

UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERIA ELÉCTRICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de
Ingeniero Eléctrico

PROYECTO TÉCNICO DE INVESTIGACIÓN:

**“EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE CONSECUENCIA DE LA FALLA
FINAL DE UN TRANSFORMADOR DE POTENCIA USANDO
LÓGICA DIFUSA BASADA EN CRITERIO EXPERTO”**

AUTORES:

CHRISTIAN ADRIÁN FARFÁN MINCHALA

DIEGO MAURICIO MARÍN ZÚÑIGA

TUTOR:

ING. DIEGO CHACÓN TROYA, MDHD

Cuenca – Ecuador

Julio, 2017

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Christian Adrián Farfán Minchala con C.I. 0104741624 y Diego Mauricio Marín Zúñiga con C.I. 0104631593, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación “EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE CONSECUENCIA DE LA FALLA FINAL DE UN TRANSFORMADOR DE POTENCIA USANDO LÓGICA DIFUSA BASADA EN CRITERIO EXPERTO”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Electrico en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando en la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, julio del 2017

Christian Adrián Farfán Minchala

CI: 0104741624

Diego Mauricio Marín Zúñiga

CI: 0104631593

CERTIFICADO

Yo declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE CONSECUENCIA DE LA FALLA FINAL DE UN TRANSFORMADOR DE POTENCIA USANDO LÓGICA DIFUSA BASADA EN CRITERIO EXPERTO” desarrollado por: Christian Adrián Farfán Minchala y Diego Mauricio Marín Zúñiga, obteniendo el Proyecto técnico de investigación, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, julio del 2017



Ing. Diego Chacón Troya, Mdhd

CI: 190026816-8

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros Christian Adrián Farfán Minchala con CI 0104741624 y Diego Mauricio Marín Zúñiga con CI 0104631593, autores del trabajo de titulación “EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE CONSECUENCIA DE LA FALLA FINAL DE UN TRANSFORMADOR DE POTENCIA USANDO LÓGICA DIFUSA BASADA EN CRITERIO EXPERTO”, certificamos que el total contenido del Proyecto técnico de investigación es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, julio del 2017



Christian Adrián Farfán Minchala

CI: 0104741624



Diego Mauricio Marín Zúñiga

CI: 0104631593

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Efrén y Julia, que gracias a su apoyo y consejos he logrado superarme y ser la persona que hoy en día soy, una persona que lucha por sus metas sin importar las barreras y caídas que se presenten en el camino, ya que siempre existirá una nueva oportunidad para levantarse y seguir. A mis hermanos Andrés y Dieguito que son los seres humanos más hermosos que dios me regalo.

Christian Adrián Farfán Minchala

DEDICATORIA

Para ti aunque estés lejos, siempre estás en mi mente y mi corazón Angélica, para mi madre, mi padre, mi hermano y mis sobrinos que han sido mi inspiración para seguir adelante en este maravilloso camino llamado vida.

Gracias a la poderosa ley de la atracción que me ha llevado muy lejos y lo seguiré haciendo, y al poder eterno de “yo soy”.

Diego Mauricio Marín Zúñiga

AGRADECIMIENTOS

Eternamente agradecidos con Dios por estar siempre ahí y darnos la fuerza necesaria para seguir adelante, a nuestros padres por brindarnos principalmente amor y gran apoyo lo cual ha sido inspiración y motivación para el desarrollo de este proyecto, a nuestros tutores Ing. Diego Chacón Troya, Mhd e Ing. Ricardo Medina por brindar sus conocimientos y experiencia de forma generosa para el desarrollo y la finalización de este proyecto.

Christian Adrián Farfán Minchala

Diego Mauricio Marín Zúñiga

RESUMEN

El presente proyecto plantea una herramienta para el análisis del Factor de Consecuencia (F.C.), con el fin de evaluar el impacto de la indisponibilidad de un transformador de potencia debido a su falla final, perteneciente a una Empresa de Distribución, que opere dentro de los siguientes rangos: potencias desde 6.6 MVA hasta 165 MVA, tensiones desde 6.3 kV hasta 500 kV.

En el Capítulo 1 se exponen los objetivos y la metodología a ser usada, mientras que en la Capitulo 2 se presentan los fundamentos teóricos necesarios para el desarrollo del proyecto.

En el Capítulo 3, se determinan los indicadores y establecen los escenarios necesarios para la evaluación del F.C. en base a: i) Seguridad del Sistema, ii) Factor de Redundancia, iii) Impacto Ambiental iv) Seguridad Publica. Además se diseñan encuestas que sirven para la aplicación del método Delphi, las cuales permiten determinar el conjunto de expertos, que posteriormente serán los que validen los pesos lingüísticos de los escenarios y las reglas difusas propuestos para cada indicador.

En el Capítulo 4, se procesan los datos de las respuestas emitidas por los expertos ante las encuestas planteadas. Los escenarios para cada indicador son agrupados en quintiles y cuartiles mediante variables lingüísticas, con las que posteriormente se determinaron las funciones de membresía necesarias para la evaluación del factor de consecuencia. Además, se formulan un conjunto de reglas difusas de todas las combinaciones posibles de los indicadores de entrada, las cuales conlleven a una consecuencia (nivel de impacto). La validación de las reglas propuestas para cada indicador de igual manera se realiza mediante el análisis estadístico del criterio emitidos por los expertos.

En la Capitulo 5, se integran los indicadores y las reglas difusas validadas mediante el usó la herramienta FIS EDITOR de Matlab, el cual permite realizar la evaluación de este factor, en base a los distintos escenarios establecidos. Los resultados son analizados, comparados y validados con otra metodología vigente, usada por otra empresa del sector eléctrico.

En el Capítulo 6, se presentan las conclusiones de esta metodología propuesta para obtener un índice de consecuencia de los Transformadores de Potencia analizados, de acuerdo a su impacto técnico-económico, social y ambiental.

ABSTRACT

The present project presents a tool for the analysis of the Consequence Factor (CF), in order to evaluate the impact of the unavailability of a power transformer due to its final fault, belonging to a Distribution Company, operating within the Next ranges: powers from 6.6 MVA to 165 MVA, voltages from 6.3 kV to 500 kV.

Chapter 1 sets out the objectives and the methodology used, while Chapter 2 presents the theoretical foundations necessary for the development of the project.

In Chapter 3, the indicators are determined and the necessary scenarios for the evaluation of the CF are established. Based on: i) System Security, ii) Redundancy Factor, iii) Environmental Impact iv) Public Security. In addition, we design the surveys that are used to use the Delphi method, which allow us to determine the set of experts, who later validate the language weights of the scenarios and the diffuse rules proposed for each indicator.

In Chapter 4, the data of the answers emitted by the experts before the surveys are processed. The scenarios for each indicator are grouped into quintiles and quartiles using linguistic variables, with which the member functions necessary for the evaluation of the consequence factor were subsequently determined. In addition, a set of rules is composed of all possible combinations of input indicators, which led to a consequence (impact level). The validation of the rules is proposed for each indicator in the same way is performed by the statistical analysis of the criteria issued by the experts.

In Chapter 5, the indicators and diffused validated rules are integrated using the FIS EDITOR tool of MATLAB, which allows the evaluation of this factor, based on the different scenarios established. The results are analyzed, compared and validated with other current methodology used by another company in the electricity sector.

In Chapter 6, we present the conclusions of the proposed methodology to obtain a consequence index of the Power Transformers analyzed, according to their technical-economic, social and environmental impact.

PREFACIO

Los principales problemas en el SSEE se da en la calidad, confiabilidad, y seguridad con la que este debe contar, dependiendo en un gran porcentaje del estado en el que se encuentren los Transformadores de Potencia y la prioridad que representa en el SSEE, siendo uno de los activos físicos más importantes para el Sistema Eléctrico de Potencia debido a su alto costo e importancia, ya que pueden alcanzar hasta el 60% del total de la inversión. Es por ello que las decisiones que se tomen sobre cada Transformador en caso de su falla deben ser las más acertadas, por ejemplo si se toma una correcta decisión sobre que Transformador actuar estos índices tienden a ser óptimos y eficientes, pero si se toma una mala decisión estos índices tienden a disminuir, pudiendo converger en un problema no solo técnico-económico sino también social y ambiental.

En Ecuador actualmente empresas del Sector Eléctrico están trabajando para contar con una planificación adecuada de la gestión de sus activos entre ellos los Transformadores de Potencia, enfocada en manejar diferentes técnicas de análisis para verificar el estado interno de los transformadores, por ejemplo análisis del aceite. Sin embargo estas técnicas descartan factores de consecuencia externos que se producen ante su falla final y las consecuencias significativas que podría tener no solo para el Transformador, sino también afectaciones:

- a) **Económicas:** asignación de presupuestos, sobre-inversión en los Transformadores de menor prioridad y sub-inversión en otros de Potencia de mayor prioridad, penalizaciones, inversión en compra de energía.
- b) **Técnicas:** envejecimiento acelerado de unidades, sub-utilización de equipos, Energía no Suministrada (ENS), etc.
- c) **Sociales:** Energía eléctrica con baja calidad, desconexión prolongada de clientes, pérdidas materiales/humanas en el caso de explosiones de transformadores.
- d) **Ambientales:** daño al entorno por accidentes, incendios, derrame de aceite, etc.

Por lo que surge la necesidad de desarrollar una herramienta fiable y eficaz que permita integrar las consecuencias externas dadas por la falla final del Transformador de Potencia. Esta herramienta está basada en el estado del arte y centrada en una metodología cualitativa-cuantitativa mediante lógica difusa que permite obtener un índice de consecuencia. Y de esta manera, mejorar la toma de decisiones en cuanto a la urgencia con la que se deberá actuar sobre el Transformador en caso de su falla, dicha decisión dependerá de la importancia que tenga sobre el SSEE. Dicho esto si una empresa del sector eléctrico cuenta con una adecuada metodología que les ayude a tomar una decisión más acertada y en el momento adecuado, garantizará una mejor viabilidad técnica-económica, ambiental y social.

Tabla de contenido

Índice de Figuras	XIII
Índice de Tablas.....	XIV
Índice de Graficas.....	XVI
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 GRUPO OBJETIVO.....	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.2.1 Objetivo general	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 METODOLOGIA APLICADA.....	2
2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	3
2.1 GESTIÓN DE ACTIVOS.....	3
2.1.1 Gestión de Transformadores de Potencia.....	3
2.2 ESQUEMA DE VALORACIÓN DE RIESGO.....	4
2.2.1 Factor de consecuencia.....	5
2.3 LÓGICA DIFUSA	6
2.3.1 Funciones de pertenencia	7
2.3.2 Inferencia difusa.....	7
2.3.3 Método de inferencia Mamdani	8
2.3.4 Diagrama de Bloques de un Sistema de Lógica Difusa	8
2.3.5 Diagrama de inferencia mediante técnica Mamdani	9
2.4 PROSPECTIVA EN ENTORNOS DE IMPRESIÓN	10
2.4.1 Características de los métodos de prospectiva	12
2.4.2 Sistemas Expertos	12
2.5 METODO DELPHI	13
2.5.1 Características del Método Delphi	14
2.5.2 Estructura Metodológica Delphi	14
2.5.3 Proyectos basados en la Metodología Delphi.....	18
3 DETERMINACION DE INDICADORES Y CONJUNTO DE EXPERTOS PARA LA APLICACIÓN DEL METODO DELPHI.....	19
3.1 Determinación de Indicadores para evaluación del F.C.	19
3.1.1 Determinación de Escenarios para los Indicadores	20
3.1.2 Diagrama de Flujo Delphi para validación de Reglas e Indicadores.....	26
3.2 Fase de Preparación	27
3.2.1 Diseño de Encuestas.....	27
3.2.2 Selección de Expertos	27
3.3 Fase de Consenso.....	32
3.3.1 Condición de Consenso de la Primera Ronda	32
3.3.2 Condición de Consenso de la Segunda Ronda	32
4 ESTRUCTURACIÓN DE FUNCIONES DE MEMBRESIA Y APLICACIÓN DEL METODO DELPHI PARA VALIDACION DE LOS ESCENARIOS DE LOS INDICADORES Y REGLAS DIFUSAS	33
4.1 Procesamiento de Datos.....	33

4.1.1	Validación de Indicadores	34
4.2	Formulación y Validación de Reglas Difusas.....	43
4.2.1	Formulación de Reglas Difusas.....	43
4.2.2	Validación de Reglas Difusas.....	47
4.2.3	Comparación y Optimización de Reglas Difusas	51
4.3	Determinación de las Funciones de Membresía para la evaluación del F.C. ...	52
5	SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	58
5.1	Implementación de Parámetros y Análisis del Factor de Consecuencia en el Fuzzy Logic de Matlab (FIS)	58
5.1.1	Ingreso de Indicadores, Funciones de Membresía y Reglas Difusas en el FIS EDITOR	58
5.1.2	Simulación y Análisis de Resultados.	62
5.2	Comparación de Metodologías	81
5.2.1	Características de la herramienta a comparar.....	81
5.2.2	Características de la herramienta basada en criterio experto.....	81
5.2.3	Análisis de resultados de las metodologías	82
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	86
7	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	87
8	ANEXOS.....	89
8.1	ENCUESTA PARA VALIDACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE LAS REGLAS DIFUSAS E INDICADORES	89
8.1.1	Índice de competencia experta	90
8.1.2	Validación de escenarios de los indicadores en base a criterio experto.	92
8.1.3	Validación de escenarios de reglas difusas en base a criterio experto.	97

Índice de Figuras

Figura 2-1 . Acciones en la gestión del activo transformador	4
Figura 2-2. Esquema para la valoración del Índice de Riesgo del Transformador	5
Figura 2-3 Matriz de Riesgo.....	5
Figura 2-4 Lógica difusa vs lógica clásica	6
Figura 2-5 (a). Función de Membresía Triangular (b). Función de Membresía Trapezoidal	7
Figura 2-6 (a). Func. de Memb. Trapezoidal - ∞ (b). Func. de Memb. Trapezoidal + ∞ ...	7
Figura 2-7 Esquema general de un Sistema de Lógica Difusa	8
Figura 2-8.Estructura básica de inferencia de Mamdani. [11].....	10
Figura 2-9 Prospectiva del Factor de Consecuencia de la Falla Final de un Transformador de Potencia ..	11
Figura 2-10. Proceso del Método Delphi Sistematizado	14
Figura 3-1 Evolución de los Relés de Protección. [24]	25
Figura 4-1 Ilustración de la separación mínima para transformadores sumergidos en aceite con pared contra fuego [25]	39
Figura 4-2 Propiedades de un conjunto Fuzzy	52
Figura 4-3 Propiedades de la intersección de 2 conjuntos Fuzzy.....	53
Figura 5-1 Menú Principal de Fuzzy Toolbox, FIS EDITOR	59
Figura 5-2 Bloque principal de Fuzzy Toolbox, ingresado las entradas y salidas de evaluación del F.C. .	59
Figura 5-3 Selección de operadores Lógicos	59
Figura 5-4Funciones de membresía ingresadas para los indicadores Potencia Desconectada en el Membership Function Editor.....	60
Figura 5-5 Funciones de Membresía para la Salida “Factor de Consecuencia” en el Membership Function Editor.....	60
Figura 5-6 Ventana del Editor de Reglas, Rules Editor.....	61
Figura 5-7 Reglas Difusas Validadas, en el Rules Editor.....	62
Figura 5-8 Ventana de Simulación del FIS EDITOR	63
Figura 5-9 Modificación del escenario de análisis en el Rules.....	63
Figura 5-10 Análisis del comportamiento de la salida frente a 2 variables de entrada, análisis realizado en el Surface.....	64
Figura 5-11 Comportamiento de la variable de entrada i versus la salida	64
Figura 5-12 Comportamiento de la variable de entrada i+1 versus la salida.....	64
Figura 5-13 Punto de referencia (barra roja) usado para compensación del Weight de las reglas.	66
Figura 5-14 Ubicación de la barra central para obtener el mínimo F.C. del sistema.....	79
Figura 5-15 Ubicación de la barra central para obtener el máximo F.C. del sistema	80

Índice de Tablas

TABLA 2-1 NIVELES IMPORTANCIA POR PENALIZACIÓN DE ACUERDO AL DAIC Y FAIC	13
TABLA 2-2 ESCALA DE VALORES QUE AUTOEVALÚA EL COEFICIENTE DE CONOCIMIENTO (Kc).....	16
TABLA 2-3 ESCALA DE VALORES PARA CALCULAR EL COEFICIENTE DE ARGUMENTACIÓN (Ka).....	16
TABLA 3-1 INDICADORES VERSUS LOS IMPACTOS QUE PRODUCEN POR FALLA DEL TRANSFORMADOR.....	20
TABLA 3-2 ESCENARIOS DE SOBRECARGA DE EQUIPOS PARA LA VALIDACIÓN MEDIANTE DELPHI.....	21
TABLA 3-3 ESCENARIOS DE CARGAS SENSIBLES PARA LA VALIDACIÓN MEDIANTE DELPHI	22
TABLA 3-4 NIVELES DE VOLUMEN DE ACEITE DE ACUERDO A SU POTENCIA.....	23
TABLA 3-5 ESCENARIOS DE PROXIMIDAD DE CONSTRUCCIONES PARA LA VALIDACIÓN MEDIANTE DELPHI	24
TABLA 3-6 LIMITES ADMISIBLES PARA ÍNDICES CALIDAD TÉCNICO SUBETAPA 1	24
TABLA 3-7 ESCENARIOS DE RELÉS DE PROTECCIÓN PARA LA VALIDACIÓN MEDIANTE DELPHI.....	26
TABLA 3-8 EXPERTOS PARA VALIDACIÓN DE REGLAS E INDICADORES	28
TABLA 3-9 DISTRIBUCIÓN DEL Kc DEL CONJUNTO DE EXPERTOS	28
TABLA 3-10 ESCALA DE VALORES PARA DETERMINACIÓN DEL KA.....	29
TABLA 3-11 DISTRIBUCIÓN DEL KA DEL CONJUNTO DE EXPERTOS	30
TABLA 3-12 DISTRIBUCIÓN DEL K DEL CONJUNTO DE EXPERTOS	31
TABLA 4-1 NIVELES DE IMPORTANCIA PARA LOS ESCENARIOS DEL INDICADOR ANALIZADO.....	33
TABLA 4-2 NIVELES DE IMPACTO DADO LA FALLA FINAL DEL TRANSFORMADOR.....	34
TABLA 4-3 GRADO DE PONDERACIÓN PARA RESPUESTAS DE EXPERTOS.....	34
TABLA 4-4 ANÁLISIS DEL IQR PARA LOS ESCENARIOS DE S.E.	35
TABLA 4-5 ANÁLISIS DE LA VALIDACIÓN POR EXPERTOS PARA LOS ESCENARIOS DE S.E.....	35
TABLA 4-6 NIVELES DE IMPORTANCIA DE ACUERDO AL EFECIÓN POR SOBRECARGA.	35
TABLA 4-7 ANÁLISIS DE LA VALIDACIÓN POR EXPERTOS PARA LOS ESCENARIOS DE P.D.	36
TABLA 4-8 NIVELES DE IMPORTANCIA DE ACUERDO A LA POTENCIA DESCONECTADA.	36
TABLA 4-9 ANÁLISIS DEL IQR PARA LOS ESCENARIOS DE C.S.	37
TABLA 4-10 ANÁLISIS DE LA VALIDACIÓN POR EXPERTOS PARA LOS ESCENARIOS DE C.S.....	37
TABLA 4-11 NIVELES DE IMPORTANCIA DE ACUERDO A LA CONFIABILIDAD DE LA CARGA.....	38
TABLA 4-12 NIVELES DE IMPORTANCIA DE ACUERDO AL VOLUMEN DE ACEITE.....	38
TABLA 4-13 CRITERIO DE SEPARACIÓN DE CONSTRUCCIONES, PARA TRANSFORMADORES SUMERGIDOS EN ACEITE CON PARED CONTRA FUEGOS.....	39
TABLA 4-14 ANÁLISIS DE LA VALIDACIÓN POR EXPERTOS PARA LOS ESCENARIOS DE P.C.....	40
TABLA 4-15 NIVELES DE DISTANCIA MÍNIMA EN FUNCIÓN DEL VOLUMEN DE ACEITE.....	40
TABLA 4-16 NIVELES IMPORTANCIA POR PENALIZACIÓN DE ACUERDO AL DAIC Y FAIC.	41
TABLA 4-17 ANÁLISIS DEL IQR PARA LOS ESCENARIOS DE R.	42
TABLA 4-18 ANÁLISIS DE LA VALIDACIÓN POR EXPERTOS PARA LOS ESCENARIOS DE R.....	42
TABLA 4-19 NIVELES DE ACTUACIÓN (RAPIDEZ) DE ACUERDO AL TIPO DE RELÉ.....	42
TABLA 4-20 REGLAS DIFUSAS FORMULADAS PARA LA EVALUACIÓN DEL F.C.....	46
TABLA 4-21 ANÁLISIS DEL IQR PARA LOS ESCENARIOS DE V.A. – P.C.....	47
TABLA 4-22 ANÁLISIS DE LA VALIDACIÓN POR EXPERTOS PARA LAS REGLAS DE V.A. – P.C.	47
TABLA 4-23 ANÁLISIS DEL IQR PARA LOS ESCENARIOS DE P.D. – S.E.....	48
TABLA 4-24 ANÁLISIS DE LA VALIDACIÓN POR EXPERTOS PARA LAS REGLAS DE P.D. – S.E.	48
TABLA 4-25 ANÁLISIS DEL IQR PARA LOS ESCENARIOS DE P.D. – C.S.	49
TABLA 4-26 ANÁLISIS DE LA VALIDACIÓN POR EXPERTOS PARA LAS REGLAS DE P.D. – C.S.	49
TABLA 4-27 ANÁLISIS DEL IQR PARA LOS ESCENARIOS DE V.A. – R.	50
TABLA 4-28 ANÁLISIS DE LA VALIDACIÓN POR EXPERTOS PARA LAS REGLAS DE V.A. – R.....	50
TABLA 4-29 ANÁLISIS DEL IQR PARA LOS ESCENARIOS DE C.S. – R.....	50
TABLA 4-30 ANÁLISIS DE LA VALIDACIÓN POR EXPERTOS PARA LAS REGLAS DE C.S. – R.	51
TABLA 4-31 METODOLOGÍA DE AGRUPACIÓN DE REGLAS DIFUSAS CON IGUAL F.C.	51

TABLA 4-32 PARÁMETROS DE S.E. PARA LAS FUNCIONES DE MEMBRESÍA.....	54
TABLA 4-33 PARÁMETROS DE P.D. PARA LAS FUNCIONES DE MEMBRESÍA.	54
TABLA 4-34 PARÁMETROS DE C.S. PARA LAS FUNCIONES DE MEMBRESÍA.	55
TABLA 4-35 PARÁMETROS DEL V.A. PARA LAS FUNCIONES DE MEMBRESÍA.....	55
TABLA 4-36 PARÁMETROS DE P.C. PARA LAS FUNCIONES DE MEMBRESÍA.	56
TABLA 4-37 PARÁMETROS DE P. PARA LAS FUNCIONES DE MEMBRESÍA.	56
TABLA 4-38 PARÁMETROS DE R. PARA LAS FUNCIONES DE MEMBRESÍA.....	57
TABLA 4-39 PARÁMETROS DEL F.C. PARA LAS FUNCIONES DE MEMBRESÍA.	57
TABLA 5-1 ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO CUALITATIVO DEL FACTOR DE CONSECUENCIA.....	68
TABLA 5-2 RANGOS DEL F.C. PARA EL NIVEL DE SOBRECARGA.....	69
TABLA 5-3 RANGOS DEL F.C. PARA EL NIVEL DE POTENCIA DESCONECTADA.....	69
TABLA 5-4 RANGOS DEL F.C. PARA EL NIVEL DE CONFIABILIDAD DE LA CARGA	70
TABLA 5-5 RANGOS DEL F.C. PARA EL NIVEL DE VOLUMEN DE ACEITE	71
TABLA 5-6 RANGOS DEL F.C. PARA EL NIVEL DE DISTANCIA.....	72
TABLA 5-7 RANGOS DEL F.C. PARA EL NIVEL DE ENS.....	73
TABLA 5-8 RANGOS DEL F.C. PARA EL NIVEL DE ACTUACIÓN	74
TABLA 5-9 DETERMINACIÓN DEL Δ PARA LA SENSIBILIDAD DE INDICADORES.....	80
TABLA 5-10 PONDERACIÓN DE ESCENARIOS PARA METODOLOGÍA POR ECUACIÓN.....	82
TABLA 5-11 EVALUACIÓN DE IMPORTANCIA ESTRATÉGICA DE LOS TRANSFORMADORES	82
TABLA 5-12 RANGOS PARA DETERMINAR PRIORIDAD DEL TRANSFORMADOR	82
TABLA 5-13 CONVERSIÓN DE I.E. PARA PRIORIZACIÓN DE TRANSFORMADORES	83
TABLA 5-14 EVALUACIÓN DEL FACTOR DE CONSECUENCIA DE LOS TRANSFORMADORES	83
TABLA 5-15 CONVERSIÓN DE F.C. PARA PRIORIZACIÓN DE TRANSFORMADORES.....	84
TABLA 5-16 PRIORIZACIÓN DE TRANSFORMADOR POR METODOLOGÍA	84

Índice de Graficas

Grafica 3-1 Diagrama de Flujo del Método Delphi Modificado para validación de Reglas e indicadores	27
Grafica 3-2 Distribución porcentual del K de los Expertos	32
Grafica 4-1 Funciones de Membresía para S.E.	54
Grafica 4-2 Funciones de Membresía para P.D.	54
Grafica 4-3 Funciones de Membresía para C.S.	55
Grafica 4-4 Funciones de Membresía para V.A.	55
Grafica 4-5 Funciones de Membresía para P.C.	56
Grafica 4-6 Funciones de Membresía para P.	56
Grafica 4-7 Funciones de Membresía para R.	57
Grafica 4-8 Funciones de Membresía para evaluación de salida del F.C.	57
Grafica 5-1 Diagrama de Flujo realizado para compensación del Sistema	67
Grafica 5-2 Comportamiento del factor de consecuencia versus el nivel de Sobrecarga.	69
Grafica 5-3 Comportamiento del factor de consecuencia versus el nivel de potencia desconectada.....	70
Grafica 5-4 Comportamiento del factor de consecuencia versus el nivel de confiabilidad de la carga.	71
Grafica 5-5 Comportamiento del factor de consecuencia versus el nivel de volumen de aceite	72
Grafica 5-6 Comportamiento del factor de consecuencia versus el nivel de distancia	73
Grafica 5-7 Comportamiento del factor de consecuencia versus penalizaciones	74
Grafica 5-8 Comportamiento del factor de consecuencia versus el nivel de actuación del Relé.....	75
Grafica 5-9 Comportamiento de la superficie de salida para los indicadores S.E. – P.D.	76
Grafica 5-10 Comportamiento de la superficie de salida para los indicadores S.E. – C.S.	76
Grafica 5-11 Comportamiento de la superficie de salida para los indicadores C.S.- R.	77
Grafica 5-12 Comportamiento de la superficie de salida para los indicadores V.A.- P.C.	78
Grafica 5-13 Comportamiento de la superficie de salida para los indicadores V.A.- R.	78
Grafica 5-14 Matriz de riesgo de transformadores por metodología de ecuación	85
Grafica 5-15 Matriz de Riesgo de transformadores por metodología de criterio experto.....	85

1 INTRODUCCIÓN

El análisis de factor de consecuencia en transformadores de potencia está dentro de la gestión de estos activos, para el sector eléctrico es de vital importancia tener una gestión organizada y bien estructurada mediante análisis estadístico y predictivo de estos activos la cual tiene gran influencia en parámetros como son: económico, social, político, ambiental, etc. Este análisis destaca mayor confiabilidad en el momento de tomar una decisión, determinar un índice de consecuencia en los activos o transformadores de potencia mejora el panorama de población de estos activos, este índice es un fundamento base para priorizar o jerarquizar a los transformadores, lo cual da como efecto un ahorro económico, y previene riesgos humanos, pérdidas innecesarias, etc.

1.1 GRUPO OBJETIVO

La siguiente investigación tendrá impacto sobre las empresas del área eléctrica las cuales trabajen con Transformadores de Potencia.

Uno de los ejes fundamentales en el cumplimiento de una empresa, organización, industria, etc., es una correcta gestión de la misma, y dentro de la misma está la gestión de sus activos. Uno de los activos físicos más importantes de una empresa del sector eléctrico son los transformadores de potencia debido a que juegan un papel importante, ya que a la hora de gestionar o tomar una decisión para los mismos se puede dar mayores o menores gastos económicos importantes.

Países que manejan su propio sistema de gestión de activos como Alemania y en Sudamérica Argentina han sido inspiración para realizar un estudio y crear un sistema de mejora que se pueda implementar dentro del sistema de gestión que maneja las empresas del sector eléctrico en el Ecuador.

En Ecuador existen ciertos sistemas de gestión para estos activos, pero se ha comprobado que no existen en la actualidad estudios y análisis más minuciosos o profundizados puntualmente en el análisis de las consecuencias post-falla del Transformador, ya que sabiendo esta consecuencia como un índice (de forma porcentual o numérica) se puede tomar una decisión de manera rápida, segura, con mayor confiabilidad y certeza, esto evitará sobre-inversiones, subinversiones, o en general inversiones innecesarias que trae como consecuencias gastos económicos fuertes para la empresa.

Esto permitirá jerarquizar las unidades en función de su importancia y con ello priorizar las acciones de mantenimiento y reducir costos y pérdidas innecesarias tanto para la empresa de distribución, usuarios, y el estado. El análisis del factor de consecuencia es nuevo en el medio local, no ha sido aplicado en Ecuador.

Estos gastos han creado una barrera importante dentro del sector eléctrico, afectando así al crecimiento económico de la empresa, por lo que se ha considerado crear e implementar un sistema para mejorar la gestión de estos activos, con el fin de reducir gastos e incrementar eficiencia en la calidad y continuidad en el servicio de distribución de energía eléctrica .

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Evaluar el índice de consecuencia de la falla de un transformador de potencia usando lógica difusa basada en criterio experto

1.2.2 Objetivos específicos

1. Recopilar datos necesarios respecto al factor de consecuencia de un parque de transformadores de una empresa del sector eléctrico
2. Estructurar todas las reglas posibles que puedan tener alguna consecuencia después de la post-falla del transformador
3. Determinar una metodología de integración para cada una de las condiciones o reglas establecidas para este activo en función de su consecuencia.
4. Validar la metodología propuesta
5. Comparar los resultados obtenidos con otra empresa que contenga un plan de evaluación y metodología parecida.

1.3 METODOLOGIA APLICADA

Se determina un grupo de reglas basadas en criterio experto, realizando encuestas a personal que laboran en entidades que administran, mantienen u operan TP, esto es para obtener la importancia relativa de cada indicador para evaluar el índice de consecuencia de cada activo, para ello se desarrolla una metodología de integración basada en lógica difusa que permita obtener una ponderación para cada activo.

El procesamiento de los datos adquiridos se realiza en una herramienta software basado en Matlab, con el cual se obtiene resultados del factor de consecuencia, las mismas que se adaptan al sistema eléctrico local, se compara la metodología basada en criterio experto con otra metodología propuesta que está basada en funciones matemáticas. Se valida la metodología con la cual se permita al administrador del parque de transformadores tomar decisiones para su empresa con mayor certeza.

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 GESTIÓN DE ACTIVOS

La Gestión de activos tiene sus inicios en los años 90 en la producción petrolera del mar del norte. Definiéndose a la gestión de activos como un conjunto de actividades y prácticas, las cuales estén manejadas de manera óptima y eficiente por una organización empresarial. [1]

La palabra activo es catalogado como todo aquello que represente o tenga un valor importante para la organización, sea este tangible o intangible, entre los que podemos mencionar: equipos o bienes físicos, estructura corporativa, entre otros. [2]

La gestión de activos en empresas del sector eléctrico, están enfocadas principalmente en la gestión de sus bienes físicos. Entre los cuales tenemos a los Transformadores de Potencia (TP), que tienen una baja tasa de degradación. Cabe mencionar que un TP es un activo de capital intensivo, debido a que sus costos de adquisición pueden llegar a ser decenas de veces superior a los costos de operación y mantenimiento. [2]

2.1.1 Gestión de Transformadores de Potencia

Se menciona en [1], que en la actualidad existen más de 400.000 TP en todo el mundo, además que cada uno de ellos puede representar el 60% de la inversión de una Subestación y ser un activo fundamental dentro de un Sistema de Suministro de Energía Eléctrica (SSEE). Por mencionar el costo promedio de un TP de 100MVA puede alcanzar los 2 millones de dólares para ser remplazado y tomar de 18 a 24 meses su reposición.

La gestión de un TP tiene como objetivo la obtención de su máximo beneficio, garantizando su operación bajo riesgos aceptables. A lo largo del ciclo de vida de un TP se pueden realizar diferentes acciones entre ellas adquirir, reubicar, reparar, desechar y remplazar, o no hacer nada. Acciones que deberán ser tomadas por el gestor del TP, al cual le nacen algunas inquietudes como: ¿Dónde y cuándo se debe tomar la acción?, ¿Cuál de las acciones es la mejor? ¿Cuál es el costo económico de cada acción?, ¿Cuáles son las consecuencias de cada acción?, entre otras. [1] [2]

Por ello al momento de tomar una decisión, el gestor del TP debe tener claro el riesgo de cada acción y los costos que estos pueden generar en cada uno de los escenarios futuros, dado la actual condición del TP.

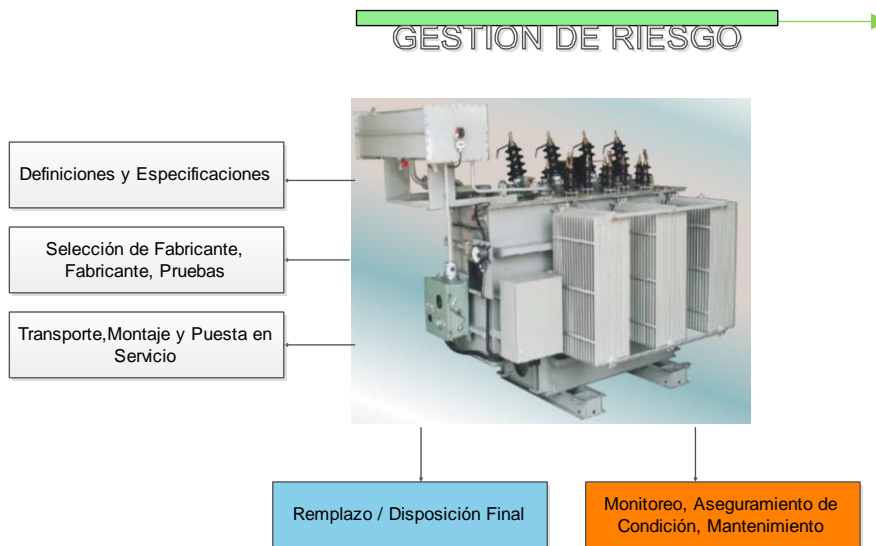


Figura 2-1 . Acciones en la gestión del activo transformador

Fuente Diagrama basado en [1]

De acuerdo a la Figura 2-1 las acciones que se realizan para la gestión de un TP son varias, de las cuales, la correcta toma de decisiones del gestor del TP dependerá el cómo se gestione su riesgo, para nuestra investigación en el caso de su falla final se intentara brindar al gestor del TP una herramienta que permita facilitar la toma de una decisión correcta en función del Factor de Consecuencia.

2.2 ESQUEMA DE VALORACIÓN DE RIESGO

Para la valoración del riesgo se define el índice de riesgo TRI (Transformer Risk Index) del TP, [3] el mismo que está compuesto por dos elementos de riesgo:

La Probabilidad de Falla, (PF), que se estima a través de la evaluación de la condición del TP,

El Factor de Consecuencia, (CF), el cual está fundamentado en la premisa de que todo TP fallará en el futuro, luego las consecuencias de la falla pueden ser estimadas. [4]

El TRI nos entrega un valor útil de referencia, ej., para establecer una relación ordenada de la población de TP's que pertenecen a un SSEE. La determinación del TRI no sólo depende de información individual del TP, sino también de características globales del sistema en el que se encuentra operando. La Figura 2-2 presenta un esquema metodológico para la valoración del TRI, donde el análisis del tema de investigación se centrará en el Índice de Consecuencia.

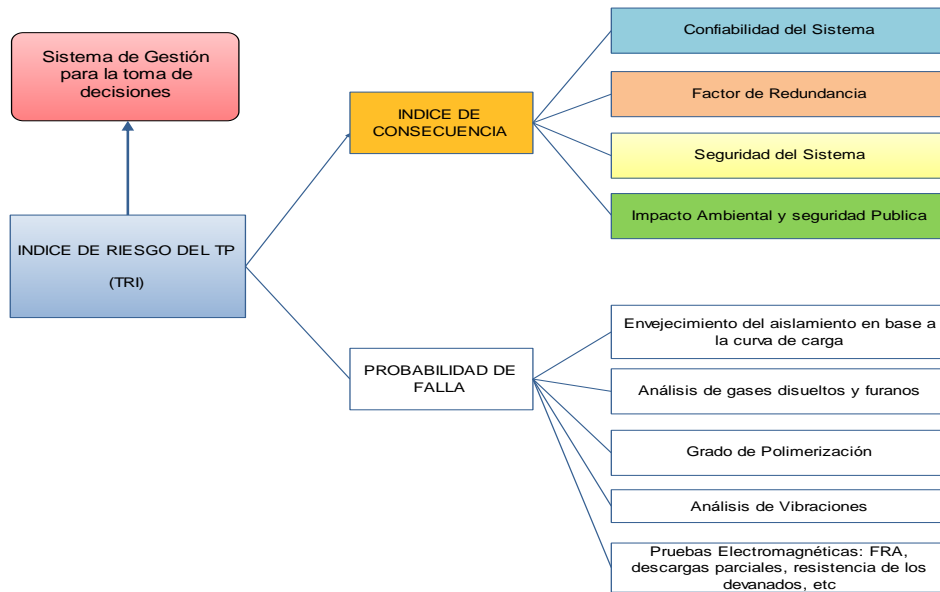


Figura 2-2. Esquema para la valoración del Índice de Riesgo del Transformador

Fuente Diagrama basado en [1]

2.2.1 Factor de consecuencia

El factor de consecuencia es un análisis económico, basado en la premisa de que todo activo fallará en el futuro. Cabe mencionar que las consecuencias post-falla varía de acuerdo a cada transformador basado en su tamaño y posición en el sistema eléctrico, su carga asociada, etc. Algunas de las variables consideradas para el cálculo de este factor son: Confiabilidad del sistema, Factor de redundancia, Seguridad del sistema e Impacto ambiental y Seguridad pública. Con el fin de mantener o reducir el riesgo, el administrador debe tomar acciones correctivas en función del estado del transformador [4]. En la Figura 2-3 se presenta una matriz en la que se evalúa el riesgo de la ocurrencia de un evento en función del Factor de Consecuencia, valorados de manera cualitativa – cuantitativa.

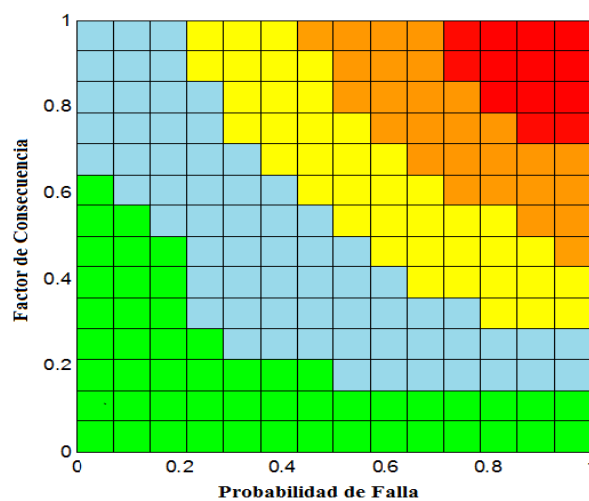


Figura 2-3 Matriz de Riesgo

Fuente Autores

2.3 LÓGICA DIFUSA

La palabra “difuso” trata de una definición vaga o incierta, es decir no tan clara, [5] por ejemplo un vaso que no está completamente vacío ni completamente lleno, puede interpretarse como un vaso medio lleno o un vaso medio vacío, el cuestionamiento sería: ¿Qué tan vacío está? Con esto llegamos a una incertidumbre, es decir una interpretación difusa, o que no tiene una propiedad exacta o precisa, lo difuso hace que esta propiedad o pertenencia varíe con mayor o menor peso, y no sólo teniendo las opciones de “falso” o “verdadero”.

La lógica difusa trabaja con conceptos valorados con cierta veracidad que están en un conjunto de valores que varían entre 0 y 1 permitiendo a su vez que elementos de un universo asuman grados de pertenencia a un conjunto por medio de una función característica, esta lógica trabaja con casos que no son cien por ciento ciertos ni cien por ciento falsos, y esta se sitúa en la lógica de los multivalores, [6, 7], un sistema de lógica difusa es un grupo no lineal de datos de ingreso el cual será mapeado para dar una salida de datos escalar. [8]

Dicha información borrosa o difusa trabaja con las variables de entrada las cuales son enunciadas como conjuntos para luego combinarlas mediante reglas para definir acciones, como por ejemplo: si la temperatura es baja entonces calentar mucho.

Lofti A. Zadeh, da a conocer su famoso ejemplo de la altura de una persona, para representar la misma, por ejemplo en la lógica clásica un hombre alto pertenece al conjunto de “hombres altos” solo si el valor de su medida es superior a un valor establecido, una medida inferior al valor establecido no pertenecería al conjunto de “hombres altos”. Pero en realidad este ejemplo en la vida real no es tan cierto, una diferencia mínima en la altura como por ejemplo de dos centímetros no tendría mucha lógica, por ello se puede asignar un grado de pertenencia al conjunto de “hombres altos” siendo esta la forma que trabaja la lógica difusa, la cual usa funciones que definen un salto o transición para tener un porcentaje de pertenencia en el conjunto de hombres “altos” y/o “no altos”, como ejemplo tenemos a una persona que mide 1.82 metros la cual podría tener un grado 0.85 de pertenencia, una persona que mida 1.74 metros podría tener un grado de pertenencia de 0.78 y una persona que mida 1.55 metros con un grado de 0.2 [6]. La visión de la lógica clásica y la difusa se puede ver en la Figura 2-4.

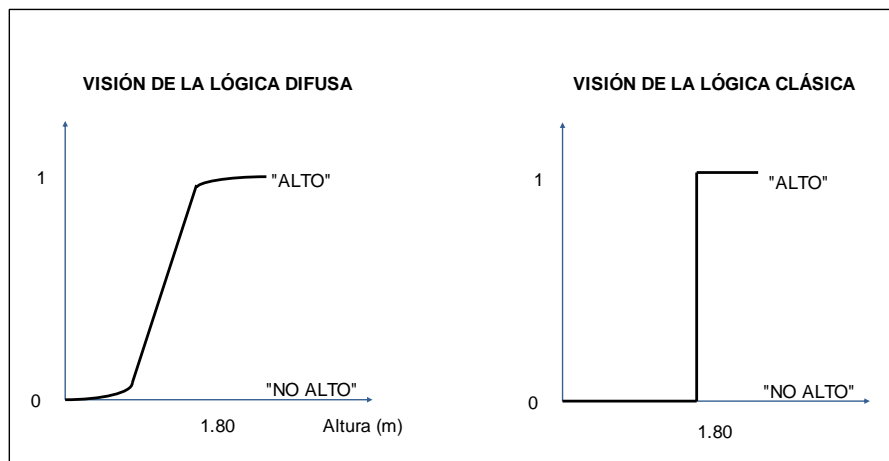


Figura 2-4 Lógica difusa vs lógica clásica

Fuente Diagrama basado en [6]

Mediante la función característica $\mu_A(\mathbf{x})$ se mide y define el grado de pertenencia del valor de x , la cual se asocia al conjunto difuso y lo hace cuando tenemos un valor de un elemento o variable de ingreso en un conjunto difuso A , dicho valor tendrá un grado de pertenencia. [6]

2.3.1 Funciones de pertenencia

Las funciones de pertenencia o membresía nos permiten representar gráficamente un conjunto borroso. En el eje “x” (abscisas) se representa el universo de discurso, mientras que en el eje “y” (ordenadas) se sitúan los grados de pertenencia en el intervalo [0,1].

Las funciones de membresía representan el grado de pertenencia de un elemento a un conjunto definido por una etiqueta. Las formas más comunes por su sencillez y manejabilidad son: [9]

Función triangular: viene definida por un límite inferior a , un límite superior b , y un valor m tal que $a < m < b$, ver Figura 2-5 (a).

Función trapezoidal: viene definida por un límite inferior a , un límite superior d , un límite de soporte inferior b , y un límite de soporte superior c , tal que $a < b < c < d$, ver Figura 2-5 (b).

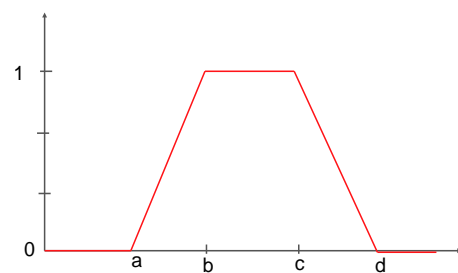
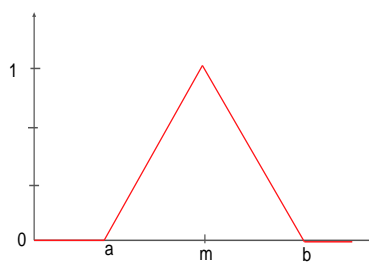


Figura 2-5 (a). Función de Membresía Triangular

(b). Función de Membresía Trapezoidal

Existen dos casos particulares de la función trapezoidal, las denominadas funciones R y L:

- Funciones R: con parámetros $a = b = -\infty$, ver Fig. 2-(a)
- Funciones L: con parámetros $c = d = +\infty$, ver Fig. 2-(b)

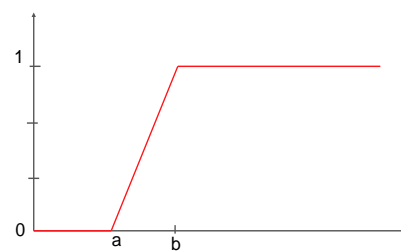
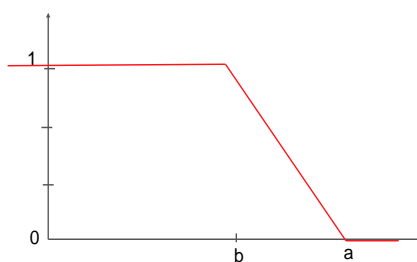


Figura 2-6 (a). Func. de Memb. Trapezoidal $-\infty$

(b). Func. de Memb. Trapezoidal $+\infty$

2.3.2 Inferencia difusa

Un sistema de inferencia borrosa (FIS, Fuzzy Inference System en inglés) es una forma de transformar un espacio de entrada en un espacio de salida utilizando lógica borrosa.

Los FIS tratan de formalizar, mediante lógica difusa, un conjunto de proposiciones de la forma

IF-THEN y se llaman también reglas difusas las cuales se modelan para resolver problemas de la siguiente forma:

“si u es A entonces v es B”

Las letras A y B son los conjuntos difusos definidos en los rangos de “u” y “v” respectivamente. [6]

Se utilizan para resolver un problema de decisión, esto es, tomar una decisión y actuar en consecuencia.

2.3.3 Método de inferencia Mamdani

Los modelos difusos de Mamdani sobresalen por su mayor interpretabilidad, de ahí que estos modelos se empleen frecuentemente para extraer reglas descriptivas del funcionamiento de sistemas, o como predictores lingüísticamente comprensibles. Gracias al conocimiento de un experto este método permite la creación de controladores llamados también controladores heurísticos basados en dicho conocimiento. Estos controladores propiciaron el primer gran auge de la lógica borrosa gracias a su capacidad de controlar sistemas complejos en base a predicados lingüísticos obtenidos de un experto, y sin requerir el modelado matemático de la planta. [10]

2.3.4 Diagrama de Bloques de un Sistema de Lógica Difusa

El esquema de un sistema basado en técnicas de lógica difusa se presenta en la Figura 2-7

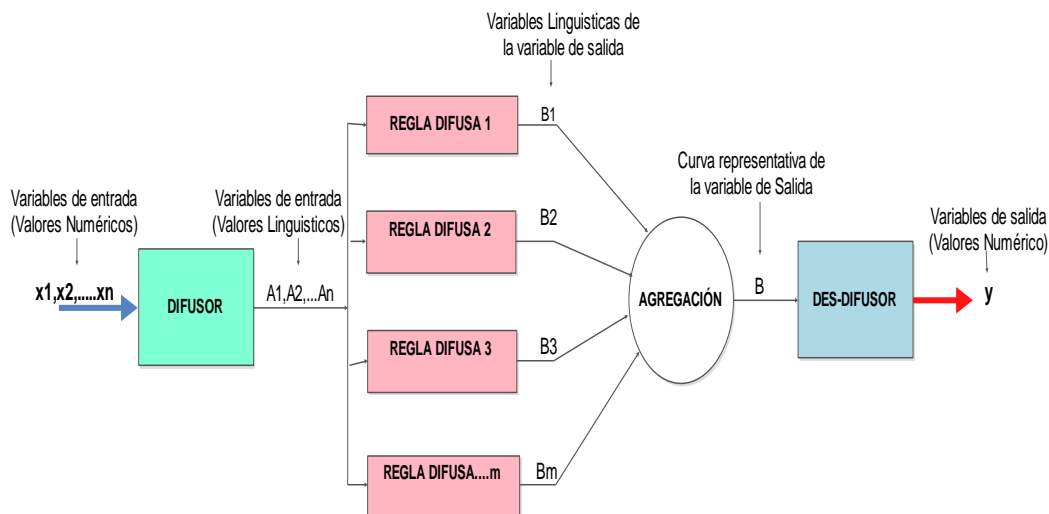


Figura 2-7 Esquema general de un Sistema de Lógica Difusa

Fuente Diagrama basado en [8]

2.3.4.1 Bloque difusor

En este bloque a los conjuntos de entrada difusa se les asignan grados de membresía 0 o 1, las cuales son interpretadas mediante funciones de membresía, estas funciones dependen del caso a analizar. Los datos de ingreso de este bloque son de tipo “crisp” o valores únicos. La salida del bloque también es representado mediante valores lingüísticos, los cuales serán datos de entrada en el Bloque de inferencia.

2.3.4.2 Bloque de Inferencia

En este bloque existen reglas difusas de la estructura SI-ENTONCES que puede ser expresado de la siguiente forma:

si x_1 es A_1 y x_2 es A_2 y x_m es A_m Entonces y es B

Este tipo de reglas relacionan los conjuntos difusos de entrada con los de salida

2.3.4.3 Bloque de Agregación Lógica

En este bloque se realiza la traducción o evaluación matemática de la información que reflejan las reglas difusas del bloque de inferencia. El bloque de agregación permite obtener un único conjunto de salida, mediante la agregación de hallar el máximo de las funciones de pertenencia de los conjuntos de salida (OR) o mediante la suma algebraica de las funciones de pertenencia de los conjuntos de salida.

2.3.4.4 Desdifusor

Bloque en el cual a partir del conjunto de salida del bloque de agregación lógica se obtiene un valor numérico de salida, es decir, el resultado.

Se aplican métodos matemáticos. Un ejemplo sencillo es:

- Método del Centroide

Utiliza como salida del sistema, el centro de gravedad de la función característica de salida, con lo cual se logra obtener un valor cuantitativo. [6]

- Método del Máximo.

Hallando el valor al que corresponde el máximo de la función de pertenencia del conjunto de salida del bloque de agregación.

2.3.5 Diagrama de inferencia mediante técnica Mamdani

En Figura 2-8 se presenta un ejemplo del uso del método de Mamdani empleando tres reglas difusas.

Estas reglas usan como variables lingüísticas x (financiación del proyecto), y (plantilla del proyecto) y z (riesgo). Los conjuntos definidos sobre el dominio de X son A_1 ; A_2 ; A_3 (inadecuado, marginal, adecuado), sobre el dominio de Y B_1 ; B_2 (pequeña, grande) y sobre el universo del discurso de Z son C_1 ; C_2 y C_3 (bajo, normal y alto). Reglas:

1) R1: IF x is A_3 OR y is B_1 THEN z is C_1

2) R2: If x is A_2 AND y is B_2 THEN z is C_2

3) R3: IF x is A_1 THEN z is C_3

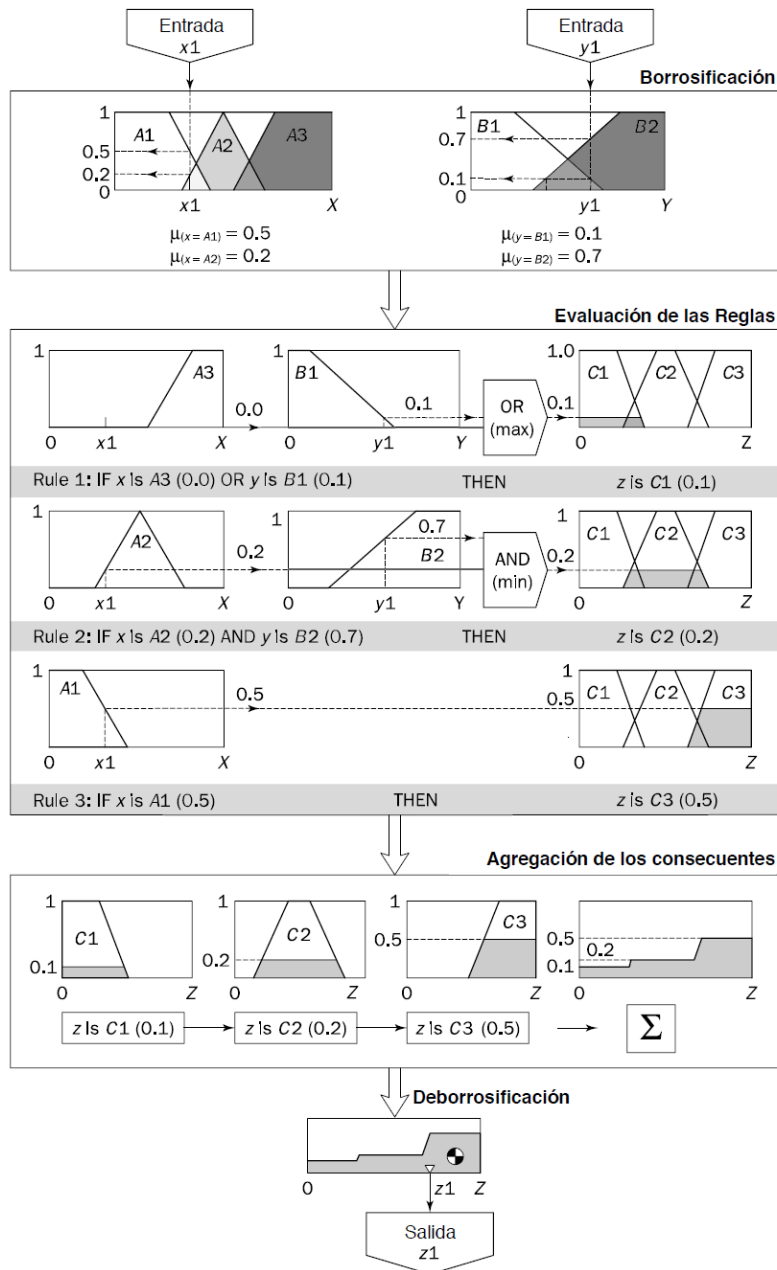


Figura 2-8. Estructura básica de inferencia de Mamdani. [11]

2.4 PROSPECTIVA EN ENTORNOS DE IMPRECISIÓN

La prospectiva será vista como una herramienta de análisis en el tema de investigación, debido que sirve para entornos imprecisos, que permite el estudio de acciones futuras en base a escenarios proyectados desde un presente. Estos escenarios presentan futuros condicionados ya sean por únicas o múltiples variables continuas o discretas. Es por esto, que la prospectiva tiene por objeto planificar las acciones necesarias para evitar o acelerar la ocurrencia de acontecimientos futuros o situaciones actuales. Estas acciones podrán ser tomadas para la mejora de sectores estratégicos como el: ambiental, social, económico, científico y tecnológico.

En [12] se menciona que la prospectiva debe entenderse como una sistemática mental, en cual la proyección de escenarios futuros, permita anticipar la configuración de un futuro deseable, mediante el cual se permita tomar acciones desde un presente. Estas acciones serán aquellas que finalmente conciben estrategias de acción tendientes a alcanzar el futuro objetivado como deseable.

Algunos de los escenarios que se pueden presentar son:

- a) **Posibles** (todos aquellos que puedan ser imaginados)
- b) **Realizables** (dentro de los posibles son aquellos que pueden ocurrir siempre que respeten ciertas restricciones)
- c) **Deseables** (aquellos posibles de ocurrir pero que interesa particularmente que ocurran)
- d) **Tendenciales** (aquellos, probables o no, que corresponden a una proyección de las tendencias actuales hacia el futuro).

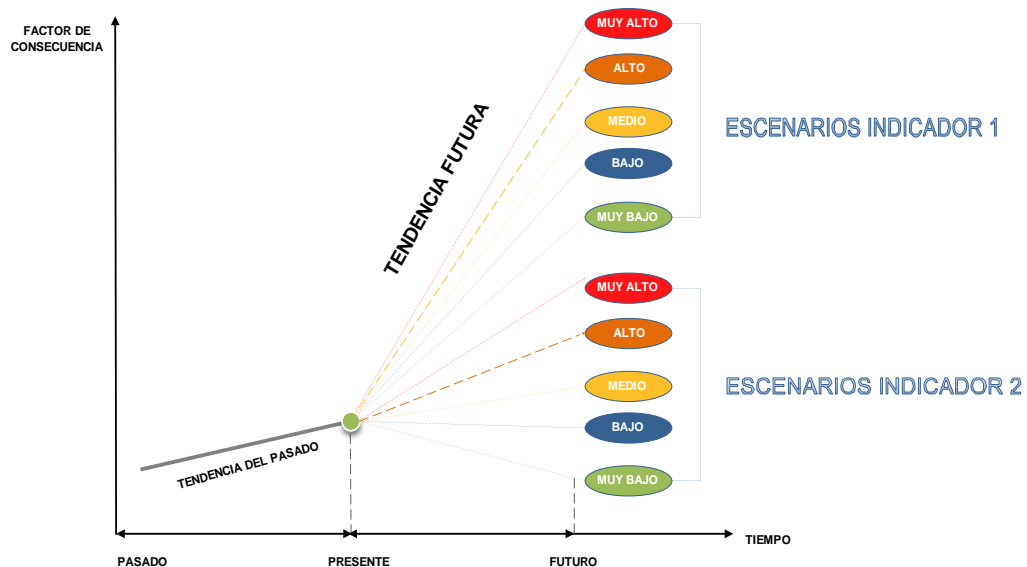


Figura 2-9 Prospectiva del Factor de Consecuencia de la Falla Final de un Transformador de Potencia

Fuente Los Autores

En la Figura 2-9 para objetivo de nuestro estudio presentamos 2 variables de análisis independientes para la proyección de escenarios: el Factor de Consecuencia y el Tiempo. Que en base a tendencias del pasado, se intenta resolver un problema de análisis desde el presente a un futuro mediante diferentes escenarios. Estos escenarios estarán en función de tendencias futuras que a partir de una consecuencia de la falla del TP desencadene en impactos tales como: Muy Bajo, Bajo, medio, Alto, Muy Alto. En los próximos capítulos se analizara con mayor detalle cada uno de estos escenarios.

Cabe mencionar que los conceptos de pronóstico, prospectiva y escenario, están muy vinculados entre sí con bastante frecuencia. Por ejemplo, el concepto de escenario aparece implícito tanto en el pronóstico como en la prospectiva. Es decir, hacer un pronóstico consiste en identificar cuál de un grupo de escenarios futuros posibles es el que ocurrirá, mientras que todo proceso de

prospectiva lleva implícito un pronóstico aunque no todo pronóstico sobre el futuro se asienta en un estudio prospectivo. [12]

2.4.1 Características de los métodos de prospectiva

Algunas características mencionadas en [4] del enfoque de prospectiva moderno son consideradas en la tesis entre ellas tenemos que:

- a) Pueden existir múltiples futuros posibles.
- b) El enfoque del análisis es global, cualitativo más que cuantitativo, estructural y sistémico: cada variable tiene importancia en cuanto influya y/o dependa con otras variables.
- c) Las variables tienen un carácter dinámico, son vulnerables al cambio.
- d) Los proyectos, objetivos de los agentes involucrados en el tema de análisis, son esenciales para evaluar las alternativas estratégicas de expertos sobre el tema.
- e) Las combinaciones de hipótesis que se elaboran han de ser explicativas, coherentes y facilitadoras de los procesos reflexión-decisión-acción: desarrollo estratégico.

Al momento de optar por métodos que ayuden en el proceso de toma de decisiones, presentamos uno de ellos:

2.4.1.1 Métodos de grupo

El uso de este tipo de métodos es utilizado cuando se tienen escenarios inciertos y con poca información acerca del tema de análisis, el mismo que necesita ser aclarado y fundamentado mediante agentes expertos en el tema. Dentro del mismo se encuentra el: **Método Delphi**.

Es importante mencionar que la prospectiva es necesario que use la retrospectiva para obtener futuros mejores.

2.4.2 Sistemas Expertos

Un sistema de expertos no es más que una aplicación informática, la cual emula el razonamiento del conjunto de expertos con calidad y rapidez.

Debido a esto en la actualidad se están mezclando diferentes técnicas o aplicaciones con el fin de tener empresas más seguras. Siendo en la actualidad un papel preponderante el uso de sistemas expertos.

Principalmente existen tres tipos de sistemas expertos:

- a) Basados en reglas previamente establecidas.
- b) Basados en casos o CBR.
- c) Basados en redes bayesianas.

En [13] menciona que la solución a un problema planteado mediante sistemas expertos se obtiene:

- a) Aplicando reglas heurísticas apoyadas generalmente en lógica difusa para su evaluación y aplicación.
- b) Aplicando el razonamiento basado en casos, es decir la solución a un problema actual sea basada en una solución anteriormente propuesta.
- c) Aplicando redes bayesianas.

Este tipo de métodos se emplean bajo las siguientes condiciones:

- a) No existen datos históricos con los que trabajar. Un caso típico de esta situación es la previsión de implantación de nuevas tecnologías.
- b) El impacto de los factores externos tiene más influencia en la evolución que el de los internos.
- c) Las consideraciones éticas o morales dominan sobre las económicas y tecnológicas en un proceso evolutivo.

TABLA 2-1 DIFERENCIA DE SISTEMAS

SISTEMAS EXPERTOS	SISTEMAS TRADICIONALES
<ul style="list-style-type: none"> • Toman Decisiones • Calculan Resultados • Basados en Heurísticas • Dan Explicaciones de los Resultados • Usan Reglas de Inferencia • Accesan Bases de Conocimientos (Deductivas) • Centrados en el Experto y el Usuario • Manejan Conocimiento Impreciso, Contradictorio o Incompleto • Usan Datos y Lenguajes Simbólicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Calculan resultados • Basados en Algoritmos • Dan Resultados sin Explicaciones • Usan Secuenciación, Ciclos y Condicionales • Accesan Bases de Datos • Centrados en el Analista y el Programador • Conocimientos Precisos, Completos y Exactos • Usan Datos Numéricos y Lenguajes Procedurales

Fuente: Autores

Cuando se recurre a métodos que son basados en criterio experto, es necesario que estos criterios tengan validez y fiabilidad, con el fin de obtener la calidad que los investigadores necesitan y estos puedan ser usados en el estudio en análisis.

2.5 METODO DELPHI

El método Delphi será el método que permita la validación de las reglas expertas planteadas, para ello se presentara una descripción acerca del método que servirá para uso en capítulos posteriores.

Como una introducción se menciona que el Método Delphi tiene sus inicios en los años 50 en el Centro de Investigación Rand Corporation de los Estados Unidos de América. Fue usado como un método para la obtención de predicción de una catástrofe nuclear, esta “predicción” es

resultado de obtener la opinión consensuada de un grupo de expertos y desde entonces, ha sido utilizado frecuentemente como sistema para obtener información sobre el futuro.

Es por ello que el método Delphi consiste en una técnica de obtención de información muy versátil, dado para situaciones de incertidumbre o cuando se carece de información objetiva. Está basada en la consulta a expertos de un área mediante una serie de cuestionarios. Los expertos son consultados individualmente en profundidad acerca del tema, además de ser una metodología que usa la retroalimentación de lo expresado por el grupo hacia el experto, con lo que, partiendo de una exploración abierta, tras las sucesivas retroalimentaciones, se consigue una opinión consensuada del grupo.

2.5.1 Características del Método Delphi

Las características que le hacen tan peculiar e importante a este tipo de metodología según se menciona en [14] es:

- a. Proceso iterativo.
- b. Anonimato.
- c. Feedback controlado.
- d. Análisis estadístico del grupo

2.5.2 Estructura Metodológica Delphi

El método Delphi permite estructurar un proceso comunicativo de diversos expertos organizados en grupo-panel con vistas a aportar su conocimiento en torno a un problema de investigación. Para llevar a cabo este proceso se debe cumplir con los siguientes elementos metodológicos. En la Figura 2-10 se presenta una estructura sistematizada del método.



Figura 2-10. Proceso del Método Delphi Sistematizado

Fuente Los Autores

2.5.2.1 Selección y conformación del panel de expertos

La selección de los expertos juega un rol importante a la hora de dar la validez, fiabilidad y calidad al trabajo de investigación.

En [15] considera como requisitos básicos en los expertos es tener antecedentes y experiencia afín a la cuestión a investigar, así como estar dispuestos a revisar su juicio inicial en el desarrollo del estudio.

Por lo que utilizan una serie de criterios estructurados como son el Biograma o el Coeficiente de Competencia Experta que se los mencionara a continuación [16] [17].

- a) **El Biograma**, se elabora mediante la biografía del experto, son series de preguntas acerca de su trayectoria.
- b) **El Coeficiente de Competencia experta**, aquí, en cambio parte de una primera etapa que es la selección de los expertos, y como segunda etapa obtener la opinión y autovaloración de su nivel de experticia, además de obtener el porqué de su argumentación acerca de su autovaloración.

Estos criterios estructurados serán parte fundamental para determinar la calidad del panel de expertos.

2.5.2.2 Número de expertos

El método Delphi no tiene definido un número de expertos para su uso sin embargo, en [18] se presenta algunos criterios de autores acerca del número de expertos entre lo que podemos destacar que:

El número de expertos puede variar entorno al problema de investigación y los recursos a disposición de los investigadores. Es por ello, que según el análisis realizado se llega a la conclusión que el número de expertos seleccionados debería ser de 7 a 30, para obtener un conjunto de expertos importantes y su nivel de experticia representen resultados significativos en el tema de investigación.

2.5.2.3 Calidad del panel

En la calidad del panel se justifican de los criterios aplicados para el proceso de selección y conformación del conjunto de expertos. Por ello a continuación veremos la metodología en la que se estimara la calidad del panel:

Para el desarrollo del proceso de selección del conjunto de expertos se ha opto por el uso del índice de Competencia Experta (K).

Para calcular este índice, se empleara la ecuación 1:

$$K = \frac{1}{2} (K_c + K_a) \quad (1)$$

Donde:

(Kc) es el "Coeficiente de conocimiento" que tiene el experto acerca del tema investigado.

(Ka) es el "Coeficiente de argumentación" o fuentes de criterio del experto.

En donde Kc se calculara a partir de la autovaloración del experto en una escala 5-10, multiplicado por 0,1. La evaluación "5" indicara que el experto que tiene un conocimientos general del tema, mientras que la evaluación "10" significa que el experto tiene un conocimiento profundo del tema. Véase la TABLA 2-2

TABLA 2-2 ESCALA DE VALORES QUE AUTOEVALÚA EL COEFICIENTE DE CONOCIMIENTO (Kc)

Conocimiento General		Conocimiento Intermedio		Conocimiento Profundo	
5	6	7	8	9	10

Fuente Los Autores

En cambio, el Ka se obtendrá a partir de la auto-asignación del experto acerca de las fuentes de argumentación en las que se basa su experticia. Véase la TABLA 2-3 donde se presentaran algunas de las características que serán tomadas en cuenta para su evaluación:

TABLA 2-3 ESCALA DE VALORES PARA CALCULAR EL COEFICIENTE DE ARGUMENTACIÓN (Ka)

Fuentes de Argumentación	Grado de influencia de cada una de las fuentes en sus criterios
Realizó estudios e investigaciones referentes a Transformadores de Potencia que hayan :	I. Sido implementadas por algún agente del sector eléctrico
	II. Sido Expuestas y/o publicadas
	III. Sido solo para conocimiento propio
Su Experiencia obtenida fue adquirida en base a:	I. Investigaciones propias y Practica Laboral
	II. Investigaciones propias o Practica Laboral
	III. Estudios acerca del tema y/o conocimientos facilitados por otras personas
Usted forma, o a formado parte de:	I. Grupos de investigación que trabajen con Transformadores específicamente.
	II. Grupos de investigación que trabajen en el sector eléctrico en general.
	III. Grupo Laboral de una empresa del Sector Eléctrico

Fuente Los Autores

Cada uno de las posibles respuestas serán evaluadas mediante ponderaciones que permiten obtener un grado de experticia del experto.

Con los resultados obtenidos de coeficiente de conocimiento (K_c) y el coeficiente de argumentación (K_a) permitirá obtener el resultado del índice de Competencia Experta es una puntuación en una escala 0-1, donde K estará dada por:

$K > 0.8$ puntos se considera un valor alto grado de experticia.

$0,5 < K < 0.8$ puntos se considera un valor medio experticia.

$K < 0.5$ puntos se considera un valor bajo experticia.

Este análisis y obtención de K será realizado en el Capítulo 0 con mayor profundidad y detalle.

2.5.2.4 Proceso iterativo en rondas

El proceso iterativo tiene que ver con el intercambio de información entre el grupo coordinador (autores del tema de investigación) y los expertos seleccionados, por medios de encuestas. Este proceso realmente no tiene límite en cuanto rondas iterativas que deben realizarse. Habrá que tomar en cuenta, que mientras más rondas se realicen existe una tendencia de que el conjunto de expertos encuestados cada vez sea menor, debido a que se puede volver cansado y el tiempo que requiere cada experto para este proceso aumenta. Por ello es importante mencionar en la primera iteración de las encuestas el tiempo que requerirá este proceso y el número de iteraciones a realizar.

En [18] se presenta con más detalle algunos criterios de otros autores.

2.5.2.5 Criterios para la finalización del Delphi: consenso y estabilidad

Para finalizar el método Delphi se tendrá que considerar la medida del consenso y la estabilidad en las respuestas del panel, que orientan el análisis de datos y la toma de decisiones.

Las maneras más típicas de estimar un consenso puede ser realizado mediante:

1. Mediana, Rango intercuartíl, Coeficiente de variación, Cociente entre la desviación típica y la desviación típica uniforme
2. Si hubiera subgrupos de expertos en el panel podrían compararse las medianas de dichos subgrupos.

Por lo cual, para emitir un consenso entre los criterios de los expertos se tomara como herramienta de análisis el Rango Intercuartíl absoluto (IQR), que se obtiene de realizar la diferencia entre el cuartil 3 y el cuartil 1.

$$IQR = Q3 - Q1 \quad (2)$$

Una vez obtenido el rango intercuartíl IQR, se deberá verificar si el resultado es menor o igual a 2, si se cumple este criterio puede afirmarse que existe un consenso entre las respuestas emitidas por los expertos.

2.5.3 Proyectos basados en la Metodología Delphi

Las metodologías que se basan en el criterio de expertos constan de una alta relevancia y fiabilidad, se menciona en [19] que:

En Japón se ha llevado a cabo y se continúan realizando diferentes proyectos mediante la prospectiva científica, esto desde hace un poco más de cuarenta años, mediante la preparación de escenarios de largo plazo, empleando bases de datos, modelizaciones, simulaciones difusas, entre muchas otras herramientas. Verificándose los futuribles a través de estudios Delphi focalizados en expertos.

Basados en el éxito de la experiencia japonesa se ha llevado a otros países a aplicar metodologías similares, tal y como ha ocurrido en China, donde en 2003, se inició el primer estudio prospectivo tecnológico de alcance nacional que tuvo como horizonte el año 2020.

Cabe mencionar que en América Latina aún no se presentan bases sólidas para el desarrollo de metodologías nuevas en ciencia y tecnología para ambientes complejos e inciertos donde se generan mayores riesgos. Por mencionar el sector eléctrico que es un lugar estratégico de alto riesgo, por su carácter dinámico.

Por experiencias vividas en Japón y China, que al ser “Potencias Científicas”, el uso de la metodología Delphi en áreas de ciencia y tecnología, dan la importancia necesaria de este método para ser aplicada en este tema de investigación referida al Sector Eléctrico.

3 DETERMINACION DE INDICADORES Y CONJUNTO DE EXPERTOS PARA LA APLICACIÓN DEL METODO DELPHI

En el presente capítulo, se determinan los indicadores y proponen los escenarios a ser usados en la evaluación del Factor de Consecuencia, además se determina el conjunto de expertos que serán necesarios para la validación de los escenarios y reglas difusas. Para el proceso de selección y validación se diseñan encuestas que permiten conocer el criterio de los expertos, este proceso está desarrollado en base al diagrama de flujo del método Delphi propuesto en este capítulo.

3.1 Determinación de Indicadores para evaluación del F.C.

Los indicadores para la evaluación del Factor de Consecuencia son seleccionados de acuerdo a los parámetros considerados en el estudio del Factor de Consecuencia:

- Confiabilidad del sistema.
- Factor de redundancia.
- Seguridad del sistema.
- Impacto ambiental
- Seguridad pública.

Realizar el análisis de cada parámetro conlleva tener un amplio panorama de estudio. Sin embargo en el Capítulo 2 se menciona las variables principales para la evaluación del Factor de Consecuencia.

Por lo tanto, se procedió a seleccionar los indicadores de mayor **“Importancia Estratégica”** dentro del Sistema de Suministro de Energía Eléctrica (SSEE), que está en función de la falla final del Transformador de Potencia, y sus consecuencias subsiguientes.

En base a lo antes mencionado, y en la metodología aplicada por una empresa de Distribución, que evalúa la importancia estratégica (Valor Estratégico) de sus equipos mediante los siguientes parámetros:

1. Seguridad: Evalúa la Sobrecarga de otros Equipos.
2. Calidad: Evalúa la Potencia Desconectada.
3. Penalización: Evalúa el costo por Potencia Nominal.
4. Riesgo Político: Evalúa la desconexión del Tipo de Carga.
5. Riesgo Ambiental: Evalúa la Capacidad de Aceite.
6. Seguridad Pública: Evalúa la Distancia de las Viviendas.

Entonces, para la evaluación del factor de consecuencia de la investigación en desarrollo se determinan los siguientes indicadores de análisis:

- i) Sobrecarga de Equipos (S.E.)
- ii) Potencia Desconectada (P.D).
- iii) Cargas Sensibles (C.S.)

- iv) Volumen de Aceite (V.A.)
- v) Proximidad de construcciones (P.C.)
- vi) Penalizaciones (P.)
- vii) Relés de Protección (R.)

Los cuales evalúan cada uno de los parámetros en el estudio del factor de consecuencia, véase la TABLA 3-1.

TABLA 3-1 INDICADORES VERSUS LOS IMPACTOS QUE PRODUCEN POR FALLA DEL TRANSFORMADOR

Parámetros de estudio en el F.C.	Indicadores a Analizar	Impacto por Falla
Confiabilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Cargas Sensibles • Penalizaciones 	<ul style="list-style-type: none"> • Técnico • Económico • Social
Factor de Redundancia	<ul style="list-style-type: none"> • Potencia Desconectada 	<ul style="list-style-type: none"> • Técnico • Económico
Seguridad del Sistema	<ul style="list-style-type: none"> • Sobrecarga de Equipos • Relés de Protección 	<ul style="list-style-type: none"> • Técnico
Seguridad Publica	<ul style="list-style-type: none"> • Proximidad de Construcciones 	<ul style="list-style-type: none"> • Social
Impacto Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Volumen de Aceite 	<ul style="list-style-type: none"> • Ambiental • Social

3.1.1 Determinación de Escenarios para los Indicadores

La determinación de los escenarios para cada indicador se establece en base a la consecuencia que pueda tener la ocurrencia del mismo, dado por la falla final del Transformador de Potencia. Es por ello, que con la estructuración y validación de los escenarios se permitirá realizar la evaluación del factor de consecuencia.

Los escenarios para Volumen de Aceite (V.A.), Proximidad de construcciones (P.C.) y Penalizaciones (P) que a continuación se determinaran, están en función de los siguientes parámetros: potencias desde 6.6 MVA hasta 165 MVA, tensiones desde 6.3 kV hasta 500 kV. Mientras que, los escenarios de Sobrecarga de Equipos (S.E.), Potencia Desconectada (P.D), Cargas Sensibles (C.S.), Relés de Protección (R.), son analizados para cualquier rango de potencia y tensión. Por ende los escenarios de estos indicadores pueden ser aplicados para la evaluación de cualquier Transformador.

A continuación se determinan los escenarios de cada indicador:

3.1.1.1 Sobrecarga de Equipos

Definir los escenarios de la sobrecarga de equipos debido a la Falla Final del Transformador de Potencia resulta de vital importancia por los efectos que este puede producir para el equipo sobrecargado y su posterior efecto en el SSEE. Algunos de los factores que influirán en el impacto que se produzca sobre el transformador sobrecargado es el histórico de cargas del transformador, los esfuerzos a los que ha sido sometido en el pasado (térmico, electromecánico

o dieléctrico) y/o parámetros que muestren la degradación de los sistemas de aislamiento. Sin embargo, los escenarios son propuestos en base de los efectos que se pueda producir de tipo de régimen de carga al cual este trabajando el equipo por la falla de un transformador.

En la guía IEC 60076-7, se establecen 3 regímenes de carga, sin embargo se analizaran 2 ellos, los cuales son usados para el planteamiento de los escenarios:

1. **Sobrecarga de Emergencia de Larga Duración:** este tipo de régimen de carga es debido a la falla de un elemento de la red y su carga es suplida por otro equipo u equipos, en el que la reposición del equipo que fallos puede durar meses.
2. **Sobrecarga de emergencia de corta duración:** este tipo de régimen es debido a la falla de un elemento de la red y su carga es suplida por otro equipo u equipos, la duración de este tipo de sobrecargas será inferior a media hora.

Determinados los parámetros de análisis, se proceden a establecer los principales escenarios, en base de los efectos perjudiciales para el transformador sobrecargado, descritos en [20] y el SSEE. Los cuales podrán verse reflejados tanto a corto plazo como a largo plazo. Véase la TABLA 3-2

TABLA 3-2 ESCENARIOS DE SOBRECARGA DE EQUIPOS PARA LA VALIDACIÓN MEDIANTE DELPHI

ESCENARIOS	
a	Produce aumento de temperatura en otros equipos, debido a un aumento de carga.
b	Pérdidas de las propiedades mecánicas y dieléctricas de otros equipos
c	Produce un envejecimiento acelerado de otros equipos
d	Produce la desconexión de otros equipos
e	Produce desconexión de equipos en cadena e inestabilidad en la red
f	Produce una desconexión total de la red (Black Out)
g	No produce ningún efecto en otros equipos

3.1.1.2 Potencia Desconectada

La determinación de los escenarios de este indicador será establecido en base al análisis estadístico del criterio emitido por los expertos, acerca de los niveles de potencia déficit (%), que consideran importante por la interrupción del Suministro de Energía Eléctrica.

3.1.1.3 Cargas Sensibles

La determinación de los escenarios para las cargas sensibles es evaluada en base a los daños que pueden sufrir los usuarios por la interrupción del suministro de energía eléctrica. Es por ello, que el análisis de este indicador se regirá por la clasificación de las cargas de acuerdo a su confiabilidad, las cuales se mencionan en [21].

Cargas de primera categoría.

Aquellas en las que una interrupción del SSEE causa importantes perjuicios al usuario (riesgo de muerte, daños en procesos de fabricación en masa, daños a equipos costosos, áreas de salud, aeropuertos, etc.).

Cargas de segunda categoría.

Aquellas cargas en las que una interrupción del SSEE afecta a fábricas medianas que no tienen complicados y delicados procesos de fabricación pero que causan desocupación de empleados y obreros, etc.

Cargas de tercera categoría

Son aquellas cargas en las que una interrupción del SSEE no causa mayores perjuicios. Por ejemplo los usuarios residenciales, poblaciones rurales, pequeñas fábricas, etc.

Entonces, a continuación se proceden a establecer los escenarios de análisis. Véase la TABLA 3-3

TABLA 3-3 ESCENARIOS DE CARGAS SENSIBLES PARA LA VALIDACIÓN MEDIANTE DELPHI

ESCENARIOS	
a	Sectores Industriales de producción continua
b	Usuarios residenciales urbanos y/o rurales
c	Fábricas que no tienen complicados y delicados procesos de fabricación pero causan la desocupación de empleados y obreros.
d	Hospitales, Centros de Salud y/o aeropuertos
e	Empresas y/o industrias con equipos electrónicos costosos y sensibles
f	Centros comerciales, educativos y pequeñas fábricas.

3.1.1.4 Volumen de Aceite

La determinación de los escenarios para el siguiente indicador es evaluado en base al promedio del volumen de aceite, de acuerdo al nivel de potencia, obtenidos de catálogos, véase la TABLA 3-4, y a la norma NFPA 850, de la cual puede estimar que el nivel de impacto aumenta si el volumen de aceite se incrementa en promedio entre 5 a 10 veces.

TABLA 3-4 NIVELES DE VOLUMEN DE ACEITE DE ACUERDO A SU POTENCIA.

MARCA	MVA	kV (AT/MT)	CAPACIDAD DE ACEITE (Litros)
VOLUMENES DE ACEITE MUY BAJO			
ORMAZABAL	2.5	20/420	1400
RYMEL	1		1083
PROMEDIO			V.A. < 2.000
VOLUMENES DE ACEITE BAJO			
ABB	6.25	69/13.8	3.510
OSAKA	6.25	69/13.8	4.565
PAUWELS	6.3	69/13.8	3.000
OSAKA	5	69/13.8	4.000
PROMEDIO			2.000 < V.A. < 4.000
VOLUMENES DE ACEITE MEDIO			
ALKARGO	31.5	36	7.300
PROMEDIO			4.000 < V.A. < 20.000
VOLUMENES DE ACEITE ALTO			
ABB	90	13.8/114	40.000
PROMEDIO			20.000 < V.A. < 40.000
VOLUMENES DE ACEITE MUY ALTO			
ABB	160	144/13.8	41.957
ABB	160	136.8/36.8	41.957
PROMEDIO			V.A. > 40.000

3.1.1.5 Proximidad de Construcciones

La determinación de los escenarios para el siguiente indicador es evaluado en base a la distancia mínima de separación entre el Transformador de Potencia y vidas humanas y/o bienes materiales, cabe mencionar que esta distancia dependerá del volumen de aceite del equipo.

Entonces, a continuación se proceden a establecer los escenarios de análisis que permita estimar una distancia de separación mínima, que evite la afección de vidas humanas o bienes materiales, basadas en el criterio que emitan los expertos. Véase la TABLA 3-5

TABLA 3-5 ESCENARIOS DE PROXIMIDAD DE CONSTRUCCIONES PARA LA VALIDACIÓN MEDIANTE DELPHI

ESCENARIOS	
a	Muerte o quemaduras graves para el ser humano
b	Partes del transformador que provoquen lesiones graves a seres humanos y la destrucción de bienes materiales.
c	Por efecto de la onda sonora, provoque daños leves a seres humanos y/o bienes materiales (ventanas de domicilios, vehículos, etc.)
d	Impacto visual y/o gases disipados en el medio ambiente.

3.1.1.6 Penalizaciones

La determinación de los escenarios para el siguiente indicador es evaluado en base a al DAIC (Duración Anual de Interrupción por Consumidor) y el FAIC (Frecuencia Anual de Interrupciones por Consumidor) establecidos en la **REGULACION No. CONELEC – 004/01**, la cual tiene por objetivo establecer los niveles de calidad de la prestación del servicio eléctrico de distribución y los procedimientos de evaluación a ser observados por parte de las Empresas Distribuidoras.

Entonces, como se menciona en [22], el Distribuidor deberá entregar informes anuales al CONELEC, actualmente el ARCONEL, con los resultados de su gestión en el año inmediato anterior, especificando las interrupciones y los indicadores de control resultantes por toda la empresa y por alimentador de MV. En caso de haberse excedido los valores límites admisibles de los Índices de Calidad de Servicio aplicables, presentados en la TABLA 3-6, durante la Subetapa 1 para AV/MV, se calculará la Energía No Suministrada (ENS).

TABLA 3-6 LÍMITES ADMISIBLES PARA ÍNDICES CALIDAD TÉCNICO SUBETAPA 1

Consumidor	FAIC	DAIC
AV	6	4
MV	10	24

Fuente basado en [22]

La ENS se calcula bajo las siguientes condiciones,

1. Si: $FAIC > Lim\ FAIC$ y $DAIC < Lim\ DAIC$
2. Si: $FAIC < Lim\ FAIC$ y $DAIC > Lim\ DAIC$
3. Si: $FAIC > Lim\ FAIC$ y $DAIC > Lim\ DAIC$; y si $\left(\frac{DAIC}{FAIC}\right) < \left(\frac{Lim\ DAIC}{Lim\ FAIC}\right)$

4. Si: $FAIc > LimFAIc$ y $DAIc > LimDAIc$; y si $\left(\frac{DAIc}{FAIc}\right) \geq \left(\frac{LimDAIc}{LimFAIc}\right)$

Los cuáles son establecidos como escenarios de análisis para determinar los niveles de impacto de este indicador.

3.1.1.7 Relés de Protección

La determinación de los escenarios para el siguiente indicador es evaluado en base a la capacidad de actuación inmediata (Rapidez), en caso de que se produzca una falla derivada del Transformador.

En [23] se menciona que, los relés son los encargados de que los componentes del SEP operen en una secuencia correcta, esto con el fin de corregir, evitar, o disminuir los daños derivados por una falla. Los relés funcionan para 3 clases de prevenciones:

1. Para operación del sistema en estado normal.
2. Para reducir el número de fallas del sistema.

En la *Figura 3-1* se observa como los IED's han evolucionado desde un Electromecánico de primera generación hasta los Numéricos o Digitales de última generación, en el que la velocidad de transmisión de datos ha crecido, brindando una respuesta más rápida ante eventos de falla.

2. Estáticos (electrónicos analógicos).
3. Numéricos o Digitales (incorporan microprocesadores).

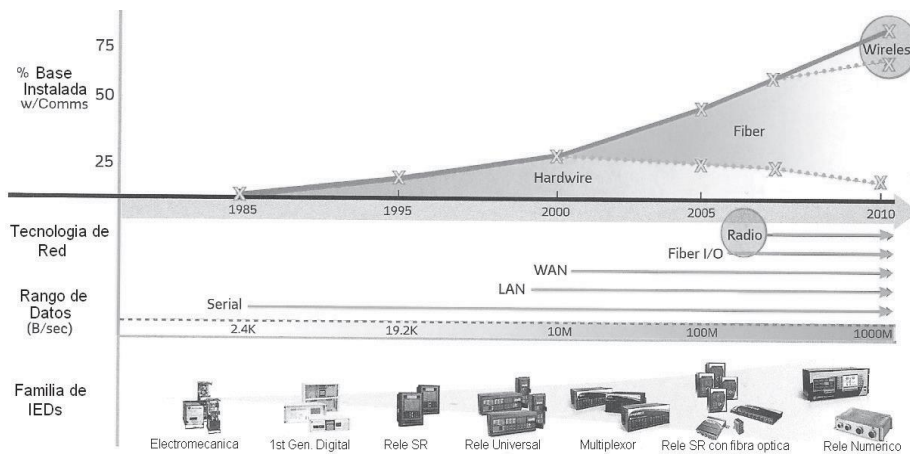


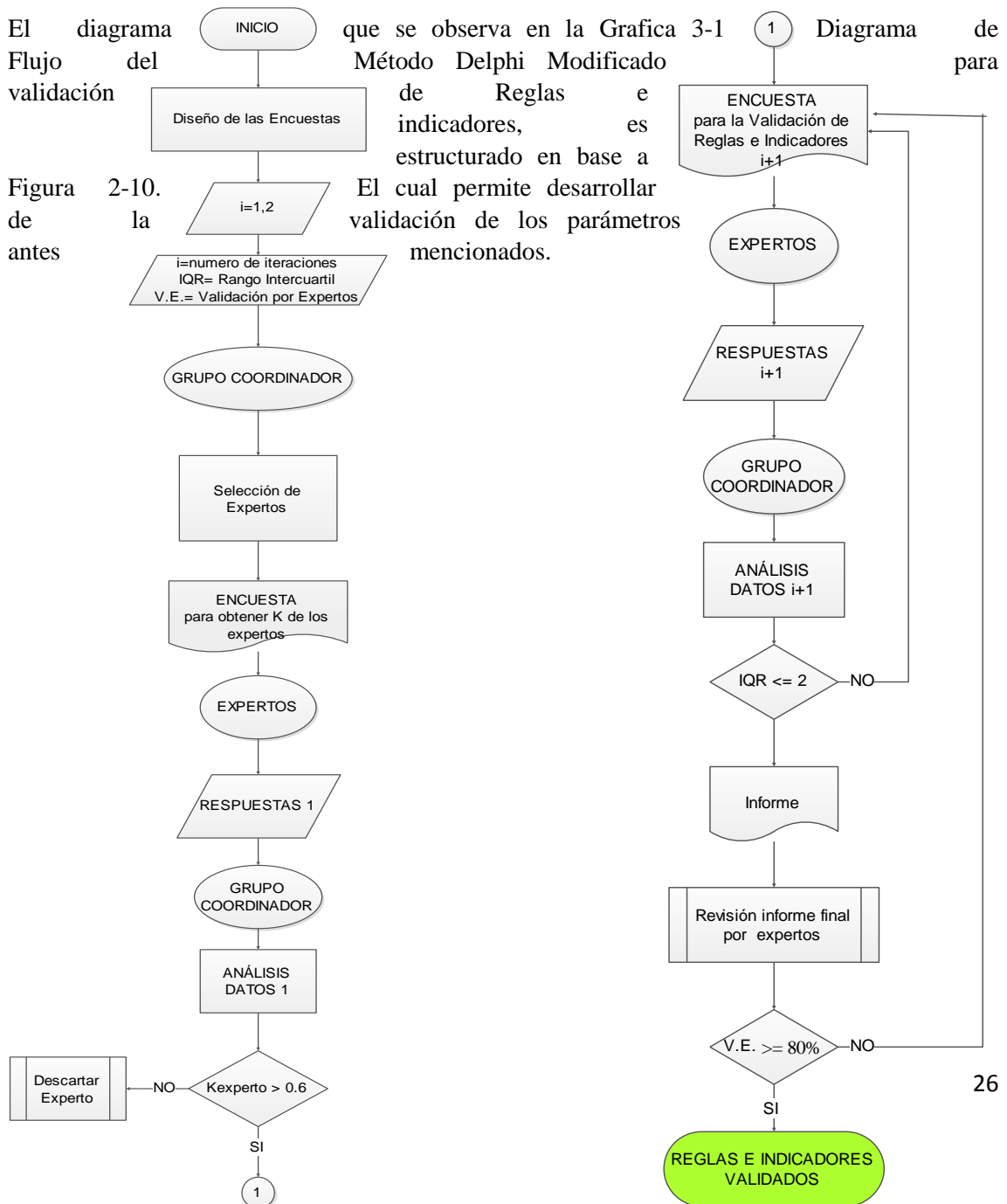
Figura 3-1 Evolución de los Relés de Protección. [24]

Entonces, en base a lo mencionado, a continuación se proceden a establecer los escenarios de análisis en función de los tipos de relés más usuales del SSEE Ecuatoriano, Véase la TABLA 3-7.

TABLA 3-7 ESCENARIOS DE RELÉS DE PROTECCIÓN PARA LA VALIDACIÓN MEDIANTE DELPHI

ESCENARIOS	
a	SSEE con relés de protección Electromecánicos.
b	SSEE con relés de protección numéricos o digitales.
c	SSEE que combine relés de protección electromecánicos y numéricos.

3.1.2 Diagrama de Flujo Delphi para validación de Reglas e Indicadores



3.2 Fase de Preparación

3.2.1 Diseño de Encuestas

En la presente fase, se inició con el diseño de las encuestas, lo cual es desarrollado en 3 etapas:

En la primera etapa, se elaboró una encuesta, la cual permita obtener el índice de conocimiento (K) del experto sobre la investigación en desarrollo, Véase el Anexo 8.1.1, en la que se tomaron en cuenta aspectos como investigaciones y conocimiento del experto, experiencia laboral, capacidad de tomar decisiones frente a la falla del TP, entre otros, esto de alguna manera permite saber si el conocimiento y criterio que pueda emitir el experto sean respuestas que puedan aportar al caso de estudio.

En la siguiente etapa, la elaboración de una segunda encuesta tiene por objetivo, la validación de los escenarios de reglas difusas e indicadores propuestos, mediante criterio experto, Véase Anexos 8.1.2 y 8.1.3. De esta manera se permitirá realizar la evaluación del Factor de Consecuencia de la Falla final del Transformador de Potencia. Esta encuesta es estructurada por preguntas abiertas con el fin de obtener opiniones y recomendaciones acerca de las preguntas planteadas.

En la última etapa, la elaboración de una tercera encuesta (Retroalimentación) tiene por objetivo, obtener una respuesta definitiva de cada una de las preguntas planteadas, en base al análisis estadístico (mediana segunda encuesta) de las respuestas emitidas por los expertos. Y de esta manera obtener un consenso definitivo y validación de las reglas e indicadores.

La aplicación de la primera y segunda encuesta se llevó a cabo mediante la entrega directa de manera impresa y en algunos casos de manera digital por correo electrónico. La tercera encuesta, fue llevada a cabo mediante la entrega y envío de encuestas digitales (pdf editables), de esta manera fue más fácil su desarrollo y el tiempo de resolución se redujo.

3.2.2 Selección de Expertos

En primera instancia, para dar cumplimiento con esta fase, fue necesario elaborar una base de datos de expertos y conocedores del tema, ya sea por su desempeño en el ámbito laboral y/o investigativo en el sector eléctrico, para lo cual se tuvo que recurrir a entidades como CELEC EP, EERCs, e investigadores en el área eléctrica.

Los expertos seleccionados aportaran de gran manera a la presente investigación, debido a que está conformado por gente que labora en diversas áreas de especialidad: personal técnico, jefes

de área, profesionales en ingeniería, y gente que desarrolla nuevas investigaciones en el área del sector eléctrico.

Con lo cual, se obtuvo un conjunto de 12 expertos, que se encuentra dentro del rango establecido para el uso del método Delphi: $7 \leq \text{Expertos} \leq 30$, los mismo que son presentados en la TABLA 3-8, a los cuales se les aplico la encuesta mostrada en el Anexo 8.1.1 que permite obtener el:

TABLA 3-8 EXPERTOS PARA VALIDACIÓN DE REGLAS E INDICADORES

EXPERTO	LUGAR QUE LABORA
EERCS 1	Empresa Electrica Regional Centro Sur
EERCS 2	Empresa Electrica Regional Centro Sur
CELEC 1	CELEC EP. Hidrojubones
CELEC 2	CELEC EP.
CELEC 3	CELEC EP.
CELEC 4	CELEC EP.
CELEC 5	CELEC EP.
CELEC 6	CELEC EP.
CELEC 7	CELEC EP.
CELEC 8	CELEC EP.
DOCENTE UPS	Departamento Investigación UPS
INVESTIGADOR 1	Departamento de Investigación Instituto de Energía Eléctrica San Juan Argentina
INVESTIGADOR 2	Departamento de Investigación Instituto de Energía Eléctrica San Juan Argentina

3.2.2.1 Índice de Competencia Experta

El índice de competencia experta permite realizar un análisis de la calidad del conjunto de expertos seleccionados, como se menciona en la Sección 2.5.2. El análisis hacia el conjunto de expertos es desarrollado mediante la encuesta presentada en el Anexo 8.1.1, la cual está enfocada en conocer el nivel de experticia del encuestado. La evaluación del índice de competencia se desarrolló en base a 2 aspectos: el coeficiente de conocimiento (Kc) y el coeficiente de argumentación (Ka), vistos en la sección 2.5.2.3.

Análisis del Kc de los Expertos

El análisis de la autoevaluación del Kc del conjunto de expertos es presentado en la TABLA 3-9.

TABLA 3-9 DISTRIBUCIÓN DEL Kc DEL CONJUNTO DE EXPERTOS

Kc	5	6	7	8	9	10
# de Expertos	0	1	2	7	2	1
%	8		69		23	

Fuente: Autores

Que da como resultado una distribución porcentual de:

- 8% para expertos de conocimiento General entre 5 - 6
- 67% para expertos de conocimiento Intermedio entre 7 - 8
- 25% para expertos de conocimiento Alto entre 9 - 10.

Análisis del Ka de los Expertos

El coeficiente argumentativo de los expertos es evaluado en base a la

TABLA 3-10, en la que se asignan pesos relativos a cada una de las respuestas. Los pesos son asignados para dar mayor relevancia a una u otra respuesta y así lograr determinar el Ka del experto.

TABLA 3-10 ESCALA DE VALORES PARA DETERMINACIÓN DEL KA.

Fuentes de Argumentación	Grado de influencia de cada una de las fuentes en sus criterios		
Realizó estudios e investigaciones referentes a Transformadores de Potencia que hayan :	I. Sido implementadas por algún agente del sector eléctrico	Alto	0,05
	II. Sido Expuestas y/o publicadas	Medio	0,04
	III. Sido solo para conocimiento propio	Bajo	0,03
Su Experiencia obtenida fue adquirida en base a:	I. Investigaciones propias y Practica Laboral	Alto	0,5
	II. Investigaciones propias o Practica Laboral	Medio	0,4
	III. Estudios acerca del tema y/o conocimientos facilitados por otras personas	Bajo	0,2
Usted forma, o a formado parte de:	I. Grupos de investigación que trabajen con Transformadores específicamente.	Alto	0,3
	II. Grupos de investigación que trabajen en el sector eléctrico en general.	Medio	0,2
	III. Grupo Laboral de una empresa del Sector Eléctrico	Bajo	0,1
Su conocimiento acerca del estado del arte:	I. Conocimientos profundos y está en constante aprendizaje del mismo.	Alto	0,05
	II. Conocimientos generales del estado de arte solo por Trabajos investigativos o	Medio	0,04

	laborales que haya realizado		
	III. No tiene mucho conocimiento	Bajo	0,03
Su conocimiento adquirido de investigaciones nacionales y/o extranjeras fueron de:	I. Documentos Indexados (Scopus, IEEE, Science Direct, etc.) y/o Congresos Internacionales	Alto	0,05
	II. Fuentes de información Nacionales (Congresos, Simposios, Seminarios) y Documentos no Indexados.	Medio	0,04
	III. Fuentes de información otorgado por otras personas.	Bajo	0,03
Intuición personal en caso de la Falla de un Transformador de Potencia.	I. En base a su conocimiento puede emitir un criterio y dar las posibles soluciones.	Alto	0,05
	II. Tiene conocimientos del tema, pero necesita la opinión de otros expertos para llegar a una solución.	Medio	0,04
	III. Opta por comunicar a otro experto	Bajo	0,03

Entonces, una vez agrupadas las respuestas emitidas por los expertos acerca de su Coeficiente de Argumentación, se realizó el análisis estadístico de las respuestas del conjunto de expertos del Anexo 8.1.1.2, que permite obtener la distribución del Ka que se observa en la TABLA 3-11.

TABLA 3-11 DISTRIBUCIÓN DEL KA DEL CONJUNTO DE EXPERTOS

EXPERTO	COEFICIENTE DE ARGUMENTACIÓN (Ka)
EERCS 1	0,79
EERCS 2	0,56
CELEC 1	0,78
CELEC 2	0,46
CELEC 3	0,67
CELEC 4	0,48
CELEC 5	0,75
CELEC 6	0,66
CELEC 7	0,67
CELEC 8	0,7
DOCENTE UPS 1	0,99
INVESTIGADOR 1	1
INVESTIGADOR 2	1

3.2.2.2 Resultado del Índice de Competencia Experta

La evaluación del índice de competencia experta, está basada en los resultados obtenidos del Kc y Ka de cada experto, con lo cual se determina su grado de experticia basado en las siguientes condiciones.

$K > 0.8$ puntos, se considera un valor alto de experticia.

$0,5 < K < 0.8$ puntos, se considera un valor medio experticia.

$K < 0.5$ puntos, se considera un valor bajo experticia.

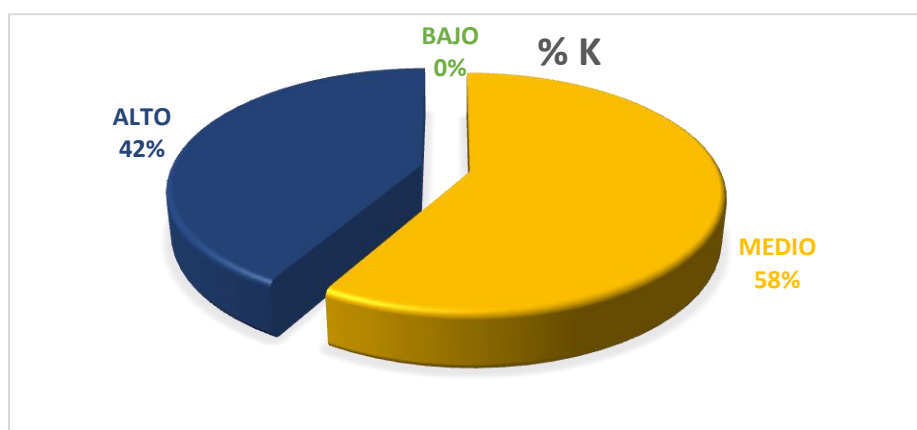
De lo cual se obtiene la TABLA 3-12

TABLA 3-12 DISTRIBUCIÓN DEL K DEL CONJUNTO DE EXPERTOS

EXPERTO	Coefficiente de Competencia (K)	Rango de competencia
EERCS 1	0,80	Alto
EERCS 2	0,68	Medio
CELEC 1	0,79	Alto
CELEC 2	0,58	Medio
CELEC 3	0,74	Medio
CELEC 4	0,69	Medio
CELEC 5	0,73	Medio
CELEC 6	0,63	Medio
CELEC 7	0,74	Medio
CELEC 8	0,75	Medio
DOCENTE UPS	0,90	Alto
INVESTIGADOR 1	0,95	Alto
INVESTIGADOR 2	1	Alto

Que da como resultado una distribución porcentual de:

- 0% para expertos de competencia experta bajo.
- 58% para expertos de competencia experta medio.
- 42% para expertos de competencia experta alto.



K	BAJO	MEDIO	ALTO
Numero de expertos	0	8	5

Grafica 3-2 Distribución porcentual del K de los Expertos

Fuente: Autores

Con la determinación del Coeficiente de Competencia de cada experto, se observó que se cuenta con un conjunto de expertos con conocimientos en el tema de calidad bastante aceptable, debido a que da cumplimiento a una de las características principales del método Delphi, como es la heterogeneidad que debe tener el conjunto de expertos seleccionados.

3.3 Fase de Consenso

La evaluación y análisis de la fase de consenso es desarrollado en el Capítulo 4 mediante la encuesta presentada en el Anexo 8.1. Entonces, para determinar el consenso y la posterior validación de los escenarios de las reglas difusas e indicadores se debe cumplir con las siguientes condiciones:

3.3.1 Condición de Consenso de la Primera Ronda

En la primera ronda de la encuesta hacia los expertos se deberá determinar el consenso entre las respuestas, en el que si cumple con el criterio de Gracht & Darkow (2010), mencionado en [25], que establece que si se obtiene un $IQR \leq 2$ se puede determinar el consenso entre los encuestados.

3.3.2 Condición de Consenso de la Segunda Ronda

Mientras que, en una segunda ronda se deberá cumplir con el criterio que las respuestas propuestas (Mediana) del análisis estadístico obtenido de la primera ronda, tenga un consenso en el que la Validación Expertos $\geq 80\%$.

4 ESTRUCTURACIÓN DE FUNCIONES DE MEMBRESIA Y APLICACIÓN DEL METODO DELPHI PARA VALIDACION DE LOS ESCENARIOS DE LOS INDICADORES Y REGLAS DIFUSAS

El procesamiento de los datos de cada indicador servirá para la obtención de las funciones de membresía, que deberán ser ingresadas en la herramienta FIS EDITOR de MATLAB.

Cabe recalcar que la validación de los escenarios que a continuación se presentaran están basados en la Grafica 3-1 Diagrama de Flujo del Método Delphi Modificado para validación de Reglas e indicadores

4.1 Procesamiento de Datos

La información recopilada para la evaluación del Factor de Consecuencia estará en función de los siguientes aspectos:

1. El nivel importancia pueda representar cada escenario, respecto a la variable de análisis del Indicador, para el SSEE analizado.
2. Si se produce la falla e indisponibilidad del Transformador, se evaluara el nivel de impacto de la ocurrencia de los escenarios presentados en el SSEE.

La nomenclatura de evaluación de los niveles de cada indicador e impacto, como consecuencia de la falla final del Transformador de Potencia son representados mediante variables lingüísticas y en escala de colores. La selección de esta escala de colores está basado en un estudio realizado para una Empresa Eléctrica, en la cual determinan los niveles de severidad de la vida útil que tiene cada activo físico, en base a escala de colores.

La agrupación de los datos para cada escenario estará dividida en cuartiles y quintiles, de acuerdo a la TABLA 4-1. Mientras que, para catalogar el nivel de impacto dado la ocurrencia de algún escenario, por Falla del Transformador será evaluado en base a la TABLA 4-2.

TABLA 4-1 NIVELES DE IMPORTANCIA PARA LOS ESCENARIOS DEL INDICADOR ANALIZADO.

Escenario del Indicador	Descripción
MB	Muy baja + Variable de análisis del Indicador
B	Baja + Variable de análisis del Indicador
M	Media + Variable de análisis del Indicador
A	Alta + Variable de análisis del Indicador
MA	Muy Alta + Variable de análisis del Indicador

TABLA 4-2 NIVELES DE IMPACTO DADO LA FALLA FINAL DEL TRANSFORMADOR.

Nivel de Impacto	Descripción
MB	Muy Bajo Impacto
B	Bajo Impacto
M	Medio Impacto
A	Alto Impacto
MA	Muy Alto Impacto

En base a lo antes mencionado, el procesamiento y agrupación de los datos para cada indicador será realizado por lo argumentado en la Sección 3.1.1 y el análisis estadístico de las respuestas emitidas por los expertos del Anexo 8.1.

Cabe mencionar que, para poder realizar el análisis estadístico del criterio emitido por expertos se ponderara a cada una de las respuestas de la siguiente manera:

TABLA 4-3 GRADO DE PONDERACIÓN PARA RESPUESTAS DE EXPERTOS.

Respuesta	Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
Ponderación	1	2	3	4	5

4.1.1 Validación de Indicadores

El análisis de los escenarios propuestos para los indicadores en el Anexo 8.1 se desarrolla mediante 2 tipos de análisis:

1. El primer análisis es realizado mediante el análisis estadístico de las respuestas obtenidas de la primera ronda de encuestas. En el cual las respuestas deben cumplir con el criterio $IQR \leq 2$.
2. El segundo análisis es realizado mediante la propuesta de la la mediana (respuesta primera encuesta) de cada escenario, como respuesta definitiva. En el cual, las respuestas del análisis estadístico deben cumplir con el criterio de que $V. E. \geq 80\%$

4.1.1.1 Sobrecarga de Equipos (S.E.)

Este indicador mide la afectación de la indisponibilidad del Transformador de Potencia en la red, específicamente si para suplir su ausencia algún otro elemento de la red debe sobrecargarse.

La evaluación y agrupación de los niveles de este indicador está desarrollado en base a los escenarios de la TABLA 3-2 y al análisis estadístico realizado del criterio emitido por expertos del Anexo 8.1.2.4, mediante el uso del método Delphi. Se obtienen los siguientes análisis:

Análisis de Resultados Primera Ronda

Para el análisis de esta indicador, se determina que existe una tendencia hacia una misma respuesta, debido a que los escenarios cumplen con el criterio de $IQR \leq 2$. Véase la TABLA 4-4.

TABLA 4-4 ANÁLISIS DEL IQR PARA LOS ESCENARIOS DE S.E.

ESCENARIO	CUARTIL 3	MEDIANA	CUARTIL 1	IQR
a	4	3	3	1
b	5	4	2,75	2
c	4	3	2	2
d	4,25	4	3	1
e	5	5	4	1
f	5	5	5	0
g	1	1	1	0

Análisis de Resultados Segunda Ronda

En esta segunda ronda del análisis estadístico realizado se determina que los escenarios a, e, f, cumplen $V.E. \geq 80\%$, mientras que los escenarios b, c, d, g, son muy aproximados al 80%, por lo cual se dan como validadas las respuestas propuestas. Véase la TABLA 4-5

TABLA 4-5 ANÁLISIS DE LA VALIDACIÓN POR EXPERTOS PARA LOS ESCENARIOS DE S.E.

Escenario	Respuesta Propuesta (Mediana)	Validación Expertos $\geq 80\%$
a	2	100
b	4	78
c	3	78
d	4	78
e	5	89
f	5	89
g	1	78

Entonces, la agrupación de los datos de este indicador queda de la siguiente manera. Véase la TABLA 4-6

TABLA 4-6 NIVELES DE IMPORTANCIA DE ACUERDO AL EFECIÓN POR SOBRECARGA.

Nivel de Sobrecarga	Escenario
MB	<ul style="list-style-type: none"> No produce ningún efecto en otros equipos.
B	<ul style="list-style-type: none"> Produce aumento de temperatura en otros equipos, debido a un aumento de carga.
M	<ul style="list-style-type: none"> Produce un envejecimiento acelerado de otros equipos.
A	<ul style="list-style-type: none"> Produce la desconexión de otros equipos. Pérdidas de las propiedades mecánicas y dieléctricas de otros equipos.
MA	<ul style="list-style-type: none"> Produce desconexión de equipos en cadena e inestabilidad en la red. Produce una desconexión total de la red (Black Out)

4.1.1.2 Potencia Desconectada (P.D.)

Este indicador evalúa la potencia déficit en el SSEE en caso de presentarse la falla e indisponibilidad del Transformador.

La evaluación y agrupación de los niveles de este indicador está desarrollado en base al análisis estadístico realizado del criterio emitido por expertos en el Anexo 8.1.2.2, mediante el uso del método Delphi. Se obtienen los siguientes análisis:

Análisis de Resultados Primera Ronda

La pregunta planteada en la primera encuesta, para los escenarios de este indicador fue realizada de manera abierta, obteniéndose diversos % de Potencia deficit, por parte de los expertos. Con lo que, no se puede realizar el análisis del criterio $IQR \leq 2$.

Análisis de Resultados Segunda Ronda

En esta segunda ronda del análisis estadístico realizado, se determina que los escenarios cumplen $V. E. \geq 80\%$, por lo cual se da como validadas las respuestas propuestas. Véase la

TABLA 4-7

TABLA 4-7 ANÁLISIS DE LA VALIDACIÓN POR EXPERTOS PARA LOS ESCENARIOS DE P.D.

Escenario	Respuesta Propuesta	Validación Expertos $\geq 80\%$
a	PD < 5	100
b	5 < PD < 10	89
c	10 < PD < 30	89
d	30 < PD < 50	89
e	PD > 50	89

Entonces, la agrupación de los datos de este indicador queda de la siguiente manera. Véase la TABLA 4-8 .

TABLA 4-8 NIVELES DE IMPORTANCIA DE ACUERDO A LA POTENCIA DESCONECTADA.

Nivel de Potencia Desconectada	Escenario (%)
MB	PD < 5
B	5 < PD < 10
M	10 < PD < 30
A	30 < PD < 50
MA	PD > 50

4.1.1.3 Cargas sensibles (C.S.)

Este indicador hace referencia a la existencia de cargas sensibles (tipo de usuario), que se encuentren aguas abajo de la unidad de transformación, las mismas que se vean afectadas por la interrupción del Suministro de Energía Eléctrica debido a la falla del Transformador de Potencia.

Entonces, acorde a los escenarios presentados en la TABLA 3-3, y al análisis estadístico obtenido del criterio emitido por los expertos en el Anexo 8.1.2.3, mediante el uso del método Delphi. Se obtienen los siguientes análisis:

Análisis de Resultados Primera Ronda

Para el análisis de esta indicador, se determina que existe una tendencia hacia una misma respuesta, debido a que los escenarios cumplen con el criterio de $IQR \leq 2$. Véase la

TABLA 4-9

TABLA 4-9 ANÁLISIS DEL IQR PARA LOS ESCENARIOS DE C.S.

ESCENARIO	CUARTIL 3	MEDIANA	CUARTIL 1	IQR
a	5	5	4	1
b	3	2	2	1
c	4	4	3	1
d	5	5	5	0
e	4	4	4	0
f	3	3	3	0

Análisis de Resultados Segunda Ronda

En esta segunda ronda del análisis estadístico realizado se determina que los escenarios a, b, c, d, f, cumplen $V.E. \geq 80\%$, mientras que el escenarios e, es muy aproximado al 80%, por lo cual se dan como validadas las respuestas propuestas. Véase la TABLA 4-10

TABLA 4-10 ANÁLISIS DE LA VALIDACIÓN POR EXPERTOS PARA LOS ESCENARIOS DE C.S.

Escenario	Respuesta Propuesta (Mediana)	Validación Expertos $\geq 80\%$
a	5	89
b	2	89
c	4	89
d	5	89
e	4	78
f	3	89

Entonces, la agrupación de los datos para este indicador queda de la siguiente manera. Véase la TABLA 4-11.

TABLA 4-11 NIVELES DE IMPORTANCIA DE ACUERDO A LA CONFIABILIDAD DE LA CARGA.

Nivel de Confiabilidad	Escenarios
B	<ul style="list-style-type: none"> • Usuarios residenciales urbanos y/o rurales • Centros comerciales, educativos y pequeñas fábricas.
A	<ul style="list-style-type: none"> • Empresas y/o industrias con equipos electrónicos costosos y sensibles • Fábricas que no tienen complicados y delicados procesos de fabricación pero causan la desocupación de empleados y obreros.
MA	<ul style="list-style-type: none"> • Sectores Industriales de producción continua • Hospitales, Centros de Salud y/o aeropuertos

4.1.1.4 Volumen de Aceite (V.A.)

Este indicador hace referencia al impacto ambiental por derrame y contaminación de aceite o impacto social debido a una explosión de la unidad y su posterior incendio. Estas razones convierten al aceite en uno de los indicadores de mayor riesgo. La evaluación y agrupación de los datos de este indicador es analizado de acuerdo al volumen de aceite y potencia del transformador.

Entonces, acorde a los volúmenes de aceite presentados en la TABLA 3-4, y las conclusiones obtenidas del análisis de la Norma NFPA 850 y el Anexo 8.1.2.1, la agrupación de los datos de este indicador queda de la siguiente manera. Véase la TABLA 4-12.

TABLA 4-12 NIVELES DE IMPORTANCIA DE ACUERDO AL VOLUMEN DE ACEITE.

Nivel de Aceite	Escenario [litros]
MB	V. A. < 2.000 (menos de 500 galones.)
B	2.000 < V. A. < 4.000 (500 a 1.000 galones.)
M	4.000 < V. A. < 20.000 (1.000 a 5.000 galones.)
A	20.000 < V. A. > 40.000 (5.000 a 10.000 galones.)
MA	V. A. > 40.000 (más de 10.000 galones.)

4.1.1.5 Proximidad de construcciones (P.C.)

Este indicador hace referencia a la existencia de construcciones o vidas humanas cercanas a la estación transformadora, mismas que podrían verse afectadas por la explosión y/o derrame de aceite del Transformador.

Como referencia para el análisis de este indicador se tiene la norma NFPA [25], la cual recomienda una distancia mínima de construcciones, dado la existencia de Transformadores sumergidos en aceite, los cuales dispongan de una pared contrafuegos en caso de su explosión o derrame de aceite. Véase la TABLA 4-13.

TABLA 4-13 CRITERIO DE SEPARACIÓN DE CONSTRUCCIONES, PARA TRANSFORMADORES SUMERGIDOS EN ACEITE CON PARED CONTRA FUEGOS.

Volumen de Aceite		Mínima Separación	
Galones	Litros	ft	Metros
< 500	< 1.890	5	1.5
500 – 5000	1.890 – 18.925	25	7.6
> 5000	> 18.925	50	15

Fuente Diagrama basado en [25]

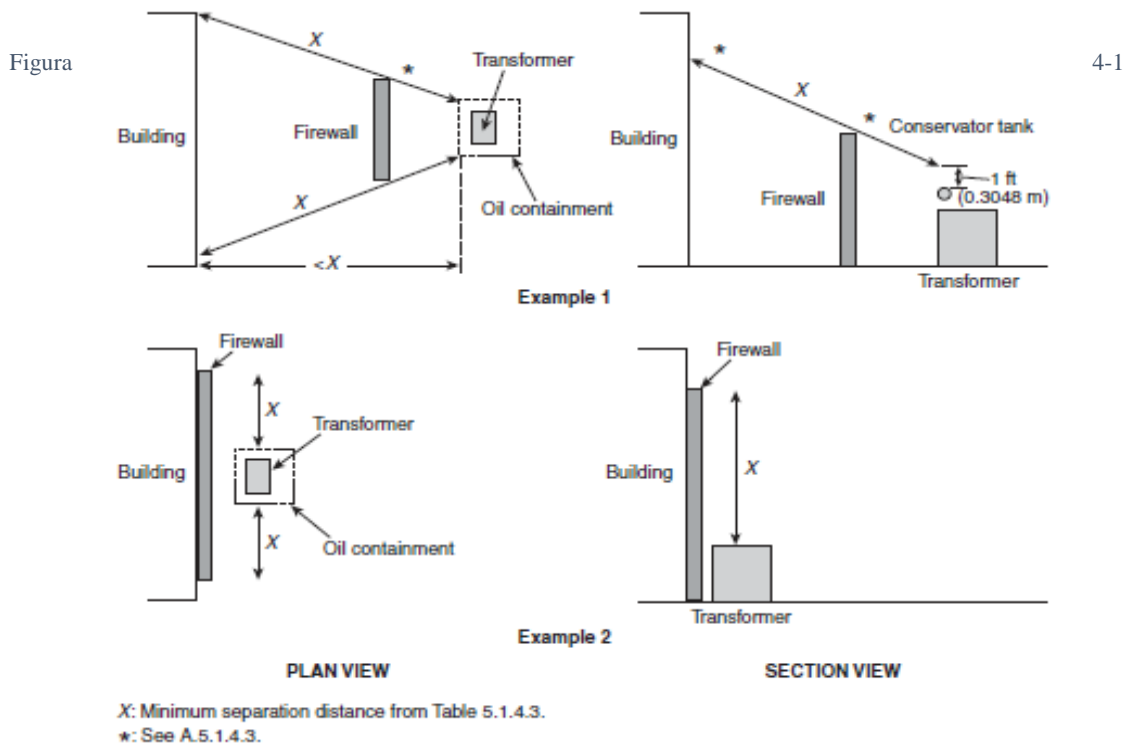


Ilustración de la separación mínima para transformadores sumergidos en aceite con pared contra fuego [25]

Entonces, acorde a los escenarios presentados en la TABLA 3-5, y al análisis estadístico obtenido del criterio emitido por los expertos en el Anexo 8.1.2.1, mediante el uso del método Delphi. Se obtienen los siguientes análisis:

Análisis de Resultados Primera Ronda

La pregunta planteada en la primera encuesta, para los escenarios de este indicador fue realizada de manera abierta, obteniéndose diversas distancias [m], por parte de los expertos. Con lo que, no se puede realizar el análisis del criterio $IQR \leq 2$.

Análisis de Resultados Segunda Ronda

En esta segunda ronda del análisis estadístico realizado, se determina que los escenarios cumplen $V.E. \geq 80\%$, por lo cual se dan como validadas las respuestas propuestas. Véase la TABLA 4-14

TABLA 4-14 ANÁLISIS DE LA VALIDACIÓN POR EXPERTOS PARA LOS ESCENARIOS DE P.C.

Escenario	Respuesta Propuesta (Mediana)		Validación Expertos $\geq 80\%$
a	Transformador con: V.A. ≤ 2.000 litros	$d_{\text{min.seguridad}} = 10$	100
b	Transformador con: $2.000 < V. A. < 4.000$ litros	$d_{\text{min.seguridad}} = 15$	100
c	Transformador con: $4.000 < V. A. < 20.000$ litros	$d_{\text{min.seguridad}} = 50$	100
d	Transformador con: $20.000 < V. A. < 40.000$ litros	$d_{\text{min.seguridad}} = 125$	100
e	Transformador con: V. A. ≥ 40.000 litros	$d_{\text{min.seguridad}} = 300$	100

La agrupación de los datos para este indicador queda de la siguiente manera. Véase la TABLA 4-15

TABLA 4-15 NIVELES DE DISTANCIA MÍNIMA EN FUNCIÓN DEL VOLUMEN DE ACEITE

Distancia	Escenario [metros]
MB	$d \leq 15$
B	$15 < d \leq 50$
M	$50 < d \leq 125$
A	$125 < d \leq 300$
MA	$d \geq 300$

4.1.1.6 Penalizaciones (P)

Este indicador hace referencia a la indisponibilidad de una unidad asociadas a la potencia de la misma y sus posibles penalizaciones por ENS al SSEE. Del cual, el ente regulador del sector eléctrico establece límites admisibles de operación, que si son superados por la empresa distribuidora será penalizada económicamente, y en el peor de los escenarios sacada de operación.

La determinación de los rangos para este indicador será obtenido mediante la aplicación de los índices de la TABLA 3-6 Límites admisibles para índices calidad técnico Subetapa 1 para Suministro de MV y las que se establecen en [22], para el cálculo la ENS en caso de haber excedido los valores admisibles del DAIC y FAIC. La ENS es calculada bajo las siguientes condiciones:

1. Si: $FAIC > LimFAIC$ y $DAIC < LimDAIC$

$$ENS = (FAIC - limFAIC) * \left(\frac{DAIC}{FAIC}\right) * \left(\frac{ETF}{THPA}\right) \quad (3)$$

2. Si: $FAIC < LimFAIC$ y $DAIC > LimDAIC$

$$ENS = (DAIC - limDAIC) * \left(\frac{ETF}{THPA}\right) \quad (4)$$

3. Si: $FAIC > LimFAIC$ y $DAIC > LimDAIC$; y si $\left(\frac{DAIC}{FAIC}\right) < \left(\frac{LimDAIC}{LimFAIC}\right)$

$$ENS = (FAIC - limFAIC) * \left(\frac{DAIC}{FAIC}\right) * \left(\frac{ETF}{THPA}\right) \quad (5)$$

4. Si: $FAIC > LimFAIC$ y $DAIC > LimDAIC$; y si $\left(\frac{DAIC}{FAIC}\right) \geq \left(\frac{LimDAIC}{LimFAIC}\right)$

$$ENS = (DAIC - limDAIC) * \left(\frac{ETF}{THPA}\right) \quad (6)$$

Aplicando las ecuaciones mencionadas, para un:

$$fc = 0,8 \text{ (en catalogos se establecen } fc = 0.5 ; 0.75; 1 \text{)}$$

$$fp = 0,9 \text{ (en catalogos se establece } 0,8 < fp < 1 \text{)}$$

$$fu = 0,99 \text{ (Establecido el 1\% por Mantenimiento promedio en un Año)}$$

$$THPA[h] = 8760 \text{ (Periodo de análisis)}$$

Y en base a la TABLA 4-8 Niveles de Importancia de acuerdo a la potencia DESCONECTADA.

La agrupación de los datos para este indicador queda de la siguiente manera. Véase la TABLA 4-16.

TABLA 4-16 NIVELES IMPORTANCIA POR PENALIZACIÓN DE ACUERDO AL DAIC Y FAIC.

Nivel de Penalización por ENS	Escenario [MWh]	Potencias de Análisis [MVA]
B	5.9 < ENS < 35.3	8.6 < PS < 16.5
M	11.75 < ENS < 105.8	16.5 < PS < 49.5
A	35.3 < ENS < 176.4	49.5 < PS < 82.5
MA	58.8 < ENS < 352.8	82.5 < PS < 165

4.1.1.7 Relés de Protección (R)

Este indicador hace referencia al tipo de Relé de Protección con el que cuenta el SSEE analizado, si para el caso de falla del Transformador de Potencia estos son capaces de actuar inmediatamente (Rapidez) y de esta manera evitar daños o reducirlos. Específicamente para evitar las probabilidades de su explosión o afección a cargas sensibles.

Entonces, acorde a los escenarios presentados en la TABLA 3-7, y al análisis estadístico obtenido del criterio emitido por los expertos en el Anexo 8.1.2.5, mediante el uso del método Delphi. Se obtienen los siguientes análisis:

Análisis de Resultados Primera Ronda

Para el análisis de esta indicador, se determina que existe una tendencia hacia una misma respuesta, debido a que los escenarios cumplen con el criterio de $IQR \leq 2$. Véase la TABLA 4-17

TABLA 4-17 ANÁLISIS DEL IQR PARA LOS ESCENARIOS DE R.

ESCENARIO	CUARTIL 3	MEDIANA	CUARTIL 1	IQR
a	4	4	4	0
b	5	4,3	3	1
c	4,3	4	4	1

Análisis de Resultados Segunda Ronda

En esta segunda ronda del análisis estadístico realizado, se determina que los escenarios cumplen $V.E. \geq 80\%$, por lo cual se dan como validadas la respuestas propuestas. Véase la TABLA 4-18

TABLA 4-18 ANÁLISIS DE LA VALIDACIÓN POR EXPERTOS PARA LOS ESCENARIOS DE R.

Escenario	Respuesta Propuesta	Validación Expertos $\geq 80\%$
a	3	89
b	5	89
c	4	89

La agrupación de los datos para este indicador queda de la siguiente manera. Véase la TABLA 4-19

TABLA 4-19 NIVELES DE ACTUACIÓN (RAPIDEZ) DE ACUERDO AL TIPO DE RELÉ.

Nivel de Actuación	Escenario
M	SSEE con relés de operación Electromecánicos.
A	SSEE que combine relés de operación electromecánicos y numéricos.
MA	SSEE con relés de operación numéricos o digitales.

4.2 Formulación y Validación de Reglas Difusas

A continuación se desarrolla la formulación de las reglas difusas, estructuradas en base al método de Mamdani IF – THEN, visto en el Capítulo 2. Así mismo, la formulación de este conjunto de reglas está en función de los indicadores establecidos en la Sección 4.1.

Una vez formuladas todas las reglas, se procede a la simplificación y agrupación de reglas que tengan como consecuencia, el mismo nivel de impacto en el análisis del Factor de Consecuencia (F.C.).

Entonces, agrupadas y simplificadas las reglas formuladas, se procede con el análisis de validación de las reglas en base al criterio de los expertos. Este criterio será obtenido mediante la aplicación del método Delphi.

4.2.1 Formulación de Reglas Difusas

Para la evaluación del Factor de Consecuencia se formulan reglas difusas de la estructura IF-THEN en función de las consecuencias de la falla final del Transformador de Potencia.

Las reglas difusas se formulan en base a 2 conjuntos:

- 1) Primer conjunto de reglas está desarrollado en función de un solo indicador.

La cual estructura de la siguiente manera

IF + indicador + nivel del escenario entonces el F. C. + N. Impacto

- 2) Segundo conjunto de reglas está en función de 2 indicadores.

La cual es estructurada de la siguiente manera

IF + indicador 1 + nivel escenario 1 y indicador 2
+ nivel escenario 2 entonces el F. C. +N. Impacto

El nivel del escenario es referida a la TABLA 4-1 y el nivel de impacto para el Factor de consecuencia es evaluado en base a la TABLA 4-2.

Dicho esto, en la TABLA 4-20 se presentan algunas de las reglas difusas formuladas para cada uno de los indicadores que permiten la evaluación del Factor de Consecuencia, cabe mencionar que se obtuvieron un total de 119 Reglas Difusas, las cuales deberán ser analizadas en base de las respuestas emitidas por los expertos.

IF		THEN	
REGLAS DIFUSAS CON 1 INDICADOR	Si la P.C. es de muy baja distancia	entonces el factor de consecuencia es	MB
	Si la P.C. es de alta distancia		
	Si el V.A. es de baja cantidad		B
	Si el V.A. es de media cantidad		
	Si la S.E. es de alta importancia		M
	Si la S.E. es de muy alta importancia		
	Si la P.D. es de media importancia		
	Si la P.D. es de alta importancia		
	Si la C.S. es de muy alta confiabilidad		
	Si la C.S. es de alta confiabilidad		
	Si la P. es de baja importancia		
	Si la P. es de muy alta importancia		
	Si la R. es de alta actuación		
REGLAS DIFUSAS CON 2 INDICADORES	Si el V.A. es de baja capacidad & la P.C. es de alta distancia	entonces el factor de consecuencia es	
	Si el V.A. es de alta capacidad & la P.C. es de muy alta distancia		
	Si la P.D. es de alta importancia & la S.E. es de baja importancia		
	Si la P.D. es de muy baja importancia & la S.E. es de muy alta importancia		MA
	Si la C.S. es de baja confiabilidad & la P.D es de alta importancia		
	Si la C.S. es de alta confiabilidad & la P.D es de baja importancia		
	Si la R. es de alta actuación y el V.A. es de alta cantidad		
	Si la R. es de muy alta actuación y el V.A. es de muy baja cantidad		
	Si la R. es de alta actuación y la C.S. es de muy alta confiabilidad		

TABLA 4-20 REGLAS DIFUSAS FORMULADAS PARA LA EVALUACIÓN DEL F.C.

4.2.2 Validación de Reglas Difusas

El análisis de los escenarios propuestos para las Reglas Difusas en el Anexo 8.1 se desarrolla mediante 2 tipos de análisis:

1. El primer análisis es realizado mediante el análisis estadístico de las respuestas obtenidas de la primera ronda de encuestas. En el cual las respuestas deben cumplir con el criterio $IQR \leq 2$.
2. El segundo análisis es realizado mediante la propuesta de la la mediana (respuesta primera encuesta) de cada escenario, como respuesta definitiva. En el cual, las respuestas del análisis estadístico deben cumplir con el criterio de que $V. E. \geq 80\%$

4.2.2.1 Volumen de Aceite – Proximidad de Construcciones

Este análisis es realizado acorde a las reglas propuestas, en el análisis estadístico obtenido del criterio emitido por los expertos en el Anexo 8.1.3.1, mediante el uso del método Delphi. Se obtienen los siguientes análisis:

Análisis de Resultados Primera Ronda

Para el análisis de esta regla, se determina que existe una tendencia hacia una misma respuesta, debido a que las mismas cumplen con el criterio de $IQR \leq 2$. Véase la TABLA 4-21

TABLA 4-21 ANÁLISIS DEL IQR PARA LOS ESCENARIOS DE V.A. – P.C.

REGLA	CUARTIL 3	MEDIANA	CUARTIL 1	IQR
a	5	5	5	0
b	4	3	3	1
c	4	4	4	0
d	3	3	2	1

Análisis de Resultados Segunda Ronda

En esta segunda ronda del análisis estadístico realizado, se determina que los escenarios cumplen $V. E. \geq 80\%$, por lo cual se dan como validadas las respuestas propuestas. Véase la TABLA 4-22

TABLA 4-22 ANÁLISIS DE LA VALIDACIÓN POR EXPERTOS PARA LAS REGLAS DE V.A. – P.C.

REGLA	Respuesta Propuesta (Mediana)	Validación Expertos $\geq 80\%$
a	5	100
b	3	89
c	4	89
d	3	89

4.2.2.2 Potencia Desconectada – Sobrecarga de Equipos

Este análisis es realizado acorde a las reglas propuestas, en el análisis estadístico obtenido del criterio emitido por los expertos en el Anexo 8.1.3.2, mediante el uso del método Delphi. Se obtienen los siguientes análisis:

Análisis de Resultados Primera Ronda

Para el análisis de esta regla, se determina que existe una tendencia hacia una misma respuesta, debido a que las mismas cumplen con el criterio de $IQR \leq 2$. Véase la TABLA 4-23

TABLA 4-23 ANÁLISIS DEL IQR PARA LOS ESCENARIOS DE P.D. – S.E.

REGLA	CUARTIL 3	MEDIANA	CUARTIL 1	IQR
a	5	5	4	1
b	3	3	1.75	1.3
c	4	4	4	0
d	4	3	3	1
e	3	3	3	0

Análisis de Resultados Segunda Ronda

En esta segunda ronda del análisis estadístico realizado, se determina que los escenarios cumplen $V.E. \geq 80\%$, por lo cual se dan como validadas las respuestas propuestas. Véase la TABLA 4-24

TABLA 4-24 ANÁLISIS DE LA VALIDACIÓN POR EXPERTOS PARA LAS REGLAS DE P.D. – S.E.

REGLA	Respuesta Propuesta (Mediana)	Validación Expertos $\geq 80\%$
a	5	100
b	3	89
c	4	100
d	3	89
e	3	89

4.2.2.3 Potencia Desconectada – Cargas Sensibles

Este análisis es realizado acorde a las reglas propuestas, en el análisis estadístico obtenido del criterio emitido por los expertos en el Anexo 8.1.3.3, mediante el uso del método Delphi. Se obtienen los siguientes análisis:

Análisis de Resultados Primera Ronda

Para el análisis de esta regla, se determina que existe una tendencia hacia una misma respuesta, debido a que las mismas cumplen con el criterio de $IQR \leq 2$. Véase la TABLA 4-25

TABLA 4-25 ANÁLISIS DEL IQR PARA LOS ESCENARIOS DE P.D. – C.S.

REGLA	CUARTIL 3	MEDIANA	CUARTIL 1	IQR
a	5	5	5	0
b	4.3	4	3.75	1
c	4	4	4	0
d	4	3	3	1
e	3	3	3	0

Análisis de Resultados Segunda Ronda

En esta segunda ronda del análisis estadístico realizado se determina que los escenarios a, c, e, cumplen $V.E. \geq 80\%$, mientras que los escenarios b, d, son muy aproximados al 80%, por lo cual se dan como validadas la respuestas propuestas. Véase la TABLA 4-26

TABLA 4-26 ANÁLISIS DE LA VALIDACIÓN POR EXPERTOS PARA LAS REGLAS DE P.D. – C.S.

REGLA	Respuesta Propuesta (Mediana)	Validación Expertos $\geq 80\%$
a	5	89
b	4	78
c	4	89
d	3	78
e	3	100

4.2.2.4 Volumen de Aceite – Relés de Protección

Este análisis es realizado acorde a las reglas propuestas, en el análisis estadístico obtenido del criterio emitido por los expertos en el Anexo 8.1.3.4, mediante el uso del método Delphi. Se obtienen los siguientes análisis:

Análisis de Resultados Primera Ronda

Para el análisis de esta regla, se determina que existe una tendencia hacia una misma respuesta, debido a que las mismas cumplen con el criterio de $IQR \leq 2$. Véase la TABLA 4-27

TABLA 4-27 ANÁLISIS DEL IQR PARA LOS ESCENARIOS DE V.A. – R.

REGLA	CUARTIL 3	MEDIANA	CUARTIL 1	IQR
a	4	4	3	1
b	3	3	2.25	0.8
c	3.75	3	3	0.8
d	3.75	3	3	0.8
e	3	3	3	0

Análisis de Resultados Segunda Ronda

En esta segunda ronda del análisis estadístico realizado se determina que los escenarios b, d, e, cumplen $V.E. \geq 80\%$, mientras que los escenarios a, c, son muy aproximados al 80%, por lo cual se dan como validadas la respuestas propuestas. Véase la TABLA 4-28

TABLA 4-28 ANÁLISIS DE LA VALIDACIÓN POR EXPERTOS PARA LAS REGLAS DE V.A. – R.

REGLA	Respuesta Propuesta (Mediana)	Validación Expertos $\geq 80\%$
a	4	78
b	3	89
c	3	78
d	3	89
e	3	100

4.2.2.5 Cargas Sensibles – Relés de Protección

Este análisis es realizado acorde a las reglas propuestas, en el análisis estadístico obtenido del criterio emitido por los expertos en el Anexo 8.1.3.5, mediante el uso del método Delphi. Se obtienen los siguientes análisis:

Análisis de Resultados Primera Ronda

Para el análisis de esta regla, se determina que existe una tendencia hacia una misma respuesta, debido a que las mismas cumplen con el criterio de $IQR \leq 2$. Véase la TABLA 4-29

TABLA 4-29 ANÁLISIS DEL IQR PARA LOS ESCENARIOS DE C.S. – R.

REGLA	CUARTIL 3	MEDIANA	CUARTIL 1	IQR
a	4	4	4	0
b	4	3	3	0.8
c	4	4	3	1
d	3	3	3	0
e	3	3	3	0
f	3	3	3	0

Análisis de Resultados Segunda Ronda

En esta segunda ronda del análisis estadístico realizado, se determina que los escenarios cumplen $V.E. \geq 80\%$, por lo cual se dan como validadas las respuestas propuestas. Véase la TABLA 4-30

TABLA 4-30 ANÁLISIS DE LA VALIDACIÓN POR EXPERTOS PARA LAS REGLAS DE C.S. – R.

REGLA	Respuesta Propuesta (Mediana)	Validación Expertos $\geq 80\%$
a	4	89
b	3	78
c	4	89
d	3	89
e	3	100
f	3	100

4.2.3 Comparación y Optimización de Reglas Difusas

Una vez obtenido el criterio de los expertos para cada una de las reglas presentadas en la encuesta, se procedió a la comparación de las reglas formuladas versus el análisis obtenido en la Sección 4.2.2. Con la comparación se buscó modificar las reglas formuladas que discrepen con el criterio consensuado de los expertos. De esta manera permitiendo obtener la fiabilidad y veracidad del total de reglas formuladas.

Antes de ser ingresadas las reglas en la herramienta FIS EDITOR se procedió con la optimización de las mismas:

Total de Reglas Formuladas: 119

La optimización de las reglas se realizó mediante la agrupación de las reglas individuales que tengan como resultado un mismo Factor de Consecuencia, de la siguiente manera:

TABLA 4-31 METODOLOGÍA DE AGRUPACIÓN DE REGLAS DIFUSAS CON IGUAL F.C.

		Regla Difusa con Indicador i+1				
		MB	B	M	A	MA
Regla Difusa con Indicador i	MB					
	B				x	x
	M	x	x		x	x
	A		x			
	MA					

En la TABLA 4-31 se muestra la forma en la cual se agrupan las reglas difusas individuales que tengan un mismo Factor de Consecuencia. De lo cual, se obtiene un

Las reglas como paso siguiente son ingresadas en el Bloque de Inferencia Difusa de la herramienta FIS EDITOR de MATLAB el cual interpretara los datos ingresados, con el fin de lograr determinar el Factor de Consecuencia. Este análisis es desarrollado en el Capítulo 5

4.3 Determinación de las Funciones de Membresía para la evaluación del F.C.

Existen varias formas de análisis para las funciones de membresía, como se mencionó en la Sección 2.3.1. Sin embargo, para el estudio en desarrollo se determinó como base el uso de 3 tipos de funciones: Triangular, Trapezoidal y Tipo crisp, debido a las características que presentan los indicadores, además de su facilidad en cuanto a su interpretación. Sin embargo, si fuera necesario se hará el uso de otro tipo de función de membresía.

La forma que tendrá cada función de membresía será determinada en base de las siguientes propiedades descritas en [27]:

- a) Core: Representa la región de un conjunto $\mu(x)$ en el que todos los elementos x tengan un *grado de pertenencia* = 1 es decir $\mu(x) = 1$
- b) Support: Representa la región de un conjunto $\mu(x)$ en el que todos los elementos x tengan un *grado de pertenencia* > 0 es decir $\mu(x) > 0$
- c) Boundary: Representa la región de un conjunto $\mu(x)$ en el que todos los elementos x tengan un $0 < \text{grado de pertenencia} < 1$ es decir $0 < \mu(x) < 1$

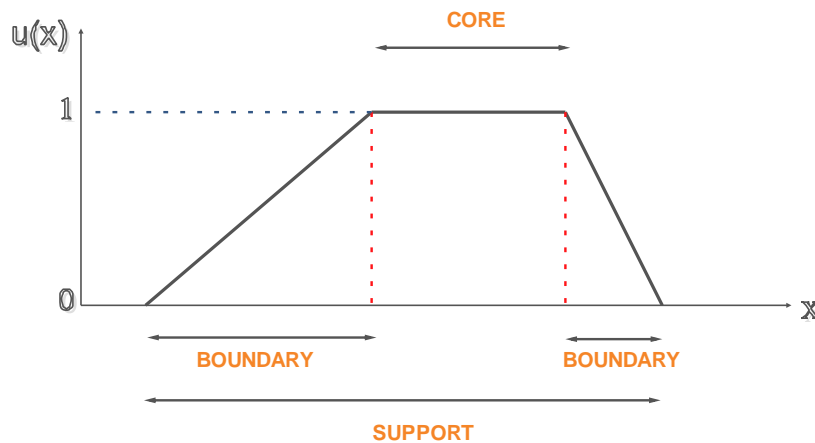


Figura 4-2 Propiedades de un conjunto Fuzzy

Fuente Diagrama basado en [24]

Una característica especial de las funciones de membresía es la intersección de 2 conjuntos $A \cap B$; esta característica será importante ya que en la estructuración de las funciones para los

grados de impacto de cada indicador se presenta la unión de funciones de membresía. Por ello es importante saber que:

- a) **α _cut:** representa el punto de cruce de 2 conjuntos, en el cual un conjunto en particular tiene su punto de corte en $\mu_{A \circ B}(x) = 0.5$. Véase Figura 4.3.
- b) **Height of fuzzy:** representa el máximo grado de membresía de la unión de 2 conjuntos, para un valor x de análisis. Es decir, en la Figura 3-2 muestran la unión de 2 conjuntos A y B en el que $hgt(A) = \max[\mu_A(x)]$ dado que $\mu_A(x_i) > \mu_B(x_i)$. Donde $\mu_A(x_i)$ representa el conjunto de mayor validez o credibilidad de información para ese valor x_i .

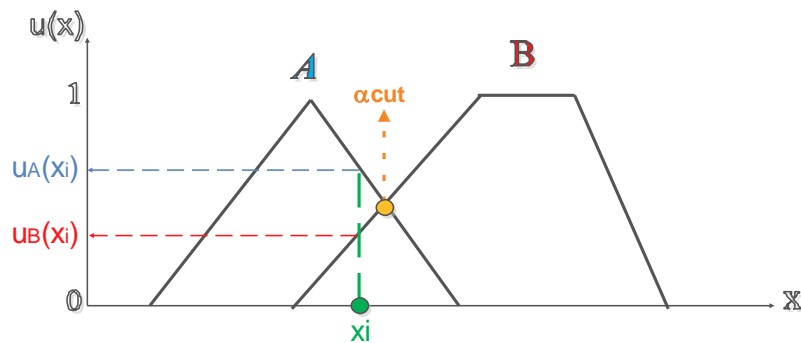


Figura 4-3 Propiedades de la intersección de 2 conjuntos Fuzzy

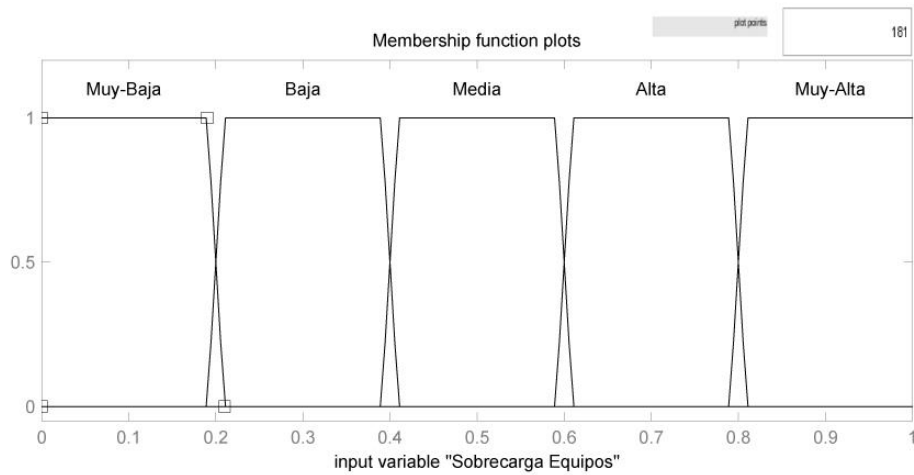
Fuente: Autores

Entonces, la determinación de las funciones de membresía correspondientes para cada indicador es desarrollada en función de las propiedades mencionadas y el comportamiento que presenten los datos analizados en la Sección 4.1 en el FIS EDITOR.

Cabe mencionar, que en algunos indicadores fue necesario la combinación de funciones de membresía.

A continuación se presentan las funciones de membresía establecidas para cada uno de los indicadores analizados en el Factor de Consecuencia. Las funciones fueron analizadas, desarrolladas e ingresadas en la herramienta FIS EDITOR de MATLAB.

4.3.1.1 Sobrecarga de Equipos

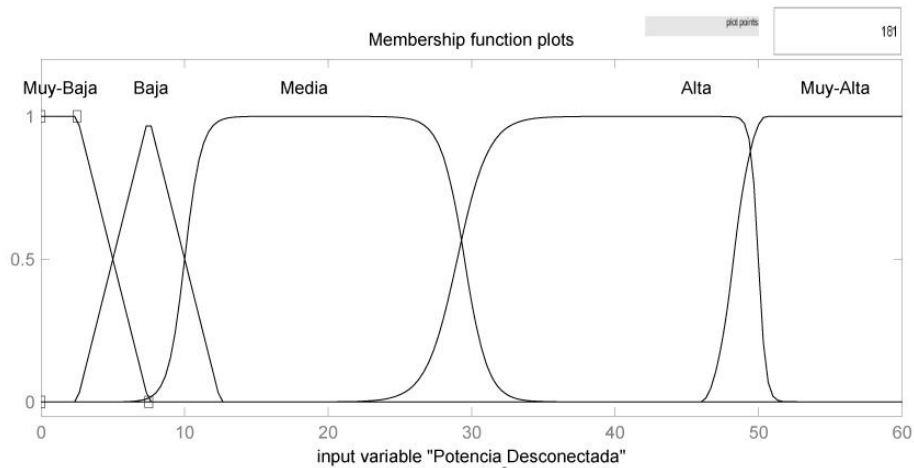


Grafica 4-1 Funciones de Membresía para S.E.

TABLA 4-32 PARÁMETROS DE S.E. PARA LAS FUNCIONES DE MEMBRESÍA.

Rango	0 – 1
MB	[0 0.19 0.21]
B	[0.19 0.21 0.39 0.41]
M	[0.39 0.41 0.59 0.61]
A	[0.59 0.61 0.79 0.81]
MA	[0.79 0.81 1 1.3]

4.3.1.2 Potencia Desconectada

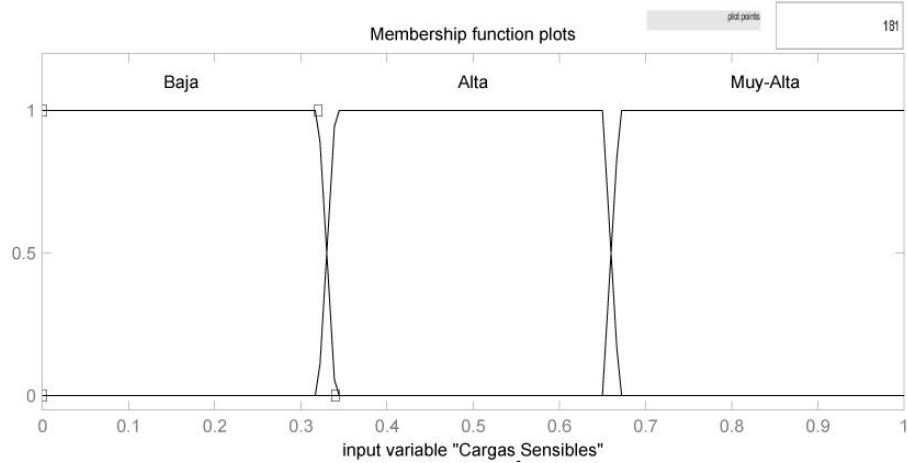


Grafica 4-2 Funciones de Membresía para P.D.

TABLA 4-33 PARÁMETROS DE P.D. PARA LAS FUNCIONES DE MEMBRESÍA.

Rango	0 – 100
MB	[0 0 2.5 7.5]
B	[2.5 7.5 12.5]
M	[7.5 12.5 25 35]
A	[25 35 45 55]
MA	[45 55 90 100]

4.3.1.3 Cargas Sensibles

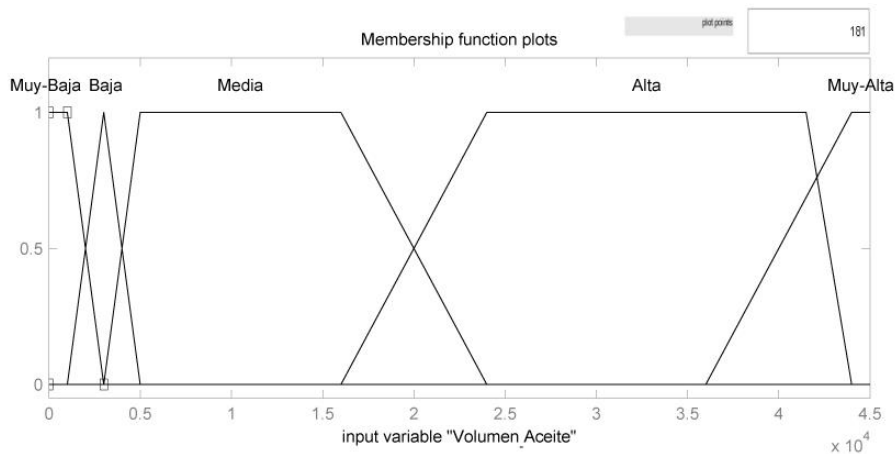


Grafica 4-3 Funciones de Membresía para C.S.

TABLA 4-34 PARÁMETROS DE C.S. PARA LAS FUNCIONES DE MEMBRESÍA.

Rango	0 – 1
B	[0 0 0.32 0.34]
A	[0.32 0.34 0.65 0.67]
MA	[0.65 0.67 0.98 1]

4.3.1.4 Volumen de Aceite

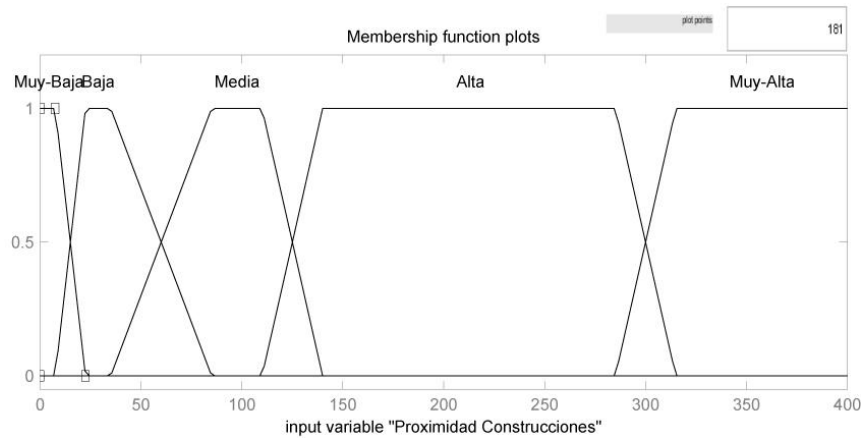


Grafica 4-4 Funciones de Membresía para V.A.

TABLA 4-35 PARÁMETROS DEL V.A. PARA LAS FUNCIONES DE MEMBRESÍA.

Rango	0 – 60.000
MB	[0 0 1.000 3.000]
B	[1.000 3.000 5.000]
M	[3.000 5.000 16.000 24.000]
A	[16.000 24.000 36.000 44.000]
MA	[36.000 44.000 55.000 60.000]

4.3.1.5 Proximidad de Construcciones

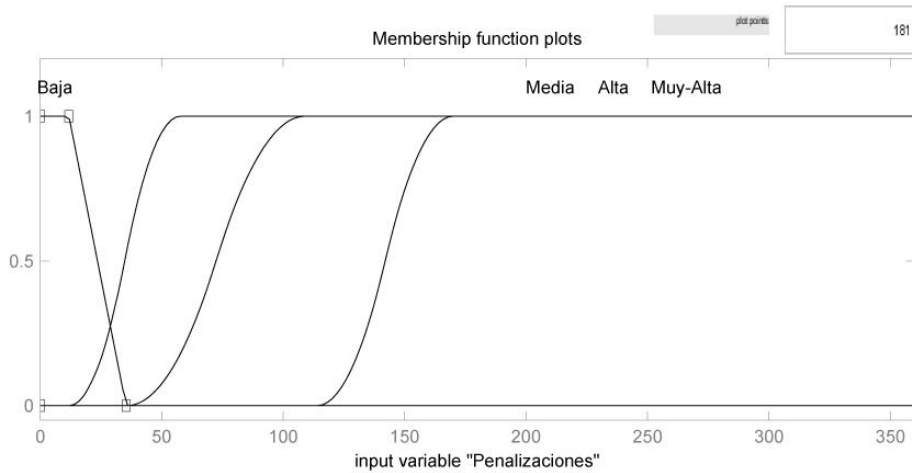


Grafica 4-5 Funciones de Membresía para P.C.

TABLA 4-36 PARÁMETROS DE P.C. PARA LAS FUNCIONES DE MEMBRESÍA.

Rango	0 – 600
MB	[285 315 450 600]
B	[110 140 285 315]
M	[35 65 110 140]
A	[7.5 22.5 35 65]
MA	[0 0 7.5 22.5]

4.3.1.6 Penalizaciones

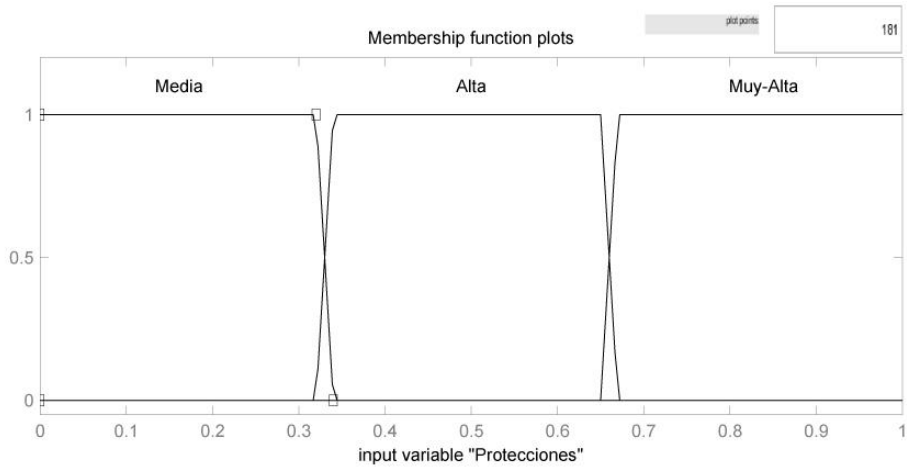


Grafica 4-6 Funciones de Membresía para P.

TABLA 4-37 PARÁMETROS DE P. PARA LAS FUNCIONES DE MEMBRESÍA.

Rango	0 – 25.000
B	[0 0 11.75 35.3]
M	[11.9 57.6]
A	[36.1 109]
MA	[114 170]

4.3.1.7 Relés de Protección

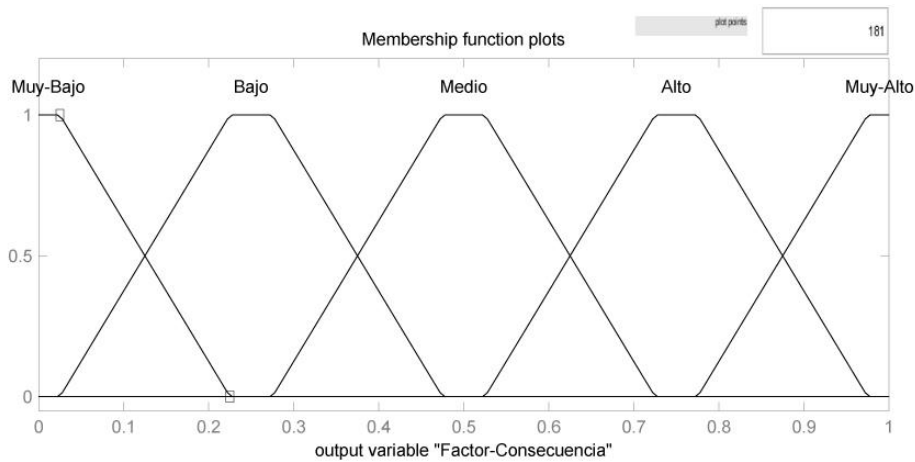


Grafica 4-7 Funciones de Membresía para R.

TABLA 4-38 PARÁMETROS DE R. PARA LAS FUNCIONES DE MEMBRESÍA.

Rango	0 – 1
B	[0 0 0.32 0.34]
M	[0.32 0.34 0.65 0.67]
A	[0.65 0.67 0.98 1]

4.3.1.8 Salida Factor de Consecuencia.



Grafica 4-8 Funciones de Membresía para evaluación de salida del F.C.

TABLA 4-39 PARÁMETROS DEL F.C. PARA LAS FUNCIONES DE MEMBRESÍA.

Rango	0 – 1
MB	[-0.25 0 0.025 0.225]
B	[0.025 0.225 0.275 0.475]
M	[0.275 0.475 0.525 0.725]
A	[0.525 0.725 0.775 0.975]
MA	[0.775 0.975 1.025 1.225]

5 SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el siguiente capítulo se presenta la simulación y análisis de resultados de un sistema de inferencia difusa basado en criterio experto, cuyo análisis estará dado dentro de los siguientes rangos: potencias desde 6.6 MVA hasta 165 MVA, tensiones desde 6.3 kV hasta 500 kV.

La simulación es desarrollada mediante la herramienta FIS EDITOR de MATLAB en la cual se ingresan las funciones de membresía obtenidas en el Capítulo 4 y las reglas difusas validadas en el Capítulo 0.

El análisis de los resultados es dado mediante la comparación de metodologías:

- I. La metodología propuesta.
- II. La metodología desarrollada e implementada por una empresa del Sector Eléctrico, la cual evalúa la Importancia Estratégica de sus Activos Físicos entre ellos los Transformadores de Potencia.

Dentro del análisis de resultados se analiza la sensibilidad de la importancia que cada indicador como variable de entrada del Sistema Difuso, frente al cambio que este represente para la salida del Factor de Consecuencia.

5.1 Implementación de Parámetros y Análisis del Factor de Consecuencia en el Fuzzy Logic de Matlab (FIS)

La herramienta FIS editor de MATLAB será la que permita desarrollar la integración de cada uno de los indicadores de entrada y obtener el factor de consecuencia deseado.

5.1.1 Ingreso de Indicadores, Funciones de Membresía y Reglas Difusas en el FIS EDITOR

Para acceder a esta herramienta es necesario ubicarse en la parte de Command Window e ingresar la palabra **fuzzy** con lo cual aparecerá la siguiente ventana. Véase la Figura 5-1

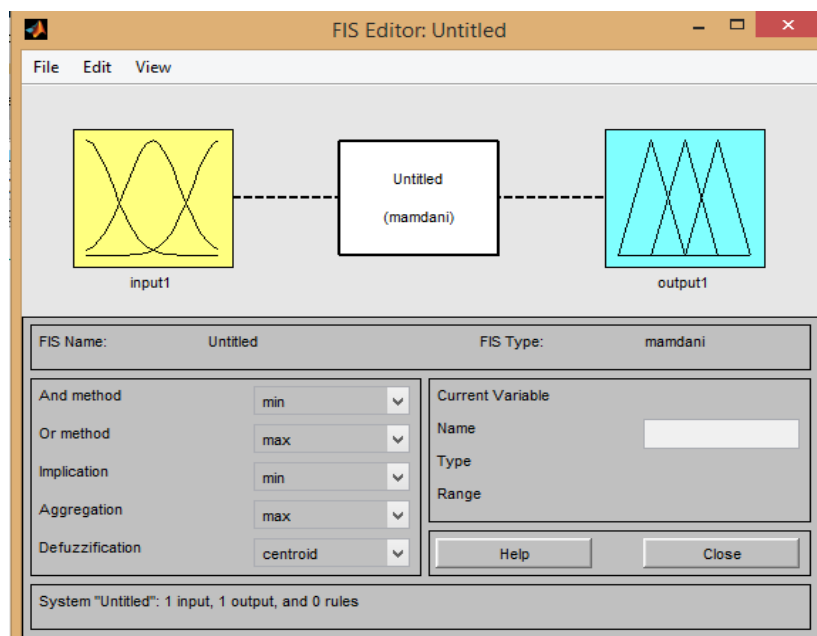


Figura 5-1 Menú Principal de Fuzzy Toolbox, FIS EDITOR

5.1.1.1 Ingreso de Variables de entrada y salida

Las variables de entrada y salida necesarias para el proceso de evaluación y simulación del Factor de Consecuencia son los indicadores analizados en la Sección 3.1. Los mismos que fueron ingresados, dirigiéndose a **Edit** → **Add Variable**, ingresándose los 7 indicadores de entrada y 1 salida que es el Factor de Consecuencia. Véase la Figura 5-2.

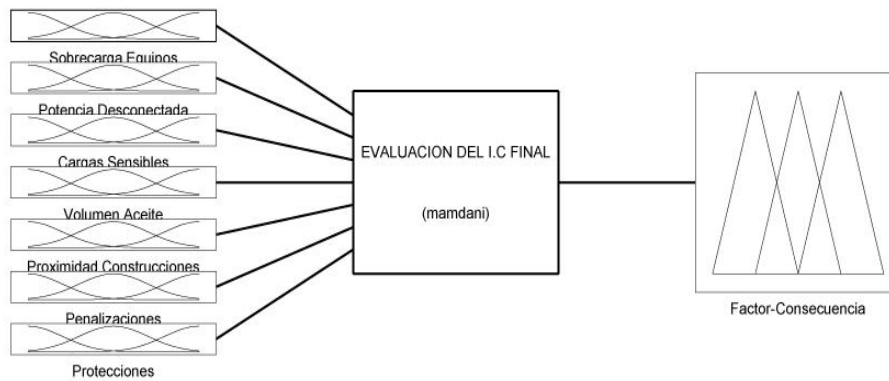


Figura 5-2 Bloque principal de Fuzzy Toolbox, ingresado las entradas y salidas de evaluación del F.C.

5.1.1.2 Ingreso de las Funciones de Membresía

Luego de haber ingresado las variables de entrada y la salida, se seleccionó los métodos de los operadores lógicos con los cuales el sistema de inferencia difusa trabaje en cada una de sus etapas, véase la Figura 5-3.

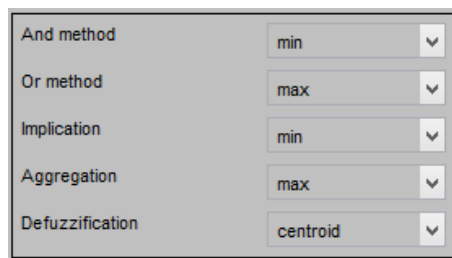


Figura 5-3 Selección de operadores Lógicos

Las Funciones de Membresía son ingresadas, dando clic sobre el bloque de cualquiera de las variables de entrada creadas en la sección 5.1.1.1, abriéndose una ventana en las que se crean funciones de membresía por defecto, las mismas que fueron ser remplazadas por las funciones de membresía establecidas en la Sección4-3. El remplazo se lo realizo dirigiéndose a la opción **Edit** → **Remove All MF's** → **Add Custom MF's**, en donde se ingresa el Nombre de la Función, Tipo función, y los rangos a los cuales esa variable lingüística pertenecerá. Un ejemplo de ello es la Figura 5-4 y Figura 5-5.

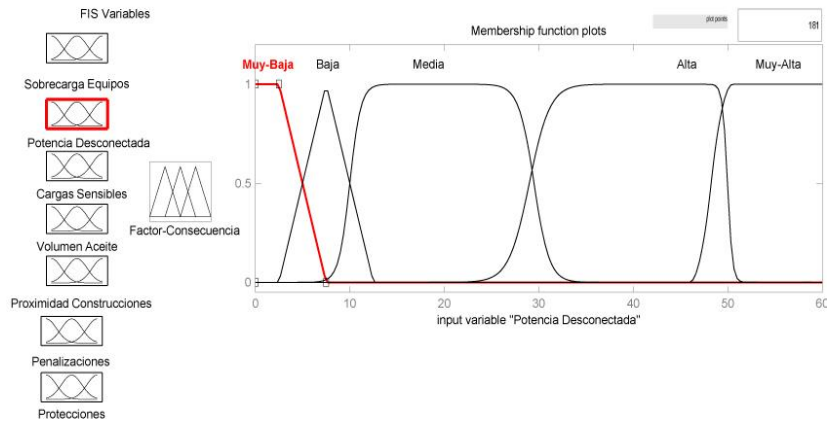


Figura 5-4 Funciones de membresía ingresadas para los indicadores Potencia Desconectada en el Membership Function Editor

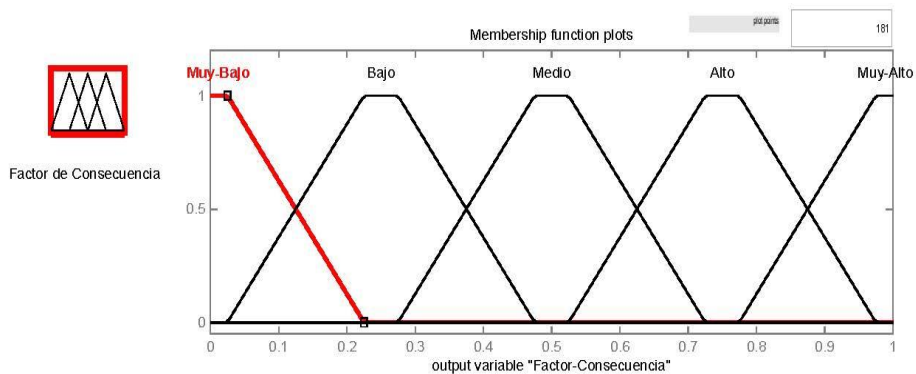


Figura 5-5 Funciones de Membresía para la Salida “Factor de Consecuencia” en el Membership Function Editor

5.1.1.3 Ingreso de las Reglas Difusas

Las Reglas Difusas que servirán para la interpretación de las variables de entrada fueron ingresadas en el **Rule Editor**, para acceder al mismo se debe hacer doble clic sobre el bloque central de la ventana principal o dirigirse a **Edit** → **Rules**. De lo cual, se obtiene la siguiente ventana:

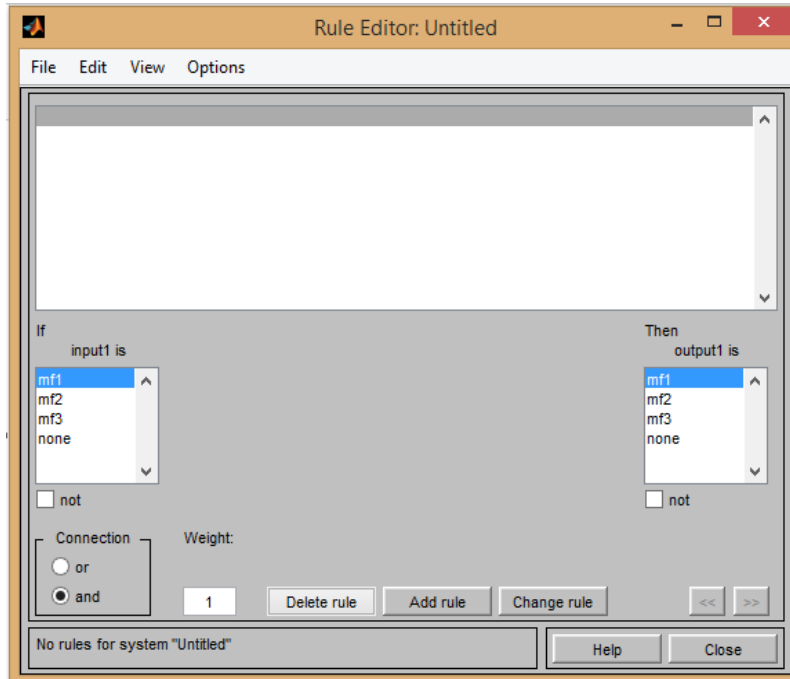


Figura 5-6 Ventana del Editor de Reglas, Rules Editor.

Entonces, acorde al número de variables de entrada, salida y las funciones de membresía que existan será el número máximo de reglas que puedan ser ingresadas. En el caso de estudio se tiene

- 7 variables de Entrada (Proximidad de Construcciones, Sobrecarga de Equipos, Cargas Sensibles, Volumen de Aceite, Potencia Desconectada, Penalizaciones, Relés de Protección).
- 1 variable de Salida (Factor de Consecuencia).
- El número de funciones de membresía establecidas para indicador son las presentadas en la Sección 4.3.

De acuerdo a lo mencionado se ingresó un total de 119 reglas establecidas en la Sección 4-2, cada una de estas reglas tiene una conexión Lógica AND. Cabe mencionar que al momento de ingresar cada regla, el programa otorga un peso relativo “Weight” de 1, lo que significa que cada regla tendrá el mismo grado de importancia en la determinación del índice de Consecuencia de Salida.

Sin embargo, estos pesos deberán ser modificados para lograr obtener un comportamiento adecuado y fiable de las variables de entrada versus la variable de salida. Los pesos otorgados para cada regla fueron analizados acorde al Factor de Consecuencia obtenido en análisis posteriores.

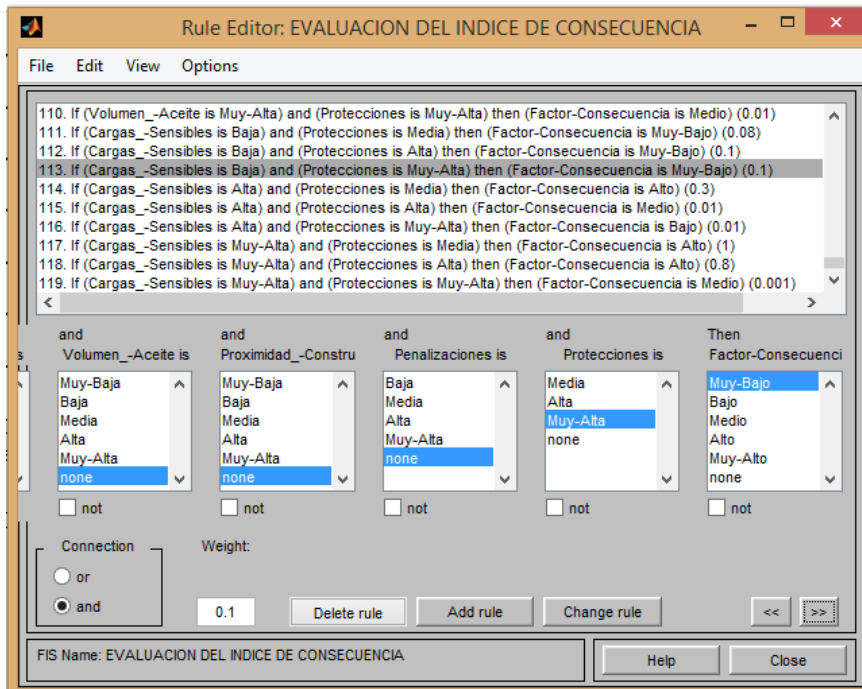


Figura 5-7 Reglas Difusas Validadas, en el Rules Editor.

5.1.2 Simulación y Análisis de Resultados.

Una vez ingresadas las funciones de membresía y las reglas difusas en el FIS EDITOR se procedió a la realizar los diferentes análisis de simulación, para comprobar el comportamiento de las variables de entrada versus la salida.

5.1.2.1 Proceso de pre simulación del Factor de Consecuencia.

Para ingresar a la ventana de simulación y realizar los diferentes análisis respectivos nos dirigimos a **View** → **Rules**, abriéndose la ventana presentada en la Figura 5-8, en la cual mostraran las diferentes entradas y las salidas creadas, para este ejemplo se tiene:

$$7 \text{ reglas} = 1 \text{ salida por regla}$$

$$2 \text{ entradas} + 7 \text{ reglas} = 1 \text{ salida que integra todas las reglas}$$

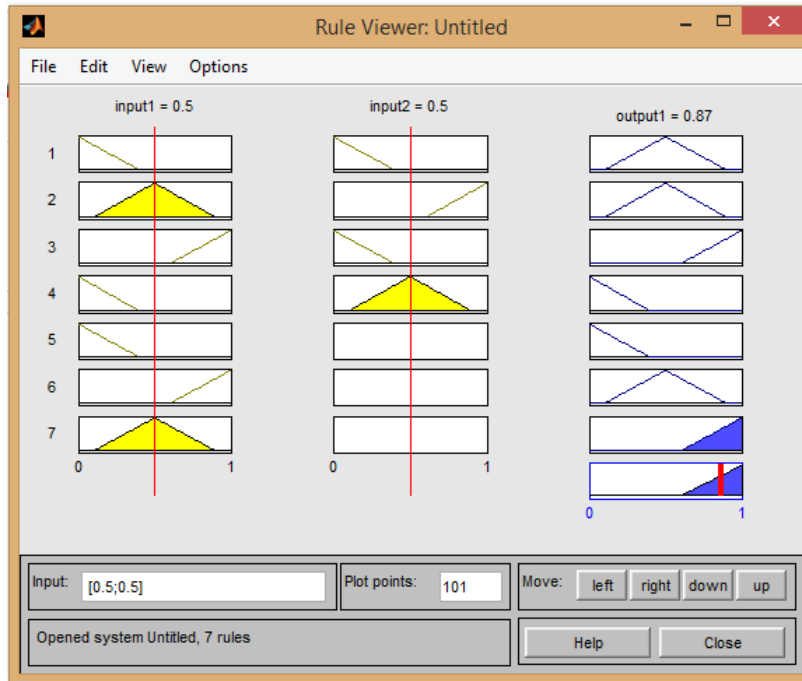


Figura 5-8 Ventana de Simulación del FIS EDITOR

La manera de realizar el análisis para los para diferentes escenarios se lo realiza modificando la posición de la barra central de cada entrada llevándola hasta el punto de análisis que se desea realizar, Véase la Figura 5-9

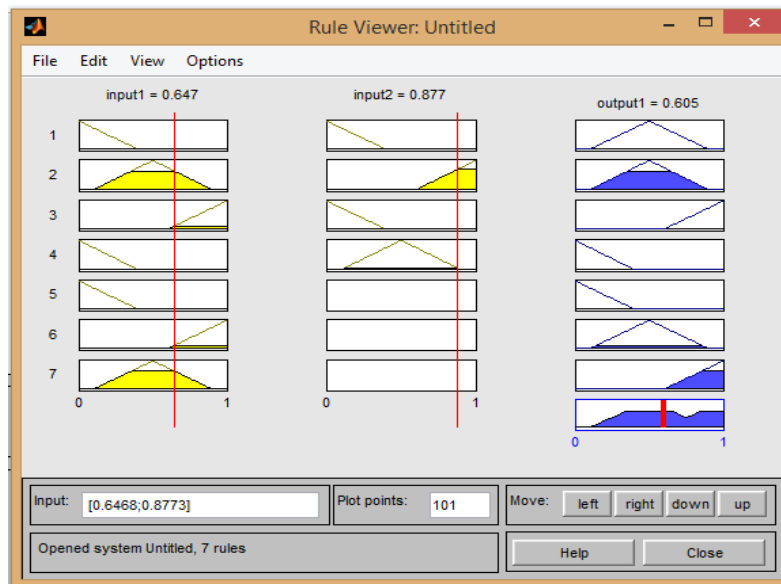


Figura 5-9 Modificación del escenario de análisis en el Rules

La manera de verificar el comportamiento que tendrá una variable de entrada frente a otra, es dirigirse a **View** → **Surface**, en la cual se abrirá la ventana de la Figura 5-10, que presentara el siguiente análisis:

$Variable\ entrada\ i \cup Variable\ de\ entrada\ i + 1 = \int Superficie\ Salida$

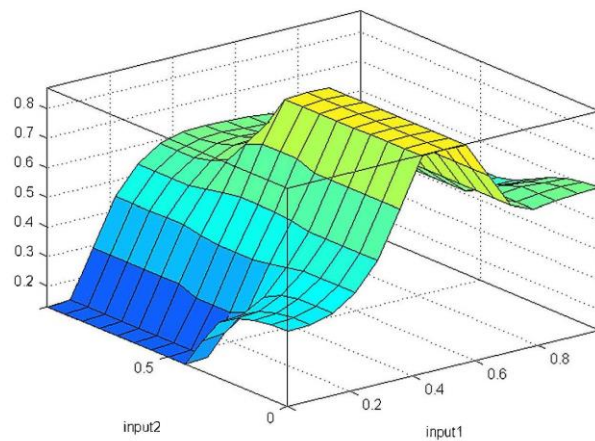


Figura 5-10 Análisis del comportamiento de la salida frente a 2 variables de entrada, análisis realizado en el Surface.

Otra manera de analizar si el comportamiento de cada entrada corresponde al requerido en la salida, se lo puede hacer con el análisis individual de cada variable, seleccionando en la ventana presentada en la Y (**input**) → **none**, con lo que se obtiene el comportamiento grafico de

Variable entrada i versus la Variable de Salida

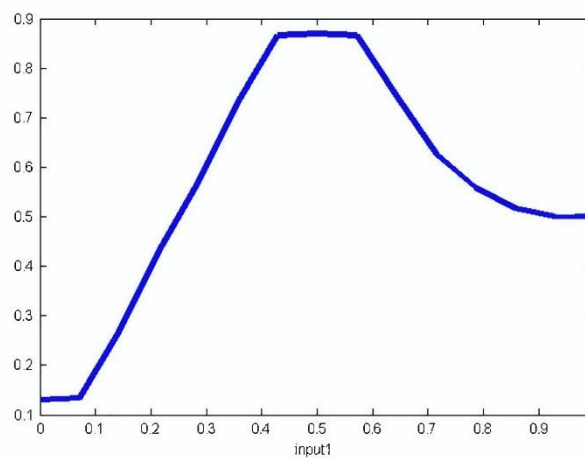


Figura 5-11 Comportamiento de la variable de entrada i versus la salida

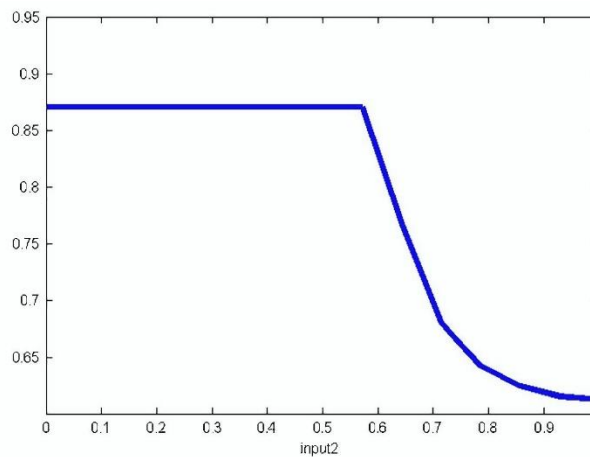


Figura 5-12 Comportamiento de la variable de entrada i+1 versus la salida

5.1.2.2 Proceso de simulación para la evaluación del Factor de Consecuencia.

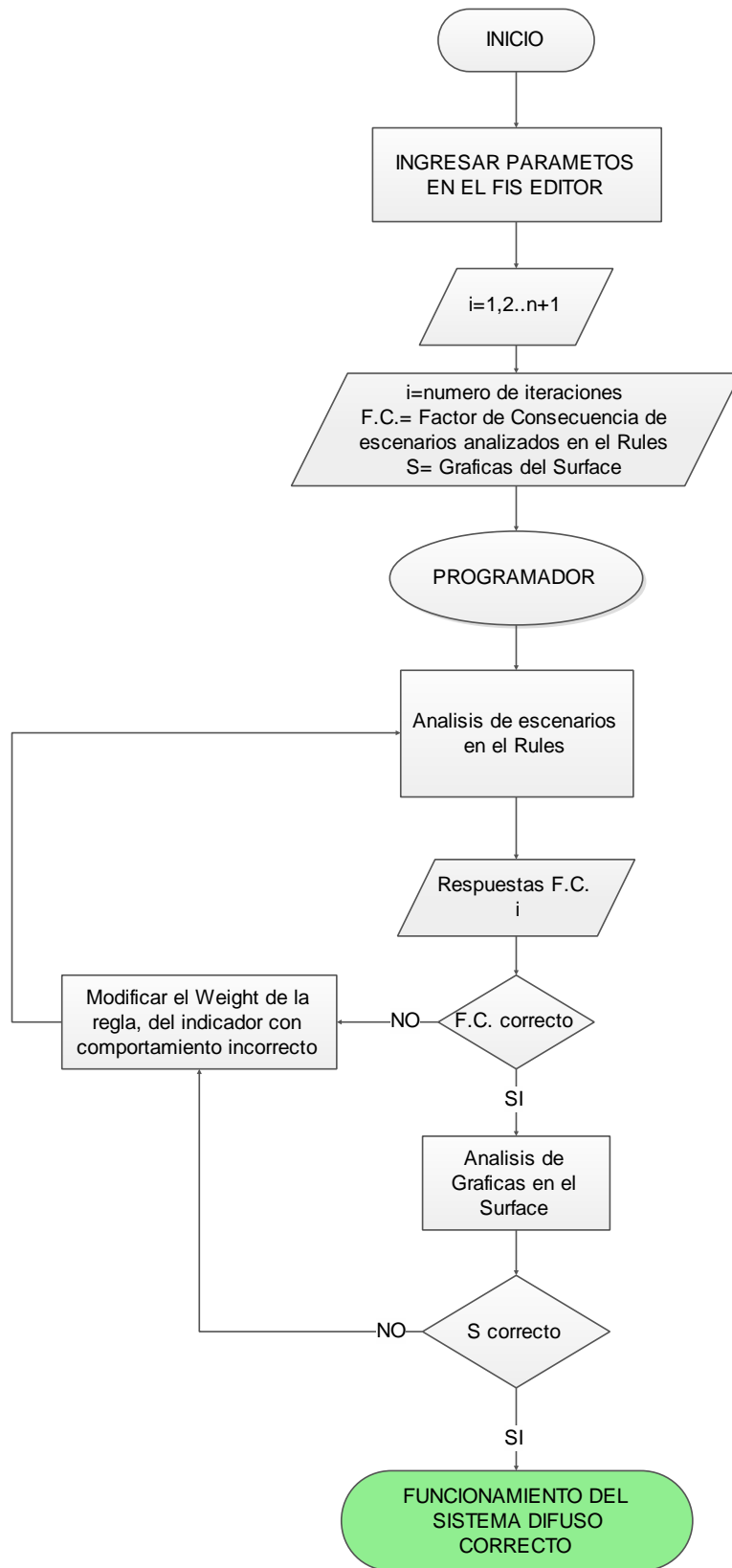
Entonces en base a lo mencionado en la sección 5.1.2.1, se realizó un primer análisis en el cual se trabajó con las reglas difusas con un Weight = 1, peso que es otorgado por el programa al momento de ingresar cada regla. Sin embargo, al establecer escenarios de análisis y obtener su Factor de Consecuencia en algunos de los escenarios se presentaban incongruencias tanto en el Rules, como en el comportamiento de las variables en el Surface.

Por lo cual, para lograr obtener un comportamiento adecuado de las variables de entrada versus la salida se procedió a realizar una compensación de las reglas, es decir otorgar un mayor o menor peso a la salida de cada regla. Este proceso fue llevado a cabo mediante el diagrama de flujo presentado en la Gráfica 5-1.

Cabe mencionar que cuando se desea compensar las reglas estas deben tener un punto de referencia, en nuestro caso se tomó como punto de referencia el centro de cada indicador, véase la Figura 5-13, y desde ahí se desplazó la barra para verificar el correcto o incorrecto funcionamiento del programa. Ya que si se empiezan a tomar diferentes puntos de referencia y se modifica el Weight de una o varias reglas, es probable que se altere el funcionamiento de otros indicadores.



Figura 5-13 Punto de referencia (barra roja) usado para compensación del Weight de las reglas.



Grafica 5-1 Diagrama de Flujo realizado para compensación del Sistema

Análisis de escenarios en el Rules

Luego de haber compensado al sistema mediante la modificación de los Weight = "x" para cada regla, en la TABLA 5-1 se presentan 10 diferentes casos de análisis, en los cuales se modifica los escenarios de los indicadores.

Para los resultados obtenidos del factor de consecuencia, analizados los distintos casos, se comprueba la variación del mismo y la coherencia de resultados. Además se estima los valores máximo y mínimo entre los cuales variara el factor de consecuencia es:

$$\text{minimo F. C.} = 0.202$$

$$\text{maximo F. C.} = 0.801$$

Los valores que se proporciona a cada indicador están establecidos acorde a los rangos determinados en la Sección 4.1.

TABLA 5-1 ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO CUALITATIVO DEL FACTOR DE CONSECUENCIA

S.E.	P.D.	C.S.	V.A.	P.C.	P.	R.	F.C.
MB	MB	B	MB	MA	B	MA	0.202
B	B	B	B	A	B	MA	0.211
M	MB	B	MB	M	B	MA	0.32
MB	B	A	MB	M	B	MA	0.419
B	M	A	B	A	B	A	0.47
M	M	A	M	A	M	A	0.584
A	A	B	M	M	A	A	0.649
A	M	A	A	MA	MA	M	0.721
A	A	A	A	B	A	A	0.8
MA	MA	MA	MA	MB	MA	M	0.801

Análisis del comportamiento de las variables en el Surface

A continuación se analiza el comportamiento de las gráficas generadas en el Surface. Los valores que adquiere el factor de consecuencia de cada indicador está en función del punto de referencia presentado en la Figura 5-13.

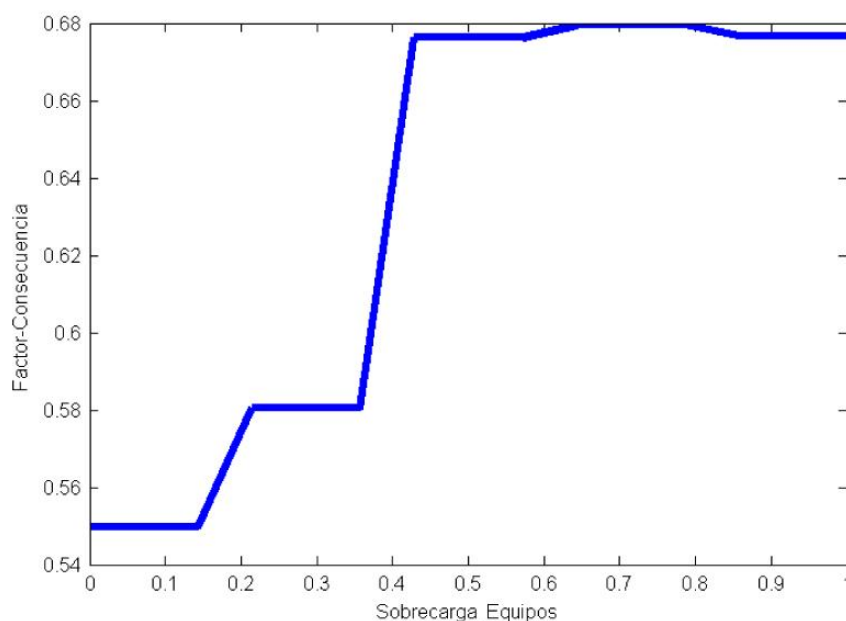
a) Variable entrada i versus la Variable de Salida

1. Sobrecarga de Equipos

El comportamiento del factor de consecuencia para el indicador sobrecarga de equipos es presentado en la Grafica 5-2, en la cual se observa que a medida que aumenta el nivel de afección por sobrecarga en el SSEE, se tiende a tener el mismo factor de consecuencia para los niveles de Medio, Alto y Muy Alto, debido a que se evalúan parámetros técnico-económicos. Véase la TABLA 5-2

TABLA 5-2 RANGOS DEL F.C. PARA EL NIVEL DE SOBRECARGA.

Nivel de Sobrecarga	Rango	≈ Factor de Consecuencia
Muy Baja	0.1 – 0.2	0.55 - 0.58
Baja	0.2 – 0.4	0.58 – 0.62
Media	0.4 – 0.6	0.62 – 0.67
Alta	0.6 – 0.8	0.67 -0.675
Muy Alta	0.8 – 1	0.675



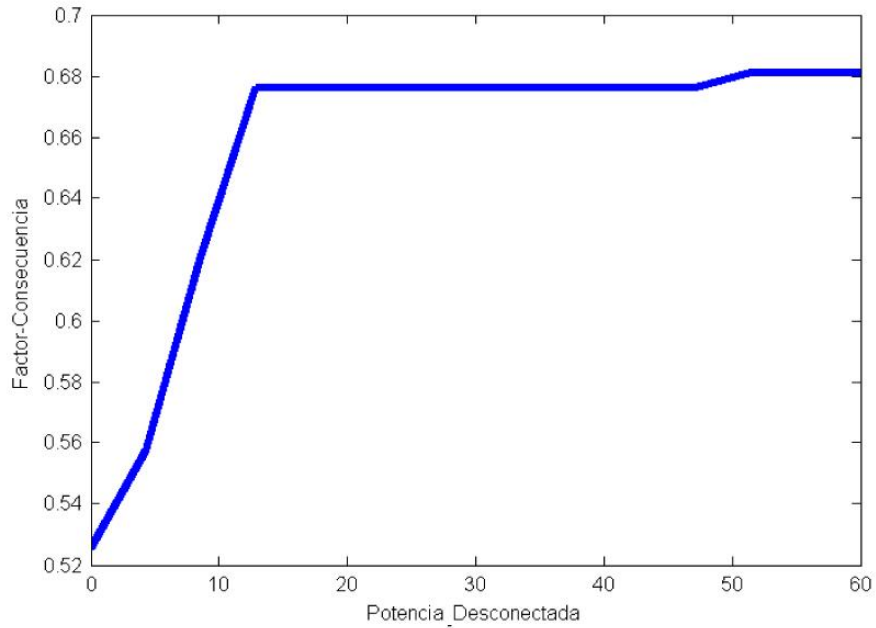
Gráfica 5-2 Comportamiento del factor de consecuencia versus el nivel de Sobrecarga.

2. Potencia Desconectada

El comportamiento del factor de consecuencia para el indicador Potencia Desconectada es presentado en la Gráfica 5-3, en la cual se observa que a medida que aumenta el nivel de potencia desconectada en el SSEE el nivel de impacto aumenta. Los niveles de Alto y Muy Alto son próximos a tener el mismo factor de consecuencia, esto es debido a que los porcentajes de potencia que se manejan por indisponibilidad son representativos para el SSEE. Véase la TABLA 5-3

TABLA 5-3 RANGOS DEL F.C. PARA EL NIVEL DE POTENCIA DESCONECTADA

Nivel de Potencia Desconectada	Rango %MVA	≈ Factor de Consecuencia
Muy Baja	< 5	0.52 – 0.58
Baja	5 – 10	0.58 – 0.63
Media	10 – 30	0.63 – 0.675
Alta	30 – 50	0.675 – 0.68
Muy Alta	>50	0.68



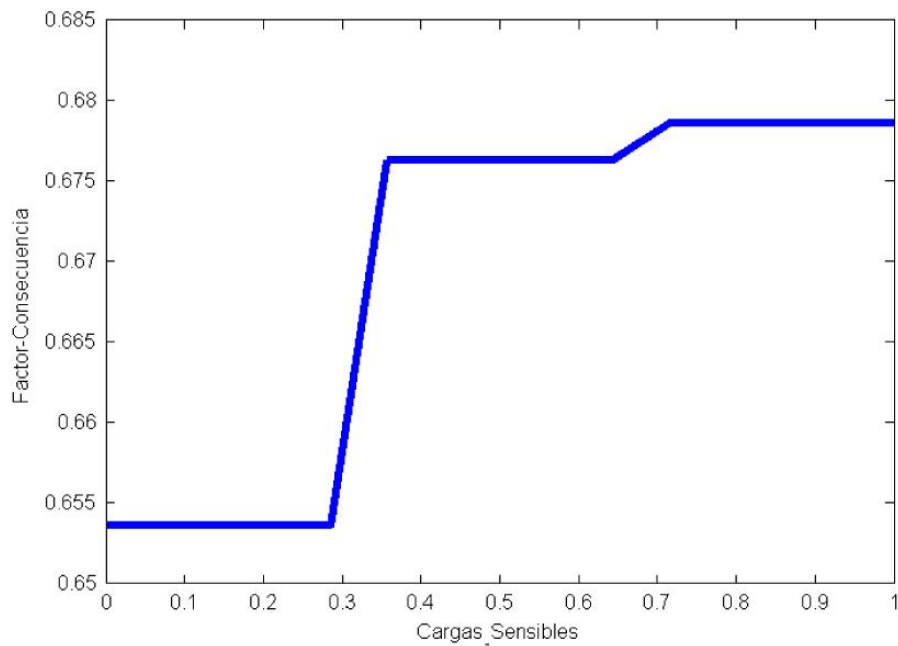
Grafica 5-3 Comportamiento del factor de consecuencia versus el nivel de potencia desconectada

3. Cargas Sensibles

El comportamiento del factor de consecuencia para el indicador Cargas Sensibles es presentado en la Grafica 5-4, en la cual se observa que las cargas sensibles de Alta y Muy Alta confiabilidad representan tener un mayor factor de consecuencia que las cargas de Baja confiabilidad, en caso de la indisponibilidad del transformador de potencia. Véase la TABLA 5-4

TABLA 5-4 RANGOS DEL F.C. PARA EL NIVEL DE CONFIABILIDAD DE LA CARGA

Nivel de Confiabilidad	Rango	≈ Factor de Consecuencia
Baja	0 – 0.3	0.653
Alta	0.3 – 0.6	0.653 – 0.673
Muy Alta	0.6 – 1	0.673 – 0.675



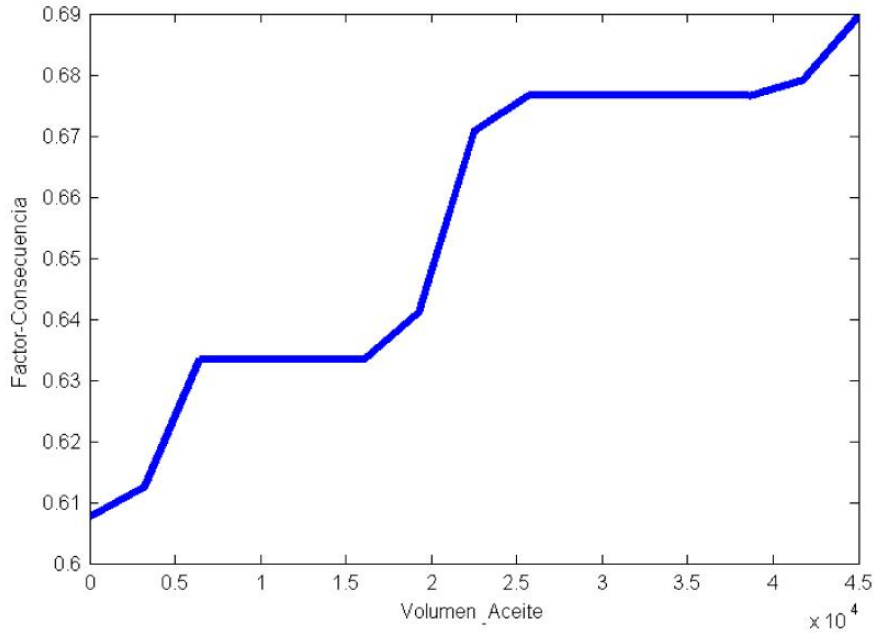
Grafica 5-4 Comportamiento del factor de consecuencia versus el nivel de confiabilidad de la carga.

4. Volumen de Aceite

El comportamiento del factor de consecuencia para el indicador Volumen de Aceite es presentado en la Grafica 5-5, en la cual se observa el crecimiento del factor de consecuencia para cada nivel de volumen de aceite. Véase la TABLA 5-5

TABLA 5-5 RANGOS DEL F.C. PARA EL NIVEL DE VOLUMEN DE ACEITE

Nivel de Volumen de Aceite	Rango [litros]	≈ Factor de Consecuencia
Muy Baja	< 2.000	0.62 – 0.623
Baja	2.000 - 4.000	0.623 – 0.63
Media	4.000 - 20.000	0.63 – 0.653
Alta	20.000 - 40.000	0.653 – 0.677
Muy Alta	>40.000	> 0.677



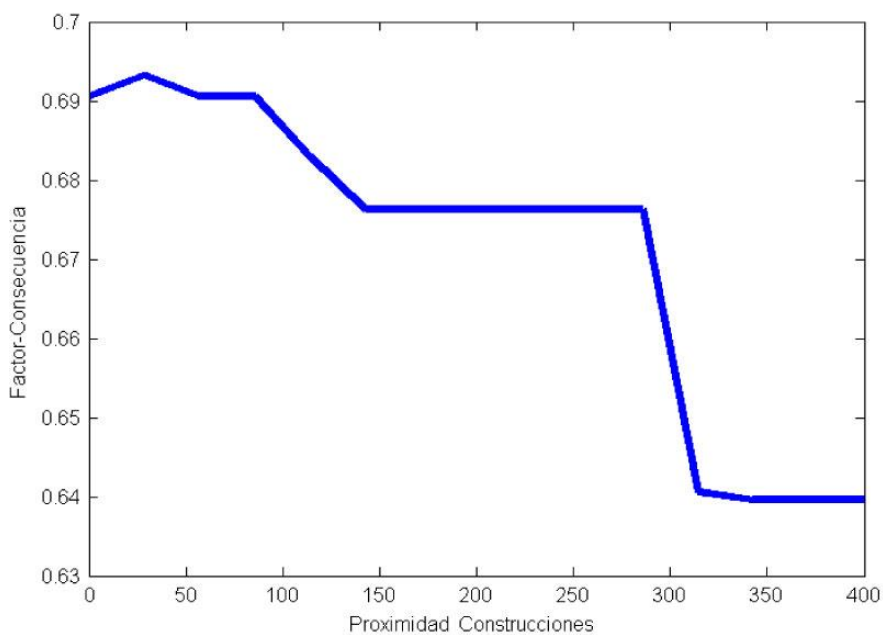
Grafica 5-5 Comportamiento del factor de consecuencia versus el nivel de volumen de aceite

5. Proximidad de Construcciones

El comportamiento del factor de consecuencia para el indicador Proximidad de Construcciones es presentado en la Grafica 5-6, en la cual se observa que a $1 < \text{distancias} < 150$ se presenta un factor de consecuencia creciente, sin importar el volumen de aceite del transformador, en cambio para distancias > 300 cualquiera que sea el volumen de aceite del transformador el factor de consecuencia tiende a ser el mínimo, permaneciendo de manera constante. Caso evaluado por explosión o derrame de aceite. Véase la TABLA 5-6.

TABLA 5-6 RANGOS DEL F.C. PARA EL NIVEL DE DISTANCIA

Nivel de Distancia	Rango [m]	≈ Factor de Consecuencia
Muy Baja	$d \leq 15$	0.69 – 0.691
Baja	$15 \leq d \leq 50$	0.691 – 0.69
Media	$50 \leq d \leq 125$	0.69 – 0.68
Alta	$125 \leq d \leq 300$	0.68 – 0.66
Muy Alta	$d \geq 300$	0.66 – 0.64



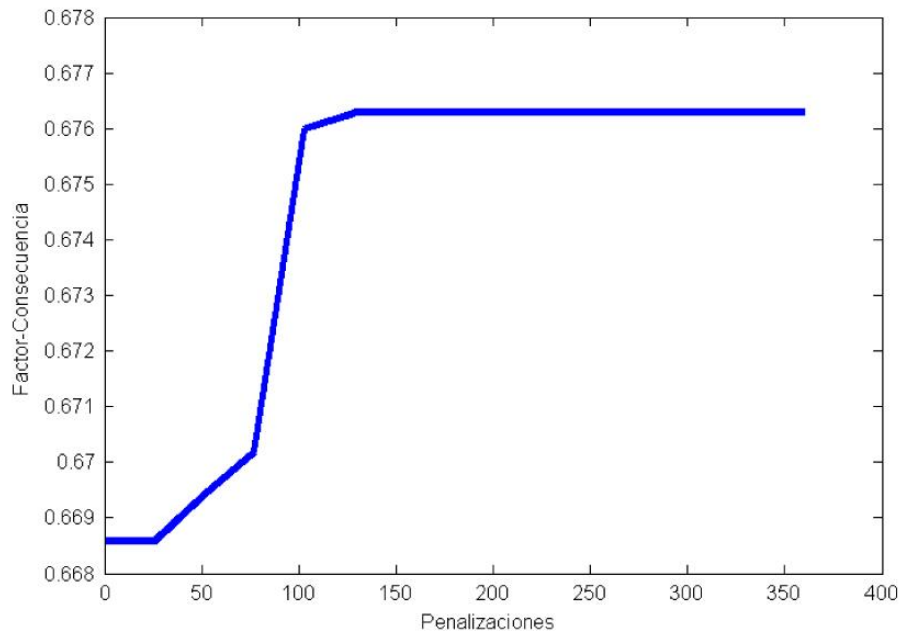
Grafica 5-6 Comportamiento del factor de consecuencia versus el nivel de distancia

6. Penalizaciones

El comportamiento del factor de consecuencia para el indicador Penalizaciones es presentado en la Grafica 5-7, en la cual se observa que cuando el transformador se encuentra indisponible y se supera los límites establecidos por el CONELEC del DAIC y FAIC el factor de consecuencia crece acorde al nivel de ENS, sin embargo se determina que para los niveles de Alto y Muy Alto el factor de consecuencia sea máximo debido al impacto que este representa para el aspecto económico de la empresa. Véase la TABLA 5-7.

TABLA 5-7 RANGOS DEL F.C. PARA EL NIVEL DE ENS.

Nivel de ENS	Rango [MWh]	≈ Factor de Consecuencia
Baja	$5.9 < ENS < 35.3$	0.668
Media	$11.75 < ENS < 105.8$	0.668 - 0.676
Alta	$35.3 < ENS < 176.4$	0.6765
Muy Alta	$58.8 < ENS < 352.8$	0.6765



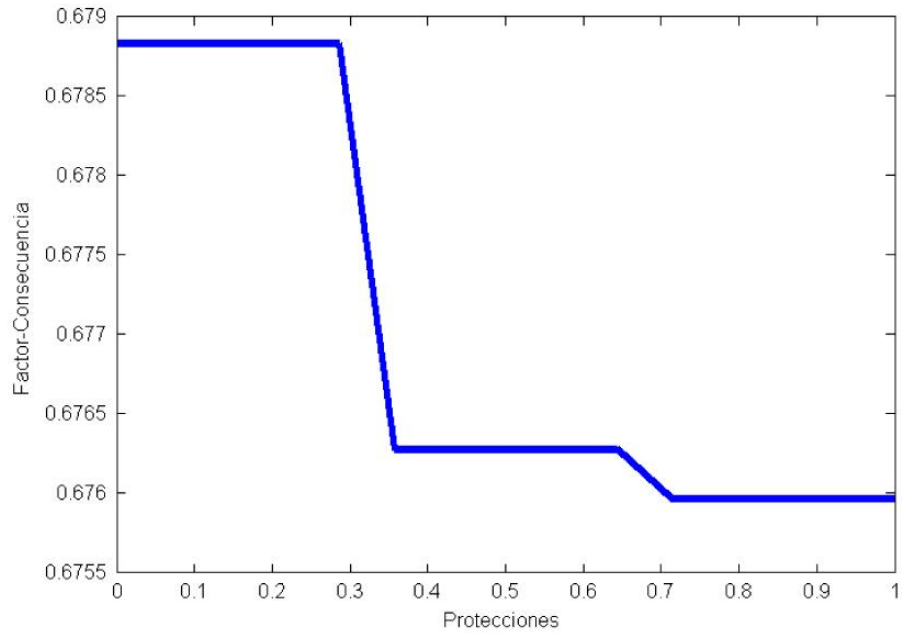
Grafica 5-7 Comportamiento del factor de consecuencia versus penalizaciones

7. Relés de Protección

El comportamiento del factor de consecuencia para el indicador Relés de Protección es presentado en la Grafica 5-8, en la cual se observa que se presenta un factor de consecuencia bajo para relés numéricos o combinado, a diferencia de tener un SSEE con relés de protección electromecánicos en el cual su factor de consecuencia es mayor. Véase la TABLA 5-8

TABLA 5-8 RANGOS DEL F.C. PARA EL NIVEL DE ACTUACIÓN

Nivel de actuación	Rango	≈ Factor de Consecuencia
Muy Alta	0.66 – 1	0.676 - 0.6763
Alta	0.33 – 0.66	0.6763 – 0.677
Media	0 – 0.33	0.677 - 0.6788



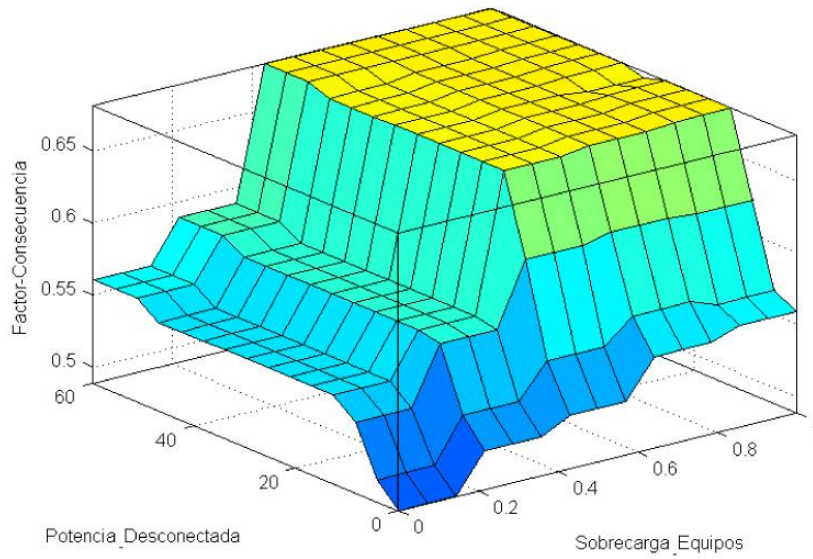
Grafica 5-8 Comportamiento del factor de consecuencia versus el nivel de actuación del Relé

b) *Análisis Variable entrada $i \cup$ Variable de entrada $i + 1$*

El análisis que se desarrolla a continuación es para determinar el comportamiento de los indicadores que tienen relación o influencia entre indicadores. Esta relación es establecida por las reglas combinadas formuladas.

1. Sobrecarga de Equipos – Potencia Desconectada

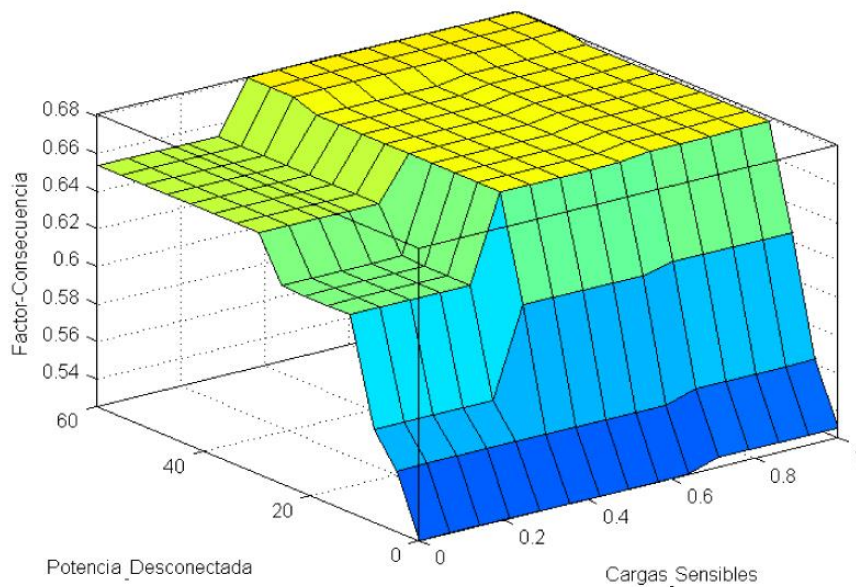
En la Grafica 5-9 se observa un comportamiento correcto de ambos indicadores, debido a que en la superficie generada al tener escenarios de mayor importancia para cada indicador se tiene niveles superiores de factor de consecuencia, presentándose la superficie en forma escalonada.



Grafica 5-9 Comportamiento de la superficie de salida para los indicadores S.E. – P.D.

2. Potencia Desconectada – Cargas Sensibles

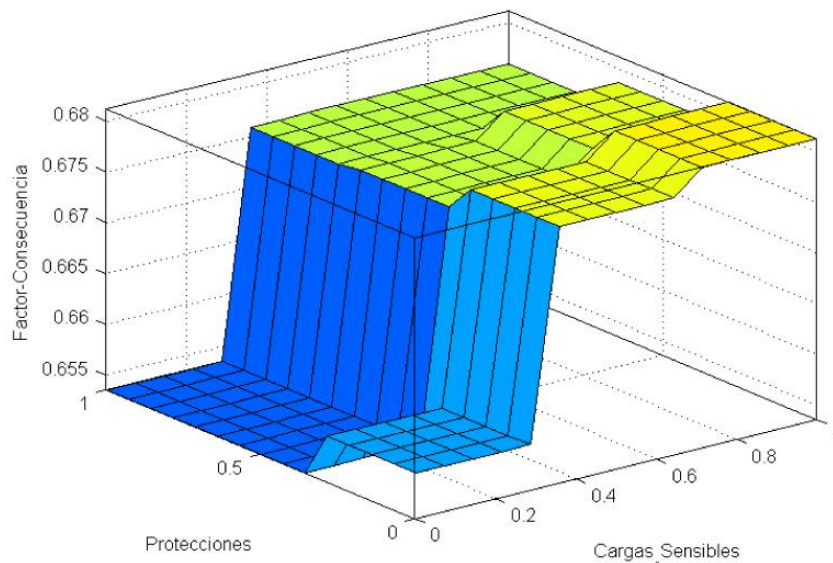
En la Grafica 5-10 se observa un comportamiento correcto de ambos indicadores, debido a que en la superficie generada al tener escenarios de mayor importancia para cada indicador se tiene niveles superiores de factor de consecuencia, presentándose en la superficie en forma escalonada.



Grafica 5-10 Comportamiento de la superficie de salida para los indicadores S.E. – C.S.

3. Cargas Sensibles – Protecciones

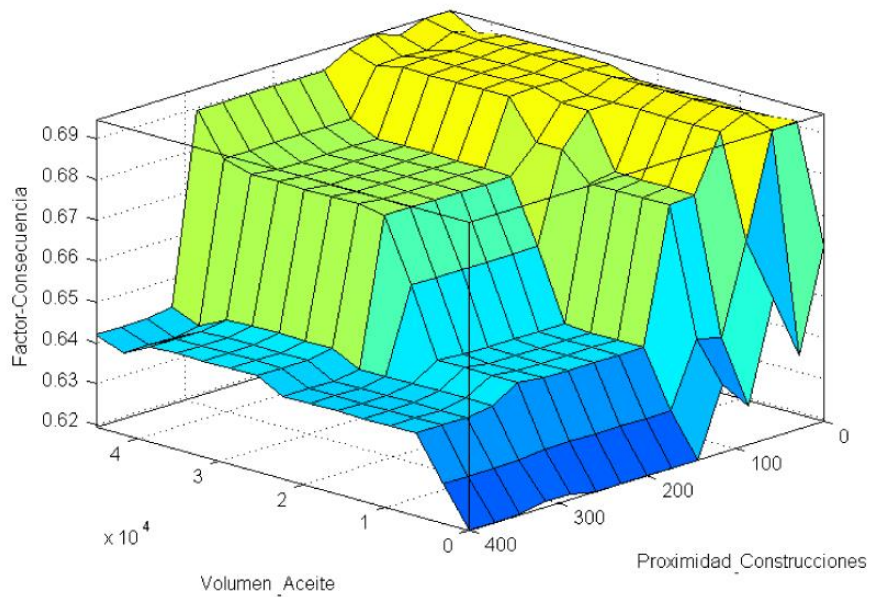
En la Grafica 5-11 se observa un comportamiento correcto, pero con la particularidad que, si un SSEE cuenta con relés de protección de Muy Alta actuación y además cuenta con cargas de Alta y Muy Alta sensibilidad el factor el factor de consecuencia tiende a ser el mismo, reduciéndose la criticidad de las cargas de Muy Alta. Mientras que, en el cuadrante de las protecciones de Media se observa cómo en cada tipo de carga su factor de consecuencia aumenta en forma escalonada.



Grafica 5-11 Comportamiento de la superficie de salida para los indicadores C.S.- R.

4. Volumen de Aceite – Proximidad de Construcciones

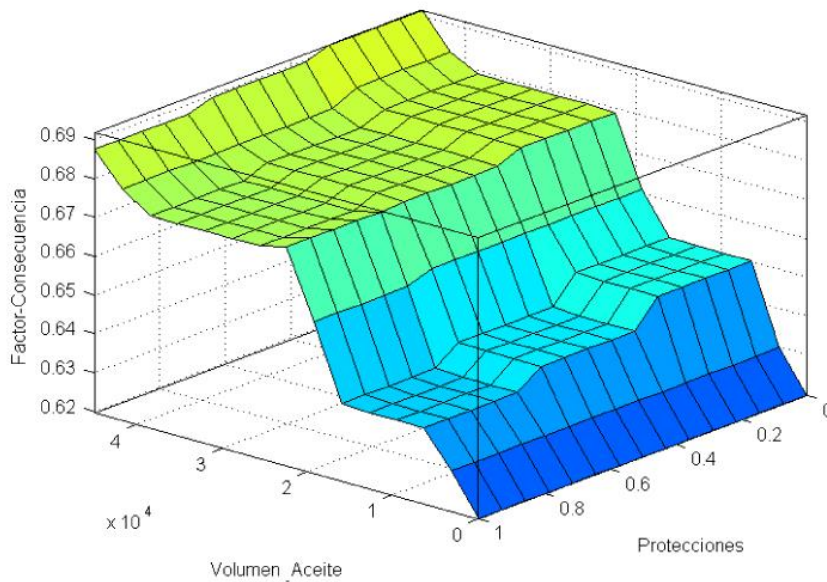
En la Grafica 5-12 se observa un comportamiento correcto de ambos indicadores, debido a que en la superficie generada al tener escenarios de mayor importancia para cada indicador se tiene niveles superiores de factor de consecuencia. Se estima que para transformadores de potencia superiores a los 25.000 litros y con distancias de construcciones o vidas humanas $< 100\text{m}$ el factor de consecuencia tiende a ser máximo, para este escenario. Convirtiéndose en el escenario donde se empieza a tener el mayor impacto por explosión.



Grafica 5-12 Comportamiento de la superficie de salida para los indicadores V.A.- P.C.

5. Volumen de Aceite – Relés de Protección

En la Grafica 5-13 se observa un comportamiento correcto, con la particularidad que, para un transformador de potencia con Volúmenes de Aceite > 25.000 litros, el factor de consecuencia tiende a ser el máximo sin importar el tipo de relé con el que cuente el SSEE.



Grafica 5-13 Comportamiento de la superficie de salida para los indicadores V.A.- R.

5.1.2.3 Análisis de Sensibilidad de Indicadores

A continuación se realiza el análisis de sensibilidad de los indicadores, esto se hace con el objetivo de conocer que indicador tiene más influencia o peso sobre el factor de consecuencia, para ello se ubicó en el Rules del FIS EDITOR, realizando las siguientes variaciones:

1. Obtención del mínimo y máximo F.C. para los indicadores.

La obtención del mínimo y máximo F.C. se lo realizo posicionando la barra central de cada indicador en el escenario menos crítico y más crítico, de la siguiente manera. Véase la Figura 5-14 y Figura 5-15.

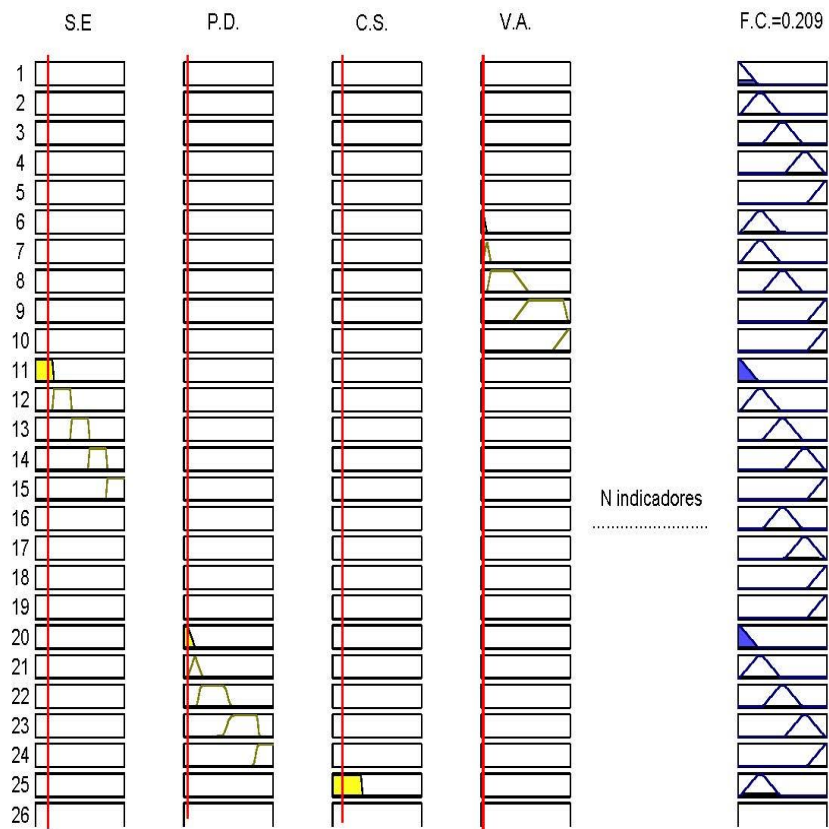


Figura 5-14 Ubicación de la barra central para obtener el mínimo F.C. del sistema

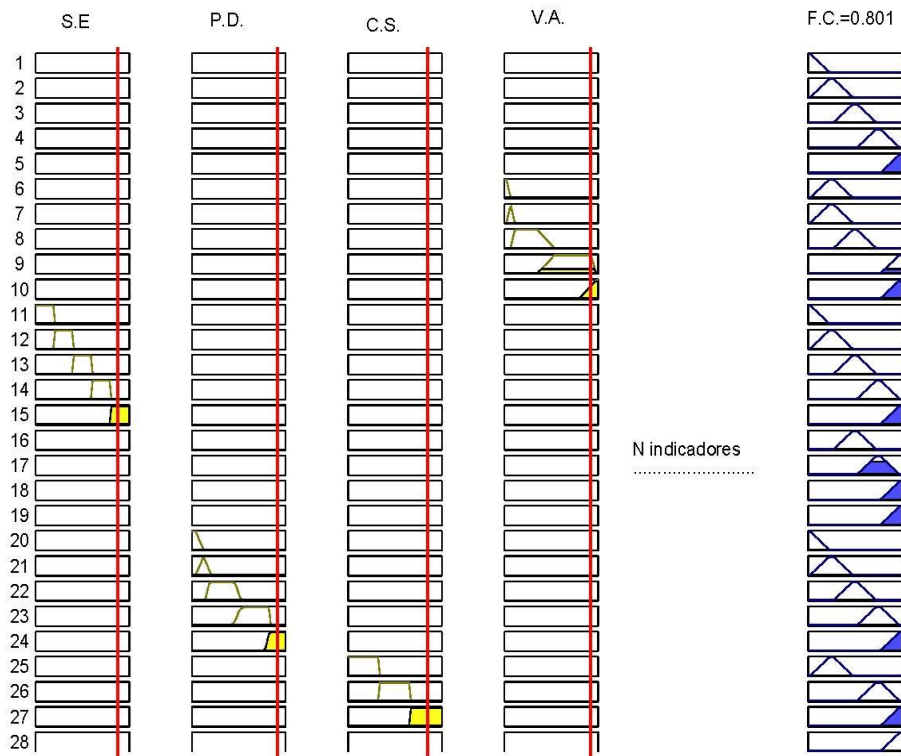


Figura 5-15 Ubicación de la barra central para obtener el máximo F.C. del sistema

En la TABLA 5-9 se presenta el F.C. máximo – F.C. mínimo de cada indicador, además se presenta el $\Delta = \text{F.C. máximo} - \text{F.C. mínimo}$.

TABLA 5-9 DETERMINACIÓN DEL Δ PARA LA SENSIBILIDAD DE INDICADORES

#	INDICADOR	F.C Min	F.C Max	Δ
1	SOBRECARGA DE EQUIPOS	0.2	0.582	0.382
2	POTENCIA DESCONECTADA	0.2	0.496	0.296
3	CARGAS SENSIBLES	0.2	0.406	0.206
4	VOLUMEN DE ACEITE	0.2	0.406	0.206
5	PROX. DE CONSTRUCCIONES	0.2	0.406	0.206
6	PENALIZACIONES	0.2	0.487	0.287
7	PROTECCIONES	0.2	0.406	0.206

Como se puede observar en la tabla los indicadores que mayor valor delta; es decir, mayor sensibilidad son:

1. Sobrecarga de Equipos
2. Potencia Desconectada
3. Penalizaciones.

Los demás indicadores se mantienen en el mismo valor que es 0.206, indica que tienden a afectar el factor de consecuencia de igual manera.

5.2 Comparación de Metodologías

La comparación de las metodologías es desarrollada con el objetivo de verificar los resultados que se obtiene de aplicar una herramienta matemática basada en sistemas tradicionales y la herramienta difusa propuesta, que es basada en sistema experto. La diferencia de cada sistema se presentó en la TABLA 2-1

5.2.1 Características de la herramienta a comparar.

Esta herramienta es aplicada por una empresa del sector eléctrico, que evalúa la importancia estratégica que tienen sus activos para el SSEE al cual suministra energía. La evaluación es desarrollada de manera cuantitativa, es decir al escenario de cada indicador le otorgan un peso relativo del 1 al 5, los mismos que son ingresados en una ecuación matemática. El fin de esto es reducir el impacto a consecuencia de la falla y la posterior indisponibilidad de sus activos, entre ellos los transformadores de potencia.

Esta herramienta está en función de los siguientes indicadores:

1. Seguridad: Evalúa la Sobrecarga de otros Equipos.
2. Calidad: Evalúa la Potencia Desconectada.
3. Penalización: Evalúa el costo por Potencia Nominal.
4. Riesgo Político: Evalúa la desconexión del Tipo de Carga.
5. Riesgo Ambiental: Evalúa la Capacidad de Aceite.
6. Seguridad Pública: Evalúa la Distancia de las Viviendas.

Los resultados obtenidos de usar esta herramienta les permite priorizar sus transformadores por su importancia.

5.2.2 Características de la herramienta basada en criterio experto

La herramienta que se propuso está basada en la experticia de personal que labora en el sector eléctrico, investigadores, y normas.

Entonces, a diferencia de la metodología tradicional, esta es basada en el criterio de expertos, además de evaluarse de manera cualitativa a los escenarios de cada indicador, su integración es desarrollada en un sistema de inferencia difusa, con el que se obtiene un resultado cuantitativo. De esta manera se obtiene un factor de consecuencia por la indisponibilidad del transformador.

Esta herramienta esta función de los siguientes indicadores:

- i) Sobrecarga de Equipos (S.E.): Evalúa los efectos de sobrecarga en otros equipos y la inestabilidad en la Red.
- i) Potencia Desconectada (P.D): Evalúa el % MVA desconectados.
- ii) Cargas Sensibles (C.S.): Evalúa la desconexión o afección de cargas debido a su confiabilidad.
- iii) Volumen de Aceite (V.A.): Evalúa la cantidad de aceite por explosión o derrame.

- iv) Proximidad de construcciones (P.C.): Evalúa la cercanía de las construcciones o vidas humanas en caso de la explosión del transformador.
- v) Penalizaciones (P.): Evalúa la Energía no Suministrada por DAIC y FAIC.
- vi) Relés de Protección (R.): Evalúa la rapidez de actuación ante fallas.

5.2.3 Análisis de resultados de las metodologías

A continuación se realiza el análisis de la comparación de las metodologías, para el cual se analizan 10 transformadores de potencia en diferentes escenarios.

5.2.3.1 Resultados de aplicar metodología por ecuación matemática

Los pesos de los escenarios para el análisis para esta metodología son seleccionados de la siguiente manera, véase la TABLA 5-10.

TABLA 5-10 PONDERACIÓN DE ESCENARIOS PARA METODOLOGÍA POR ECUACIÓN

Escenario	Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
Ponderación	1	2	3	4	5

TABLA 5-11 EVALUACIÓN DE IMPORTANCIA ESTRATÉGICA DE LOS TRANSFORMADORES

	Escenarios de los Indicadores							I.E.
	S.E.	P.D. %MVA	C.S.	V.A. [Litros]	P.C. [metros]	P. [MWh]	R.	
Trafo								
1	1	1	1	1	1	1	-	0.115
2	2	2	1	2	2	1	-	0.216
3	3	1	1	1	3	1	-	0.216
4	1	2	2	1	3	1	-	0.392
5	2	3	2	2	2	1	-	0.448
6	3	3	2	3	2	2	-	0.368
7	4	4	1	3	3	3	-	0.395
8	4	3	2	4	1	4	-	0.53
9	4	4	2	4	4	3	-	0.468
10	5	5	3	5	5	4	-	0.685

Para los resultados de la TABLA 5-11, se realizó una regla de tres para determinar el grado de prioridad que tendrá cada transformador de potencia, acorde al siguiente análisis:

TABLA 5-12 RANGOS PARA DETERMINAR PRIORIDAD DEL TRANSFORMADOR

Prioridad	Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
Rangos	0.1 – 0.2	0.2 – 0.4	0.4 – 0.6	0.6 – 0.8	0.8 – 1

TABLA 5-13 CONVERSIÓN DE I.E. PARA PRIORIZACIÓN DE TRANSFORMADORES

Transformador	Factor de Consecuencia		Prioridad
T1	0,115	0	MB
T2	0,216	0,3	B
T3	0,233	0,3	B
T4	0,212	0,3	B
T5	0,268	0,4	M
T6	0,338	0,5	M
T7	0,382	0,6	A
T8	0,388	0,6	A
T9	0,494	0,7	A
T10	0,685	1	MA

5.2.3.2 Resultados de aplicar metodología propuesta por criterio experto

La evaluación de la metodología propuesta para los diferentes escenarios es analizada en el FIS EDITOR, de lo cual se obtiene la TABLA 5-14

TABLA 5-14 EVALUACIÓN DEL FACTOR DE CONSECUENCIA DE LOS TRANSFORMADORES

	Escenarios de los Indicadores							F.C.
	S.E.	P.D. %MVA	C.S.	V.A. [Litros]	P.C. [metros]	P. [MWh]	R.	
Trafo								
1	0.1	1.5	0.15	2.000	300	10	0.15	0.202
2	0.3	7	0.15	3000	200	20	0.15	0.211
3	0.5	3	0.15	1500	90	12	0.15	0.32
4	0.1	8	0.5	1300	80	13	0.15	0.42
5	0.3	23	0.5	3000	150	15	0.15	0.47
6	0.5	20	0.5	12500	220	52	0.15	0.58
7	0.7	39	0.1	15500	100	110	0.15	0.65
8	0.7	30	0.5	30000	350	260	0.15	0.7
9	0.7	41	0.5	31000	30	100	0.15	0.77
10	0.9	58	0.8	44800	14	355	0.15	0.797

Para los resultados de la TABLA 5-14, de igual manera se realizó una regla de tres para determinar el grado de prioridad que tendrá cada transformador de potencia, acorde a la TABLA 5-12.

TABLA 5-15 CONVERSIÓN DE F.C. PARA PRIORIZACIÓN DE TRANSFORMADORES

Transformador	Factor de Consecuencia		Prioridad
T1	0,202	0	MB
T2	0,211	0,3	B
T3	0,32	0,4	B
T4	0,42	0,5	M
T5	0,47	0,6	M
T6	0,58	0,7	A
T7	0,65	0,8	A
T8	0,7	0,9	MA
T9	0,77	1	MA
T10	0,797	1	MA

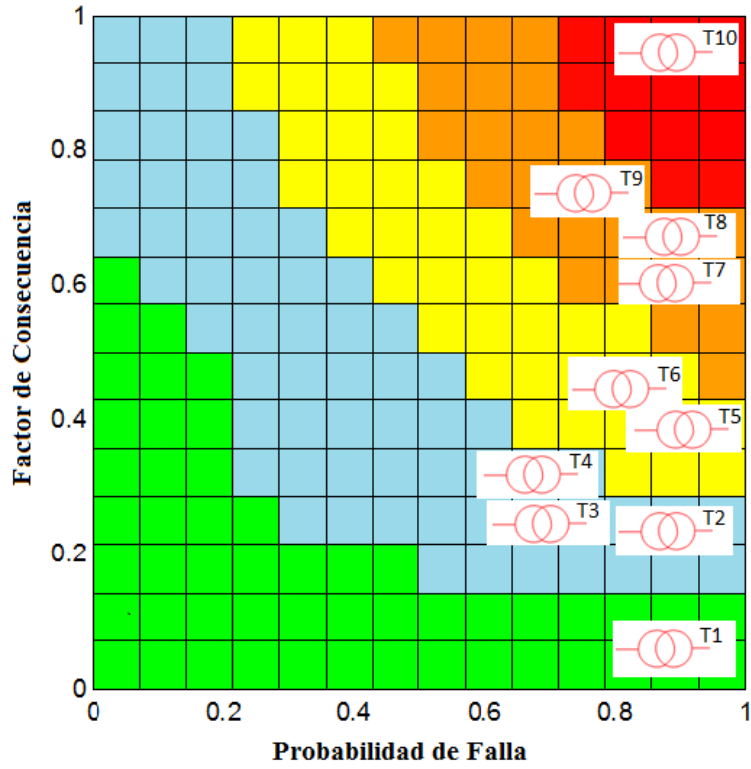
5.2.3.3 Resultados de priorización

A continuación se presenta los resultados de aplicación de las 2 metodologías en cuanto al nivel priorización que asigna a los transformadores cada una de las metodologías. Véase la

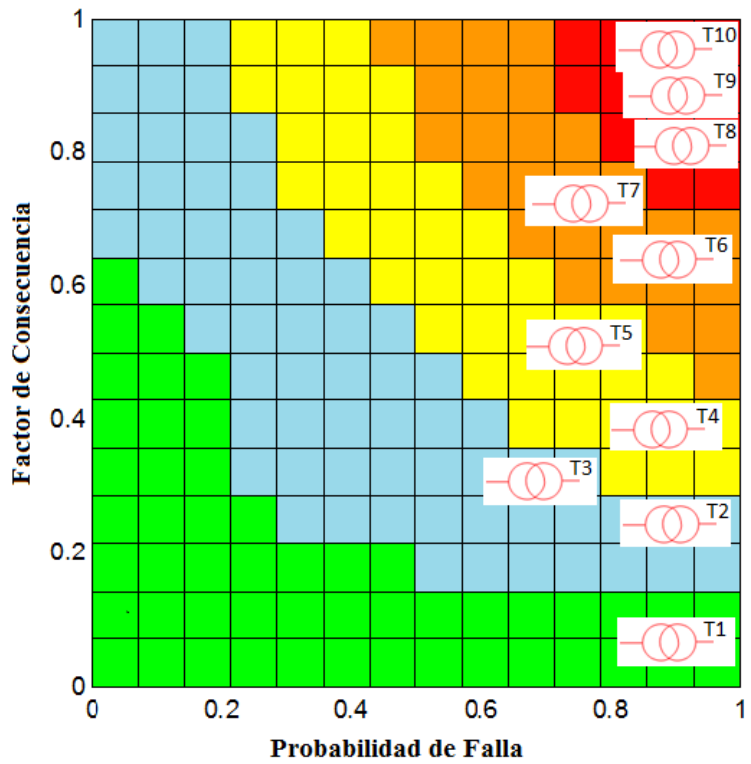
TABLA 5-16

TABLA 5-16 PRIORIZACIÓN DE TRANSFORMADOR POR METODOLOGÍA

# Transformador	Metodología por ecuación		Metodología por criterio experto	
	0	MB	0	MB
1	0	MB	0	MB
2	0,3	B	0,3	B
3	0,3	B	0,4	B
4	0,3	B	0,5	M
5	0,4	M	0,6	M
6	0,5	M	0,7	A
7	0,6	A	0,8	A
8	0,6	A	0,9	MA
9	0,7	A	1	MA
10	1	MA	1	MA



Grafica 5-14 Matriz de riesgo de transformadores por metodología de ecuación



Grafica 5-15 Matriz de Riesgo de transformadores por metodología de criterio experto

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Debido a que nuestro tema de investigación es basado en criterio experto se hizo necesario buscar una metodología que permita obtener el criterio de los mismos de una manera fácil, veraz y comprensible, siendo el método Delphi, el cual se ajustó a la investigación y fue clave para el desarrollo del proyecto.

El sistema propuesto permite ponderar las entradas, para que su influencia sobre el F.C. se acerque más al criterio experto. Por ejemplo a los indicadores Sobrecarga de Equipos, Potencia Desconectada, y Penalizaciones, se les otorgo el mayor peso, en la influencia del factor de consecuencia.

Los resultados obtenidos con la herramienta propuesta concuerdan con los resultados preliminares provistos por los expertos.

Los resultados de la priorización de las unidades de transformación para los casos analizados en la herramienta propuesta y la aplicada por otra empresa presentan similitud.

La herramienta presenta la validez y fiabilidad necesaria de sus resultados debido a que se pudo utilizar información obtenida, para la toma de decisión sobre las acciones alternativas que permitirían garantizar la toma de decisiones correcta y oportuna, tomando en cuenta el parecer de expertos del sector eléctrico; lo que constituye una interesante forma más de vincular a los administradores en la toma de decisiones de sus activos y su empresa en general.

Con el uso de esta herramienta se permite jerarquizar las unidades en función de su importancia y con ello priorizar las acciones de mantenimiento y de esta manera reducir costos y pérdidas innecesarias tanto para la empresa, usuarios así como el estado. El análisis del factor de consecuencia es nuevo en el medio local, no ha sido aplicado en Ecuador.

El proyecto futuro a realizar, es diseñar una aplicación móvil basada en los resultados obtenidos del Fis Editor. Esta aplicación permitirá al gestor del transformador ingresar las entradas de manera fácil y obtener el nivel de prioridad en el cual se encuentra el transformador en análisis, estos resultados podrán ser grabados en formato pdf y enviado al administrador de la empresa, con lo que se lograría tomar decisiones y acciones más rápidas.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] I. F. O. G. A. A. R. Andrés F. Cerón, «Panorama de la Gestión de Activos para Transformadores de Potencia,» vol. 26, p. 110, 2014.
- [2] A. Romero, H. Zini y G. Ratta, «Metodos para gestión optima de Transformadores de Potencia,» de *ERIAC*, Paraguay.
- [3] W. Bartley y R. James, *Transformer Asset Management*.
- [4] A. Romero, C. Zini y G. Rattá, *Revisión de Estado del Arte: Métodos para la gestión óptima de Transformadores de Potencia*, San Juan: Universidad Nacional de San Juan.
- [5] I. Pérez y B. León, *Lógica difusa para principiantes*, 1. ed., Ed., Caracas: Universidad Católica Andrés Bello, 2007.
- [6] R. Pérez y Pueyo, *Procesado y optimización de espectros Raman mediante técnicas de lógica difusa: aplicación a la identificación de materiales pictóricos*, Catalunya: Universitat Politècnica de Catalunya, 2005.
- [7] B. Kosko, *Neural Networks and Fuzzy Systems: A Dynamical Systems Approach to Machine Intelligence*, Prentice Hall, 1992.
- [8] J. Mendel, «Fuzzy Logic System for Engineering: A tutorial,» vol. 83, nº 3, p. 346, Marzo 1995.
- [9] J. Yen y R. Langari, *Fuzzy Logic Intelligence, Control and information*, New Jersey: Prentice Hall, 1999.
- [10] A. J. Barragán, *Síntesis de sistemas de control borroso estables por diseño*, Huelva: Universidad de Huelva, 2010.
- [11] C. González Morcillo, *Lógica Difusa-Una introducción práctica*.
- [12] «Cortilima,» [En línea]. Available: https://www.cortolima.gov.co_analisis_de_prospectiva.pdf. [Último acceso: 12 2016].
- [13] K. Cuhls, *Delphi method*, 2010.
- [14] R.-Á. M. &.-F. M., «El método Delphi.»
- [15] J. Pill, *The Delphi method: Substance, context,*, (1971)..
- [16] J. y. L. C. M. C. Cabero Almenara, «La aplicación del juicio de experto como técnica de evaluación de las tecnologías de la información.,» 2013.
- [17] R. G. & R. M. (. [En línea]. Available: <http://www.nebrija.com/revista-linguistica..> [Último acceso: 2016].
- [18] E. López Gómez, «El método Delphi en la investigación actual en educación,» *Revisión*

teórica y metodológica , vol. Educación XXI.

- [19] M. A. C. R. M. M. Gloria Aponte Figueroa, «MÉTODO DELPHI: APLICACIONES Y POSIBILIDADES EN LA GESTION PROSPECTIVA DE LA INVESTIGACION Y DESARROLLO,» *Análisis de Coyuntura*, vol. XVIII, 2012.
- [20] A. M., *ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE CARGA SEGURA EN TRANSFORMADORES DE POTENCIA*, Madrid: Universidad Carlos III de Madrid, 2010.
- [21] R. C., *Redes de Distribución de Energia*, Tercera ed., Manizales: Universidad Nacional de Colombia, 2004.
- [22] EL DIRECTORIO DEL CONSEJO NACIONAL DE ELECTRICIDAD, *REGULACION No. CONELEC – 004/01 " CALIDAD DEL SERVICIO ELECTRICO DE DISTRIBUCION "*.
- [23] A. C., *RECONFIGURACIÓN DE LOS ESQUEMAS DE PROTECCIÓN Y CONTROL MEDIANTE RELÉS ALFANUMÉRICOS PARA MODERNIZAR LA SUBESTACIÓN NORTE DE LA EEQ.SA.*, Quito, 2010.
- [24] E. Molina Ochoa y O. Flores Cediél, *Aplicación del Estándar IEC 61850 en los Sistemas de Protecciones Electricas Para Sub Estaciones de Alta Tensión*, 2010.
- [25] P. L. P. WILCHES L, «DELPHI METHOD USED AS A TOOL FOR OBTAINING CONSENSUS IN THE DAIRY SECTOR IN BOYACÁ DEPARTMENT,» *Investigacion - Innovación - Ingeniería*, p. 18, 2016.
- [26] N. 850, *Recommended Practice for Fire Protection for Electric Generating Plants and High Voltage Direct Current Converter Stations*, 2010.
- [27] T. J. Ross, *FUZZY LOGIC WITH ENGINEERING APPLICATIONS*, vol. Second, New Mexico: John Wiley & Sons, Ltd, 2004.
- [28] A. E.. [En línea]. Available: http://www.codesyntax.com/prospectiva/Metodo_delphi.pdf . [Último acceso: 01 2017].
- [29] G. E. Garcia V., *Diagnostico y mantenimiento de transformadores de gran potencia en aceite (Aplicado a un transformador de 160MVA 13,8kV/138kV de la central termica Trinitaria)*, Guayaquil, 2010.

8 ANEXOS

8.1 ENCUESTA PARA VALIDACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE LAS REGLAS DIFUSAS E INDICADORES

Saludos Cordiales

La presente encuesta se realizó como instrumento de investigación para nuestro proyecto de grado, para optar el Título de Ingeniero Eléctrico de la Universidad Politécnica Salesiana.

El objetivo de esta tesis es obtener un indicador denominado "Factor de Consecuencia", mismo que cuantifique las **Consecuencias Externas**, debido a la falla final de un Transformador de Potencia considerando el impacto técnico-económico, social y ambiental.

Este indicador está en función de un conjunto de reglas difusas, basadas en el criterio de expertos, considerando su experticia y referencias solicitamos a Ud. su valiosa colaboración y opiniones.

Estas respuestas se mantendrán en el anonimato, utilizándolo sólo para fines de investigación y de la tesis. Cabe mencionar que esta encuesta será realizada en base a una metodología que propone la retroalimentación de los resultados obtenidos del conjunto hacia el encuestado para así obtener una segunda apreciación de su parte, esto con el fin de obtener un análisis estadístico más amplio de los resultados, complementado adicionalmente de las observaciones que pueda realizar.

Anticipamos nuestro agradecimiento por su apoyo y tiempo prestado, para el desarrollo de este cuestionario

El tiempo promedio de esta encuesta es de 7 a 12 min.

8.1.1 Índice de competencia experta

8.1.1.1 Coeficiente de conocimiento

La pregunta formulada a continuación tiene por objeto conocer su coeficiente de experticia acerca del tema de investigación.

Califíquese en una escala de 5 a 10 donde (5), representa un conocimiento general y (10), conocimiento profundo del experto sobre la operación y consecuencias de la falla final de un Transformador de Potencia.

Marque solo con un visto.

5

6

7

8

9

10

8.1.1.2 Coeficiente de Argumentación.

Las preguntas formuladas a continuación tienen por objeto conocer la fuente de sus conocimientos adquiridos acerca del tema. De acuerdo a los parámetros que se presentan, seleccione cada uno de los que forman parte de su nivel de experticia:

Realizó estudios e investigaciones referentes a Transformadores de Potencia que haya:

Marque solo con un visto.

Sido implementada por algún agente del sector eléctrico

Sido Expuesta y/o publicada

Sido para conocimiento propio

Su Experiencia obtenida fue adquirida en base a:

Marque solo con un visto.

Investigaciones propias y Practica Laboral

Investigaciones propias o Practica Laboral

Estudios acerca del tema y/o conocimientos facilitados por otras personas

Su conocimiento adquirido de investigaciones nacionales y/o extranjeras fueron de:

Marque solo con un visto.

Documentos Indexados (Scopus, IEEE, Science Direct, etc.) y/o Congresos Internacionales

- Fuentes de información Nacionales (Congresos, Simposios, Seminarios) y Documentos no Indexados
- Fuentes de información otorgado por otras personas

Usted forma, o ha formado parte de:

Marque solo con un visto.

- Grupos de investigación que trabajen con Transformadores específicamente.
- Grupos de investigación que trabajen en el sector eléctrico en general.
- Grupo de Trabajo de una empresa del Sector Eléctrico.

Su conocimiento acerca del estado del arte:

Marque solo con un visto.

- Conocimientos profundos y está en constante aprendizaje del mismo.
- Conocimientos generales del estado de arte solo por Trabajos investigativos o laborales que haya realizado
- No tiene mucho conocimiento

Intuición personal en caso de la Falla de un Transformador de Potencia.

Marque solo con un visto.

- En base a su conocimiento puede emitir un criterio y dar las posibles soluciones
- Tiene conocimientos del tema, pero necesita la opinión de otros expertos para llegar a una solución
- Opta por comunicar a otro experto

8.1.2 Validación de escenarios de los indicadores en base a criterio experto.

La siguiente encuesta tendrá como objeto obtener el criterio en base a sus conocimientos adquiridos respecto a normas, experiencia laboral, estudios realizados, etc. Por lo que las respuestas a las preguntas que a continuación se presentarán, permitirá validar un conjunto de reglas propuestas para la elaboración de una herramienta que evalúe la consecuencia de la falla final de un Transformador de Potencia, comprendido dentro de los siguientes rangos: Potencias desde 6.6 MVA hasta 165 MVA, Tensiones desde 6.3 kV hasta 500 kV.

Es por ello que se agradece que sus respuestas basadas en su experticia estén comprendidas dentro de los rangos establecidos.

Las siguientes preguntas tendrán como objeto establecer los lineamientos a cada uno de los escenarios formulados para cada parámetro del F.C., basados en su experticia.

8.1.2.1 Proximidad de construcciones

- Si la falla de un transformador de potencia deriva en su explosión. ¿A qué rangos de distancia en metros, considera usted que podría tener como consecuencia los siguientes escenarios?

ESCENARIOS	Distancia(metros)
Muerte o quemaduras graves para el ser humano	
Partes del transformador provoquen lesiones graves a seres humanos y la destrucción de bienes materiales.	
Por efecto de la onda sonora, provoque daños leves a seres humanos y/o bienes materiales (ventanas de domicilios, vehículos, etc.)	
Impacto visual y/o gases disipados en el medio ambiente.	

- ¿Está usted de acuerdo con la clasificación de los escenarios antes descritos? Marque con una "x" su Respuesta.

SI		NO	
----	--	----	--

- Si su respuesta fue (No), permítanos saber su observación, acerca de cuál o cuáles impactos deberían ser omitidos o agregados.

8.1.2.2 Potencia desconectada

- Si la falla un transformador de potencia trae como consecuencia, tener una Potencia Déficit parcial o total del SEP. ¿Cómo representaría usted en porcentaje la Potencia Déficit (Indisponibilidad de Carga Instalada), presentada para cada uno de los siguientes impactos?

Nivel de Impacto	% de Potencia Déficit
Muy bajo	
Bajo	
Medio	
Alto	
Muy Alto	

- ¿Está usted de acuerdo con la clasificación de los niveles de impacto antes descritos? Marque con una “x” su Respuesta.

SI		NO	
----	--	----	--

- Si su respuesta fue (No), permítanos saber su observación acerca de cuál o cuáles impactos deberían ser omitidos o agregados.

8.1.2.3 Cargas sensibles

- Si la falla de un transformador de potencia, produce la desconexión de cargas (Tipo de usuario) que se encuentren aguas abajo. ¿Qué nivel de impacto, considera usted que tendría la desconexión de los siguientes tipos de carga?

ESCENARIOS	Nivel de Impacto				
	Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
Sectores Industriales de producción continua					
Usuarios residenciales urbanos y/o rurales					
Fábricas que no tienen complicados y delicados procesos de fabricación pero causan la desocupación de empleados y obreros.					
Hospitales, Centros de Salud y/o aeropuertos					
Empresas y/o industrias con equipos electrónicos costosos y sensibles					
Centros comerciales, educativos y pequeñas fábricas.					

- ¿Está usted de acuerdo con la clasificación de los niveles de impacto antes descritos? Marque con una “x” su Respuesta.

SI		NO	
----	--	----	--

- Si su respuesta fue (No), permítanos saber su observación acerca de cuál o cuáles impactos deberían ser omitidos o agregados.

8.1.2.4 Sobrecarga de equipos

- Si la falla de un transformador de potencia, produce su desconexión y necesita ser suplido por otro u otros equipos. ¿Qué nivel de impacto, considera usted que son los siguientes escenarios?

ESCENARIOS	Nivel de Impacto				
	Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
Produce aumento de temperatura en otros equipos, debido a un aumento de carga.					
Pérdidas de las propiedades mecánicas y dieléctricas de otros equipos					
Produce un envejecimiento acelerado de otros equipos					
Produce la desconexión de otros equipos					
Produce desconexión de equipos en cadena e inestabilidad en la red					
Produce una desconexión total de la red (Black Out)					
No produce ningún efecto en otros equipos					

- ¿Está usted de acuerdo con la clasificación de los niveles de impacto antes descritos? Marque con una “x” su Respuesta.

SI		NO	
----	--	----	--

- Si su respuesta fue (No), permítanos saber su observación acerca de cuál o cuáles impactos deberían ser omitidos o agregados.

8.1.2.5 Protecciones

- Si falla un transformador de potencia, y existen altas probabilidades de su explosión o afección a cargas sensibles. ¿Qué nivel de impacto, considera usted que representarían los siguientes escenarios?

ESCENARIOS	Nivel de Impacto				
	Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
SSEE con relés de protección Electromecánicos.					
SSEE con relés de protección numéricos o digitales.					
SSEE que combine relés de protección electromecánicos y numéricos.					

- ¿Está usted de acuerdo usted con la clasificación de los niveles de impacto antes descritos? Marque con una “x” su Respuesta.

SI		NO	
----	--	----	--

- Si su respuesta fue (No), permítanos saber su observación acerca de cuál o cuáles impactos deberían ser omitidos o agregados.

8.1.3 Validación de escenarios de reglas difusas en base a criterio experto.

Las Reglas que se presentan a continuación están formuladas en función dos indicadores, presentados en combinaciones diferentes, entre los cuales tenemos: i) Proximidad de construcciones, ii) Volumen de Aceite, iii) Sobrecarga de Equipos, iv) Cargas Sensibles, v) Potencia Desconectada, vi) Protecciones. La formulación de estas reglas tendrá como objetivo, obtener su criterio experto acerca del impacto que tendrá en caso de su ocurrencia. El impacto que crea apropiado deberá ser señalado mediante un visto.

8.1.3.1 Volumen de Aceite - Proximidad de Construcciones

- 1) Si falla un Transformador de Potencia con gran contenido de aceite y con construcciones muy cercanas, y dicha falla produzca la explosión de la unidad y su posterior incendio, las consecuencias de este evento tendrá un impacto:

Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto

- 2) Si falla un Transformador de Potencia con gran contenido de aceite y con construcciones poco cercanas, y dicha falla produzca la explosión de la unidad y su posterior incendio, las consecuencias de este evento tendrá un impacto:

Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto

- 3) Si falla un Transformador de Potencia con poco contenido de aceite y con construcciones muy cercanas, y dicha falla produzca la explosión de la unidad y su posterior incendio, las consecuencias de este evento tendrá un impacto:

Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto

- 4) Si falla un Transformador de Potencia con poco contenido de aceite y con construcciones poco cercanas, y dicha falla produzca la explosión de la unidad y su posterior incendio, las consecuencias de este evento tendrá un impacto:

Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto

8.1.3.2 Potencia Desconectada - Sobrecarga de Equipos

1. Si la falla de un Transformador de Potencia representa una Potencia déficit muy considerable y tiene una sobrecarga de larga duración en otros equipos, las consecuencias de este evento tendrá un impacto:

Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto

2. Si la falla de un Transformador de Potencia representa una potencia déficit poco considerable y tiene una sobrecarga de corta duración en otros equipos, las consecuencias de este evento tendrá un impacto:

Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto

3. Si la falla de un Transformador de Potencia representa una potencia déficit considerable y tiene una sobrecarga de larga duración en otros equipos, las consecuencias de este evento tendrá un impacto:

Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto

4. Si la falla de un Transformador de Potencia representa una potencia déficit muy considerable y tiene una sobrecarga de corta duración en otros equipos, las consecuencias de este evento tendrá un impacto:

Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto

5. Si la falla de un Transformador de Potencia representa una potencia déficit poco considerable y tiene una sobrecarga de larga duración en otros equipos, las consecuencias de este evento tendrá un impacto:

Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto

8.1.3.3 Potencia Desconectada - Cargas Sensibles

1. Si la falla de un Transformador de Potencia conlleva a tener una potencia déficit muy considerable y está afecta a cargas muy sensibles, las consecuencias de este evento tendrá un impacto:

Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto

2. Si la falla de un Transformador de Potencia conlleva a tener una potencia déficit poco considerable y está afecta a cargas muy sensibles, las consecuencias de este evento tendrá un impacto:

Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto

3. Si la falla de un Transformador de Potencia conlleva a tener una potencia déficit muy considerable y está afecta a cargas sensibles, las consecuencias de este evento tendrá un impacto:

Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto

4. Si la falla de un Transformador de Potencia conlleva a tener una potencia déficit poco considerable y está afecta a cargas sensibles, las consecuencias de este evento tendrá un impacto:

Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto

5. Si la falla de un Transformador de Potencia conlleva a tener una potencia déficit muy considerable y está afecta a cargas poco sensibles, las consecuencias de este evento tendrá un impacto:

Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto

8.1.3.4 Volumen de Aceite - Protecciones

1. Si falla un Transformador de Potencia con gran contenido de aceite y está protegido en un SSEE con relés de operación Electromecánicos, la probabilidad de tener como consecuencia la explosión de la unidad y su posterior incendio será:

Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto

2. Si falla un Transformador de Potencia con gran contenido de aceite y está protegido en un SSEE con relés de operación numéricos o digitales, la probabilidad de tener como consecuencia la explosión de la unidad y su posterior incendio será:

Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto

3. Si falla un Transformador de Potencia con gran contenido de aceite y está protegido en un SSEE con relés de operación electromecánicos y numéricos, la probabilidad de tener como consecuencia la explosión de la unidad y su posterior incendio será:

Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto

4. Si falla un Transformador de Potencia con poco contenido de aceite y está protegido en un SSEE con relés de operación Electromecánicos, la probabilidad de tener como consecuencia la explosión de la unidad y su posterior incendio será:

Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto

5. Si falla un Transformador de Potencia con poco contenido de aceite y está protegido en un SSEE con relés de operación electromecánicos y numéricos, la probabilidad de tener como consecuencia la explosión de la unidad y su posterior incendio será:

Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto

8.1.3.5 Cargas Sensibles - Protecciones

1. Si falla un Transformador de Potencia con cargas muy sensibles y está protegido en un SSEE con relés de operación Electromecánicos, la probabilidad de tener como consecuencia la afección del usuario(daños de equipos, integridad de las personas, etc.) será:

Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto

2. Si falla un Transformador de Potencia con cargas muy sensibles y está protegido en un SSEE con relés de operación numérico, la probabilidad de tener como consecuencia la afección del usuario(daños de equipos, integridad de las personas, etc.) será:

Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto

3. Si falla un Transformador de Potencia con cargas muy sensibles y está protegido en un SSEE con relés de operación electromecánicos y numéricos, la probabilidad de tener como consecuencia la afección del usuario(daños de equipos, integridad de las personas, etc.) será:

Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto

4. Si falla un Transformador de Potencia con cargas sensibles y está protegido en un SSEE con relés de operación electromecánico, la probabilidad de tener como consecuencia la afección del usuario(daños de equipos, integridad de las personas, etc.) será:

Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto

5. Si falla un Transformador de Potencia con cargas sensibles y está protegido en un SSEE con relés de operación numérico, la probabilidad de tener como consecuencia la afección del usuario(daños de equipos, integridad de las personas, etc.) será:

Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto

6. Si falla un Transformador de Potencia con cargas sensibles y está protegido en un SSEE con relés de operación electromecánicos y numéricos, la probabilidad de tener como consecuencia la afección del usuario(daños de equipos, integridad de las personas, etc.) será:

Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto