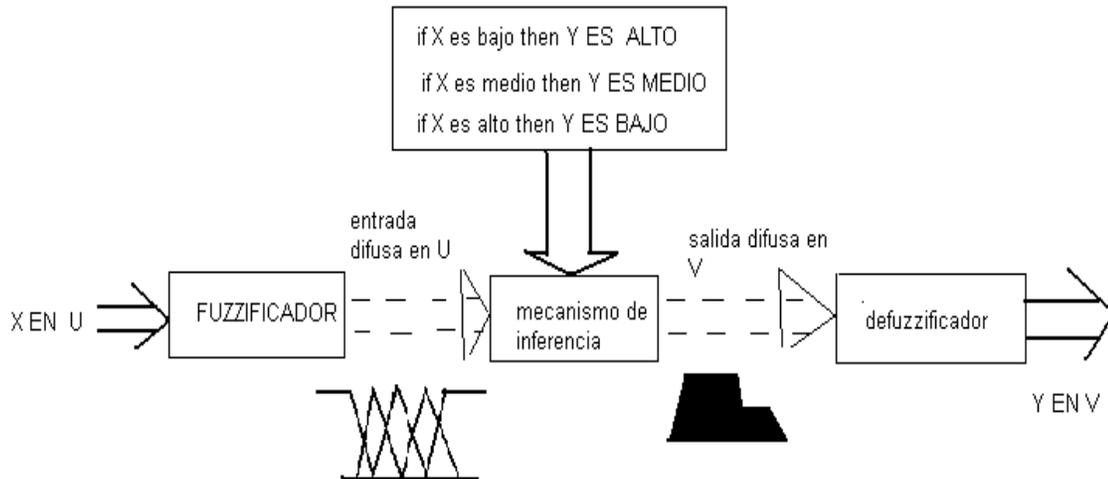
$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } (x \leq a) \text{ o } (x \geq d) \\ (x-a)/(b-a) & \text{si } x \in (a, b] \\ 1 & \text{si } x \in (b, c) \\ (d-x)/(d-c) & \text{si } x \in (c, d) \end{cases}$$



ANEXO 5

SISTEMAS DIFUSO MAMDAMI

En la figura se muestra la configuración básica de un sistema tipo Mamdani



En un sistema difuso tipo Mamdani se distinguen las siguientes partes:

* Fuzzificador

La entrada de un sistema de lógica difusa tipo Mamdani normalmente es un valor numérico proveniente, por ejemplo, de un sensor; para que este valor pueda ser procesado por el sistema difuso se hace necesario convertirlo a un "lenguaje" que el mecanismo de inferencia pueda procesar. Esta es la función del fuzzificador, que toma los valores numéricos provenientes del exterior y los convierte en valores "difusos" que pueden ser procesados por el mecanismo de inferencia. Estos valores difusos son los niveles de pertenencia de los valores de entrada a los diferentes conjuntos difusos en los cuales se ha dividido el universo de discurso de las diferentes variables de entrada al sistema.

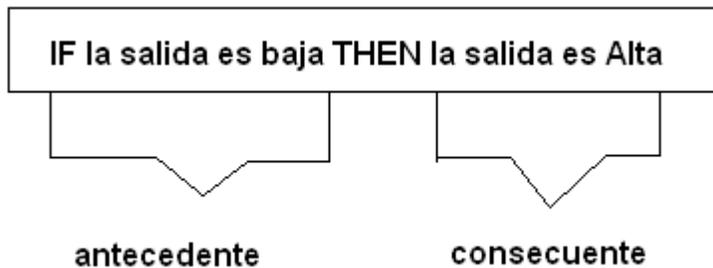
* Mecanismo de inferencia difusa

Teniendo los diferentes niveles de pertenencia arrojados por el fuzzificador, los mismos deben ser procesados para generar una salida difusa. La tarea del sistema de inferencia es tomar los niveles de pertenencia y apoyado en la base de reglas generar la salida del sistema difuso.

* Base de Reglas Difusas

La base de reglas es la manera que tiene el sistema difuso de guardar el conocimiento lingüístico que le permiten resolver el problema para el cual ha sido diseñado. Estas reglas son del tipo IF-THEN.

Una regla de la base de reglas o base de conocimiento tiene dos partes, el antecedente y la conclusión como se observa en la siguiente figura:



En un sistema difuso tipo Mamdani tanto el antecedente como el consecuente de las reglas están dados por expresiones lingüísticas.

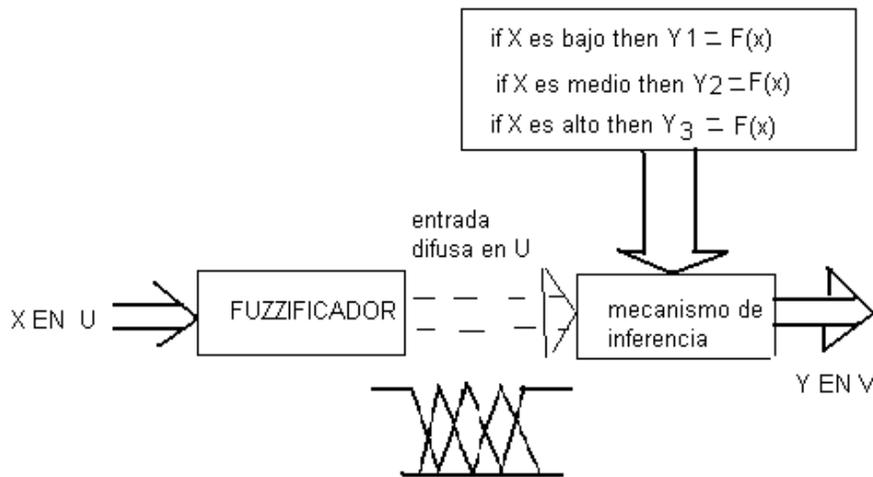
* Defuzzificador

La salida que genera el mecanismo de inferencia es una salida difusa, lo cual significa que no puede ser interpretada por un elemento externo (por ejemplo un controlador) que solo manipule información numérica. Para lograr que la salida del sistema difuso pueda ser interpretada por elementos que solo procesen información numérica, hay que convertir la salida difusa del mecanismos de inferencia; este proceso lo realiza el defuzzificador.

La salida del mecanismo de inferencia es un conjunto difuso, para generar la salida numérica a partir de este conjunto existen varias opciones como el Centro de Gravedad y los Centros Promediados entre otros. **[18]**

ANEXO 6 SISTEMA DIFUSO SUGENO KANG

Otra alternativo de procesamiento en los sistemas difusos fue la propuesta por Sugeno en los sistemas difusos que llevan su nombre.



En los sistemas difusos Sugeno se distinguen las siguientes partes:

* Fuzzificador

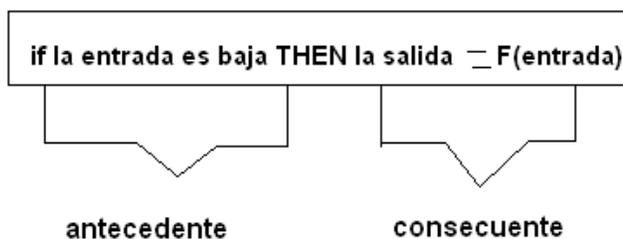
Realiza la misma función que en los sistemas Mamdani explicados anteriormente

* Mecanismo de inferencia difusa

Realiza la misma función que en los sistemas Mamdani explicados anteriormente

* Base de Reglas Difusas

Las reglas de la base de conocimiento de un sistema Sugeno es diferente a las de los sistemas Mamdani pues el consecuente de estas reglas ya no es una etiqueta lingüística sino que es una función de la entrada que tenga el sistema en un momento dado, esto se ilustra a continuación:



En los sistemas difusos tipo Sugeno, los valores que arrojan los consecuentes de las diferentes reglas que se han activado en un momento determinado ya son valores numéricos, por lo que no se necesita una etapa de defuzzificación.



Para calcular la salida del sistema difuso se ponderan los diferentes consecuentes teniendo en cuenta el valor que se activó el antecedente de cada una de las reglas, para un sistema con dos reglas la salida del sistema difuso sería:

$$y = \frac{w_1 y_1 + w_2 y_2}{w_1 + w_2}$$

$$y_1 = f_1(x)$$

Cálculo de la Salida de un Sistema Difuso Sugeno en este caso: $y_2 = f_2(x)$

Serían las funciones que permiten calcular el consecuente de cada una de las dos reglas implicadas.

Hasta ahora en este epígrafe se han expuesto los aspectos principales de la llamada lógica difusa o lógica de aproximación con sus aspectos mas determinantes; para la comprensión de cómo relacionar este tema con la evaluación de calidad de un producto de software a través de uno de los modelos difusos explicados anteriormente ahora se analizara en que consiste la toma de decisión multicriterio y sus diferentes formas de resolución. [19]

ANEXO 7

METODO ELLECTREE

Entre los métodos más importantes de la toma de decisiones se encuentran los métodos basados en la relaciones de superioridad (out ranking) Dentro de estos métodos los más relevantes son los denominados métodos ELECTRE considerados una filosofía ya que implementa el concepto de relación " out ranking" o de superioridad. Para desarrollarlos introduce cuatro relaciones fundamentales:

- Indiferencia (I): (a I b) existen claras y positivas razones para considerar que las alternativas son equivalentes.
- Preferencia estricta (P): (a P b) existen claras y positivas razones para justificar que una de las dos alternativas es significativamente preferida a la otra.



- Preferencia débil (Q): (a Q b) una de las dos alternativas no es estrictamente preferida a la otra, pero es imposible decir que sean indiferentes, de ahí que la preferencia sea débil de una con respecto a la otra.
- Incomparables (R): (a R b) las alternativas son incomparables en el sentido que ninguna de las tres situaciones anteriores predomina.

Esta filosofía también admite la existencia de umbrales de indiferencia * y umbrales de preferencia **.

Se admiten umbrales de indiferencia:

a I b sí y sólo si $|g_j(a) - g_j(b)| \leq q_j$

a P b sí y sólo si $g_j(a) \geq g_j(b) + p_j$

a Q b sí y sólo si $q_j < g_j(a) - g_j(b) < p_j$

Donde: q_j : umbral de indiferencia p_j : umbral de preferencia estricta

Entonces: a S_j b sí y sólo si $g_j(a) \geq g_j(b) - q_j$.

ANEXO 8

METODO PROMETHEE

Los métodos PROMETHEE fueron propuestos por primera vez en el año 1982 (J.P. Brans, 1982). Desde entonces se han realizado numerosos desarrollos y adaptaciones complementarias a dichos métodos. Los métodos PROMETHEE ayudan al decidor tanto en problemas de elección como en problemas de clasificación y se basan en tres etapas:

1. Enriquecimiento de la estructura de preferencia: Esta etapa es esencial. La noción de criterio generalizado, definido a partir de una función de preferencia, se introduce con el fin de tener en cuenta la amplitud de la diferencia existente entre las evaluaciones de dos alternativas según los distintos criterios. Esta noción es fácilmente comprensible para el decidor, debido a que todos los parámetros que se necesitan para definir de forma correcta los criterios tienen una interpretación física o económica.



2. Enriquecimiento de la relación de dominancia: Tiene en cuenta el conjunto de criterios propuestos. Para cada par de acciones, se establece un índice de preferencia global de una acción sobre la otra.

3. Ayuda a la decisión: el método PROMETHEE I permite obtener un ordenamiento parcial de las alternativas.

Podemos definir de qué manera preferiremos una alternativa a otra utilizando la función $P_j(a, b)$ llamada función de preferencia para el criterio j , que se basa en la diferencia existente entre dos evaluaciones $d_j(a, b) = f_j(a) - f_j(b)$.

Esta función de preferencia tiene las siguientes características:

$P_j(a, b) = 0$	si	$d_j(a, b) \leq 0$	No preferencia
$P_j(a, b) \approx 0$	si	$d_j(a, b) > 0$	Preferencia débil
$P_j(a, b) \approx 1$	si	$d_j(a, b) \gg 0$	Preferencia fuerte
$P_j(a, b) = 1$	si	$d_j(a, b) \gg \gg 0$	Preferencia estricta

El par $\{f_j(\cdot), P_j(a, b)\}$ se denomina criterio generalizado asociado al criterio ' $f_j(\cdot)$ '.

Si $d_j(a, b) \leq 0$, $P_j(a, b)$ es nulo, pero $P_j(b, a)$ puede ser positivo. A fin de considerar toda la recta real, y no sólo la parte positiva, se introduce la función de preferencia $H_j(d_j)$:

El método PROMETHEE I construye un ordenamiento parcial a partir de la intersección de dos preordenes:

$$\begin{aligned}
 aP^{(1)}b &\Leftrightarrow \begin{matrix} aS^+b & y & aS^-b \\ aS^+b & y & aI^-b \\ aI^+b & y & aS^-b \end{matrix} \\
 aI^{(1)}b &\Leftrightarrow \begin{matrix} aI^+b & y & aI^-b \end{matrix} \\
 aR^{(1)}b &\text{ en cualquier otro caso}
 \end{aligned}$$

Dónde $(P^{(1)}, I^{(1)}, R^{(1)})$ designan respectivamente la preferencia, la indiferencia o la incomparabilidad entre las acciones. Los resultados posibles de la comparación entre dos acciones son los siguientes:



$aP^{(1)}b$: a es preferida a b; en este caso a es más fuerte que b y b más débil que a. La información proporcionada por los dos flujos de superación (de entrada y de salida) va en el mismo sentido y puede ser considerada como segura. Se considera que en este caso es riguroso decir que a es preferida a b.

$aI^{(1)}b$: a y b son indiferentes; la potencia y la debilidad de a y b son iguales. No hay en este caso ninguna información que permita preferir una de las dos alternativas sobre la otra.

$aR^{(1)}b$: a y b son incomparables; en este caso, la mayor fuerza de una de las alternativas es compensada por la menor debilidad de la otra. La información proporcionada por los dos flujos de superación (de entrada y de salida) es contradictoria. En este caso la responsabilidad de decidir entre una acción u otra pertenece al decidor.

Con el método PROMETHEE I algunas acciones permanecen incomparables sólo las preferencias establecidas sólidamente y confirmadas por los dos flujos de superación son presentadas al decidor.

ANEXO 9

MÉTODOS ANÁLISIS JÉRARQUICO DE PROCESOS (AHP)

Fue desarrollado a finales de los 60 por Thomas Saaty, quien a partir de sus investigaciones en el campo militar y su experiencia docente formuló una herramienta sencilla para ayudar a las personas responsables de la toma de decisiones. Su simplicidad y su poder han sido evidenciados en las cientos de aplicaciones en las cuales se han obtenido importantes resultados y en la actualidad, es la base de muchos paquetes de software diseñados para los procesos de tomas de decisiones complejas. Además, ha sido adoptado por numerosas compañías para el soporte de los procesos toma de decisiones complejas e importantes. El AHP es una metodología para estructurar, medir y sintetizar. Ha sido aplicado ampliamente en la solución de una gran variedad de



problemas. El AHP, mediante la construcción de un modelo jerárquico, permite de una manera eficiente y gráfica organizar la información respecto de un problema, descomponerla y analizarla por partes, visualizar los efectos de cambios en los niveles y sintetizar. El AHP “se trata de desmenuzar un problema y luego unir todas las soluciones de los subproblemas en una conclusión” (Thomas Saaty, 1997)

El AHP se fundamenta en la estructuración del modelo jerárquico (representación del problema mediante identificación de meta, criterios, subcriterios y alternativas) Priorización de los elementos del modelo jerárquico; Comparaciones binarias entre los elementos; Evaluación de los elementos mediante asignación de “pesos”; Ranking de las alternativas de acuerdo con los pesos dados; Síntesis; Análisis de Sensibilidad.

El AHP es una herramienta metodológica que ha sido aplicada en varios países para incorporar las preferencias de actores involucrados en un conflicto y/o proceso participativo de toma de decisión.

Conceptualmente, la metodología se basa en los siguientes pasos:

- a) El modelamiento del problema a través de una estructura jerárquica, o de redes en su versión más reciente. El modelo que contiene el objetivo de la decisión, los criterios a través de los cuales se expresa ese objetivo, con sus descomposiciones en mayor detalle, según requerimientos del problema, y las alternativas a evaluar.
- b) Un proceso para derivar el cálculo de las preferencias entre los componentes, basado en la construcción de matrices de comparaciones de pares, a las que se les aplica el operador vector propio para derivar los pesos de los criterios, y su correspondiente valor propio, para determinar la consistencia de dichas preferencias.
- c) Por último, un proceso de síntesis multilínea, que entrega el ranking cuantitativo de las alternativas los fundamentos del AHP, son la capacidad de incorporar aspecto tanto cuantitativos como cualitativos, elemento vital pues en la



mayoría de las decisiones hay elementos cualitativos que suelen tener una participación o peso importante, sobre todo a nivel estratégico, una sólida base teórica que respalda y valida los resultados, y una aplicación importante del concepto de métrica. La trascendencia de esto último, ha sido ratificada por Peter Druker en su famosa frase “Para evaluar hace falta medir, no sirve contar”.

Este es el método que se utilizo en la presente investigación puesto de que es el que mejor se puede utilizar en el caso de la evaluación de la calidad y mas fácil a la hora de trabajar con el atendiendo a las características que brinda el mismo



INDICE DE TABLAS

TABLA 1 DE SAATY

ESCALA NUMERICA	ESCALA VERBAL	EXPLICACION
1.0	Ambos elementos son de igual importancia	Ambos elementos contribuye con la propiedad en igual forma
3.0	Moderada importancia de un elemento sobre otro	La experiencia y el juicio favorece a un elemento sobre otro
5.0	Fuerte importancia de un elemento sobre otro	Un elemento es fuertemente favorecido
7.0	Muy fuerte importancia de un elemento sobre otro	Un elemento es muy fuertemente favorecido
9.0	Extrema importancia de un elemento sobre otro	Un elemento es favorecido por lo menos con un orden de magnitud de diferencia
2.0,4.0,6.0,8.0	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes	Usados como valores de consenso entre dos juicios
INCREMENTOS DE 0.1	Valores intermedios en la graduación mas fina de 0.1 (por ejemplo 7.3 es entrada valida)	Usados para graduaciones mas finas entre dos juicios

Esta tabla es utilizada para establecer los valores de preferencia entre un criterio y otro.

TABLA 2 IMPORTANCIA RELATIVA ENTRE CRITERIOS

Criterios	CRITERIO 1	CRITERIO 2	CRITERIO 3	Vector
Criterio 1	Crit1/Crit1	Crit1/Crit2	Crit1/Crit3	
Criterio 2	Crit2/Crit1	Crit2/Crit2	Crit2/Crit3	
Criterio 3	Crit3/Crit1	Crit3/Crit2	Crit3/Crit3	
Sumatoria				

TABLA 3 IMPORTANCIA RELATIVA ENTRE CRITERIOS CON RESPECTO A UNA ALTERNATIVA

Alternativa	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Vector
Criterio 1	Crit1/Crit1	Crit1/Crit2	Crit1/Crit3	
Criterio 2	Crit2/Crit1	Crit2/Crit2	Crit2/Crit3	
Criterio 3	Crit3/Crit1	Crit3/Crit2	Crit3/Crit3	
Sumatoria				

TABLA 4 IMPORTANCIA RELATIVA ENTRE ALTERNATIVAS CON RESPECTO A UN CRITERIO

Criterio	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Vector
Alternativa 1	Alter1/ Alter1	Alter1/ Alter2	Alter1/ Alter3	
Alternativa 2	Alter2/ Alter1	Alter2/ Alter2	Alter2/ Alter3	
Alternativa 3	Alter3/ Alter1	Alter3/ Alter2	Alter3/ Alter3	
Sumatoria				