

**DIAGNOSTICO DE LA CALIDAD DE LA ENERGIA ELECTRICA Y
CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA EN LA EMPRESA ALIMENTOS
CARNICOS S.A.S. SEDE BARRANQUILLA.**

MARCO NELSON ACOSTA VARGAS

UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC.
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRICA
BARRANQUILLA,

2013

**DIAGNOSTICO DE LA CALIDAD DE LA ENERGIA ELECTRICA Y
CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA EN LA EMPRESA ALIMENTOS
CARNICOS S.A.S. SEDE BARRANQUILLA.**

MARCO NELSON ACOSTA VARGAS

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Electricista

Director:

FABIAN ENRIQUE COLL VILORIA

UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC.
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRICA
BARRANQUILLA,
2013

Nota de aceptación:

Jurado

Jurado

Jurado

Barranquilla Octubre 02 de 2013

SOLICITUD APROBACIÓN TRABAJO DE GRADO

Fecha, 01 septiembre de 2013

Señor(a)
Milen Balbis.
Ciudad

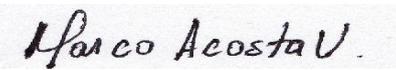
Por medio de la presente solicito a su consideración la solicitud para la aprobación del trabajo de grado titulado:

Diagnóstico de la calidad de la energía eléctrica y caracterización energética en la empresa **Alimentos Cárnicos S.A.S.** sede Barranquilla.

Como requisito para optar al título de ingeniero eléctrico, en la facultad de ingeniería de la universidad de la costa CUC.

Adjuntamos en la presente la información requerida debidamente diligenciada para su estudio.

Cordialmente.



Nombre del estudiante.
c.c. 72'264.991

ESPACIO RESERVADO PARA LA FACULTAD

Línea de investigación en la cual se ubica el trabajo:

Programa clave:

Subprograma clave:

Solicitud Aprobada: SI ___ NO ___ Fecha:

VoBo:

Decano de la facultad de ingeniería

Director del Programa

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta obra la cual requirió de mucho esfuerzo y dedicación, a todas las personas que me apoyaron e hicieron que este sueño se realizara, ellas son:

A Dios que es mi pastor y mi mayor proveedor, mi Roca, mi castillo y mi esperanza, el cual me fortalece para hacer de mí un instrumento de su inmenso amor.

A mi familia por el apoyo incondicional que me brindaron en los momentos más difíciles, cuando las noches eran interminables y supieron darme ánimo para continuar hacia adelante y no desfallecer.

A mis padres por tenerme siempre presente aunque vivamos lejos y hacerme saber que siempre puedo contar con ellos. A mi padre por saber educarme y hacer de mí la persona que soy hoy en día.

A cada uno de los docentes del programa de ingeniería eléctrica de la universidad de la costa, "CUC"; por todo el conocimiento recibido en cada una de las áreas, haciendo que de mí un profesional integro con bases sólidas para afrontar cualquier reto.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, darle las gracias a Dios todo poderoso; que cada instante derrama su misericordia sobre mí y hace de mí una mejor persona, a él que día a día moldea mi vida para bien.

En la realización de este proyecto conté con el apoyo incondicional de una serie de personas que son muy especiales e importantes en mi vida a ellos quiero dedicarle todo el esfuerzo y empeño que le puse a este trabajo, el cual no fue fácil, una de esas personas es mi esposa, la que Dios, un día quiso que yo conociera para que me regalara a las dos personitas más importantes de mi vida, mis hermosas hijas hellen y angelina; ellas que me supieron entender en esos días tan difíciles que vivieron a causa de las veces que las deje solas, quiero decirles que esta obra es el fruto de esos momentos y que muchas gracias por ese apoyo incondicional y nunca las defraudare.

A mis padres y mis queridos hermanos esa hermosa familia que siempre la llevare en mi corazón, a todos ellos que siempre estuvieron pendiente de cada una de las cosas que me pasaban para realizar este proyecto. Que gracias a cada uno de los consejos recibidos, pude salir adelante sacrificándome día a día para que se sintieran orgullosos de mí, por esto y cada una de las cosas que me han hecho sentir mil gracias.

Al ingeniero Fabián Coll Vioria; director de este proyecto, un profesional integro con un excelente conocimiento, gracias por su paciencia, entusiasmo y dedicación a la hora de brindar su conocimiento, y por su gran apoyo para poder realizar este proyecto mil gracias.

A un gran amigo que confió en mi brindándome la oportunidad de empezar esta hermosa carrera de electricista; Ofir Maldonado gracias compañero y amigo por abrirme las puertas de su hogar, muchas gracias.

RESUMEN

La caracterización energética y la calidad de la energía eléctrica son dos herramientas de diagnóstico de fundamental importancia para determinar el estado de la eficiencia energética en una compañía como tal, donde se tiene en cuenta cada uno de los equipos y líneas de procesos, además de los históricos de consumo de energía eléctrica junto con los datos de las toneladas entregadas en planta, encontrando diferentes potenciales de ahorro, por medio de la reducción de la energía no asociada a la producción (ENAP), reducción del consumo por gestión operacional y por gestión de la producción y por ultimo reducción en el consumo de energía eléctrica por gestión del mantenimiento.

Adicionalmente también se tiene en cuenta el comportamiento de los indicadores para el cumplimiento de la meta de energía eléctrica, esto con el fin de verificar cual es el criterio tenido en cuenta para la elaboración del mismo, seguidamente se analizan y se recomiendan nuevos indicadores, basados en la eficiencia energética de los equipos que diariamente intervienen en el proceso productivo, ajustando la planeación de las toneladas a producir de acuerdo a esta condición.

Con el fin de determinar la calidad de la energía eléctrica por medio de la norma IEEE 519 – 1992, donde se plantean los límites de distorsión armónica se creó un software que nos permite verificar si la empresa **Alimentos Cárnicos S.A.S.**, esta cumplimiento con todos los requerimientos de esta normatividad, además esta herramienta nos permite identificar cual es el factor de carga de los transformadores de alimentación.

PALABRAS CLAVES

Caracterización energética, calidad de la energía eléctrica, eficiencia energética, consumo de energía eléctrica, potencial de ahorro, energía no asociada a la producción (ENAP), gestión de la producción, gestión del mantenimiento, indicadores, meta de energía eléctrica, distorsión armónica, factor de carga, transformadores.

ABSTRACT

The energy characterization and the Quality of the electric power are two tools of diagnostic of fundamental importance to determine the state of the energy efficiency in a company like such, where one keeps in mind each one of the teams and line of processes, besides the historical of electric power consumption together with the data of the tons surrendered in plant, finding different saving potentials, by means of the reducción of the energy not associated to the production (ENAP), reduction of the consumption for operational management and for management of the production and for i finish reduction in the electric power consumption for management of the maintenance.

Additionally also one keeps in mind the behavior of the indicators for the execution of the electric, this with the purpose of to verify which is the approach kept in mind for the elaboration of the same one, subsequently is analyzed and new indicators are Recommended, based on the energy efficiency of the teams that daily intervene in the productive process, adjusting the planeaction of the tons to take place according to this.

With the purpose of determining the Quality of the electric power by means of the norm IEEE 512 – 1992, where they think about the Limits of Harmonic Distortion you invented a software that allows us to verify if the company Alimentos Cárnicos S.A.S., this execution with all the requirements of this normativity, this tool also allows us to identify which is the factor of load of the Transformers.

KEY WORDS

Energy characterization, Quality of the electric power, energy efficiency, electric power consumption, saving potential, energy not associated to the production (ENAP), management of the production, management of the maintenance, indicators, electric power, Harmonic Distortion, load factor, Transformers.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION.....	18
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
3. JUSTIFICACION.....	23
4. OBJETIVO GENERAL.....	25
4.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	25
5. ANTECEDENTES.....	27
6. MARCO CONCEPTUAL.....	28
7. MARCO TEORICO.....	31
7.1. CALIDAD DE LA ENERGÍA.....	31
7.2. CONDICIONES NORMALES DE OPERACIÓN.....	31
7.3. RED DE ALIMENTACION IDEAL.....	31
7.4. RED DE ALIMENTACION DESEQUILIBRADO.....	33
7.5. CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO.....	33
7.6. FENOMENOS QUE AFECTAN LA CALIDAD DE LA ENERGIA ELECTRICA EN UN INSTALACION.....	33
7.7. TRANSITORIOS ELECTROMAGNETICOS.....	34
7.8. TRANSITORIOS IMPULSIVOS.....	35
7.9. TRANSITORIOS OSCILATORIOS.....	36
7.10. ORIGEN DE LOS TRANSITORIOS DE TENSIÓN.....	37
7.11. TRANSITORIOS DE TENSIÓN OCASIONADOS POR DESCARGAS ATMOSFERICAS.....	38

7.12. TRANSITORIOS DE TENSIÓN OCASIONADOS POR CONMUTACION.....	39
7.13. OCURRENCIA DE LOS TRANSITORIOS.....	39
7.14. VARIACIONES DE TENSIÓN DE ESTADO ESTABLE.....	40
7.15. HUNDIMIENTOS (Sags).....	41
7.16. ELEVACIONES (Swells).....	43
7.17. VARIACIONES DE TENSIÓN DE LARGA DURACION (SUBTENSIONES Y SOBRETENSIONES).....	44
7.18. SOBRETENSIONES.....	45
7.19. SUBTENSIONES.....	45
7.20. IMPORTANCIA DE CORREGIR UNA CAIDA DE TENSIÓN.....	46
7.21. INTERRUPCIONES SOSTENIDAS.....	47
7.22. DESBALANCE DE TENSIÓN.....	48
7.23. FLICKER.....	49
7.24. INTERRUPCIONES DE CORTA DURACION (DURACION < 1 MIN).....	50
7.25. INTERRUPCIONES DE LARGA DURACION (DURACION ≥ 1 MIN).....	50
7.26. MUESCAS DE TENSIÓN (Notches).....	50
7.27. VARIACIONES DE FRECUENCIA.....	50
7.28. SOBRETENSIONES TRANSITORIAS.....	52
7.29. PERTURBACIONES DE LA AMPLITUD.....	52
7.30. FACTOR DE POTENCIA.....	53

8. DISTORSION ARMONICA.....	54
8.1.ELEMENTOS QUE OCASIONAN ARMONICOS Y SUS DIFERENTES DERIVACIONES.....	55
8.2.CONSECUENCIA PRESENTES DEBIDO A LA INCIDENCIA DE ARMONICOS.....	56
8.3.COMPONENTE ARMONICA.....	58
8.4.ARMONICOS CARACTERISTICOS.....	59
8.5.ARMONICOS NO CARACTERISTICOS.....	59
8.6.CARGA NO LINEAL.....	60
8.7.ARMONICOS DE TENSIÓN.....	61
8.8.ARMONICOS DE CORRIENTE.....	62
8.9.ARMONICOS DE TERCER ORDEN.....	63
8.10. ARMONICOS DE QUINTO ORDEN.....	64
8.11. INDICES PARA EL ANALISIS DE LOS ARMONICOS.....	65
8.12. TDD (Total Demand Distortion).....	66
8.13. LIMITES DE DISTORSION DE CORRIENTES ARMONICAS.....	67
8.14. LÍMITES DE DISTORSIÓN DE CORRIENTE PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN GENERAL (120VA 69000 V).....	68
9. MARCO LEGAL.....	68
10. DELIMITACION.....	70
10.1 DELIMITACION ESPACIAL.....	70
10.2. DELIMITACION CRONOLOGICA.....	70
11. ALCANCES.....	71

12. LIMITACIONES.....	72
13. DISEÑO METODOLOGICO.....	73
13.1. PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCION DE LA INFORMACION.....	73
13.2. CARACTERISTICAS DE LOS EQUIPOS DE MEDICION.....	74
13.3. ANALIZADOR DE RED, MARCA AEMC, MODELO 3945B, SERIE 295420.....	74
13.4. PINZA AMPERIMÉTRICA, MARCA FLUKE, REF. 322.....	75
13.5. MULTÍMETRO DIGITAL, MARCA FLUKE, REFERENCIA 117 TRUE RMS MULTIMETER.....	76
14. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACION ENERGETICA EN LA EMPRESA ALIMENTOS CARNICOS S.A.S. BARRANQUILLA.....	78
14.1. REPRESENTACION DEL CONSUMO DE LA ENERGIA ELECTRICA EN CADA UNO DE LOS PROCESOS DE PROD.....	79
14.2. BALANCE DE ENERGIA (CANASTA ENERGETICA).....	80
14.3. DIAGRAMA DE PARETO.....	81
14.4. LINEA BASE PARA LA ENERGIA ELECTRICA DE LA PLANTA.....	82
14.5. LINEA META DE CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA.....	83
14.6. LINEA BASE DEL INDICE DE CONSUMO.....	84
14.7. DETERMINACION DE LA TENDENCIA ENERGETICA CONTRA LA LINEA BASE.....	85
15. DETERMINACION DE LOS POTENCIALES DE AHORRO POR GESTION OPERACIONAL Y POR GESTION DE LA PRODUCCION.....	86

15.1. POTENCIAL DE AHORRO POR VARIABILIDAD OPERACIONAL Y GESTION DEL MANTENIMIENTO.....	86
15.2. POTENCIAL DE AHORRO POR GESTION DE LA PRODUCCION.....	86
15.3. DETERMINACION DE LOS POTENCIALES DE REDUCCION DEL IMPACTO AMBIENTAL.....	87
15.4. INDICADORES DE DESEMPEÑO ENERGETICO.....	88
15.5. INDICE DE CONSUMO.....	89
15.6. PRESUPUESTO DE LA ENERGIA ELECTRICA.....	90
15.7. PAUTAS PARA LA MPLEMENTACION DE INDICADORES DE EFICIENCIA ENERGETICA.....	90
15.8. INDICADOR BASE 100.....	91
15.9. GRAFICO DE TENDENCIA.....	92
15.10. RECOMENDACIÓN PARA LA ELABORACION DEL PRESUPUESTO.....	93
15.11. PROPUESTA PARA LA ELABORACION DEL PRESUPUESTO.....	93
15.12. PRINCIPALES VENTAJAS DE LOS INDICADORES RECOMENDADOS.....	97
16. RESULTADO DEL ANALISIS DE LOS PARAMETROS ELECTRICOS EN LA PLANTA ALIMENTOS CARNICOS S.A.S. BARRANQUILLA.....	99
16.1. COMPORTAMIENTO DEL NIVEL DE TENSION EN LA SUBESTACION ELÉCTRICA NO 1.....	99

16.2. COMPORTAMIENTO DE LA CORRIENTE EN CADA UNA DE SUS FASES.....	100
16.3. ANALISIS DE LA FRECUENCIA DE ALIMENTACION.....	101
16.4. ANALISIS DE LA INCIDENCIA DE ARMONICOS DE TENSION EN LA SUBESTACION ELECTRICA No 1.....	103
16.5. COMPORTAMIENTO DEL NIVEL DE LA TENSION EN LA SUBESTACION ELECTRICA No 2.....	103
16.6. COMPORTAMIENTO DEL CONSUMO DE CORRIENTE EN LA SUBESTACION ELECTRICA No 2.....	104
16.7. ANALISIS DE LA FRECUENCIA DE ALIMENTACION SUBESTACION ELECTRICA No 2.....	105
17. ANALISIS DE LA DISTORSION TOTAL DE LA DEMANDA (TDD), SUBESTACION No 1. MEDIANTE EL SOFTWARE TDD / IMAX-CALC.....	106
18. ANALISIS DE LA DISTORSION TOTAL DE LA DEMANDA (TDD), SUBESTACION No 2. MEDIANTE EL SOFTWARE TDD / IMAX-CALC.....	110
19. DISEÑO DE FILTRO PASIVO SUBESTACION ELECTRICA No 1.....	117
20. CALCULO DE LA MAXIMA CORRIENTE ADMISIBLE EN EL TRANSFORMADOR SUNTEC CON CAPACIDAD DE 1500 kVA, MEDIANTE EL SOFTWARE TDD / I MAX – CALC.....	119
21. CALCULO DE LA MAXIMA CORRIENTE ADMISIBLE EN EL TRANSFORMADOR SIEMENS CON CAPACIDAD DE 630 kVA, MEDIANTE EL SOFTWARE TDD / I MAX – CALC.....	123
22. IMPACTO QUE EJERCEN LOS ARMONICOS SOBRE LA ENAP IDENTIFICADA EN LA CARACTERIZACION ENERGETICA.....	127

23. RECOMENDACIONES.....	130
24. CONCLUSIONES.....	132
BIBLIOGRAFIA.....	135
ANEXOS.....	138
25.1. Certificado de pruebas técnicas. Transformador marca SUNTEC. 1500 KVA.....	139
25.2. Prueba de Resistencia de Aislamiento (MEGGER). Transformador Marca Siemens, 630 kVA. Subestación Eléctrica No 2.....	140
25.3. TABLA IEEE 519 – 12. Límites de cumplimiento de la DISTORSION TOTAL DE LA DEMANDA (TDD).....	141
25.4. Valor de la corriente Cortocircuito (Icc), Suministrada por el operador de red. Empresas Públicas de Medellín (EPM).....	142
25.5. TABLA IEEE 519 – 12. Limite por Distorsión de Tensión. (THV).....	143

CONTENIDO DE GRAFICOS

GRAFICO No 1. Red de alimentación eléctrica trifásica equilibrada.....	32
GRAFICO No 2. Ilustración de un transitorio impulsivo	35
GRAFICO No 3. Transitorios Oscilatorio.....	36
GRAFICO No 4. Descripción de los hundimientos (Sags).....	43
GRAFICO No 5. Descripción elevación de tensión (Swells).....	44
GRAFICO No 6. Desbalance de tensión.....	49
GRAFICO No 7. Representación gráfica de una carga no lineal.....	61
GRAFICO No 8. Tercer armónica.....	63
GRAFICO No 9. Quinta armónica.....	64
GRAFICO No 10. Balance del consumo de energía eléctrica.....	81
GRAFICO No 11. Estratificación del consumo de la energía eléctrica Alimentos Cárnicos S.A.S	82
GRAFICO No 12. Línea base de energía eléctrica VS producción y línea meta de consumo de la planta en general.....	83
GRAFICO No 13. Línea base del índice de consumo de la energía eléctrica.....	84
GRAFICO No 14. Análisis de la tendencia energética contra la línea de consumo de la energía.....	85
GRAFICO No 15. Indicador Base 100 con respecto a línea base de consumo para la energía eléctrica.....	91
GRAFICO No 16. Estado de la tensión Subestación Eléctrica No 1.....	99
GRAFICO No 17. Corriente por Fases Subestación eléctrica No 1.....	100
GRAFICO No 18. Comportamiento de la frecuencia de alimentación Subestación Eléctrica No 1.....	101
GRAFICO No 19. Tendencia de la tensión en la subestación Eléctrica No 2.....	103
GRAFICO No 20. Consumo de Corriente en la Subestación Eléctrica No 2.....	104
GRAFICO No 21. Comportamiento frecuencia de alimentación en la Subestación Eléctrica No 2.....	105
GRAFICO No 22. Botón de inicio del programador para el análisis del TDD, en el transformador de 1500 kVA de la subestación eléctrica No 1.....	106
GRAFICO No 23. Selección del análisis a realizar por el programador.....	107
GRAFICO No 24. Caja de texto para ingreso de corriente de cortocircuito.....	107
GRAFICO No 25. Calculo de la corriente de cortocircuito por el programador.....	108
GRAFICO No 26. Tabla de inserción de datos para cálculo del TDD.....	108
GRAFICO No 27. Cálculos Arrojadados por el programador para el cumplimiento del TDD según norma IEEE 519-12.....	109
GRAFICO No 28. Comportamiento del TDD con respecto al límite IEEE 519-12. Subestación No 1.....	110

GRAFICO No 29. Comportamiento TDD en el tiempo. Subestación No 1.....	110
GRAFICO No 30. Inicio del programa.....	111
GRAFICO No 31. Selección de análisis.....	111
GRAFICO No 32. Corriente de cortocircuito.....	112
GRAFICO No 33. Tabla de inserción de datos para cálculo del TDD.....	112
GRAFICO No 34. Tabla de inserción datos con todos los valores introducidos.....	113
GRAFICO No 35. Cálculos de la distorsión total de la demanda arrojados por el programa según norma IEEE 519 – 12.....	114
GRAFICO No 36. Cumplimiento en porcentajes del TDD según datos analizados. Subestación eléctrica No 2.....	115
GRAFICO No 37. Comportamiento del TDD con respecto al límite IEEE 519-12. Subestación No 2.....	116
GRAFICO No 38. Comportamiento TDD en el tiempo. Subestación No 2.....	116
GRAFICO No 39. Inicio del programa para el cálculo de la I máxima.....	119
GRAFICO No 40. Datos de placa en el programa.....	120
GRAFICO No 41. Datos de tensión del primario y secundario, datos de resistencia de los devanados del primario y secundario.....	121
GRAFICO No 42. Valores de armónicos individuales.....	121
GRAFICO No 43. Tabla con los valores insertados.....	122
GRAFICO No 44. Resultados análisis de la corriente máxima admisible en el transformador No1 de 1500 KVA marca SUNTEC.....	122
GRAFICO No 45. Inicio del programa transformador siemens 630 kVA.....	124
GRAFICO No 46. Datos potencia nominal, tipo de conexión y perdidas por carga.....	125
GRAFICO No 47. Datos tensión y resistencia del primario y secundario.....	125
GRAFICO No 48. Valores de corriente RMS y armónicos individuales de corriente.....	126
GRAFICO No 49. Resultado final del análisis de la corriente máxima admisible según aplicación de la norma IEEE C.57 – 1986.....	126

CONTENIDO DE TABLAS

TABLA No 1. Máxima Distorsión armónica de corriente.....	67
TABLA No 2. Especificaciones Pinza Amperimétrica FLUKE 322.....	76
TABLA No 3. Especificaciones técnicas multímetro digital FLUKE 117.....	79
TABLA No 4. Potenciales de ahorro en energía eléctrica.....	87
TABLA No 5. Potenciales de reducción de emisión de CO ₂	88
TABLA No 6. Indicador de eficiencia propuesto – Base 100.....	91
TABLA No 7. Indicador de eficiencia propuesto.....	92
TABLA No 8. Datos de producción y consumo de energía del 2011.....	95
TABLA No 9. Método Propuesto para elaboración del presupuesto.....	96
TABLA No 10. Método propuesto para el seguimiento del presupuesto.....	97
TABLA No 11. Método para el seguimiento del presupuesto propuesto.....	97
TABLA No 12. Comportamiento de la tensión Subestación Eléctrica No 1.....	100
TABLA No 13. Análisis de corriente Subestación Eléctrica No 1.....	101
TABLA No 14 Análisis de la frecuencia en (Hz).....	102
TABLA No 15. Armónicos Analizados Subestación Eléctrica No 1.....	102
TABLA No 16. Valores de las tensiones registradas en la subestación No 2.....	103
TABLA No 17. Análisis de la Corriente en la Subestación Eléctrica No 2.....	104
TABLA No 18 Análisis de la frecuencia de alimentación Subestación No 2.....	105

1. INTRODUCCION

La calidad de la energía eléctrica y la eficiencia energética, son dos temáticas que están muy fuertemente ligadas. Una instalación con una baja calidad de energía eléctrica esta propensa a paradas de procesos no deseadas, lo que termina en pérdidas de materia prima y costosos arranques de procesos. Además, una deficiente calidad de energía eléctrica, detrimenta la eficiencia operacional de las máquinas eléctricas, principalmente los motores eléctricos de potencia y transformadores.

La condición de la calidad de la energía eléctrica en una determinada instalación o empresa se ve reflejada en el libre desarrollo de la productividad sin que se presente interrupciones, sobre tensión, caídas de tensión, presencia de armónicos, desbalances, variaciones de tensión, inestabilidad de la frecuencia de alimentación y la no continuidad de la prestación del servicio de energía eléctrica, pues estos puntos influyen en la eficiencia de los equipos utilizados para el proceso productivo.

La red de suministro de energía ideal debería comportarse como una fuente de tensión sin impedancia interna, con una salida sinusoidal tanto en tensión como en corriente constante en cada una de sus condiciones, el causante principal de que se presente una distorsión en la red de alimentación son las mismas cargas presentes, debido a su naturaleza de funcionamiento y también al régimen de operación como la conmutación constantes de los equipos electrónicos.

La calidad de la energía eléctrica ha sido uno de los temas más estudiados a nivel industrial en los últimos años, sin embargo en el momento de impartir una solución, desde este punto de vista, quedan muchos interrogantes y que dependiendo de la forma como se interpreta o se diagnostica una instalación eléctrica así será la solución.

No siempre los equipos eléctricos que se alimentan de la red local de distribución trabajan bajo las condiciones para las cuales fueron diseñados ya que por diferentes circunstancias la red no suministra parámetros eléctricos de

excelente calidad ocasionando que dichos equipos trabajen inadecuadamente acortando la vida útil de los mismos y consumiendo más energía que la necesaria, es decir, más Energía No Asociada a la Producción (ENAP)

La calidad de la energía eléctrica vela por la compatibilidad que debe existir entre los equipos y la red local de suministro, tomando como referencia una serie de parámetros y situaciones presentes en la red o también dentro de la misma instalación viéndose reflejada en el funcionamiento de los equipos que están conectados a dicha red.

Un excelente diagnóstico de la calidad de la energía eléctrica permitirá tomar decisiones asertivas concretando la solución más efectiva al problema arrojado por el estudio, identificando los problemas relacionados con la calidad de la energía que puedan generar paros o alteraciones en los procesos, solucionado problemas en los equipos como daños o mal funcionamiento con relación a la fuente de alimentación y excesivos consumos energéticos.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La planta de **Alimentos Cárnicos S.A.S** con sede en la ciudad Barranquilla anteriormente llamado jurídicamente Frigorífico Continental y CUNIT, era una mediana empresa que con el pasar del tiempo se iba haciendo cada vez más grande hasta lo que es hoy en día, a raíz de esta situación de expansión la instalación eléctrica ha sufrido una serie de modificación que en el mayor de los casos fue realizada por personal con poca experiencia y poco criterio dentro de las normas eléctricas vigentes lo que incurría en trabajos eléctricos con poca estandarización y homologación de elementos, haciendo de las instalaciones una serie de riesgos tanto para el personal técnico de operación como para la misma producción para la cual se presentaban interrupciones momentáneas del servicio de energía eléctrica.

ha permitido el análisis de las características de la energía eléctrica en esta empresa y a su vez la comparación y determinación del comportamiento de esta con respecto al proceso de productivo que la compañía desarrolla, en el cual se realizara un estudio detallado de las condiciones de funcionamiento de los dos transformadores de alimentación, permitiendo sacar a flote cuales son las posibles ventajas para el ahorro de energía eléctrica (kW/h), además del cumplimiento de una serie de estándares internacionales aplicables en Colombia, tales como la IEEE 519 “IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems” , para el punto de calidad de la energía eléctrica, y la norma IEEE C 57.110 – 1986 para la eficiencia de transformadores sometidos a corrientes armónicas y a las pérdidas debido a la resistencia de los bobinados. Ambos estándares son referenciados en la resolución CREG 070 - 98.

La empresa como tal no tiene registro de las posibles formas de cómo implementar un sistema que le permita ahorrar dinero desde el punto de vista del uso de la energía eléctrica, desconociendo el comportamiento que presenta su instalación a nivel de la alimentación principal de energía como es el caso de la condición a la cual están operando sus dos principales transformadores los cuales alimentan la gran parte de la instalación eléctrica de la compañía,

además este proyecto le servirá de soporte para recopilar la información necesaria extraída de esos equipos eléctricos como es el caso de los transformadores de potencia, además no se tiene memoria de un análisis de la eficiencia energética de la compañía con respecto a los niveles que la producción entrega en productos terminados.

La empresa dentro de su instalación posee una serie de equipos sensibles a los fenómenos presentes en el suministro de la energía eléctrica tales como armónicos tanto de corriente como de tensión, fluctuaciones de tensión, caídas de tensión, variación de tensión de corta y larga duración, desequilibrios que pueden ser en tensión y corrientes también llamados desbalances y asimetrías, estos equipos tales como variadores de velocidad, arrancadores suaves, equipos de cómputos y UPS tienen un alto costo, que de llegar a presentar problemas en su operación confiable representaría pérdidas para la empresa. Pero de manera simultánea, son estos mismos equipos los que generan eventos de calidad de energía eléctrica que afectan su propio funcionamiento.

La compañía **Alimentos Cárnicos S.A.S.**; no cuenta con las herramientas necesarias para determinar cuál es el grado de eficiencia energética que posee o que puede llegar a tener desde el punto de vista del consumo de energía eléctrica versus la planificación del proceso productivo, con la obtención casi nula de detectar posibles problemas para promover el ahorro energético, la optimización del consumo, aun sabiendo el dato a diario de la planta mas no se sabe el porqué de dicho consumo y lo eficiente que puede llegar a ser. Es por esto, que además del diagnóstico de calidad de energía, se realizó una caracterización energética a nivel general de la empresa, que permita determinar la viabilidad técnica y económica para que la empresa Alimentos Cárnicos S.A.S implemente un Sistema de Gestión Integral de la Energía conforme a ISO 50001.

De acuerdo a las siguientes problemáticas expuestas anteriormente es necesario plantear el siguiente interrogante:

¿Cuáles son los factores que afectan la calidad de la energía y la eficiencia energética operacional de la misma en cada uno de los procesos productivos en la empresa Alimentos Cárnicos S.A.S.?

3. JUSTIFICACION

Con el presente proyecto se busca consolidar cual es el impacto en la eficiencia energética operacional por calidad de energía eléctrica de los transformadores principales; que para este estudio aplico en el transformador de 1500 kVA marca SUNTEC correspondiente a la subestación eléctrica número 1 y el transformador de 630 kVA marca SIEMENS correspondiente a la subestación eléctrica número 2, determinando cual es el grado de pérdidas que pueda tener con relación a la influencia de problemas de armónicos y su límite de cargabilidad por el mismo fenómeno.

Con el desarrollo de este proyecto se determinara cual es el grado de calidad de energía eléctrica que están manejando los transformadores como se encuentra su nivel en el factor de carga de los mismos, que grado de cumplimiento posee la planta según la norma IEEE 519 (refiriéndose al nivel de distorsión total de la demanda (TDD) e IEEE C57.110 - 1986,

Es de vital importancia determinar además del sobrecalentamiento, cuál es la influencia y los daños que producen las corrientes armónicas en un transformador ya que podría estos problemas de calidad de la energía afectar la corriente máxima que soporta un transformador, originando así que se presenten en los equipos a los cuales alimenta el transformador averías, porque no se tienen parámetros óptimos de alimentación como es el caso de distorsión de la onda de tensión eléctrica (en adelante tensión) y corrientes, caídas y sobre tensión.

En general la determinación del estado que posee la compañía desde el punto vista de la calidad de la energía nos llevara a conocer si los efectos presentes hoy en día en la planta tales como recalentamientos excesivos de motores eléctricos de inducción, caídas de tensión, sobrecalentamientos de conductores eléctricos de potencia, daños por corto circuitos de los condensadores de los motores eléctricos monofásicos y por ultimo quemas de tarjetas electrónicas tienen que ver con la influencias de los armónicos y que posibles soluciones se tomaran al respecto de acuerdo a la eficiencia y al costo de la implementación.

Con el presente proyecto se busca establecer cuál fue la relación entre la calidad de energía eléctrica medida en secundario de cada transformador, y su relación con la energía no asociada a la producción de la empresa y el replanteamiento de la meta en el indicador de este consumo energético.

4. OBJETIVO GENERAL.

Implementar en la Compañía Alimentos Cárnicos S.A.S. Barranquilla. Dos herramientas de diagnóstico de gestión energética según ISO 50001 como son la Caracterización Energética y un diagnóstico de Calidad de energía eléctrica a nivel de frontera comercial que incluye el impacto de armónicos y variaciones de voltaje en las pérdidas eléctricas de los dos transformadores de potencia más importantes de la empresa y como las pérdidas por armónicas impactan la Energía No Asociada a la Producción (ENAP) que caracteriza el consumo energéticos de la empresa.

4.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Determinar el consumo energético no asociado a la producción (ENAP), de la compañía mediante la herramienta de caracterización energética.
- Analizar el comportamiento de eficiencia energética de la empresa en 2013 con respecto al 2012.
- Verificar los indicadores energéticos de la empresa y recomendar indicadores de eficiencia energética.
- Analizar la metodología de estructuración del presupuesto de energía de la empresa, y recomendar una metodología basada en la Capacidad Media de Eficiencia del proceso.
- Realizar un diagnóstico de calidad de energía eléctrica a nivel de frontera comercial, que permita identificar el impacto que las pérdidas por armónicos ejercen en los sistemas eléctricos, y como estas pérdidas impactan la ENAP identificada en la caracterización energética.
- Determinar si el incumplimiento en cuanto a niveles de armónicos en la frontera comercial, supera el umbral sugerido por la resolución CREG 070 del 98, que se sustenta para este efecto en la IEEE 519 – 1992.
- Proponer una solución de ingeniería que permita mitigar el efecto de armónicos en el sistema eléctrico, basados en el diseño de un filtro de armónicos sintonizado simple (filtro de primer orden).

- Desarrollar una herramienta computacional en su versión primaria, que permita realizar análisis de armónicos en fronteras comerciales, y que permita a futuro integrarse con herramientas de diagnóstico más avanzadas dentro de los grupos de investigación de la universidad.

5. ANTECEDENTES

Como precedente dentro de este proyecto se destaca en la compañía **Alimentos Cárnicos S.A.S.** no se tiene evidencia de la realización de un estudio de la calidad de la energía donde se dé solución a problemas existentes en la planta como es el caso de caídas de tensión permanentes y momentáneas, recalentamientos excesivos en la operación de motores eléctricos y en los conductores eléctricos, averías en los motores eléctricos debido a las permanentes fallas a tierras (perdidas de aislamiento), bobinas cortocircuitadas, sin que dichas fallas sean detectadas por los elementos de protección tanto térmica como contra cortocircuitos.

Además no se tiene la evidencia del control sobre la incidencia que tiene los elementos electrónicos sin la debida protección (inductancias) en el sistema eléctrico de la planta originado así posibles distorsiones en los parámetros eléctricos de suministros tales como tensión, corriente y frecuencia afectando de esta manera la eficiencia de los transformadores y motores eléctricos.

6. MARCO CONCEPTUAL.

EFICIENCIA ENERGÉTICA: Relación entre la energía aprovechada y la total utilizada en cualquier proceso de la cadena energética, dentro del marco del desarrollo sostenible y respetando la normatividad vigente sobre medio ambiente y los recursos naturales renovables.

CONSUMO DE ENERGÍA: Cantidad de energía aplicada durante un período(s) definido(s) de tiempo.

FIABILIDAD: Porcentaje de los datos de la muestra que son confiables para la caracterización energética estadística.

INDICADOR DE EFICIENCIA: Relación entre la energía gastada y la energía que debería haberse gastado en un proceso.

INDICADORES DE GESTIÓN: Indicadores entendidos por todos que reflejan indirectamente el comportamiento de un área de gestión organizacional de la empresa.

ÍNDICE DE CONSUMO: Relación que existe entre la energía consumida y las unidades de producto obtenidas en un proceso dado. (kW/Ton; m³/Kg; MBTU/m²; Toneladas de vapor/Kg; kW/kgf*m etc.)

LÍNEA BASE: Ecuación que rige el consumo de energía del proceso en función de la producción realizada, obtenida a partir de los datos confiables del proceso analizado en toda la gama de situaciones operacionales típicas y representativas del sistema. Es una referencia cuantitativa que sirve de base para la comparación de la eficiencia energética.

MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA EFICIENCIA: Actividades, procedimientos o procesos que se encargan de evaluar, controlar y mantener la eficiencia energética de los equipos. Desde el punto de vista del mantenimiento tradicional este tipo de mantenimiento se considera preventivo o predictivo ya que los equipos generalmente comienzan a perder eficiencia energética antes de perder indisponibilidad.

PERSONAL CLAVE: El 20% del personal que decide con su actuación el 80% del consumo o de la eficiencia energética de los procesos y equipos de la empresa.

POTENCIAL DE AHORRO POR MEJORAS EN LAS PRÁCTICAS OPERACIONALES: Ahorro de energía por reducción de la variabilidad operacional y del estado técnico de los equipos que provoca que para un mismo nivel de producción realizada existan diferentes consumos de energía. Se aprovecha con la implementación de un sistema de control operacional y del mantenimiento que consiga siempre el menor consumo posible para los niveles de producción del equipo o sistema.

POTENCIAL DE AHORRO POR PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN: Ahorro de energía por reducción del índice de consumo o intensidad energética del proceso o equipo, el cual se produce al identificar la rata de producción mínima a partir de la cual el índice de consumo es siempre cercano al mínimo alcanzable en ese proceso.

SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL DE LA ENERGÍA: Conjunto de factores estructurados mediante normas, procedimientos y actuaciones que permite la materialización de la política, los objetivos y las metas de eficiencia energética a través de una participación activa de los trabajadores en relación con la tecnología y los procesos. Parte del sistema general de gestión de la empresa.

USO SIGNIFICATIVO DE LA ENERGÍA, USE_n: El uso importante de la energía representa el consumo de energía y/o considerable potencial que ofrecen una mejora de la eficiencia energética

ARMÓNICO: Pueden presentarse en corrientes o voltajes cuya frecuencia es un múltiplo de la frecuencia fundamental del sistema, la cual para el caso propio de Colombia la frecuencia es de 60 Hz.

ARMÓNICO CARACTERÍSTICO: Son aquellos armónicos particulares producidos por una carga no lineal en condiciones normales de operación. Por ejemplo, los armónicos característicos de un equipo convertidor semiconductor

de seis pulsos, son los armónicos impares no triples (de orden 5, 7, 11, 13, etc.).

ARMÓNICOS NO CARACTERÍSTICOS: Son aquellos armónicos producidos por cargas no lineales, pero no en condiciones normales de operación. Por ejemplo en un convertidor semiconductor, pueden ser un resultado de frecuencias de pulso; una demodulación de los armónicos característicos y las frecuencias fundamentales; o un desequilibrio en el sistema de alimentación, ángulo de retraso asimétrico o la operación de cicloconvertidor.

CALIDAD DE LA POTENCIA ELÉCTRICA (CPE): Para efectos de esta resolución, se define como el conjunto de calificadores de fenómenos inherentes a la forma de onda de la tensión, que permiten juzgar el valor de las desviaciones de la tensión instantánea con respecto a su forma y frecuencia estándar, así como el efecto que dichas desviaciones pueden tener sobre los equipos eléctricos u otros sistemas.

SISTEMA DE DISTRIBUCION: Parte de un sistema eléctrico el cual tiene como función suministrar energía eléctrica desde la subestación de distribución hasta los usuarios finales (medidor de energía eléctrica el usuario o cliente).

SISTEMA DE POTENCIA: Es todo el recorrido que hace la energía eléctrica desde su etapa de generación hasta la etapa de uso final, pasando por cada uno de los equipos como generadores, transformadores, torres de transmisión entre otros.

APARTARRAYOS: Dispositivo que permite proteger las instalaciones contra sobretensiones debido a una descarga atmosférica.

CORTOCIRCUITO: Es la unión física de dos conductores a una diferencia de potencial, en el cual la resistencia es cero.

7. MARCO TEORICO

7.1. CALIDAD DE LA ENERGÍA

Se entiende por calidad de la energía al análisis de la calidad de la onda de tensión eléctrica y corriente así como la continuidad del servicio de energía garantizando que los equipos y dispositivos conectados a la red eléctrica operen con las condiciones adecuadas en un marco de compatibilidad electromagnética aceptable, permitiendo conservar la continuidad y eficiencia energética de su servicio sin afectar su debido funcionamiento y productividad. Algunos refieren que la calidad de la energía eléctrica tiene como referencia mantener una serie de parámetros eléctricos dentro del margen establecido por las normas vigentes en este campo, pudiendo afectar en un mayor o menor grado, los parámetros fundamentales a los que hacen referencia son corriente, tensión y frecuencia.

Otro aporte fundamental sobre la calidad de la energía eléctrica consiste en la ausencia de interrupciones, perturbaciones, desviaciones leves o severas en los parámetros eléctricos, inestabilidad del valor de la frecuencia que pueda afectar la continuidad del servicio llegando a ocasionar problemas como desperdicios de la energía.

7.2. CONDICIONES NORMALES DE OPERACIÓN.

Son cada una de las condiciones de la tensión eléctrica, corriente y frecuencia que permite atender la demanda del sistema, las maniobras en la red y la eliminación de fallas, en ausencia de condiciones de fuerza mayor.

7.3. RED DE ALIMENTACION IDEAL.

A la cual denominaremos red de alimentación industrial, en el caso ideal está constituida por un sistema trifásico de conductores, alimentados por tensión

sinusoidales desfasadas 120° entre cada una de las fases. La figura expuesta posteriormente muestra la forma de onda de las tensiones U_1 , U_2 y U_3 , de cada una de las tensiones es con respecto al neutro. Una red no ideal sería aquella que tuviera alguna desviación con respecto a este modelo (fases de distinta amplitud, forma de onda no sinusoidal, etc.).

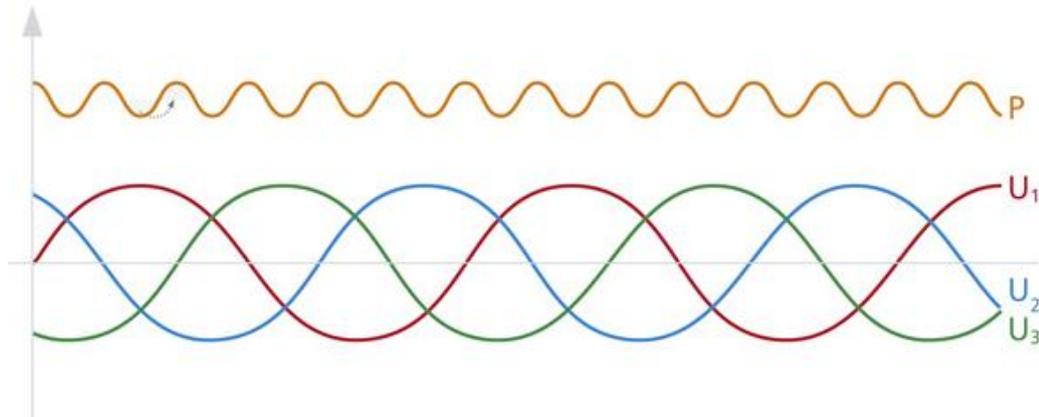


Gráfico No 1. Red de alimentación eléctrica trifásica equilibrada

Así pues, en condiciones ideales la red trifásica debería comportarse como un conjunto de tres fuentes de tensión perfectamente sinusoidales, sin impedancia interna (por tanto sin caídas de tensión), con frecuencia constante y con equilibrio perfecto de las tres fases (120° de desfases entre fase y fase). En la práctica, veremos que estas condiciones no siempre se cumplen, debido básicamente a dos tipos de causas, que son las siguientes:

Los generadores y los sistemas de distribución tienen una cierta impedancia interna. Esto origina caídas de tensión y pérdidas en el sistema de distribución.

- Las cargas absorben corrientes transitorias (sobre todo en arranques) y algunas de ellas consumen corrientes no sinusoidales y desequilibradas, perturbando la forma de onda y el equilibrio del sistema.

7.4. RED DE ALIMENTACION DESEQUILBRADO.

Un sistema de alimentación eléctrica trifásico desequilibrado puede ocurrir, cuando los vectores de cada una de las fases sean distintos, que en espacio angular (desfases) entre dos vectores sea diferente a 120° , o que ocurran ambas cosas.

Solo es válido representar como equilibrado o desequilibrado un sistema trifásico cuando el sistema consta de solo de tres hilos o cuatro incluyendo el neutro.

Los desequilibrios no deben superar los siguientes parámetros:

Intensidad < 10%

Tensión < 3%

Una forma de comprobar que un sistema esta desequilibrado cuando en el neutro se presenta un aumento de la corriente.

7.5. CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO.

Es la máxima corriente de corto circuito trifásica que se tenga disponible para evaluar en el punto de conexión común (kilo Amperios rms). En el caso de un usuario monofásico se debe utilizar la corriente de corto circuito monofásica.

7.6. FENOMENOS QUE AFECTAN LA CALIDAD DE LA ENERGIA ELECTRICA EN UN INSTALACION.

De acuerdo a una serie de estudios y normas se han establecidos unos parámetros que nos indican cual es el grado de calidad que presenta la energía eléctrica, ósea que tanto es la distorsión y la continuidad presente en un sistema eléctrico refiriéndose a la forma de la onda de tensión y corriente, su

amplitud y la frecuencia de alimentación. Los cuales pueden verse afectados por los siguientes eventos:

- Transitorios electromagnéticos.
- Variaciones de tensión de corta duración.
- Variaciones de tensión de larga duración.
- Desbalance de tensión.
- Distorsión de la forma de la señal.
- Fluctuaciones de tensión (Flicker)
- Variaciones de la frecuencia industrial.

7.7. TRANSITORIOS ELECTROMAGNETICOS.

El término transitorio ha sido usado durante mucho tiempo en el análisis de variaciones en un sistema de potencia, para indicar un evento que es indeseable y de naturaleza momentánea. La noción de un transitorio oscilatorio amortiguado debido a un circuito RL es probablemente en lo que más piensa un ingeniero electricista cuando escucha la palabra transitorio.

Otra palabra comúnmente usada como sinónimo de transitorio es pico o impulso de tensión. Un ingeniero electricista en una subestación pensaría en un pico o impulso de tensión debido al impacto de un rayo, para lo cual un descargador de sobre tensión (pararrayo) es usado para protección del equipo eléctrico de la subestación.

Un usuario final frecuentemente usa la palabra indiscriminadamente para describir cualquier cosa inusual que pueda ser observada en el sistema eléctrico, desde subidas o bajadas de tensión.

De una forma amplia y técnica, los transitorios electromagnéticos pueden ser clasificados en dos categorías: Transitorios de Impulsos y Transitorios Oscilatorios.

7.8. TRANSITORIOS IMPULSIVOS

Un transitorio de impulso es un cambio súbito, de frecuencia no industrial, de la condición de estado estacionario de tensión o corriente o ambas y es unidireccional en polaridad positivo o negativo.

Los transitorios de impulso son normalmente caracterizados por sus tiempos de subida o de frente (rise time) y de cola (decay). Por ejemplo una onda de impulso de corriente de 8/20 μs y 22 kA, aumenta de cero a su valor pico de 22 kA en 8 μs y luego decae a la mitad de su valor pico en 20 μs . el origen más común de los transitorios de impulsos son los rayos.

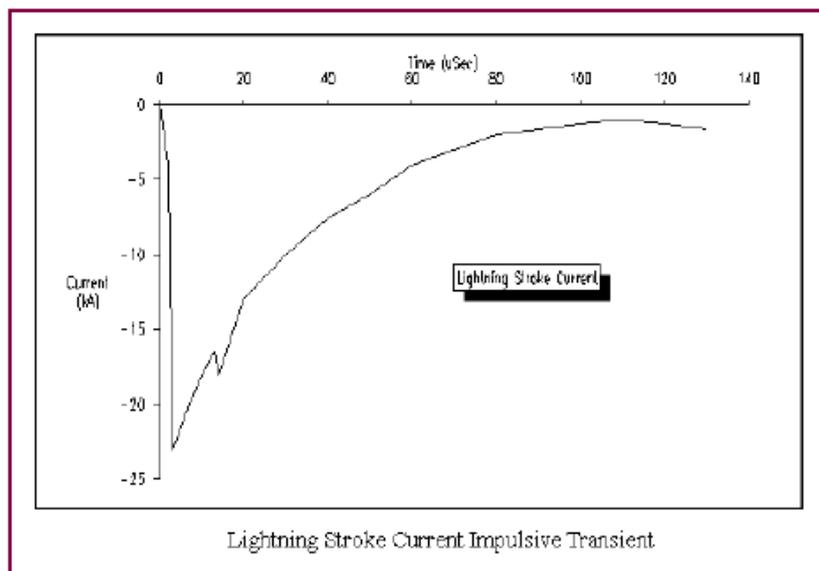


GRAFICO No 2. Ilustración de un transitorio impulsivo de corriente originado por un rayo

Los transitorios de impulso pueden excitar la frecuencia natural de los circuitos (RLC), de un sistema de potencia y producir transitorios oscilatorios.

7.9. TRANSITORIOS OSCILATORIOS

Un transitorio oscilatorio es un cambio súbito, de frecuencia no industrial, de la condición de estado estacionario de la tensión o corriente o ambas, que incluyan tanto valores positivos como negativos.

Los transitorios oscilatorios consisten de una tensión o corriente o ambas cuyos valores instantáneos cambian rápidamente de polaridad. Este descrito por su contenido espectral (predominantemente frecuencia), duración y magnitud. El contenido espectral se subdivide en altas, medias y bajas frecuencias. Los rangos de frecuencias para estas clasificaciones son escogidos para coincidir con los tipos comunes de fenómenos transitorios en sistemas de potencia.

Los transitorios oscilatorios de alta frecuencia (500 kHz – 5 MHz) y duración de microsegundos son frecuentemente el resultado de la respuesta de un sistema local a un transitorio de impulso.

Los transitorios oscilatorios de media frecuencia (5 – 500 kHz) y duración de decimas de microsegundos pueden deberse a la maniobra de condensadores.

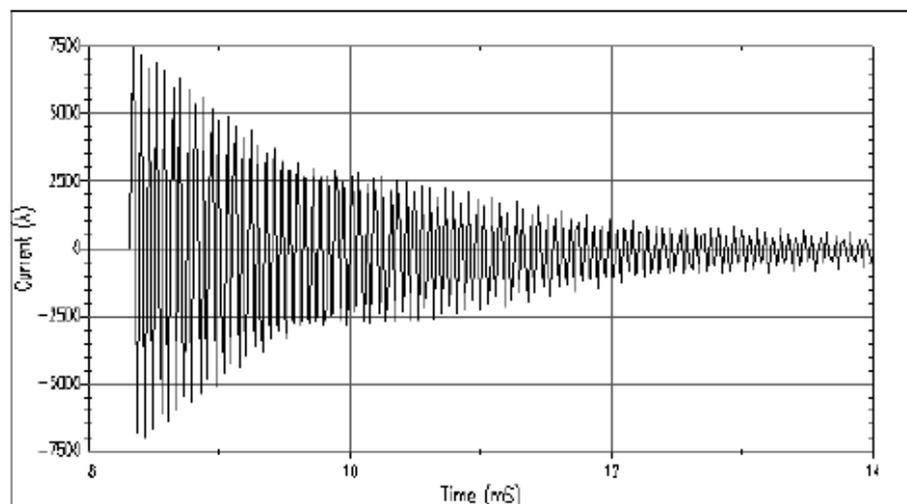


GRAFICO No 3. Transitorios Oscilatorio

Tensión transitoria oscilatoria debido a desconexión de condensadores

Los transitorios oscilatorios de media frecuencia también pueden ser debidos a respuestas de un sistema a un transitorio de impulso.

Los transitorios oscilatorios de baja frecuencia (menos de 5 kHz) y una duración de 0,3 ms a 50 ms se deben frecuentemente a energizaciones de grandes bancos de condensadores, con frecuencias típicas de oscilación entre 300 y 900 Hz. El valor pico de estas energizaciones están entre 1,3 y 1,5 p.u. con duración entre 0,5 y 3 ciclos, dependiendo de la amortiguación del sistema.

Los transitorios oscilatorios con frecuencias menores de 300 Hz pueden también ser encontrados en los sistemas de distribución. Estos son generalmente asociados con ferro resonancia y energización de transformadores.

Los transitorios que involucran capacidades en serie pueden caer también dentro de esta categoría. Ellos ocurren cuando el sistema responde por resonancia con componentes de baja frecuencia en las corrientes de "arranque" (inrush current), de los transformadores o cuando por condiciones inusuales resulta en ferro resonancia.

La estimación de las magnitudes de los transitorios electromagnéticos se resuelve matemáticamente conociendo los parámetros de la perturbación y del sistema que es perturbado.

7.10. ORIGEN DE LOS TRANSITORIOS DE TENSIÓN

Los transitorios de tensión que ocurren en los circuitos de potencia de bajo tensión tienen dos orígenes: los efectos de las descargas atmosféricas tanto directas como indirectas y los transitorios ocasionados por las conmutaciones del sistema.

7.11. TRANSITORIOS DE TENSIÓN OCASIONADOS POR DESCARGAS ATMOSFERICAS

- Descargas cercanas de un rayo ya sean a tierra o entre nubes, produce campos electromagnéticos que pueden inducir tensiones en los conductores de los circuitos primarios y secundarios.
- Descargas a tierra de un rayo producen que la corriente que fluye se acople a la impedancia de la malla de tierra, causando diferencia de tensión a lo largo y ancho.
- La acción de apartarrayos de tipo abertura al limitar súbitamente la tensión primaria, se acopla a través de la capacitancia de un transformador y produce transitorios de tensión adicionales a aquellos que inducen por la misma acción del transformador.
- Descargas directas a circuitos de alta tensión, inyectan altas corrientes que producen tensiones que o bien fluyen a través de la resistencia a tierra y causan un cambio en el potencial de tierra o fluyen por los conductores primarios cuyos tensiones se acoplan a los circuitos secundarios por la capacitancia entre los devanados primario y secundario o por la inducción misma del transformador o por ambos efectos, apareciendo en los sistemas de bajo tensión.
- Descargas directas a circuitos de baja tensión, involucran altas corrientes y altas tensiones resultantes que pueden exceder la capacidad de soporte de los equipos.

7.12. TRANSITORIOS DE TENSIÓN OCASIONADOS POR CONMUTACION.

- Conmutaciones menores cercanas al punto de interés, tal como el apagado de utensilios en una casa o el apagado de diversas cargas en el sistema individual.
- Transitorios periódicos (muescas en la tensión) ocurren cada ciclo durante la operación de convertidores electrónicos de potencia, debido a un corto circuito momentáneo entre fases cuya duración se ubican en el rango de 100 μ s.
- La conmutación de bancos de condensadores para la capacitación del factor de potencia cuando no hay rebotes, genera sobre tensiones transitorias del orden de 1.5 a 2 veces la magnitud del tensión normal, teniendo formas de onda de larga duración de varios cientos de μ s. Si durante la apertura del dispositivo que conmuta a los capacitores ocurren múltiples rebotes, la sobretensión transitoria puede exceder tres veces la magnitud de la tensión normal e involucrar niveles de alta energía.
- Durante los libramientos de fallas que ocurren cuando dispositivos de protección de sobre corriente de acción rápida tales como fusibles e interruptores que tienen tiempos de arqueo menores a 2 μ s actúan, dejan energía inductiva atrapada del lado de carga que cuando se colapsa el campo, se generan altas tensiones.

7.13. OCURRENCIA DE LOS TRANSITORIOS.

Tratar de establecer con certeza la frecuencia de ocurrencia de los transitorios para un sistema en particular es imposible. La frecuencia de ocurrencia de los transitorios está relacionada con el nivel, prevaleciendo mayormente los de menor nivel a los de mayor nivel.

Un pico de tensión que se observa en un sistema de potencia puede ser el original o el residuo que resulta de la operación de algún dispositivo de protección del sistema.

La distribución de los niveles de los transitorios está influenciada por el mecanismo que los produce y por el nivel de arqueo entre separaciones y por la operación de dispositivos de protección no identificados. Es importante reconocer el efecto del creciente número de dispositivos protectores de transitorios instalados dentro de los equipos y en los sistemas de distribución.

Los equipos exteriores están expuestos a niveles de arqueo altos, con los valores típicos de 10 kV aunque es posible alcanzar hasta 20 kV. En la acometida, los equipos de medición pueden incluir protecciones entre fases y tierras con niveles de arqueo en el rango de 8 kV.

La mayor parte de los sistemas en interiores operan a tensiones de 127, 220 y 440 voltios, teniendo niveles de arqueo entre fases o entre fase y tierra típicos de 6 kV aun cuando en excepciones pueden llegar a ser mayores.

7.14. VARIACIONES DE TENSIÓN DE ESTADO ESTABLE.

Las variaciones de tensión de estado estable son desviaciones de larga duración del valor eficaz de la tensión de alimentación a la frecuencia de la red (60 Hz).

Las variaciones de estado estable dependen de las características de diseño del sistema eléctrico, por ejemplo problemas de regulación de la tensión, variaciones de grandes cargas eléctricas y otras variaciones a las cuales se ve sujeto el sistema. Para corregir problemas de variaciones de estado estable se emplea intercambiadores automáticos de taps en los transformadores de las subestaciones del operador de red o en las subestaciones de los usuarios.

Las variaciones de estado estable tienen la posibilidad de ocasionar problemas a la hora del arranque de un motor eléctrico, cambio repentino de la velocidad

de motores eléctricos de inducción, aumento o reducción de la luz visible en los dispositivos de iluminación.

Los valores de referencia para las variaciones de tensión de estado estable son $\pm 10 \%$ de la tensión de alimentación declarada.

7.15. HUNDIMIENTOS (Sags)

Los hundimientos de tensión (Sags) son reducciones súbitas del valor eficaz de la tensión por debajo del 90 % y por encima del 10 % de la tensión declarada, seguido por un retorno a un valor más alto que el 90 % de la tensión declarada, en un tiempo que varía desde los 8,33 milisegundos (medio ciclo a 60 Hz) hasta un (1) minuto.

Los hundimientos de tensión son caracterizados por su duración y por la magnitud de la caída.

Los hundimientos de tensión son generados por corrientes elevadas, ocasionadas por cortocircuitos, conexión u operación de cargas que exijan una elevada demanda de potencia. Los hundimientos son impredecibles y de comportamiento aleatorio. Este tipo de perturbación es una de las que están causando mayor impacto en los equipos instalados en un sistema eléctrico, y depende en gran medida de la configuración del sistema, del punto de medida, de las condiciones operativas y del mantenimiento, entre otras. Su comportamiento durante el periodo de tiempo (por ejemplo un año) puede ser muy irregular.

Dentro de las causas encontramos; fallas en la fuente de alimentación del sistema de potencia o del sistema eléctrico propio o de vecinos, arranque de motores, cortocircuitos en el sistema de alimentación originados por fenómenos naturales como; arboles, rayos, acciones de terceros, entre otros.

Los efectos generados por este fenómeno son; parada de procesos, disparos de protecciones, funcionamiento defectuoso de equipos, salida de operación de

controladores de motores, incremento en las pérdidas por recalentamiento en los motores de inducción debido al aumento de corriente, salida de operación de dispositivos electrónicos como computadores y controladores electrónicos, reducción de la potencia de salida en banco de condensadores, en algunos equipos electrónicos se puede presentar pérdidas de datos, cuando la profundidad del hundimiento es grande, cuando se presentan hundimientos con una gran magnitud inferior al 70 %, los sistemas de transferencia pueden operar, las lámparas de descargas pueden apagarse cuando las magnitudes de los hundimientos alcanzan valores por debajo del 80 % de la tensión declarado

La evaluación de los hundimientos (Sags) se determina de acuerdo a su duración y magnitud. La duración se define como el tiempo medido desde el momento en que el valor eficaz de la tensión cae por debajo del umbral,

Hasta cuando retorna por encima de este. La magnitud de la caída (tensión residual) está dada por la máxima desviación del valor del valor eficaz de la tensión de la fase más afectada, en el caso trifásico, con respecto a la tensión declarada y su duración está dada por un tiempo inicial y final del evento.

Tiempo inicial: Momento en que alguna de las fases está por debajo del umbral.

Tiempo final: En sistemas polifásicos, es el momento en que todas las fases alcanzan el umbral del 90 % de la tensión declarada o lo superan. En un sistema monofásico, es el momento en que la fase alcanza el umbral o lo supera.

Para evaluar la ocurrencia de un hundimiento en la tensión se tomara como referencia la tensión declarada, cuando la medida es realizada en el punto de conexión común.

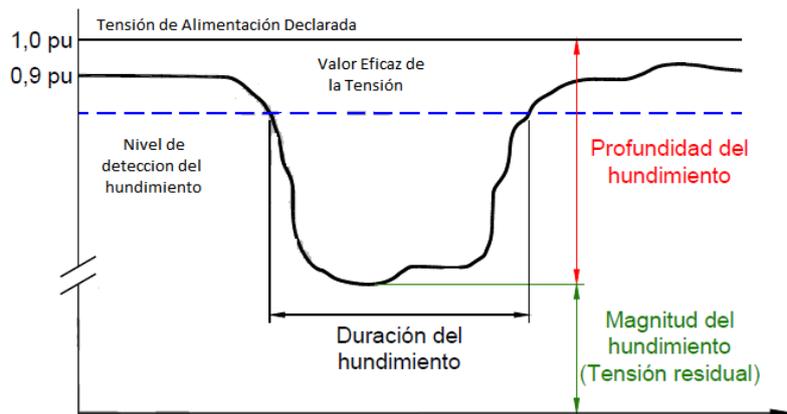


GRAFICO No 4. Descripción de los hundimientos (Sags)

7.16. ELEVACIONES (Swells).

Las elevaciones de tensión (Swells) son aumentos súbitos del valor eficaz de la tensión por encima del 110 % de la tensión declarada. Las sobre tensiones temporales pueden durar entre 8.33 milisegundos (medio ciclo) y un minuto.

Las elevaciones de tensión (Swells) son caracterizados por la medida de su duración por encima de un umbral definido y por la magnitud de la elevación.

La duración de la elevación de tensión es el tiempo medido, desde el momento en que el valor eficaz de la tensión se eleva por encima del umbral hasta cuando retorna por debajo de este. Para propósitos de clasificación, la magnitud de la elevación es dada por la máxima desviación del valor eficaz de la tensión con respecto a la tensión declarada. Y la duración de la elevación es dada por la máxima duración de la peor fase afectada en cada caso.

Las elevaciones de tensión (Swells) pueden ser causadas por cortocircuitos, salidas de carga o fenómenos de resonancia y ferro resonancia. Por ejemplo, ellos resultan de sobre tensiones en las fases sanas durante fallas fase-tierra.

Algunas causas características son; funcionamiento de grandes sistemas de UPS, operación de cargas controladas por tiristores, funcionamiento de dimmers, arcos de soldaduras.

Algunos efectos que se ocasionan son; falla de los componentes de un equipo, dependiendo de la frecuencia de ocurrencia del evento, reducción de la vida útil en los dispositivos electrónicos, incluyendo variadores de velocidad, computadores, conductores, barrajes, transformadores de tensión y corriente así como maquinaria rotativa, operaciones no deseadas en relés de protección, incremento de la luz visible de algunos dispositivos de iluminación, degradación de algunos dispositivos de protección como varistores o diodos de avalancha de silicio, falla inmediata en dispositivos electrónicos, pérdida de vida útil de los equipos.

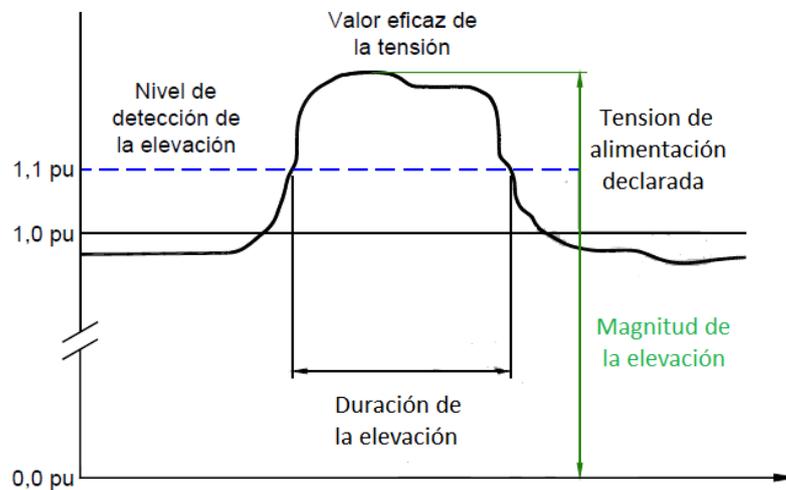


GRAFICO 5. Descripción elevación de tensión (Swells)

7.17. VARIACIONES DE TENSIÓN DE LARGA DURACION (SUBTENSIONES Y SOBRETENSIONES)

Los eventos en tensión de larga duración (> 1 minuto), puede ser sobre tensiones o sub tensiones dependiendo si el valor eficaz de la tensión está por encima o por debajo del $\pm 10\%$ de la tensión de alimentación declarada respectivamente.

Las variaciones de tensión de larga duración se pueden presentar de las siguientes formas:

- Sobre tensiones
- Sub tensiones
- Interrupciones Sostenidas.

Los sobre tensiones y las sub tensiones generalmente no son el resultado de falla del sistema, sino causados por variaciones de carga en el sistema y operaciones de maniobra del sistema.

7.18. SOBRETENSIONES

Una sobretensión es un incremento en la tensión r.m.s mayor de 110% a frecuencia industrial por un tiempo superior a un minuto.

Las sobre tensiones son generalmente el resultado de maniobras (por ejemplo, apertura de grandes cargas) o energización de bancos de condensadores. Las sobre tensiones resultan porque el sistema es muy débil para la regulación de tensión deseada o por controles de tensión inadecuados. Una posición incorrecta del conmutador de un transformador puede dar como resultado un sistema con sobre tensión.

7.19. SUBTENSIONES

Una sub tensión es un decrecimiento en la tensión r.m.s menor de 90% a frecuencia industrial por un tiempo superior a un minuto.

Los sub tensiones son el resultado de los eventos inversos que causan sobre tensiones. El cierre de una carga o la apertura de un banco de condensadores pueden causar una sub tensión hasta que el equipo regulador de tensión del sistema pueda ajustar la tensión dentro de los límites de tolerancia. Los circuitos sobrecargados pueden también resultar subtensiones.

Una breve caída de tensión en la alimentación principal es casi imperceptible para la mayoría de las instalaciones industriales y puede llegar a generar paros inesperados en la producción especialmente en instalaciones con elementos altamente sensibles, como por ejemplos equipos electrónicos, variadores de velocidad, arrancadores suaves, equipos de cómputo entre otros.

Normalmente las condiciones meteorológicas desfavorables pueden llegar a provocar la interrupción total prolongándose por varias horas en un sistema de alimentación de energía eléctrica en cualquier industrial

7.20. IMPORTANCIA DE CORREGIR UNA CAIDA DE TENSION

La mayor parte de las perturbaciones que se producen en las redes eléctricas consisten en breves caídas de tensión. Entre sus posibles causas están las corrientes de conexión que se producen al poner en marcha los grandes transformadores y las corrientes de arranque de motores de grandes potencias. Sin embargo, la inmensa mayoría de las caídas de tensión se deben a los cortocircuitos o a los fallos a tierra en algún punto de la red que puede estar situado a muchos kilómetros de distancia del lugar donde se experimenta la caída. La caída de tensión normalmente tiene una duración corta, aproximadamente el tiempo necesario para desconectar de la red la línea en la que se ha producido el fallo.

Podría afirmarse que nadie se preocuparía por una caída de tensión de solo 0,1 segundo. Si usted está en su casa por la noche, leyendo un libro o viendo la televisión, apenas si percibirá el breve parpadeo de la luz o la raya que se mueve por la pantalla del televisor, un instante después todo vuelve a la normalidad y una hora más tarde incluso lo habría olvidado.

Pero el asunto es completamente distinto si usted se encuentra en un ascensor y la caída de tensión dispara el sistema de control, que, por alguna razón no vuelve a reponerse y arrancar automáticamente. Usted tendrá que accionar la alarma para avisar al operario de servicio que tendrá que poner en marcha

manualmente el ascensor. Durante el tiempo de espera es probable que la mayoría de las personas no se mantenga en una tranquilidad total y sin duda no olvidara la experiencia rápidamente.

En el caso de las industrias, una caída de tensión tiene una dimensión bastante distinta que puede resumirse como una pérdida de producción, ósea pérdida de dinero. La búsqueda constante en la industria de la eficiencia en la producción ha acelerado la tendencia de contar con sistemas más seguros y más rápidos a la hora de presentarse una caída de tensión.

Estos sistemas que poco a poco se han implementado como es el caso de sistemas integrales de automatización, requieren un entorno desde el punto de vista de la energía eléctrica sumamente estable, totalmente libre de perturbaciones, para garantizar la máxima calidad en la producción con un mínimo de fallos que puedan originar paros en las líneas de producción.

Una solución óptima para proteger los procesos de fabricación o las plantas industriales contra las perturbaciones de la red consiste en instalar a gran escala sistemas de alimentación sin interrupciones y de respuesta muy rápida. Sin embargo, esta es una solución bastante costosa, tanto por la inversión inicial como para los costes de sostenibilidad. Dado que la mayoría de las perturbaciones eléctricas no provocan una interrupción total sino solo una caída temporal de la tensión en una sola fase de la línea de alimentación, la compensación de la caída proporcionaría una protección suficiente para cerca del 90 % de todas las perturbaciones que se producen en la red eléctrica.

7.21. INTERRUPCIONES SOSTENIDAS

Cuando la tensión de alimentación ha estado en cero por un periodo superior a un minuto, la variación de tensión de larga duración se considera como interrupción sostenida. Las interrupciones de tensión superiores a un minuto son frecuentemente permanentes y requieren intervención humana para restaurar el sistema. El termino interrupción sostenida se refiere a fenómenos

específicos en sistemas de potencia y en general no tienen relación con el termino salida.

Los operadores de red usan los términos salida (de operación) o interrupción para describir fenómenos de similar naturaleza para reportes de confiabilidad. Sin embargo, esto causa confusión para el usuario final quien piensa en una salida como cualquier interrupción que pare un proceso. Esto sería menor a medio ciclo. Salida (Outage) como lo define la norma IEEE 1008, no se refiere a un fenómeno específico, sino al estado de un componente en un sistema que ha fallado en su función. Entonces, usar el término salida en el contexto de monitoreo de calidad de la energía eléctrica no tiene relación con confiabilidad no con otras estadísticas de continuidad de servicio. De esta manera, el termino interrupción ha sido definido para ser más específico respecto a la ausencia de tensión por largos periodos.

7.22. DESBALANCE DE TENSIÓN.

Caracteriza la magnitud y asimetría del Angulo de fases de las tensiones trifásicas en operación de estado estable. El factor de desbalance definido usando la teoría de componentes simétricas, como la relación entre la componente de secuencia negativa de la tensión y la componente de secuencia positiva.

El desbalance de tensión es en algunas veces definido como la máxima desviación del promedio de las tres fases de tensión o de corriente, dividido por el promedio de la tensión o de la corriente de las tres fases, expresado en tanto por ciento.

$$\% \text{ Desb linea} = \frac{\text{Max} [(VAB - VProm); (VBC - VProm); (VCA - VProm)]}{VProm}$$

Los desbalances de tensión severos (mayores del 5%) pueden ser el resultado de condiciones de cargas monofásicas.

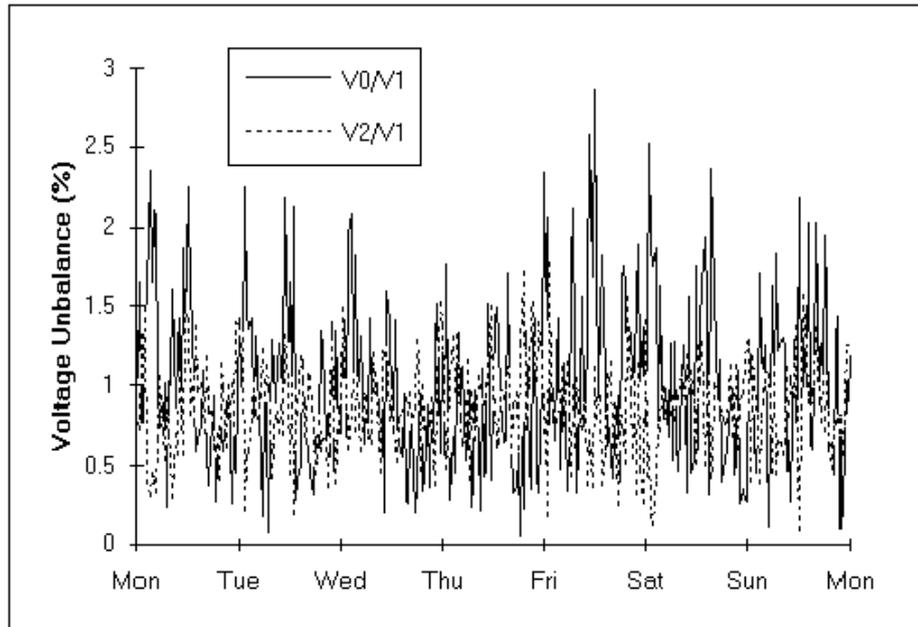


GRAFICO No 6. Desbalance de tensión en un sistema de alimentación residencial durante una semana.

7.23. FLICKER.

Es el efecto producido sobre la percepción visual humana por una emisión cambiante de luz debido a iluminación sujeta a fluctuaciones en la tensión de suministro en bajo tensión. Las fluctuaciones de tensión consisten de una secuencia de rápidos cambios de tensión espaciadas de bastante cerca en el tiempo para simular la respuesta el ojo – cerebro definido como Flicker.

A ciertas frecuencias, el ojo humano puede percibir el efecto de muy pequeñas fluctuaciones de tensión sobre la iluminación. La mayoría de los equipo, sin embargo, no son afectados por este fenómeno.

7.24. INTERRUPCIONES DE CORTA DURACION (DURACION < 1 MIN)

Las interrupciones de corta duración se definen cuando el valor eficaz de la tensión es inferior al 10 % de la tensión declarado V_c en todas las fases (en el caso trifásico) con una duración menor a 1.0 min.

7.25. INTERRUPCIONES DE LARGA DURACION (DURACION \geq 1 MIN)

Condición en la que el valor eficaz de la tensión de alimentación es inferior al 10 % de la tensión declarada V_c con una duración mayor a un minuto. Una interrupción de alimentación puede ser clasificada como: programada; cuando los clientes son informados de antemano para permitir la ejecución de trabajos programados en la red de distribución, o accidental, cuando está provocada por defectos permanentes o temporales, la mayoría de las veces asociadas a eventos o daños externos.

7.26. MUESCAS DE TENSIÓN (Notches).

Las muescas de tensión son un disturbio electromagnético periódico que afecta la forma de onda de tensión reduciendo su valor instantáneo durante intervalos que generalmente no sobrepasan los 0,5 ciclos.

7.27. VARIACIONES DE FRECUENCIA.

La frecuencia nominal de la tensión de suministro es de 60 Hz. Este valor es determinado por la velocidad de los alternadores en las estaciones de generación.

Mantener la frecuencia del sistema depende del balance entre las cargas y la potencia producida por las estaciones de generación. A medida que este balance cambia sobre el tiempo, vemos pequeñas variaciones de frecuencia cuya magnitud y duración depende de las características de la carga y la respuesta de los generadores. Adicionalmente, el sistema puede estar sujeto a

variaciones más grandes como consecuencia de cortocircuitos, o cambios de cargas o generación causando variaciones de frecuencia temporales cuya magnitud y duración depende de la severidad de la perturbación.

La definición de la variación de la frecuencia está dada por la alteración de la frecuencia de la red, generalmente medida en promedios de 10 segundos.

Las variaciones de frecuencia se suelen producir, en sistemas aislados, por la conexión o desconexión de cargas importantes en el sistema de distribución, lo cual puede producir ligeros descensos o incrementos de la velocidad en los generadores. Los límites de variación aceptados para promedios de 10 segundos son muy pequeños:

- Para sistemas interconectados; desviación máxima entre +4 y -6 % (47.....52 Hz). Desviación normal $< \pm 1\%$ durante el 95 % del tiempo (49,5.....50, 5 Hz).
- Para sistemas en isla: desviación máxima entre $\pm 15\%$ (42,5....57, 5 Hz). Desviación normal $< \pm 2\%$ durante el 95 % del tiempo (49....51 Hz).

Las consecuencias más importantes de la variación de la frecuencia se dan en industrias donde exista cogeneración acoplada a la red, donde el generador propio seguirá las variaciones impuestas por el sistema eléctrico, generalmente mucho más potente. En el caso de auto generador en isla, las variaciones de frecuencia deben prevenirse con un adecuado sistema de acoplamiento y desacoplo de cargas.

En algunos sistemas de tipo aislado se suele observar un aumento de los armónicos de tensión si se compara con el mismo sistema alimentado por una red potente y no aislada. A veces se atribuye esto a los cambios de frecuencia, pero en muchos casos el principal problema de estos sistemas aislados suele ser la elevada impedancia de cortocircuito del generador, más que las variaciones de frecuencias.

7.28. SOBRETENSIONES TRANSITORIAS.

Son perturbaciones de muy corta duración, durando típicamente menos de medio ciclo, por ejemplo unos pocos microsegundos (μs) hasta unos varios milisegundos (ms). Las sobre tensiones transitorias pueden ser de impulso u oscilatorias y pueden deteriorar el aislamiento de los equipos o componentes electrónicos.

Los sub tensiones transitorias pueden ser causadas por; maniobras en líneas y equipos del sistema, en particular, la energización de bancos de condensadores resultante en oscilaciones amortiguadas que se superponen en la onda fundamental, cuya frecuencia de oscilación abarca entre los 100 Hz y 9 kHz, con una duración pico menor de medio ciclo, conmutación de cargas inductivas que producen transitorios rápidos cuyo tiempo de crecimiento varia típicamente entre 0,5 μs a 5 μs , descargas atmosféricas, las cuales, externamente, pueden generar impulsos unidireccionales con un tiempo de crecimiento en el orden de 1 μs y un valor cresta alcanzando los 10 kV y aun 20 kV, descargas atmosféricas, las cuales internamente, pueden generar ondas oscilatorias amortiguadas con una frecuencia de 5 kHz a 500 kHz, un tiempo de crecimiento menor que 1 μs y valor cresta típicamente limitado a 6 kV, alta frecuencia de disparos en tiristores, fallas en cableado e interruptores, cierres de relés y contactos, desconexión y arranque de cargas con altos consumos de energía.

7.29. PERTURBACIONES DE LA AMPLITUD.

Debemos distinguir claramente dos tipos de perturbaciones de amplitud conducidas por la red eléctrica, aunque muchas veces aparecen mezcladas. El error en el diagnóstico de estas perturbaciones causa muchas confusiones en cuanto a la forma de solucionar determinados problemas originados por perturbaciones en la alimentación, los grandes tipos a distinguir son los siguientes:

- Perturbaciones de baja frecuencia: los tipos más importantes, dentro de estas, son los armónicos y el Flicker ($f < 2500$ Hz).
- Perturbaciones de alta frecuencia o EMI conducidas ($10 \text{ kHz} < f < 30 \text{ MHz}$).

El principal efecto de las perturbaciones de baja frecuencia (sobre todo los armónicos), es el aumento de pérdidas en el sistema de distribución, causando calentamiento en cables y transformadores y haciendo que el sistema de distribución resulte insuficiente.

Las perturbaciones de alta frecuencia suelen producir los típicos fallos de funcionamiento errático en sistemas electrónicos (errores de programa, “reset” intempestivos, etc.).

Las técnicas de medida y los medios de protección y filtrado de estos dos tipos de perturbaciones son completamente distintos. Por ello, cuando se tiene un problema, es fundamental saber el origen del mismo y por tanto la posible efectividad de diferentes técnicas de corrección depende de que se haga un buen diagnóstico de las causas

7.30 FACTOR DE POTENCIA.

El factor de potencia es la relación entre la potencia útil (activa) consumida por un circuito o carga y la potencia aparente de este, la cual corresponde a la máxima potencia que se puede consumir o suministrar a un circuito, dados unos valores eficaces de tensión y de corriente. El factor de potencia puede ser inductivo o capacitivo dependiendo de la condición de consumo o suministro de potencia reactiva, en el primer caso el factor de potencia será positivo y en el segundo caso será negativo.

8. DISTORSION ARMONICA

Se presenta en una instalación eléctrica determinada debido a la intervención de cargas eléctricas no lineales.

El estudio de dichas distorsiones armónicas en la forma de onda tanto de tensión como de corriente desde su composición espectral permitirá cuantificar cuales son los elementos que generan las distorsiones contribuyendo a realizar un diagnóstico más preciso sobre la calidad de la energía eléctrica y por ende permitir a encontrar una solución eficaz a los problemas originados por los mismos.

Por tal motivo es de suma importancia disponer de la manera más clara y exacta posible la dimensión de la distorsión. Es por eso, que las señales, deben ser obtenidas de una forma precisa, permitiendo ser debidamente analizadas y desglosadas para así proporcionar y administrar un diagnostico fiable del comportamiento de la instalación en general.

Las perturbaciones más importantes que afectan a la forma de onda son los armónicos. Se trata de perturbaciones periódicas, de frecuencia relativamente baja. Sus efectos se dejan sentir por lo general hasta un máximo de 2500 Hz y suelen ser responsables de sobrecalentamientos en transformadores, disparos por sobrecargas en algunas protecciones, disparos de relés diferenciales, entre otros. No obstante, a pesar de lo que algunas veces se afirma, rara vez son la causa de fallos intempestivos tales como “reset” de equipos electrónicos, autómatas etc.

8.1. ELEMENTOS QUE OCASIONAN ARMONICOS Y SUS DIFERENTES DERIVACIONES.

Los armónicos de tensión y de corriente son ocasionados en la mayoría de los casos por cargas especiales, normalmente designadas cargas deformantes o no lineales. Las principales cargas que generan armónicos en una instalación eléctrica de potencia son las siguientes:

- Variadores de velocidad para motores eléctricos.
- Convertidores estáticos (rectificadores, reguladores de velocidad, arrancadores estáticos, cargadores de baterías).
- Instalaciones de iluminación provistas de lámparas de descargas.
- Equipos de soldadura por arcos y hornos de fundición por arco.
- Pequeños elementos de iluminación que requieran el uso de balastos, fuentes convertidoras AC/DC que emplean tiristores, computadores, UPS, entre otros.
- Las reactancias electromagnéticas y electrónicas de alumbrado.
- Una serie de pequeñas cargas electrónicas monofásicas, tales como ordenadores, impresoras, fotocopadoras, faxes, etc., conectadas entre fase y neutro generalmente en un sistemas triangulo-estrella 380/220 voltios, son los mayores causantes de producir armónicos en un sistemas eléctrico industrial

8.2. CONSECUENCIA PRESENTES DEBIDO A LA INCIDENCIA DE ARMONICOS.

- Presencia de parámetros de tensión diferentes a los nominales o de trabajo presentando que se acelere el envejecimiento del aislamiento de los equipos eléctricos, como consecuencia de un calentamiento más intenso.
- Calentamientos en cables, transformadores y maquinas rotativas.
- Fallas en el funcionamiento y continuidad de operación de los equipos electrónicos de control, sistemas de protección eléctrica, equipos de medida y de telecomunicación.
- Presencia de sobre tensiones armónicos ocasionando fallas especialmente en los bancos de condensadores.
- Fallas en los equipos de medida de tipo inductivo presentándose errores en los datos de medición registrados.
- Distorsión de la forma de onda de tensión, provocando sobrecargas, sobre tensiones, resonancias y otros fenómenos que pueden propagarse a otros usuarios.
- Deterioro del aislamiento de los sistemas controlados son señales codificadas, transmitidas a través de redes.
- Reducción de la eficiencia de los equipos eléctricos, como transformadores, motores debido al aumento de las perdidas
- Las desviaciones de tensión compromete un aumento del calentamiento de motores eléctricos que operan con regímenes de carga constantes.
- Las elevaciones de la tensión encontradas por encima del valor nominal acorta el tiempo de vida útil de las lámparas fluorescentes debido al calentamiento excesivo que se origina en estas.
- Las variaciones de la tensión actúan de diferentes maneras en los distintos tipos de equipos eléctricos. Por ejemplo, en las baterías de los condensadores utilizados para la compensación de la potencia reactiva, provoca procesos transitorios que conducen a la sobrecarga de los condensadores por corriente y en casos por tensión, como resultado de lo

cual la batería puede salir de servicio en un periodo, a veces, significativamente rápido en dependencia de la magnitud de la perturbación.

- Para el caso de los motores eléctricos de inducción en presencia de una caída de tensión tienden a frenarse y experimentar procesos de re arranques, provocando disparos de las protecciones debido al sobre calentamiento que se genera por las caídas de tensión.
- La presencia armónicos en una instalación eléctrica conduce a la aceleración del envejecimiento del aislamiento, de igual manera al calentamiento adicional de las partes conductoras de los equipos presentes en dichas instalaciones, al aumento de las pérdidas de energía en las redes, a la operación errática de los esquemas de protecciones eléctricas, al deterioro acelerado de los bancos de condensadores ocasionando una avería.
- La presencia de armónicos también implican el aumento de las pérdidas parasitas e histéresis en los núcleos de los transformadores, tanto del sistema eléctrico como de los propios consumidores. De igual manera crean interferencias en los servicios de comunicaciones y transmisión de datos.
- La reducción de la frecuencia conduce a una disminución de la productividad de los accionamientos eléctricos, al trabajo inestable de equipos electrónicos, de mediciones y de sistemas de protecciones. En las centrales termoeléctricas tiene también influencia en las vibraciones de las turbinas, las que tienen bandas estrictas de variaciones admisibles de este parámetro.
- La disminución de la tensión en determinados niveles trae como consecuencia el aumento de las demandas de potencia reactiva de los equipos eléctricos, esto conduce al aumento de las pérdidas de energía en las redes y al deterioro progresivo de las condiciones de tensión.
- Otro problema de incidencia que se presenta debido a los armónicos en los sistemas es el aumento de pérdidas en las líneas y la aparición de

posibles condiciones de resonancia que provoca sobretensiones permanentes y transitorias en eventos de conmutación.

- Además de los inconvenientes expuestos en el ítem anterior cuando se presenta una resonancia en paralelo el sistema eléctrico alcanza amplitudes en su onda de tensión y corriente de hasta 16 veces el valor de la armónica inicial. Esto crea fatiga dieléctrica, térmica y mecánica, estropeando los dispositivos de protección de otros equipos del sistema. Además estas corrientes armónicas disminuyen notablemente el factor de potencia de la instalación y no es válida la compensación simplemente añadiendo condensadores.
- Aumento de la potencia a transportar, empeorando el factor de potencia de la red.
- Creación de inestabilidad en el sistema eléctrico en general.
- Disminución de la impedancia de los condensadores ($X_c = 1 / \omega \cdot C$), lo que da lugar al fallo de la batería autorregulada instalada para la corrección del factor de potencia cuando aparece el fenómeno resonante $X_L = X_c$.
- Las compañías prestadoras del servicio de la energía eléctrica, están pensando en penalizar a las instalaciones industriales que sean generadoras de armónicos, de igual manera que lo hacen para aquellas que generan energía reactiva.
- Generación de corrientes excesivas en el neutro.
- Altos niveles de tensiones del neutro con respecto a tierra.

8.3. COMPONENTE ARMÓNICA.

Señal senoidal cuya frecuencia es un múltiplo entero de la frecuencia fundamental. Las componentes armónicas pueden ser evaluadas de dos formas:

- Individualmente, según su amplitud relativa V_h con relación a la componente fundamental V_1 , donde h representa el orden del armónico.

- Globalmente, es decir, según el valor de la tasa de distorsión armónica total THD, calculada utilizando la siguiente fórmula:

$$THD = \sqrt{\left(\sum_{h=2}^{40} V h^2 \right)}$$

8.4. ARMONICOS CARACTERISTICOS.

Son aquellos armónicos particulares producidos por una carga no lineal en condiciones normales de operación. Por ejemplo, los armónicos característicos de un equipo convertidor semiconductor de seis pulsos, son los armónicos no triples (de orden 5, 7, 11, 13, etc.).

$$h = kq \pm 1$$

k = cualquier número entero

q = número de pulsos del convertidor.

8.5. ARMONICOS NO CARACTERISTICOS.

Son aquellos armónicos producidos por cargas no lineales, pero no en condiciones normales de operación. Por ejemplo en un convertidor semiconductor, puede ser un resultado de frecuencias de pulsos; una demodulación de los armónicos característicos y las frecuencias fundamentales; o un desequilibrio en el sistema de alimentación, ángulo de retraso asimétrico o la operación de ciclo convertidor.

8.6. CARGA NO LINEAL.

Una carga eléctrica cuya característica tensión/corriente es no lineal, es decir que la señal de corriente no sigue la misma forma de onda de la señal de tensión, de la cual se está alimentando la carga.

Otra forma de relacionar a una carga lineal es cuando estas cargas generan corrientes no sinusoidales, es decir, corrientes que además de la componente fundamental tienen otras que son múltiplos enteros de la fundamental y que se conocen como armónicos.

Este tipo de cargas ha existido en los sistemas eléctricos desde el principio, originalmente eran de tipo magnético, como las corrientes de excitación de los transformadores y los balastos magnéticos de luminarias tipo fluorescentes. Su influencia era escasa.

La aparición de la electrónica ha mejorado mucho las propiedades de los productos pero ha traído consigo, entre otros problemas, la generación de armónicos.

Los fabricantes de variadores de frecuencia de motores de inducción explican cómo estos equipos mejoran la eficiencia de las máquinas permitiendo variar la velocidad de funcionamiento según las necesidades de la aplicación, pero advierten que estos producen armónicos de orden 5, 7, 11 y 13.

De otra forma, relacionaremos una carga no lineal cuando la relación tensión/corriente no es una constante real ni compleja, sino que depende del punto de trabajo (V.I). Si para una carga determinada alimentada por una fuente de C.C. o de muy baja frecuencia, representaremos los pares de valores instantáneos (V.I), en un gráfico los elementos no lineales representan una línea curvilínea

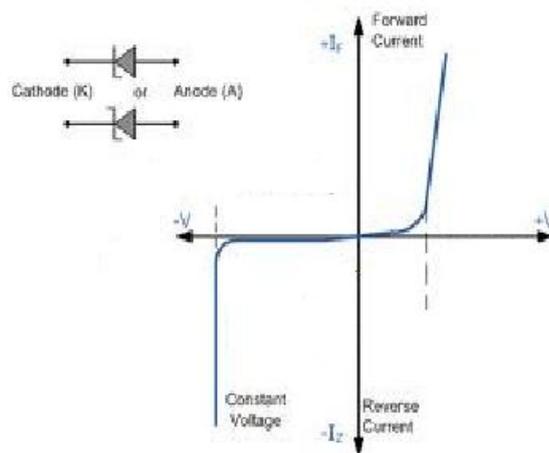


GRAFICO No 7. Representación gráfica de una carga no lineal

Algunos de los efectos adversos de cargas no lineales concentradas en un sistema eléctrico son:

- Las distorsiones de tensión dentro de las instalaciones eléctricas.
- Las corrientes excesivas por el conductor neutro.
- Altos niveles de tensión entre el neutro y tierra.
- Sobrecalentamiento de transformadores.
- Grandes campos magnéticos irradiados desde los transformadores.
- Reducción de la capacidad de distribución.
- Penalización por bajo factor de potencia.

8.7. ARMONICOS DE TENSION.

Los armónicos de tensión son ondas senoidales cuyas frecuencias son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental (60 Hz). La presente definición cubre armónicos de larga duración o estado estable, excluyendo fenómenos transitorios aislados.

8.8. ARMONICOS DE CORRIENTE.

Las cargas no lineales conectadas al sistema de suministro eléctrico producen corrientes armónicas que se propagan a los sistemas de potencia y causan distorsiones de tensión que afectan a otros usuarios.

Las corrientes armónicas son los componentes similares de una corriente eléctrica periódica descompuesta en la serie de Fourier. Los armónicos tienen una frecuencia que es múltiplo (2, 3, 4, 5,.....n) de la frecuencia fundamental (50 ó 60 Hz en las redes eléctricas).

El número “n” indica el orden de la componente armónica. Se denomina “armónico de orden n” a la componente armónica del orden correspondiente a “n” veces la frecuencia de la red. Ejemplo: para una frecuencia fundamental de 60 Hz, el armónico de orden 5 presentara una frecuencia de 300 Hz.

Los armónicos de orden par (2, 4, 6, 8.....) no suelen estudiarse en los entornos industriales porque se anulan gracias a la simetría de la señal alterna. Solo se tiene en cuenta en presencia de una componente continua. Por el contra, las cargas no lineales monofásicas tienen un espectro rico en componentes armónicas de rango impar (3, 5, 7, 9....) algo que también sucede en las cargas trifásicas conectadas en triángulo, salvo porque estas últimas no tienen componentes de rango 3.

Los armónicos de corriente tienen un mayor efecto que los armónicos de tensión debido a que la impedancia Z siempre es mayor que 1, y se puede relacionar de la siguiente manera:

$$I = \frac{V}{Z}$$

8.9. ARMONICOS DE TERCER ORDEN.

La onda fundamental tiene una amplitud igual a tres veces la tercera armónica y ambas tienen su valor de pico en el mismo instante.

La tercera armónica tiene la particularidad de que su frecuencia es múltiplo eléctrico de la frecuencia fundamental, y tiene secuencia cero, por lo que en el sistema trifásico de cuatro hilos (R, S, T y N) entra en anillo con las tres fases (R, S, T) desplazándose por el neutro (N). Igual ocurre con la sexta y novena, etc.

En la siguiente figura se representa la forma de onda deformada y su valor de pico como grafica de las dos ondas senoidales.

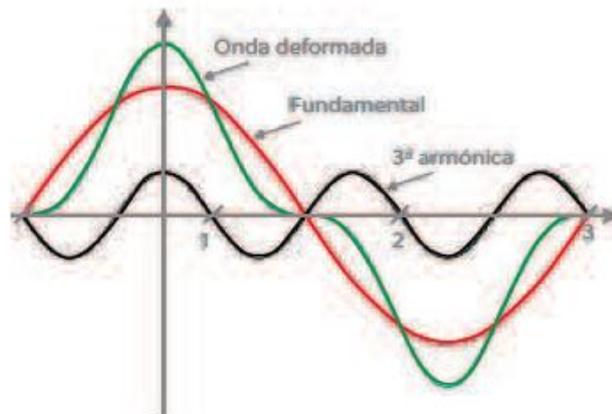


GRAFICO No 8. 3° armónica tiene una frecuencia tres mayor (puntos 1, 2 y 3)

8.10. ARMONICOS DE QUINTO ORDEN

Igual que en el caso anterior la onda fundamental tiene una amplitud igual a cinco veces la quinta armónica, y ambas tienen su valor de pico en el mismo instante.

La quinta armónica a diferencia de la tercera armónica, no es múltiplo eléctrico de la frecuencia fundamental por lo se desplaza por las tres fases R, S y T y es la primera armónica que afecta a los condensadores y al sistema trifásico, al igual que la séptima, onceava, etc.

En la siguiente figura se muestra la forma de onda de la quinta armónica, en la misma aparece la onda deformada con su correspondiente valor de pico, como suma grafica de la onda fundamental y armónica.

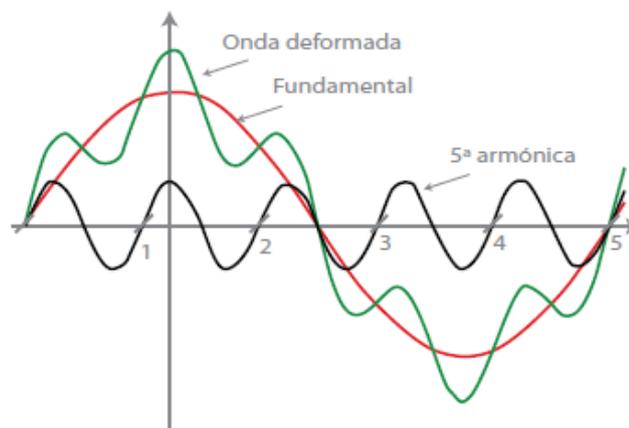


GRAFICO 9. 5° armónica tiene una frecuencia cinco veces mayor (puntos 1, 2, 3, 4 y 5.)

8.11. INDICES PARA EL ANALISIS DE LOS ARMONICOS.

Cuando se requiere evaluar la incidencia de los armónicos tanto de tensiones como de corriente en una instalación eléctrica determinada se debe utilizar dos indicadores contemplados en la norma IEEE 519-12. Estos indicadores son los siguientes:

- THD (Total Harmonic Distortion)
- TDD (Total Demand Distortion)

THD (Total Harmonic Distortion)

El factor distorsión armónica total (THD) se utiliza para definir el efecto de los armónicos tanto de corriente como de la tensión de alimentación del sistema. Se utiliza en baja, media y alta tensión. Se expresa como un porcentaje de la fundamental

$$THD = \sqrt{\frac{\sum_{h=2}^{40} I_h^2}{I_1}} \times 100 \%$$

Dónde:

h = es la secuencia de los armónicos a calcular

X = define qué tipo de armónico se va a evaluar si es de corriente o tensión

8.12. TDD (Total Demand Distortion)

Este indicador se utiliza para evaluar la distorsión en un punto de conexión común (PCC por sus siglas en inglés) que coincide con la frontera comercial de la empresa; y no el THD - I debido a que este último tiene en cuenta el impacto de la variación de la corriente a frecuencia fundamental, la cual en condiciones de baja carga es pequeña, lo que da una indicación de un alto THD – I, que nos llevaría a sacar conclusiones erróneas de no conformidad; por tal motivo se utiliza el **TDD** (Total Demand Distortion), que incluye el efecto del THD en corriente pero normalizado a la corriente promedio a frecuencia fundamental.

El TDD (Total Demand Distortion), se puede calcular por medio de la siguiente fórmula:

$$TDD = \sqrt{\frac{THDI \times I_{Max\ RMS}}{I(i)_{fundamental}}}$$

8.13. LÍMITES DE DISTORSION DE CORRIENTES ARMONICAS

Estas corrientes de distorsión se limitan con el fin de obtener una distribución de energía eléctrica óptima; con el fin de que originen tensiones inaceptables.

Estos límites de corriente armónica son aplicables únicamente en la frontera comercial o sea punto de suministro por el operador de red.

8.14. LÍMITES DE DISTORSIÓN DE CORRIENTE PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN GENERAL (120VA 69000 V)

Maximum Harmonic Current Distortion in Percent of I_L						
Individual Harmonic Order (Odd Harmonics)						
I_{sc}/I_L	<11	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD
<20*	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

TABLA No 1. Máxima Distorsión armónica de corriente en porcentaje de I_L Orden individual de armónicos (armónicos impares).

I_{sc} = corriente de corto circuito suministrado por el operador de red.

I_L = máxima corriente fundamental demanda.

TDD = Distorsión total de la demanda.

9. MARCO LEGAL.

Para el desarrollo del presente proyecto fue necesario el apoyo y soporte de una serie de normas y leyes, que serán mencionadas a continuación.

- INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality. IEEE 1159. Estados Unidos. 1995.
- INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems. IEEE 519. Estados Unidos. 1993.
- INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions. IEEE 1459. New York. 2010
- INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. Recommended Practice for Establishing Transformer Capability When Supplying Nonsinusoidal Load Currents. IEEE C57.110. Estados Unidos 1986.
- ORGANIZACION INTERNACIONAL PARA LA ESTANDARIZACION. Sistema de gestión de la energía. Requisitos con orientación para su uso. ISO 50001:2011. 1 ed. Ginebra, Suiza: ISO, 2011.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION. Electrotecnia, tensiones y frecuencias nominales en sistemas de energía eléctrica en redes de servicio público. NTC 1340. Bogotá D.C.: El Instituto, 2004. 6 p.
- COLOMBIA. COMISION REGULADORA DE ENERGIA Y GAS. Resolución 108 (11, julio, 1997). Por la cual se señala criterios generales sobre protección de los derechos de los usuarios de los servicios públicos domiciliarios de energía eléctrica y gas combustible por red física, en relación con la facturación, comercialización y demás asuntos relativos a la relación entre la empresa y el usuario, y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C. CREG, 1997. 28 p.

- COLOMBIA. COMISION REGULADORA DE ENERGIA Y GAS. Resolución 070 (28, mayo, 1998). Que la comisión elaboro un proyecto de Reglamento de Distribución, el cual fue discutido ampliamente con las empresas y entidades del sector eléctrico colombiano. Bogotá D.C. CREG, 1998. 63 p.
- COLOMBIA. COMISION REGULADORA DE ENERGIA Y GAS. Resolución 082 (17, Diciembre, 2002). Por la cual se aprueban los principios y la metodología de los cargos por uso de los Sistemas de Transmisión Regional y Distribución Local. Bogotá D.C. CREG, 2002. 74 p.
- COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 142 (11, julio, 1994). SERVICIOS PUBLICOS DOMICILIARIOS. Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C. 1994. 597 p.
- COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 143 (12, julio, 1994). Por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional, se conceden unas autorizaciones y se dictan otras disposiciones en materia energética. Bogotá D.C. 1994. 347 p.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION. Referencias bibliográficas. Contenidos, formas y estructuras. NTC 5613. Bogotá. D.C.: El instituto. 2008. 38 p.

10.DELIMITACION.

10.1. DELIMITACION ESPACIAL.

El presente proyecto se desarrolló en las dos subestaciones eléctricas de la compañía **Alimentos Cárnicos S.A.S.**

10.2. DELIMITACION CRONOLOGICA.

El desarrollo de este proyecto de planeo para ser realizado en un periodo de seis meses, comprendidos desde el 27 de agosto del 2012 hasta el 27 de febrero de 2013. Durante este periodo se contó con la asesoría permanente del docente director del proyecto, al igual que se trabajó por parte del estudiante los días de martes a jueves en el horario de 10:00 A.M. hasta las 4:00 P.M.

11.ALCANCES.

- Se realizaran estudios de la calidad de la energía eléctrica para determinar el cumplimiento de incidencias de armónicos según norma IEEE 519-12
- Se realizaran análisis de los transformadores de 1500 y 630 kVA, correspondientes a cada una de las subestaciones eléctricas de la empresa **Alimentos Cárnicos S.A.S.** Planta Barranquilla, según norma IEEE STD.C57.110 – 1987.
- Se realizara análisis de los consumos de la energía eléctrica comparada con los índices de las toneladas producidas en la planta(Caracterización Energética)
- Se realizara estudio de la calidad de la energía para determinar la confiabilidad y eficiencia de la instalación eléctrica de la compañía Alimentos Cárnicos S.A.S. Planta Barranquilla.
- Se realizara una caracterización energética conforme a la norma ISO 50.001.

12. LIMITACIONES.

- No se evaluarán los motores eléctricos
- Las mediciones de calidad de energía eléctrica se realizarán a nivel del secundario de cada transformador. No se contemplan otras mediciones.
- No se realizará el análisis del sistema de puesta a tierra de la planta.
- No se verificará la capacidad del banco de condensadores.
- El proyecto solo contempla el estudio de los transformadores, el estudio de la calidad de la energía eléctrica y la caracterización energética.

13. DISEÑO METODOLOGICO.

La finalidad de este proyecto de grado consistió en el diagnóstico de la gestión energética verificando como afectan los armónicos en el potencial de ahorro hallado en la caracterización energética, en la compañía **Alimentos Cárnicos S.A.S.** Barranquilla.

Para lograr cada uno de los objetivos expuestos en este proyecto fue necesario la instalación de un analizador de red, conectado en paralelo en cada una de las fases, y con conexión de referencia al neutro y tierra, en el lado de baja de los dos transformadores principales de la compañía en mención, por un periodo de seis días consecutivos, con el fin de registrar cada uno de los eventos eléctricos de los transformadores, como el caso de tensión, corriente, frecuencia, potencia, factor de potencia, armónicos tanto de voltaje como de corriente, entre otros. No se realizaron mediciones de resistencia de puesta a tierra, al igual que no se midió la capacidad del banco de condensadores de las dos subestaciones eléctricas principales de la compañía.

13.1. PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCION DE LA INFORMACION.

Con el fin de poder administrar cada uno de los datos fue necesario la realización de las siguientes actividades:

- Se exporto del analizador cada uno de los datos registrados a una plantilla en Excel.
- Se solicitó a la compañía, más exactamente al departamento de Sistema Información planta "SIP", toda la información de las toneladas producidas, las horas de operación y el consumo de energía eléctrica de cada uno de las líneas, y equipos que intervienen en el libre desarrollo de la productividad.
- Se elaboró plantilla en Excel en donde se especifica, el nombre del equipo o de la línea de producción, los valores de consumo de corriente, potencia de consumo, nivel de tensión de operación, frecuencia de alimentación, entre otras variables que nos permiten realizar la caracterización energética, cabe resaltar que fue necesario llegar a cada elemento y

tomar los datos anteriormente expuestos con la ayuda de instrumentos de medición entre los cuales está el multímetro, pinza amperimétrica, etc.

- Del mismo modo para lograr desarrollar cálculos de corriente máxima en cada uno de los transformadores, se contó con la elaboración de un programa en Visual Basic, en donde se insertar los datos que previamente.

13.2. CARACTERISTICAS DE LOS EQUIPOS DE MEDICION.

A continuación se relaciona cada uno de los aparatos de medición que se utilizaron para cumplir con el libre desarrollo de este proyecto de grado.

13.3. ANALIZADOR DE RED, MARCA AEMC, MODELO 3945B, SERIE 295420.

Analizador de circuitos polifásicos y medidor de la calidad de energía eléctrica Marca AEMC, modelo 3945-B.

Equipo portátil para análisis y medición de redes de energía eléctrica compacto y resistente. Su diseño es amigable de fácil y sencillo manejo del equipo, y con idioma en español hacen que el equipo sea muy fácil y rápido de entender y manejar. Cuenta con una gran pantalla (LCD) para poder apreciar los valores y sus graficas con formas de onda a color, Diagrama fasorial, Distorsión de Armónicas, Potencias, Voltajes, Corrientes, en circuitos completos o por cada fase. Incluye software en español para realizar bases de datos, reportes, etc.

El Power Pad 3945 permite medir, grabar las variables eléctricas de una red, además de una imagen instantánea y su seguimiento de sus variaciones a través del tiempo. Está diseñado para realizar mediciones de medición verificación y de análisis en las redes baja tensión monofásicas, bifásicas o trifásicas.

Las siguientes son las principales funciones que puede realizar este equipo de medición de la calidad de la energía eléctrica:

- Mediciones verdaderas RMS, en 01, 02 y 03 fases (También en 03fases con 4 hilos-Neutro)
- Graficas de forma de onda en color en tiempo real.
- Medición y captura de transitorios alta resolución (Medición de 256 muestras/ciclo)
- Capacidad para tomar fotos (snapshots) hasta 12.
- Puerto de comunicación óptico aislado, con comunicación bi-direccional para PC y/o imprimir directo a una impresora.
- Fácil manejo y programación directamente ó a través de la PC.
- Graficas senoidales, diagrama fasorial, y de barras, tanto en el equipo como en la PC.
- Detección y captura de los transitorios y registro de las formas de ondas asociadas.(Captura hasta 50 transitorios)
- Medición de tensiones eficaces hasta 480 Volts rms CA (fase-neutro) ó 830 Volts rms CA (fase-fase).
- Medición de corrientes eficaces hasta 6000 Amp rms.

13.4. PINZA AMPERIMÉTRICA, MARCA FLUKE, REFERENCIA 322.

Equipo de medida diseñado para verificar la presencia de corriente de carga, tensión AC y continuidad de circuitos, conmutadora, fusibles y contactos. Esta pinza amperimétrica tiene una capacidad de medición de corriente alterna de hasta 400 A.

Este equipo de medición cuenta con las siguientes características técnicas:

- Medición exacta con una precisión básica del 1,8%.
- Mide corriente AC de hasta 400 A.
- Mide voltios AC/DC de hasta 600 V.

- Medición de resistencia de hasta 400 Ω .
- Función de continuidad para comprobación rápida de cortos.
- Indicador automático de batería baja.
- Función de retención de valores en pantalla. "HOLD".

ESPECIFICACIONES	
Tensión CC	Rango: 0-600 V Exactitud: 1% \pm 5 cuentas
Tensión CA	Rango: 0-600 V Exactitud: 1,2% \pm 5 cuentas (50-400 Hz)
Corriente CA	Rango: 0-400 A Exactitud: 1,8% \pm 5 cuentas (50-60 Hz)
Resistencia	Rango: 0-400 Ω Exactitud: 1% \pm 5 cuentas
Continuidad	< = 30 Ω
Temperatura de trabajo	- 10 $^{\circ}$ C a + 50 $^{\circ}$ C
Temperatura de almacenamiento	- 30 $^{\circ}$ C a + 60 $^{\circ}$ C
Duración de la batería	Normalmente 100 hora (2 AAA carbono – zinc)

TABLA No 2. Especificaciones Pinza Amperimétrica FLUKE 322.

13.5 MULTÍMETRO DIGITAL, MARCA FLUKE, REFERENCIA 117 *TRUE RMS MULTIMETER.*

Es un instrumento de medida con verdadero valor eficaz compacto ideal para el mantenimiento de instalaciones eléctricas industriales, dentro de sus funciones esta la detección de tensión para un trabajo más rápido.

Este equipo de medida posee las siguientes características técnicas:

- Función auto voltaje para la selección automática de la tensión AC/CC.
- Baja impedancia de entrada, ayuda a evitar las lecturas falsas producto de las tensiones erróneas.
- Gran pantalla LCD blanca retro iluminada para trabajar en zonas con condiciones de iluminación deficiente.

- Tecnología de verdadero valor eficaz para unas medidas precisas en cargas no lineales.
- Medidas de hasta 20 A (intervalos de 30 segundos; 10 A continuo).
- Resistencia, continuidad, frecuencia y capacidad.
- Registro de valores mínimos, máximos y promedio con indicación del tiempo transcurrido para detectar fluctuaciones de la señal.
- Diseño ergonómico y compacto para su utilización con una sola mano.
- Tecnología para la detección de tensión sin contacto.

ESPECIFICACIONES	
Tensión máx. Entre cualquier terminal y tierra.	600 V.
Protección frente a subidas de tensión.	Tensión de pico de 6 kV conforme a la norma IEC 61010-1 600 V CAT.
Fusible para entrada A.	11 A, 100 V.
Pantalla.	Digital. 6.000 cuentas, se actualiza con una frecuencia de 4 veces por segundo.
Barra grafica analógica.	33 segmentos, se actualiza con una frecuencia de 4 veces por segundo.
Temperatura de trabajo.	De – 10 °C a + 50 °C.
Temperatura de almacenamiento.	De – 40 °C a + 60 °C.
Tipo de batería.	9 voltios alcalina, NEDA 1604 ^a /IEC 6LR61.
Duración de la batería.	400 horas, sin usar retroalimentación.

TABLA No 3. Especificaciones técnicas multímetro digital FLUKE 117.

14. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACION ENERGETICA EN LA EMPRESA ALIMENTOS CARNICOS S.A.S. PLANTA BARRANQUILLA.

Este proyecto presenta los resultados del análisis de la aplicación de la norma ISO 50001 como estándar internacional de Gestión Energética, asociada con el cumplimiento de los niveles de armónicos comparados con los límites aplicables en el sector eléctrico colombiano teniendo en cuenta la confiabilidad de los sistemas productivos y la eficiencia de los mismos. La temática de calidad de energía eléctrica, es una derivación de ISO 50001 enfocada a la confiabilidad de la operación del sistema eléctrico de potencia. Las técnicas de análisis en fronteras comerciales, como hemos visto nos indican si el nivel de generación de armónicos supera o no los estándares recomendados (IEEE 519 – 92 por ejemplo). En lo referente a eficiencia energética, la caracterización energética, junto con las herramientas de gestión energética, son utilidades de suma relevancia para administrar eficientemente un proceso productivo. A continuación presentamos una caracterización energética realizada en la empresa **ALIMENTOS CARNICOS S.A.S.**; que propende por identificar potenciales de ahorro por variabilidad operacional y gestión de la producción. Adicionalmente se presentaran a manera de herramientas de gestión, los indicadores de eficiencia energética de suma acumulativa y base 100, así como la estructuración del presupuesto energético de la empresa con base a la Capacidad Media de Eficiencia.

Durante la realización de este proyecto de grado se buscó las oportunidades energéticas de mejora continua en cada uno de los procesos realizados en esta compañía por gestión energética, determinando cuáles son los potenciales de ahorro energético por optimización operacional, y del mantenimiento y la gestión eficiente de la producción.

Para esta parte de la caracterización energética se analizaron los datos del consumo de energía eléctrica de la planta en kWh/mes y los datos de la producción entregados por la planta en kg/mes, del periodo comprendido entre el mes de enero al mes de diciembre de 2012, con el fin de correlacionar la disminución en el consumo de la energía eléctrica con la producción, e

identificar el potencial de ahorro energético por reducir la Energía No Asociada a La Producción (ENAP)

Por medio de la caracterización energética realizada en la compañía se evidencio un potencial de ahorro energético del **7,45%** en el consumo actual de la energía eléctrica representada en **155.532 kWh/año equivalentes a \$ 37.256.135 anual. (Valor de la tarifa de energía en kWh; Col \$ 322)**

Para lograr dicho potencial de ahorro representado en las cifras anteriormente expuestas es necesario:

- Implementar un sistema de gestión integral de la energía con el objeto de ejercer un control puntual del consumo de energía eléctrica con respecto a la producción, apoyado con las siguientes herramientas:
 - Constante monitoreo del consumo energético y de la productividad.
 - Soporte de la planeación de la producción tomando como referencia la capacidad media de eficiencia de la planta.
 - Implementación del indicador de desempeño base 100.
 - Procedimientos para el análisis del desempeño energético.
- Estandarizar la gestión del desempeño energético en la compañía por medio de la implementación de líneas bases e indicadores de desempeño acoplados con la capacidad y potencial de operación de cada uno de los equipos que intervienen en la productividad, la tecnología de cada proceso para lograr los indicadores establecidos y replantear en la planeación de la productividad cada uno de estos indicadores con el fin de llevar la planta a un nivel de eficiencia del 100 %.

14.1. REPRESENTACION DEL CONSUMO DE LA ENERGIA ELECTRICA EN CADA UNO DE LOS PROCESOS DE PRODUCCION.

Inicialmente se expondrá los resultados del consumo de la energía eléctrica de los equipos y líneas de producción de mayor incidencia, representados por un balance de energía y un diagrama de Pareto, esto con el fin de identificar el 20% de los equipos o líneas de producción que representan el 80% del consumo total de energía de la planta, sin tener en cuenta el consumo de los

equipos de refrigeración con freón, ni tampoco las bombas de agua de la planta debido a que no se tiene un cálculo exacto del tiempo operativo de estos equipos.

Todos los datos referentes a los tiempos operativos de los equipos que se tuvieron en cuenta para la realización de la presente caracterización fueron sacados de una plataforma informativa que tiene la compañía, donde previamente y día a día se ingresan esos datos de operación de cada equipo y línea por los operarios de producción.

14.2. BALANCE DE ENERGIA (CANASTA ENERGETICA).

En la planta barranquilla de **Alimentos Cárnicos S.A.S.**, el consumo de la energía eléctrica está tipificado por los equipos y las líneas de producción de mayor consumo, entre los cuales se destacan el motor eléctrico del emulsificador COZZINI, el motor eléctrico del compresor No1 de amoníaco (NH₃), el Molino CFS, las líneas de salchicha y chorizo, representando el 70% del consumo, con unos **5955 kWh/día** y **\$34´062.000 al mes**, ameritando un análisis individual y estricto de estos equipos con el fin de identificar y validar oportunidades de mejoras y potenciales de ahorro que le permitan a la planta ser más eficiente frente a las demás plantas del grupo del negocio cárnico.

La línea de salchicha representa la línea con mayor consumo de energía eléctrica debido a que para cumplir con el nivel de producción programado necesita la utilización de más equipos incluyendo las dos máquinas separadoras de producto.

Lo explicando con anterioridad y los comportamientos de los demás equipos y líneas de producción se relacionan a continuación en el siguiente gráfico del balance de energía.

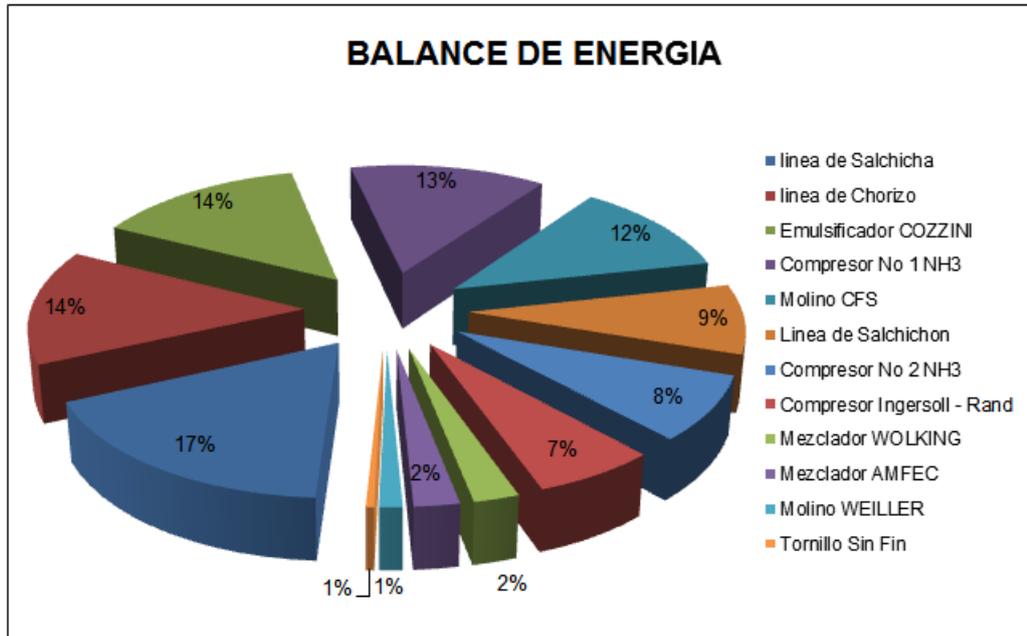


GRAFICO No 10. Balance del consumo de energía eléctrica.

14.3. DIAGRAMA DE PARETO.

Con el fin de centrar toda la atención en el consumo de energía eléctrica, es necesario enfocar todo el esfuerzo de la compañía desde el gerente hasta el último operario en aquellas áreas y equipos de mayor consumo. Para tal objetivo se utiliza el diagrama de Pareto, el cual nos permitirá hallar el 20% de los equipos o áreas que generan el 80% de los consumos totales de la energía eléctrica.

La planta cuenta para la medición de la energía eléctrica con un solo contador (Frontera Comercial) suministrado por la compañía prestadora del servicio de energía para este caso EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLIN (EPM), haciendo más difícil la identificación o el seguimiento de cada uno de los equipos y líneas de producción de mayor consumo.

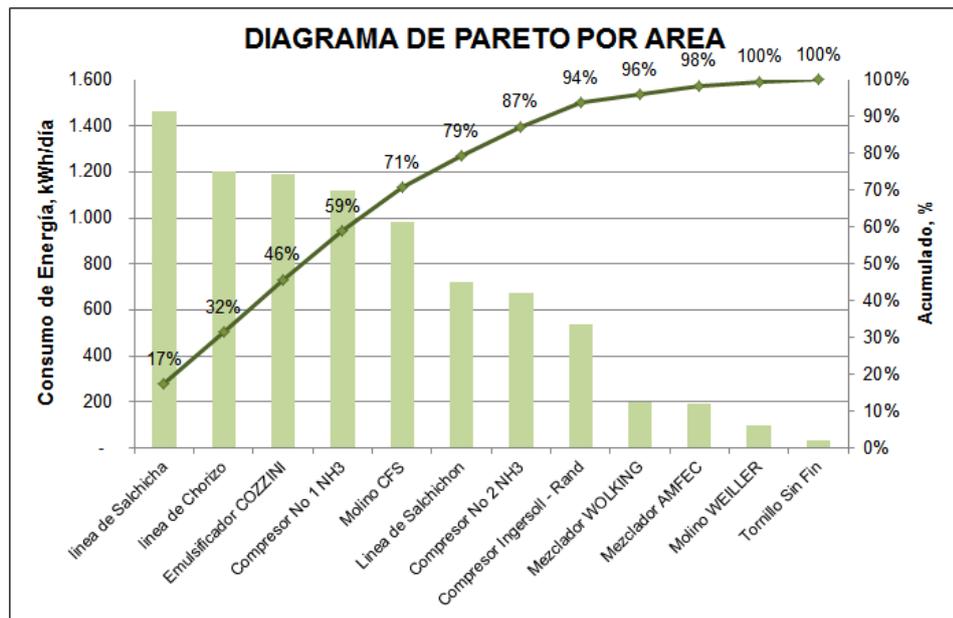


GRAFICO 11. Estratificación del consumo de la energía eléctrica Alimentos Cárnicos S.A.S.

14.4. LINEA BASE PARA LA ENERGIA ELECTRICA DE LA PLANTA.

Para lograr establecer el desempeño energético general de la compañía Alimentos Cárnicos S.A.S. planta barranquilla fue necesario analizar el consumo de la energía eléctrica con relación a la producción total, definiendo este análisis como línea base de consumo por que representa la capacidad promedio de consumo de energía para cada nivel de productividad establecido o cada meta a establecer en un futuro.

Los datos para la ejecución de este análisis corresponden al periodo de **enero a diciembre de 2012**, los cuales reflejan la operación normal de la planta. Los días en los cuales la planta no tuvo producción, como los días domingos, no se tuvieron en cuenta.

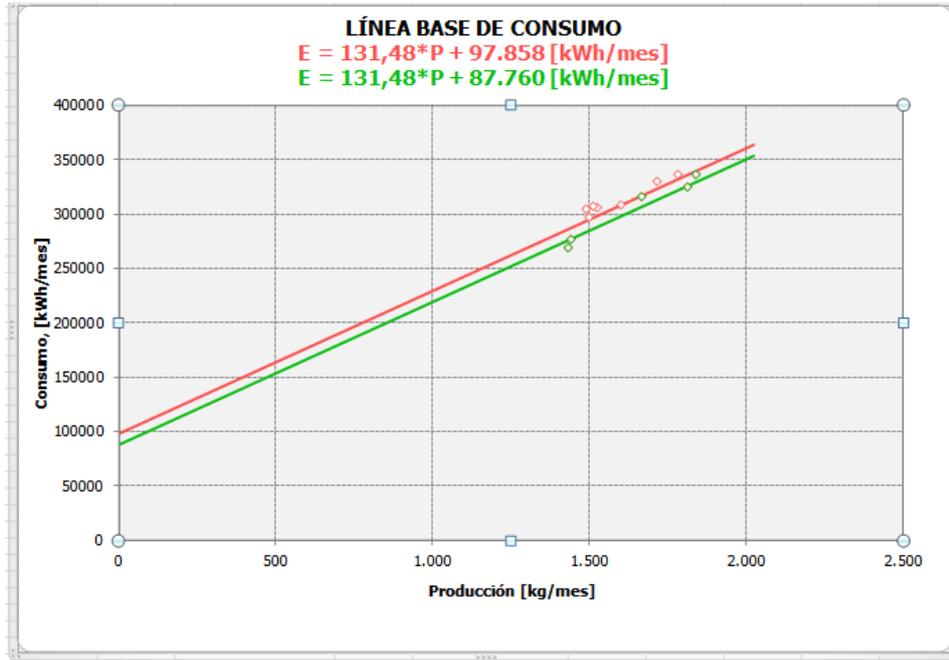


GRAFICO No 12. línea base de energía eléctrica VS producción y línea meta de consumo de la planta en general.

La fórmula matemática que representa el consumo de la energía eléctrica en función de los kilogramos producidos y es denominada como línea base, se encuentra representada de la siguiente manera:

$$E_{prom\ Base} = 131,48 P + 97,858 \left[\frac{kWh}{\text{día}} \right]$$

14.5. LINEA META DE CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA.

La línea meta está representada por el comportamiento de cada uno de los datos obtenidos de la correlación de energía y producción del gráfico 12.2 refiriéndose a los datos que están por debajo de la línea base puntualizando la pendiente de color rojo, donde se puede afirmar que los valores con que se relacionó la pendiente verde corresponden a las mejores operaciones de la planta.

La línea meta de las mejores operaciones que realiza la planta está representada por la siguiente ecuación:

$$E_{prom\ Base} = 131,48 P + 87,760 \left[\frac{kWh}{día} \right]$$

14.6. LINEA BASE DEL INDICE DE CONSUMO.

El índice de consumo (IC) indica la cantidad de energía en el proceso por cada kilogramo producido en la planta actualmente. Este indicador, es útil para determinar el punto crítico de producción (producción a partir de la cual el índice de consumo es mínimo) con el fin de tener conocimiento de las áreas de producción con alta y baja eficiencia energética.

El índice de consumo depende del nivel de la productividad aunque en algunos casos ha llegado considerarse como constante e independiente del nivel de la productividad. Ocasionando que lleguen a conclusiones erróneas e interpretaciones inadecuadas del estado actual de la eficiencia del proceso productivo de la planta.

Para la correcta interpretación de los valores de IC, se afirma que los valores de IC que están por debajo de la curva teórica, indican un excelente nivel de eficiencia en el proceso. Al contrario de los valores de IC que están por encima de la curva teórica, indican un deficiente nivel de la eficiencia en el proceso.

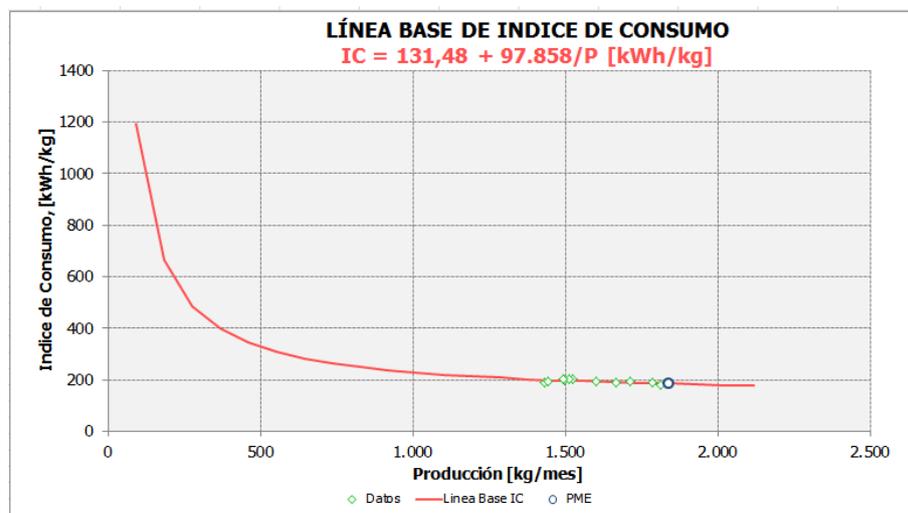


Grafico No 13. Línea base del índice de consumo de la energía eléctrica.

El índice de consumo realmente es una función del nivel productivo, y se comporta de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$IC = 131,48 + \frac{97.858}{P} \left[\frac{kWh}{kg} \right]$$

De acuerdo a la gráfica anterior se evidencia que el factor de carga es de aproximadamente de 87,5 % lo que representa un aumento del 12,5 % de las ratas productivas y por ende disminuir los índices de consumos.

14.7. DETERMINACION DE LA TENDENCIA ENERGETICA CONTRA LA LINEA BASE.

El análisis de tendencia contra la línea Base, parte de la comparación del valor de consumo de energía eléctrica real obtenido en el periodo con cada uno de los esperados por la línea base. Como resultado se obtiene las variaciones relativas de eficiencia mensuales del periodo con relación a su capacidad de comportamiento.

El análisis de este grafico 12.4. Permite determinar inmediatamente los periodos en los cuales la eficiencia energética se comportó por debajo o por encima del valor medio de eficiencia además de identificar las causas que provocan estas desviaciones. Las fluctuaciones de la tendencia energética generalmente se presentan por el cambio en las prácticas operacionales y de mantenimiento.

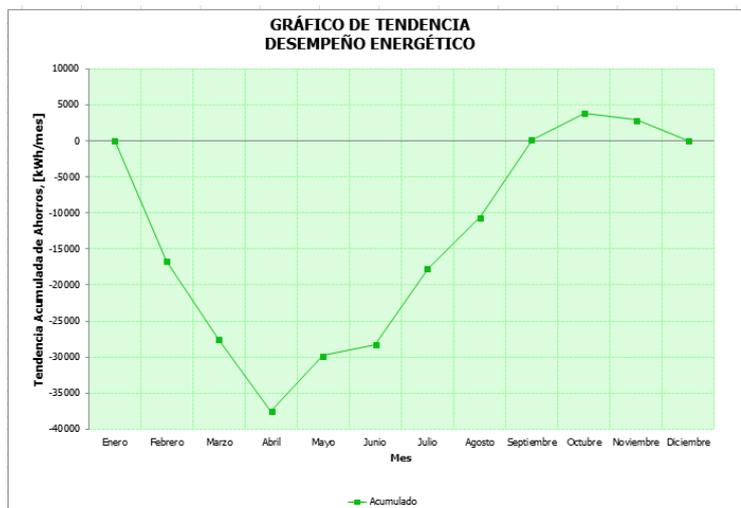


GRAFICO No 14. Análisis de la tendencia energética contra la línea de consumo de la energía.

15. DETERMINACION DE LOS POTENCIALES DE AHORRO POR GESTION OPERACIONAL Y POR GESTION DE LA PRODUCCION.

15.1. POTENCIAL DE AHORRO POR VARIABILIDAD OPERACIONAL Y GESTION DEL MANTENIMIENTO.

Para poder resaltar la magnitud del potencial de ahorro por variabilidad operacional y de la gestión del mantenimiento, es necesario analizar la expresión de Capacidad Media de Eficiencia arrojada en la línea base de consumo donde el término independiente de las dos ecuaciones se denomina Energía No Asociada A La Producción (ENAP). Para la operación de la planta, esta representa un **31,61 %** equivalentes a **97,858 kWh/mes** del consumo normal de energía eléctrica en promedio, y un **28,34%** equivalentes a **87,760 kWh/mes** para las operaciones más eficientes.

La ENAP representa la energía que se consume que no tiene relación directa con la producción planificada, como es el ejemplo de las cargas del tipo de computo, aires acondicionados, iluminación, compresores de aires trabajando en vacío, ventiladores, entre otros. La ENAP es susceptible a reducciones por mejoramiento de las acciones operativas y de mantenimiento. Esta energía representa un potencial de ahorro del **3,26%** del consumo promedio mensual, representados en unos **121,172 kWh/año**.

15.2. POTENCIAL DE AHORRO POR GESTION DE LA PRODUCCION.

Por gestión eficiente de la producción el análisis arrojó que existe un potencial de ahorro del **4,19%**, con respecto al consumo promedio mensual de energía eléctrica de la planta sobre el uso eficiente de la energía consumida por el proceso productivo en la planta, representados en **499 kWh/día** equivalentes a **155,532 kWh/anual**. Únicamente alcanzándose este potencial de ahorro por medio de una mejor planeación de la producción, es decir aumentando los niveles de producción de acuerdo a la eficiencia de los equipos que intervienen

en el proceso, y de la misma manera adaptando el consumo energético de los sistemas productivos al nivel de producción por medio de la implementación de tecnologías de eficiencia energética.

En la relación de la Tabla No 4. Se expresan los puntos para el incremento de la eficiencia energética en las operaciones productivas de la empresa Alimentos Cárnicos. Los potenciales de ahorro por mejoras en las operaciones y en el mantenimiento hacen énfasis en las medidas correspondientes a mejoras en el mantenimiento de los equipos y cambio en la operación para racionalizar el uso de la energía. Por otro lado, que el potencial por mejoras en la planeación de la producción, resalta el nivel de mejora del desempeño energético aplicando medidas de optimización tecnológica para ajustar la producción a la demanda de energía del proceso.

Potencial de Ahorro	%	Diario		Mensual		Anual	
		kWh	USD	kWh	USD	kWh	USD
Por mejoras en las prácticas operacionales y gestión de mantenimiento	3,26%	388		10.098		121.172	
Por planeación de la producción	4,19%	499		12.961		155.532	
TOTAL ENERGÍA ELÉCTRICA	7,45%	886,87		23.059		276.705	

TABLA No 4 Potenciales de ahorro en energía eléctrica.

15.3. DETERMINACION DE LOS POTENCIALES DE REDUCCION DEL IMPACTO AMBIENTAL.

La reducción significativa del consumo de la energía eléctrica no asociada a la producción en las producciones diarias de la compañía, tendrá una influencia directa en el nivel de las toneladas producidas de CO2 emitidas a las atmosfera, reflejando esta práctica en la conservación del medio ambiente,

reduciendo gradualmente el impacto que representa este elemento en la medio ambiente.

Potencial de Ahorro	%	Diario		Mensual		Anual	
		kWh	[Ton CO ₂]	kWh	[Ton CO ₂]	kWh	[Ton CO ₂]
Por mejoras en las prácticas operacionales y gestión de mantenimiento	3,26%	338	0,11	10.098	2,88	121.172	34,52
Por planeación de la producción	4,19%	449	0,14	12.961	3,69	155.532	44,31
TOTAL ENERGÍA ELÉCTRICA	7,45%	886,87	0,25	23.058,72	6,57	276.704,66	78,83

TABLA No 5. Potenciales de reducción de emisión de CO₂ por el consumo de energía eléctrica.

Para este caso se evidencia un potencial de mejora del desempeño ambiental de la planta por medio de las disminuciones atmosféricas de CO₂, con un total en la reducción de aproximadamente de 78,83 Ton de CO₂ anualmente, por mejoras en las practicas operacionales y de mantenimiento y también debido a las mejoras en la planeación de la producción de energía eléctrica.

15.4. INDICADORES DE DESEMPEÑO ENERGETICO.

Con el fin de establecer cuál es el estado actual que se ejerce en la compañía **Alimentos Cárnicos S.A.S.** planta Barranquilla y a la vez determinar si se está administrando eficientemente sus recursos energéticos empleados en los procesos productivos, se evidencia la necesidad de implementar una serie de indicadores que le permitan a la planta medir cual es el desempeño en cada uno de los energéticos que a diario se utilizan. Cada uno de estos indicadores son muy valiosos para el registro, comentario y análisis permanente del comportamiento del consumo de dichos energéticos con el fin de tomar decisiones efectivas frente a un mal comportamiento y a su vez poder realizar cambios que obren a reducir el impacto tanto económico como ambiental que representa el deficiente uso de los recursos energéticos de tal manera que se evidencie un desarrollo de los procesos con la implementación de la mejora continua o por medio de la actualización de la tecnología de los equipos.

Con el fin de tener un punto de partida o un marco de referencia se realiza para cada uno de los indicadores actuales en la compañía un análisis o una conceptualización del problema que representan en su implementación, para así definir su estado actual:

- Estos indicadores no reflejan o no sacan a relucir el comportamiento del consumo de cada uno de los energéticos usados en el proceso productivo.
- Estos indicadores están enfocados al seguimiento de la producción y no tienen en cuenta el desempeño energético que los equipos de producción tienen frente a su trabajo normal de operación.
- No permiten identificar cuáles son las áreas o equipos de mayor consumo de energía con el objeto de conocer hacia donde enfocar las acciones de control del proceso productivo.
- No permiten evaluar el impacto del mantenimiento en la eficiencia energética.

15.5. INDICE DE CONSUMO.

Es utilizado como referencia para la eficiencia del proceso y se monitorea mes a mes, sin embargo no se tiene en cuenta el nivel de producción ni las referencias producidas cada mes.

El índice de consumo plano no es un buen indicador de eficiencia debido a que no tiene en cuenta como varía el consumo energético con respecto a la producción. Un índice de consumo que no dependa de la producción es una herramienta más contable que de eficiencia energética, ya que un indicador de eficiencia energética tiene en cuenta el consumo de energía real con respecto al consumo que se debió tener, tomando como referencia la capacidad media de eficiencia de la planta.

15.6. PRESUPUESTO DE LA ENERGIA ELECTRICA.

Generalmente las compañías planean el presupuesto de la energía eléctrica del año siguiente con un porcentaje menor que el año anterior, dando credibilidad a su teoría la razón de que se debe ser más eficiente con valor de reducción entre 0,9 y 0,95 con relación al consumo del año anterior.

Cabe resaltar que esta práctica no está fundamentada técnicamente ya que no tiene en cuenta la eficiencia máxima que puede llegar a alcanzar el proceso con respecto a la línea base (Capacidad Media de Eficiencia), lo que ocasionaría un error porque se puede estar presupuestando un consumo de energía, que en realidad es imposible llegar a alcanzar comparada con el grado de eficiencia real de la planta en cada proceso de producción, por ende lo presupuestado de la energía sería un imposible cumplirla.

A continuación se expondrán una serie de inconvenientes que se presentan a la hora de presupuesta la energía:

- No se sabe a ciencia cierta si las causas de la variación del presupuesto de energía son por el cambio que hay en la producción, por los cambios en la eficiencia de los equipos o por los cambios en la tarifa de la energía.
- No se permite referenciar las áreas que presentan una mayor participación en el presupuesto de energía.
- Se debe comprobar si para la elaboración del presupuesto de energía se tiene en cuenta la variación o cambio del índice de consumo con los niveles de producción.

15.7. PAUTAS PARA LA MPLEMENTACION DE INDICADORES DE EFICIENCIA ENERGETICA.

La gestión eficiente de la energía tiene como fundamento la implementación de indicadores de eficiencia energética, con el cual se puede llegar a medir cual es el desempeño de una compañía y así evaluar la gestión de las medidas implementadas.

15.8. INDICADOR BASE 100.

Es denominado Base cien debido a que su valor se da en por ciento. Su fundamento está en determinar qué por ciento real se obtiene de consumo de energía del esperado según la línea Base, para un mismo nivel de producción. Es un indicador de eficiencia por excelencia.

NOMBRE DEL INDICADOR	DEFINICIÓN DEL INDICADOR	CONSTRUCCIÓN DEL INDICADOR	VALOR DE REFERENCIA	UNIDAD
Indicador de eficiencia energética base 100.	Establece la desviación del consumo de energía con relación al consumo promedio y meta para iguales niveles de producción.	$\frac{IC_{Base}}{IC_{Real}} \times 100$	>100% Operación Eficiente <100% Operación Ineficiente =100% Operación promedio	(%)

TABLA No 6. Indicador de eficiencia propuesto – Base 100.

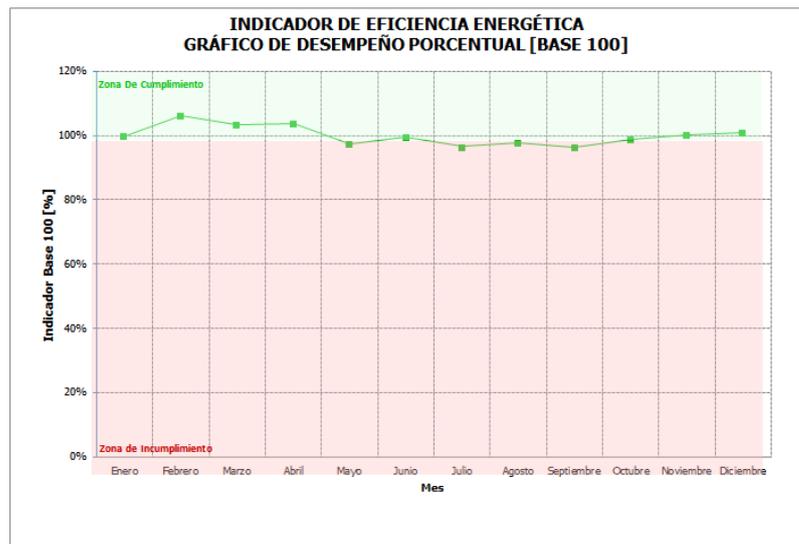


GRAFICO No 15. Indicador Base 100 con respecto a línea base de consumo para la energía eléctrica.

En el grafico anterior se evidencia que durante todo el periodo analizado hay una tendencia variable en el indicador, con un cumplimiento promedio del 100% concluyendo que al finalizar el periodo no hubo ningún ahorro.

15.9. GRAFICO DE TENDENCIA.

Este grafico se utiliza para monitorear la tendencia de la empresa en cuanto a la variación de sus consumos energéticos, con respecto a un periodo base dado (Capacidad media de Eficiencia). A partir de él también puede determinarse cuantitativamente la magnitud de la energía que se ha dejado de consumir o se ha sobre consumido hasta el momento de su actualización.

NOMBRE DEL INDICADOR	DEFINICIÓN DEL INDICADOR	CONSTRUCCIÓN DEL INDICADOR	VALOR DE REFERENCIA	UNIDAD
Tendencia acumulativa del consumo de energía.	Establece la diferencia entre el consumo real y la línea base o capacidad media de eficiencia de la empresa.	$\Sigma_{Acumulada}(E_{Real} - E_{Base})$	Resultados de monitoreo	[kWh] ó [m ³]

TABLA No 7. Indicador de eficiencia propuesto – tendencia acumulada de consumo.

15.10. RECOMENDACIÓN PARA LA ELABORACION DEL PRESUPUESTO.

Con el fin de realizar un buen presupuesto de energía se recomiendan tener el siguiente método:

- Proyectar los kilogramos a producir mensualmente.
- Considerar la línea base para determinar los valores proyectados de consumo.
- Considerar las tarifas mensuales de energía proyectada y determinar el presupuesto proyectado de costos energéticos, mes a mes.

15.11. PROPUESTA PARA LA ELABORACION DEL PRESUPUESTO.

Para la elaboración del presupuesto de energía es necesario tener en cuenta los siguientes puntos:

- Proyección de los kilogramos a producir mensualmente.
- Considerar la línea base para determinar los valores proyectados de consumo.
- Tener en cuenta las tarifas mensuales de energía proyectada y determinar el presupuesto proyectado de costos energéticos, mes a mes.

Para el seguimiento del presupuesto de energía es muy importante determinar para cada mes las siguientes variaciones:

- **Variación del presupuesto por Eficiencia Energética:**

$$\Delta CP_{\text{poreficiencia}} = (E_{\text{REAL}} - E_{\text{TEÓRICA}}) \times T_{\text{PROY}}$$

Dónde:

E real= energía medida en la empresa.

E teórica= $E_o + m \cdot P_{\text{real}}$; Energía calculada a partir de la ecuación de la línea base a la producción real realizada.

T proy= Tarifa de energía proyectada.

- **Variación del presupuesto por Producción:**

$$\Delta CP_{por\text{producción}} = m \times (P_{REAL} - P_{PROY}) \times T_{PROY}$$

Dónde:

m=Razón de cambio de la energía eléctrica consumida con la producción (Ver línea base de consumo energético).

P real= Producción real.

P proy = Producción proyectada para la empresa.

T proy= Tarifa de energía proyectada.

- **Variación del presupuesto por cambio en la tarifa de energía:**

$$\Delta CP_{portarifa} = E_{REAL} \times (T_{REAL} - T_{PROY})$$

Dónde:

E real = Energía real medida en la frontera.

T real= Tarifa real.

T proy= Tarifa proyectada para cada campo.

- **Variación total del costo presupuestado es:**

$$\Delta CPTotal = \Delta CP_{poreficiencia} + \Delta CP_{porproducción} + \Delta CP_{porcambiodetarifa}$$

En estos casos si la variación es negativa, se reduce el costo con relación al presupuesto, por el contrario si es positivo se tiene un sobreconsumo energético.

El presupuesto de energía debe construirse, a partir de la producción presupuestada mes a mes del año siguiente, y sustituyéndola en la ecuación de línea base del año inmediatamente anterior.

Con el fin de demostrar cada una de las variaciones de la planeación del presupuesto, se citara un ejemplo analizando los niveles de producción y los consumos mensuales de energía para el año de 2012, utilizando la fórmula de la línea base de consumo para la elaboración del presupuesto mostrada a continuación:

$$E \left(kWh/mes \right) = 131,48 * P + 97,858$$

Mes	Producción (kg)	Consumo (kWh)
ene-2011	1381,58	279242,38
feb-2011	1576,14	273793,54
mar-2011	1491,47	286028,33
abr-2011	1365,72	279494,51
may-2011	1507,82	297571,28
jun-2011	1430,32	291148,3
jul-2011	1577,90	300239,39
ago-2011	1363,37	282444,17
sep-2011	1428,71	294237,4
oct-2011	1433,85	288385,69
nov-2011	1692,55	306565,7
dic-2011	1645,84	310561,57

TABLA No 8. Datos de producción y consumo de energía del 2011.

Para proyectar el presupuesto del consumo de energía para el 2012 se tiene en cuenta la línea base de consumo construida anteriormente con los valores de la energía eléctrica consumida y el nivel de productividad del año anterior. Posteriormente, se presupuestan las tarifas mensuales de energía y se establecen los costos energéticos, mes a mes. Ver la tabla siguiente.

Mes	Producción Presupuestada (kg)	Consumo Presupuestado (kWh)	Tarifa (Col \$/kWh)	Costo (Col \$)
ene-2012	1450,7	190830,9	272	\$ 51945130
feb-2012	1654,9	217690,3	271	\$ 59031076
mar-2012	1566,0	206001,5	276	\$ 56927494
abr-2012	1434,0	188640,7	280	\$ 52910884
may-2012	1583,2	208259,0	280	\$ 58413524
jun-2012	1501,8	197559,3	282	\$ 55616882
jul-2012	1656,8	217933,3	282	\$ 61352573
ago-2012	1431,5	188316,3	278	\$ 52430073
sep-2012	1500,1	197337,5	278	\$ 54941731
oct-2012	1505,5	198047,1	289	\$ 57189082
nov-2012	1777,2	233760,5	290	\$ 67743783
dic-2012	1728,1	227312,2	294	\$ 66816160

TABLA 9. Método Propuesto para elaboración del presupuesto.

Para el seguimiento y control del presupuesto de energía, se compara la producción, consumo de energía y la tarifa real con las presupuestadas obtenidas mes a mes de acuerdo con las conclusiones sacadas anteriormente. En la tabla 14.5.2. Se pueden observar las variaciones obtenidas de la comparación del presupuesto con los valores reales.

En la siguiente tabla se evidencia cada uno de los comportamientos del presupuesto mes a mes, los valores negativos indican que los datos proyectados fueron mayores que los datos reales y los valores positivos indican lo contrario.

Mes	Producción Real (kg)	Consumo Real (kWh)	Tarifa Real (Col \$/kWh)
ene-12	1603	308634	249
feb-12	1434	269536	229
mar-12	1782	325227	229
abr-12	1442	277413	236
may-12	1526	306254	236
jun-12	1499	296548	234
jul-12	1514	307470	235
ago-12	1788	330384	223
sep-12	1492	304769	224
oct-12	1784	336159	227
nov-12	1667	316085	219
dic-12	1841	337001	219

Tabla No 10. Método para el seguimiento del presupuesto propuesto

DCp Producción (Col \$)	DCP Eficiencia (Col \$)	DCP Tarifa (Col \$)	DCP Total (Col \$)
\$ 5446638	-\$ 57370590	-\$ 7028831	-\$58952783
-\$ 7899950	-\$ 51127021	-\$ 11419629	-\$70446600
\$ 7724713	-\$ 64759112	-\$ 15509092	-\$72543491
\$ 286100	-\$ 53177175	-\$ 11359685	-\$64250760
-\$ 2045618	-\$ 56268118	-\$ 13746270	-\$72060007
-\$ 100135	-\$ 55487173	-\$ 14172086	-\$69759394
-\$ 5106894	-\$ 56053824	-\$ 14366356	-\$75527074
\$ 12749353	-\$ 65459955	-\$ 18199130	-\$70909732
-\$ 289677	-\$ 54605506	-\$ 13186405	-\$68081588
\$ 9959873	-\$ 67744998	-\$ 20701310	-\$78486436
-\$ 3941034	-\$ 63513350	-\$ 14743321	-\$82197705
\$ 4037593	-\$ 711503364	-\$ 25168112	-\$92280883

TABLA No 11. Método para el seguimiento del presupuesto propuesto.

15.12. PRINCIPALES VENTAJAS DE LOS INDICADORES RECOMENDADOS.

- Permiten cuantificar el impacto en la variación de la eficiencia energética por cambios operacionales y del factor de uso de los equipos del proceso.
- Evalúan el impacto del mantenimiento programado en la eficiencia energética.

- Permiten cuantificar la variación de la eficiencia actuando en el mismo periodo del evento sobre los factores controlables, que provocan disminución de la eficiencia.
- El presupuesto se realiza teniendo en cuenta la capacidad real de eficiencia del sistema, no a partir de valores promediados de años anteriores o políticas de reducción de consumos o costos no justificados técnicamente.
- El método permite discriminar la variación total del presupuesto en los puntos de variación por cambios en la eficiencia energética con que se operó, variación por cambios en el consumo de energía debido a cambios en el factor de uso de los equipos y variación debido a cambios en el valor de la tarifa utilizada cuando se elaboró el presupuesto respecto a la real causada.
- El método permite hacer un seguimiento mes a mes del cumplimiento del presupuesto tanto de energía como en costo.

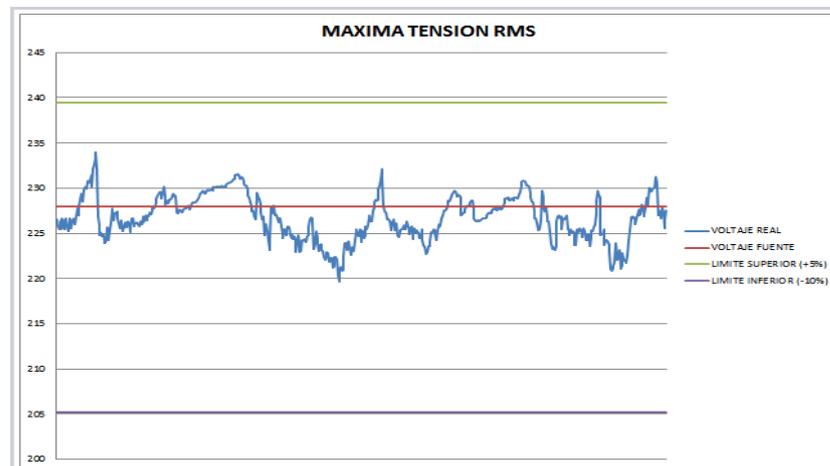
16. RESULTADO DEL ANALISIS DE LOS PARAMETROS ELECTRICOS EN LA PLANTA ALIMENTOS CARNICOS S.A.S. BARRANQUILLA.

Para el análisis de cada uno de los perfiles del comportamiento eléctrico en esta subestación eléctrica, se realizaron mediciones durante los días 27, 28 y 29 de agosto del año anterior, las mediciones se realizaron cada 5 minutos.

16.1. COMPORTAMIENTO DEL NIVEL DE TENSION EN LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA NO 1.

Durante el periodo de medición se encontró que el nivel de tensión de la subestación eléctrica No 1 fue muy estable, cumplimiento en un 100% de las mediciones tomadas por el analizador de red. De acuerdo a la norma NTC 1340 que recomienda para su cumplimiento, tener un voltaje con un valor del 5% y del 10% por encima y por debajo respectivamente del valor nominal que entrega la fuente para este caso 228 VAC.

En la gráfica No 16 se evidencia aún mejor el comportamiento de la tensión en la subestación eléctrica No1.



Gráfica No 16 estado de la tensión.

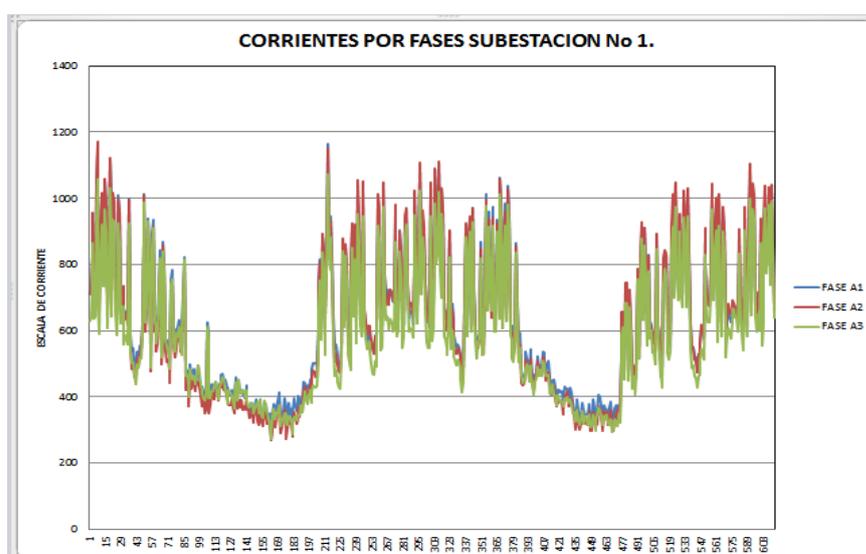
COMPORTAMIENTO DE LA TENSION ENTRE FASES	
VALOR TENSION NOMINAL:	228 VAC
VALOR TENSION PROMEDIO:	226,7 VAC
VALOR TENSION PROMEDIO Vab:	225,999 VAC
VALOR TENSION PROMEDIO Vbc:	226,422 VAC
VALOR TENSION PROMEDIO Vca:	226,299 VAC
VALOR LIMITE SUPERIOR (+5%):	239,4 VAC
VALOR LIMITE INFERIOR (+10%):	205,2 VAC
VALOR SUPERIOR ENCONTRADO:	234,0 VAC
VALOR INFERIOR ENCONTRADO:	219,7 VAC
TOTAL DATOS ANALIZADOS:	613
TOTAL DATOS FUERA DE LIMITES:	0

TABLA No 12. Comportamiento de la tensión de fase Subestación Eléctrica No 1.

16.2. COMPORTAMIENTO DE LA CORRIENTE EN CADA UNA DE SUS FASES.

En este punto del análisis se encontró que el comportamiento de la corriente estuvo referenciada por unos picos que oscilan entre el valor de 250 Amperios llegando hasta los 1200 Amperios. En la gráfica No 17 se explica cuál es el comportamiento de las corrientes en cada una de sus fases.

Durante el comportamiento de la corriente para este transformador se destaca que nunca sobre pasa la máxima corriente admisible o que puede entregar dicho equipo que está en un valor de 3798,6 Amperios, puntualizando un factor de carga por corriente con un valor del 31 %.



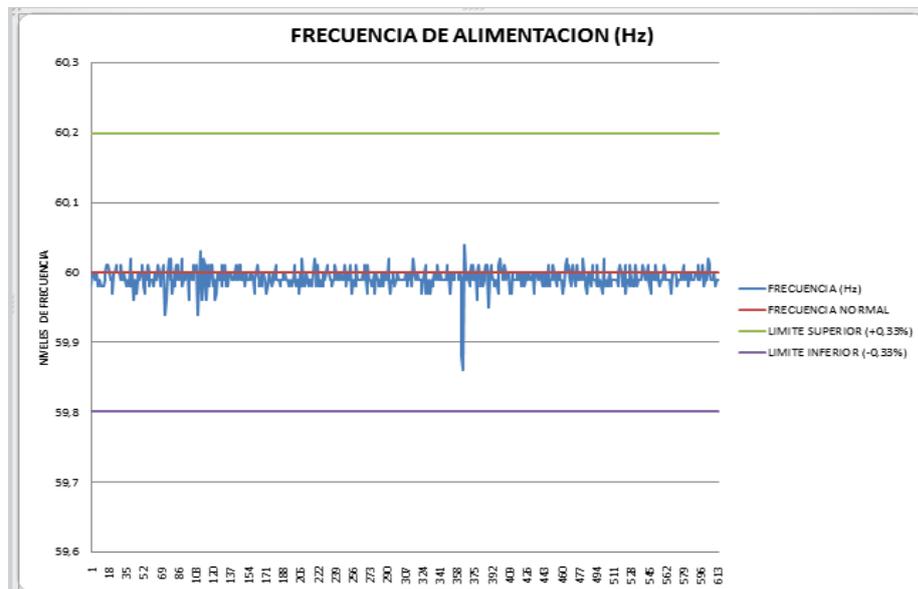
Gráfica No 17. Corriente por Fases Subestación eléctrica No 1.

ANALISIS	(I) Fase A	(I) Fase B	(I) Fase C
PROMEDIO (A) :	620,883	610,654	581,247
MAXIMA (A) :	1166,4	1173,1	1072,2
MINIMA (A) :	295,7	270,2	272,4

Tabla No 13. Análisis de corriente Subestación Eléctrica No 1.

16.3. ANALISIS DE LA FRECUENCIA DE ALIMENTACION.

En la gráfica No 18 se explica cuál es el comportamiento de la frecuencia de alimentación en el tiempo, durante el tiempo de la medición, en el cual se encuentra que el día 28 de agosto de 2012 entre las 09:10 y las 09:15 PM, la frecuencia tuvo su mínimo y máximo valor de 59,86 Hz y 60,04 Hz respectivamente, no sobrepasando los límites superior e inferior sugeridos o recomendados por la resolución CREG 070-98.



Grafica No 18 Comportamiento de la frecuencia de alimentación Subestación Eléctrica No 1.

ANALISIS DE LA FRECUENCIA	
VALOR EN Hz	
FRECUENCIA PROMEDIO:	59,992
LIMITE SUPERIOR:	60,198
LIMITE INFERIOR:	59,802
MAXIMO VALOR REGISTRADO:	60,04
MINIMO VALOR REGISTRADO:	59,86
TOTAL DATOS REGISTRADOS:	613
VALORES FUERA DE LIMITES:	0

Tabla No 14 Análisis de la frecuencia en (Hz).

ORDEN ARMONICO (v)	(ARMONICOS) FASE A	(ARMONICOS) FASE B	(ARMONICOS) FASE C
2° ORDEN	0.0%	0.0%	0.0%
5° ORDEN	1.0%	0,8%	0,9%
7° ORDEN	0,6%	0,6%	0,6%
11° ORDEN	0,7%	0,6%	0,6%
13° ORDEN	0,3%	0,3%	0,4%
17° ORDEN	0.0%	0.0%	0.0%
19° ORDEN	0.0%	0.0%	0.0%

Tabla No 15 Armónicos Analizados Subestación Eléctrica No 1.

16.4. ANALISIS DE LA INCIDENCIA DE ARMONICOS DE TENSION EN LA SUBESTACION ELECTRICA No 1.

16.5. COMPORTAMIENTO DEL NIVEL DE LA TENSION EN LA SUBESTACION ELECTRICA No 2.

El grafico No 19 evidencia el comportamiento de la tensión de alimentación en la subestación eléctrica No 2, teniendo un valor promedio de 224,5 VAC, el valor máximo registrado es de 233,1 VAC y el mínimo valor registrado es de 216,9 VAC cumpliendo con cada uno de los límites recomendados por la norma NTC 1340.

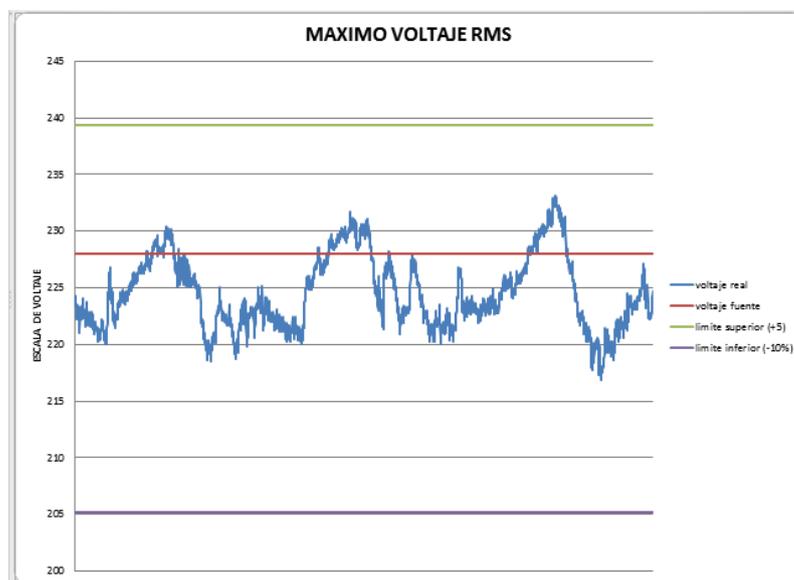


Grafico No 19 Tendencia de la tensión en la subestación Eléctrica No 2

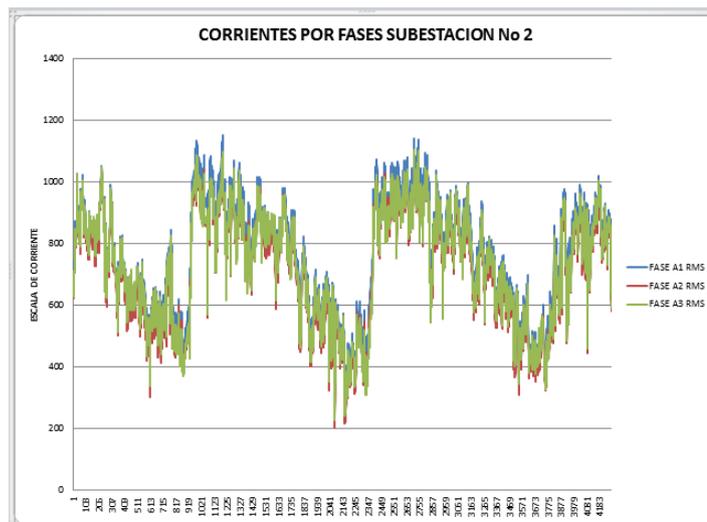
COMPORTAMIENTO DE LA TENSION ENTRE FASES	
VALOR TENSION NOMINAL:	228 VAC
VALOR TENSION PROMEDIO:	224,5 VAC
VALOR TENSION PROMEDIO Vab:	224,162 VAC
VALOR TENSION PROMEDIO Vbc:	223,957 VAC
VALOR TENSION PROMEDIO Vca:	224,298 VAC
VALOR LIMITE SUPERIOR (+5%):	239,4 VAC
VALOR LIMITE INFERIOR (-10%):	205,2 VAC
VALOR SUPERIOR ENCONTRADO:	233,1 VAC
VALOR INFERIOR ENCONTRADO:	216,9 VAC
TOTAL DATOS ANALIZADOS:	4280
TOTAL DATOS FUERA DE LIMITES:	0

Tabla No 16. Valores de las tensiones registradas en la subestación eléctrica No 2

16.6. COMPORTAMIENTO DEL CONSUMO DE CORRIENTE EN LA SUBESTACION ELECTRICA No 2.

En este transformador nunca se presentó un valor de la carga por encima de la máxima corriente admisible por el mismo, evitando así recalentamientos y deterioro prematuro de este equipo.

En la gráfica No 20 representa cada uno de los comportamientos que se obtuvieron de corriente para el transformador marca siemens con capacidad de 630 kVA ubicado en la subestación eléctrica No 2, presentándose un consumo máximo de corriente de 1052,1 Amperios, promedio de 748,944 Amperios, destacando que cada uno de estos dos valores nunca estuvieron por encima de la máxima corriente admisible por el transformador que tiene un valor de 1595 Amperios.



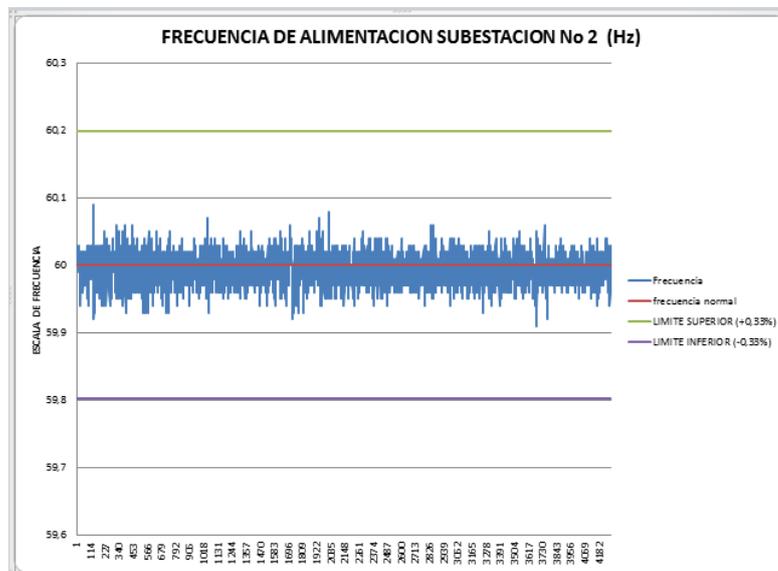
Grafica No 20. Consumo de Corriente en la Subestación Eléctrica No 2.

ANALISIS	(I) Fase A	(I) Fase B	(I) Fase C
PROMEDIO (A) :	761,419	731,504	753,911
MAXIMA (A) :	1051,1	1041,7	1049,1
MINIMA (A) :	239,4	202,6	228

Tabla No 17. Análisis de la Corriente en la Subestación Eléctrica No 2.

16.7. ANALISIS DE LA FRECUENCIA DE ALIMENTACION SUBESTACION ELECTRICA No 2.

La frecuencia de alimentación siempre presento un valor normal en su operación en la gráfica No 21, se referencia como la frecuencia nunca presento un valor ni por encima ni por debajo de los valores estipulados por la resolución CREG 070-98, en total el analizador de red registró 4280 valores de los cuales ninguno estuvo salido de este rango de cumplimiento.



Gráfica No 21. Comportamiento frecuencia de alimentación en la Subestación Eléctrica No 2.

ANALISIS DE LA FRECUENCIA VALOR EN Hz	
FRECUENCIA PROMEDIO:	59,99
LIMITE SUPERIOR:	60,198
LIMITE INFERIOR:	59,802
MAXIMO VALOR REGISTRADO:	60,09
MINIMO VALOR REGISTRADO:	59,91
TOTAL DATOS REGISTRADOS:	4280
VALORES FUERA DE LIMITES:	0

Tabla No 18 Análisis de la frecuencia de alimentación Subestación Eléctrica No 2.

17. ANALISIS DE LA DISTORSION TOTAL DE LA DEMANDA (TDD), SUBESTACION No 1. MEDIANTE EL SOFTWARE TDD / IMAX- CALC.

Para el desarrollo de este proyecto se diseñó un programa en visual Basic soportado en una hoja de cálculo en Excel donde se realiza cada uno de las operaciones para determinar el nivel de armónicos que tiene la planta y de allí determinar cuál es el nivel de cumplimiento según las normas vigentes.

Con el diseño del programa en visual se pretende demostrar un resultado automático con la utilización de cada uno de los valores que arroja el analizador de red y evitar realizar este procedimiento como normalmente se realiza, únicamente se insertan los valores en el programa y el arrojará los resultados en el tiempo del cumplimiento de los niveles de armónicos.

En el grafico No 22, se observa en inicio del programa en donde le damos clic al botón de nombre transformador y automáticamente aparece otra ventana ver figura 23, en el cual se deberá escoger el análisis que desea que el programador realice en este caso seleccionamos análisis de armónicos (TDD), y le damos continuar.



GRAFICO No 22. Botón de inicio del programador para el análisis del TDD, en el transformador de 1500 kVA de la subestación eléctrica No 1

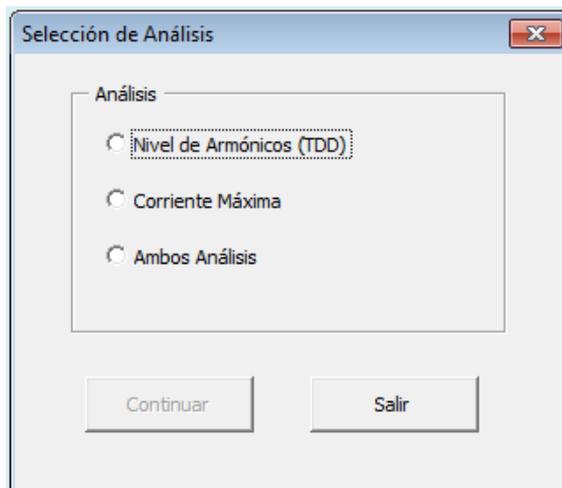


GRAFICO No 23. Selección del análisis a realizar por el programador.

Posteriormente aparecerá otra ventana (ver gráfico) No 24, en donde preguntan si se conoce la corriente de cortocircuito del sistema ósea la que entrega el operador de red en este caso las Empresas públicas de Medellín EPM, al cual se le solicito este dato respondiendo por vial email ver anexo entregando un valor para nuestro punto de conexión de 6.49 kA trifásico en nivel de cortocircuito, le damos que si e insertamos en la caja de texto el valor y automáticamente nos aparece otra hoja de cálculo (ver gráfico No 26, en donde se insertaran los valores que obtuvimos durante la medición.

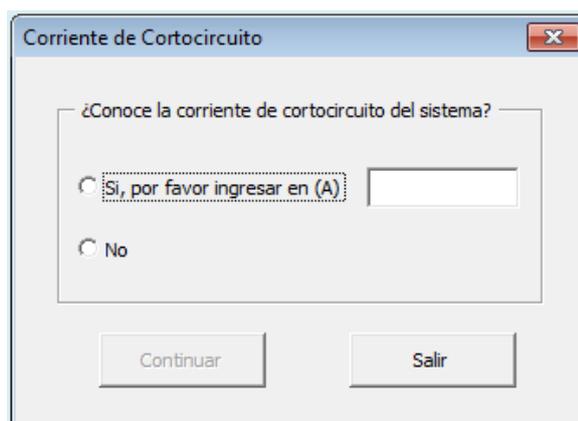


GRAFICO No 24. Caja de texto para ingreso de corriente de cortocircuito.

GRAFICO No 25. Calculo de la corriente de cortocircuito por el programador.

En el otro caso si no se conoce el valor de la corriente de cortocircuito, escogemos la opción no y el programador realizara el cálculo de esta corriente de cortocircuito soportándose de la potencia nominal, la tensión del lado de baja y de la impedancia del transformador.

TABLA DE INSERCIÓN DE VALORES AROJADOS POR UN ANALIZADOR DE RED PARA CALCULAR LA DISTORSIÓN TOTAL DE LA DEMANDA										
Fecha	Hora	Corriente RMS (A)			ATHD (%)			Corriente Fundamental (A)		
		Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3
8/27/2012	2:55:00 PM	709.9	712.7	629.7	2.9	2.8	3	709.7	712.6	629.5
8/27/2012	3:00:00 PM	719.6	723.6	638	2.8	2.6	3	719.6	723.5	637.7
8/27/2012	3:05:00 PM	825.5	833.2	737.8	2.4	2.3	2.5	825.6	833.2	737.9
8/27/2012	3:10:00 PM	954.1	956.5	865.1	2.7	2.7	3	954	956.4	864.9
8/27/2012	3:15:00 PM	721.2	713.3	637	3.4	3.4	3.9	720.9	713.2	636.5
8/27/2012	3:20:00 PM	711.8	709.5	641.9	2.9	2.8	3.1	711.7	709.4	641.6
8/27/2012	3:25:00 PM	1042.3	1060.8	948.4	2	1.9	2	1042.5	1061	948.5
8/27/2012	3:30:00 PM	1148.3	1173.1	1057.4	2.4	2.4	2.5	1148.1	1173.1	1057.3
8/27/2012	3:35:00 PM	765.4	762.1	679.5	4.4	4.5	5.1	764.7	761.4	678.7
8/27/2012	3:40:00 PM	689.9	672	588.7	4.2	4.1	4.8	689.5	671.6	587.9
8/27/2012	3:45:00 PM	928.4	931.8	844.9	2.2	2.1	2.3	928.4	931.8	844.9
8/27/2012	3:50:00 PM	1010.6	1015.3	923	1.8	1.7	1.8	1010.6	1015.3	923.1
8/27/2012	3:55:00 PM	808.2	804.2	735.3	2.8	2.9	2.9	808	804.1	735.1
8/27/2012	4:00:00 PM	810	814.8	734.8	2.5	2.3	2.4	810.1	815.1	734.8
8/27/2012	4:05:00 PM	1051.4	1058.2	966.9	2.4	2.3	2.4	1051.2	1058.1	966.7
8/27/2012	4:10:00 PM	979.3	976.6	904.2	3.1	3.3	3.5	978.9	976.2	903.8

GRAFICO No 26. Tabla de inserción de datos para cálculo del TDD.

Cabe resaltar que los valores a tener en cuenta para insertar son las corrientes RMS de cada una de las líneas, la total distorsión armónica de la corriente en cada una de sus líneas (THD – I) y la corriente de consumo a frecuencia fundamental también en cada una de sus líneas. Además se debe tener en

cuenta la fecha y la hora de cada una de las mediciones realizadas por el analizador de red.

En la misma hoja de cálculo se encuentran dos botones uno haciendo referencia para calcular el TDD y el otro para borrar los valores insertados si dado el caso hubo un error en la medición o en su defecto a la hora de montar los valores.

CALCULOS DE CUMPLIMIENTO DEL TDD SEGÚN NORMA IEEE 519-12						
Fecha	Hora	Corriente Máx. RMS (A)	ATHD máx (%)	TDD (%)	TDD Límite(%)	
8/27/2012	2:55:00 PM	712.7	3	3.54	5	
8/27/2012	3:00:00 PM	723.6	3	3.59	5	
8/27/2012	3:05:00 PM	833.2	2.5	3.45	5	
8/27/2012	3:10:00 PM	956.5	3	4.75	5	
8/27/2012	3:15:00 PM	721.2	3.9	4.66	5	
8/27/2012	3:20:00 PM	711.8	3.1	3.65	5	
8/27/2012	3:25:00 PM	1060.8	2	3.51	5	
8/27/2012	3:30:00 PM	1173.1	2.5	4.86	5	
8/27/2012	3:35:00 PM	765.4	5.1	6.46	5	
8/27/2012	3:40:00 PM	689.9	4.8	5.48	5	
8/27/2012	3:45:00 PM	931.8	2.3	3.55	5	
8/27/2012	3:50:00 PM	1015.3	1.8	3.03	5	
8/27/2012	3:55:00 PM	808.2	2.9	3.88	5	
8/27/2012	4:00:00 PM	814.8	2.5	3.37	5	
8/27/2012	4:05:00 PM	1058.2	2.4	4.21	5	
8/27/2012	4:10:00 PM	979.3	3.5	5.68	5	

Corriente de Cortocircuito, I _{sc} (A):	6490
Prom. Corriente Fund. (A):	603.90
TDD límite (%):	5
Valores inferiores al límite (%)	79.93

GRAFICO No 27. Cálculos Arrojados por el programador para el cumplimiento del TDD según norma IEEE 519-12.

En la anterior grafica se relaciona cada uno de cálculos en porcentajes del cumplimiento de la distorsión total de la demanda con respecto al límite que para el caso de este proyecto el límite según norma ver anexo es del 5% de acuerdo a la relación que existe entre la corriente de cortocircuito y la corriente a frecuencia fundamental.

También se destaca que para el análisis en este transformador y según los datos analizados en total 613 tuvo un cumplimiento del 79,93 %.

El siguiente grafico No 28, Se destaca, que dentro de los 613 valores obtenidos por el analizador de red durante el periodo que estuvo instalado, solo el 75 % cumple con el rango según la norma IEEE 519-12, que para el caso mismo el rango es del 5%, y la norma establece que para que haya cumplimiento de este ítem por los menos la instalación eléctrica debe cumplir con el 95 % de todos los datos evaluados.

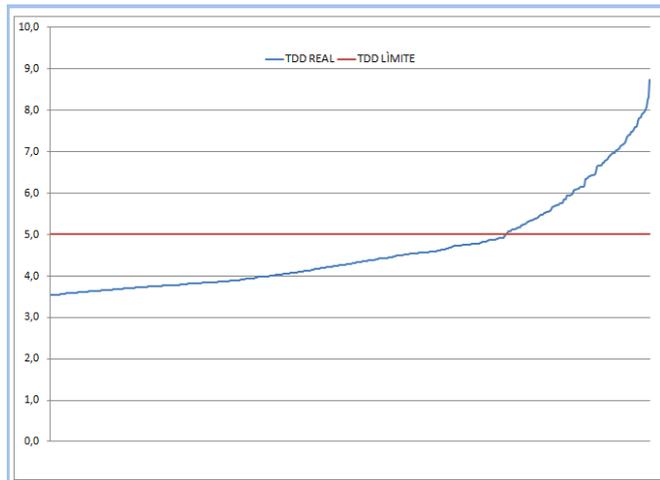


GRAFICO No 28. Comportamiento del TDD con respecto al límite IEEE 519-12. Subestación No 1.

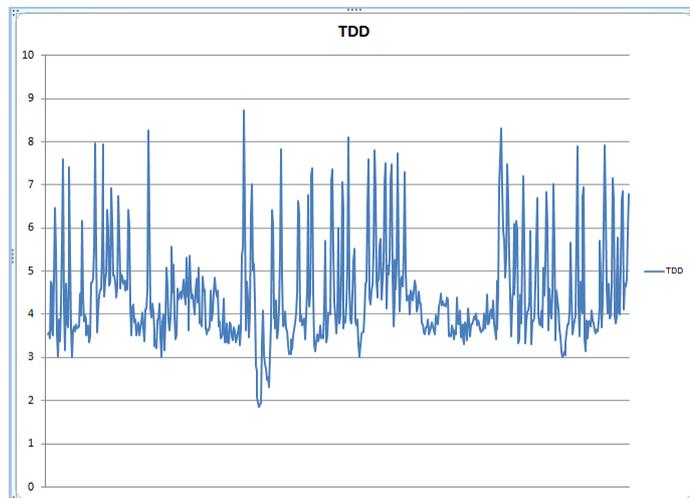


GRAFICO No 29. Comportamiento TDD en el tiempo. Subestación No 1.

18. ANALISIS DE LA DISTORSION TOTAL DE LA DEMANDA (TDD), SUBESTACION No 2. MEDIANTE EL SOFTWARE TDD / IMAX-CALC.

Se destaca que igualmente que en el caso del transformador de 1500 kVA, se lleva cada uno de los valores al programa y este realiza el cálculo correspondiente, pasamos primero al inicio del programa le damos clic al botón nombrado con la palabra transformador luego seleccionamos el tipo de análisis que deseamos que el programador realice en este caso nivel de armónicos (TDD) le damos continuar y en la siguiente ventana seleccionamos que si

conocemos el nivel de la corriente de cortocircuito y la asignamos en la caja de texto para este caso 6.49 kA, posteriormente aparecerá una hoja de cálculo adicional en donde se colocaron los valores de la corriente RMS en cada una de las fases, la distorsión total armónica de la corriente en cada una de las fases y el valor del consumo en cada una de las fases de la corriente a frecuencia fundamental.

Posteriormente a los pasos anteriores se da clic en el botón referenciado con la palabra calcular TDD, inmediatamente el programa empezara a procesar la información insertada y posteriormente aparecerá una nueva hoja de cálculo con los resultados en el tiempo del cumplimiento de la distorsión total de la demanda.

A continuación se realizara una representación paso a paso, por medio de grafico el cálculo real por medio del programa en visual Basic de la distorsión total de la demanda (TDD).



GRAFICO No 30. Inicio del programa.

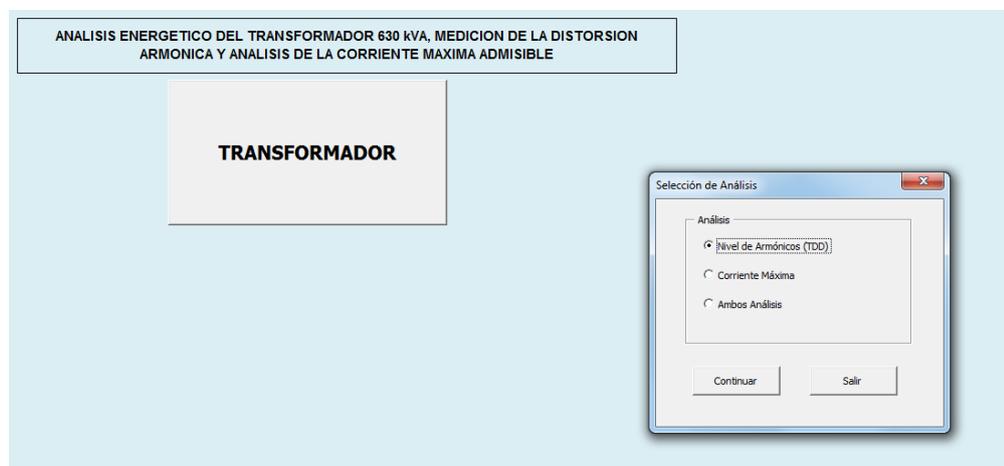


GRAFICO No 33. Tabla de inserción de datos para cálculo del TDD.

Dentro de la tabla se coloca las corrientes RMS en cada una de las líneas, la distorsión total armónica de corriente y el consumo de la corriente a frecuencia fundamental, para el caso del análisis en este proyecto se tomaron 4280 medidas cada 5 minutos el analizador registraba un valor ver gráfico No 34.

TABLA DE INSERCIÓN DE VALORES AROJADOS POR UN ANALIZADOR DE RED PARA CALCULAR LA DISTORSIÓN TOTAL DE LA DEMANDA										
Fecha	Hora	Corriente RMS (A)			ATHD (%)			Corriente Fundamental (A)		
		Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3
8/29/2012	6:40:00 PM	663.5	622.3	630.9	4.5	3.7	4.7	663.2	622.1	630.3
8/29/2012	6:41:00 PM	676.4	644.9	636.5	4.1	3.6	4.3	675.9	644.6	636
8/29/2012	6:42:00 PM	669.7	634.2	627.4	4.3	3.8	4.7	669.1	633.8	626.7
8/29/2012	6:43:00 PM	715.5	686.4	677.6	3.7	3.3	3.8	715.6	686.5	677.7
8/29/2012	6:44:00 PM	736.5	707.2	701.4	3.6	3.2	3.7	736.3	706.9	701
8/29/2012	6:45:00 PM	736.4	707.5	697.7	3.6	3.2	3.7	736	707.2	697.2
8/29/2012	6:46:00 PM	738.9	709.8	694.4	3.6	3.2	3.8	738.5	709.5	694
8/29/2012	6:47:00 PM	742.1	713.9	706.7	3.6	3.2	3.7	742.2	713.6	706.2
8/29/2012	6:48:00 PM	744.1	715.3	712.7	3.6	3.2	3.7	743.7	715	712.2
8/29/2012	6:49:00 PM	733.4	709.2	706.3	3.6	3.2	3.7	733.3	708.9	705.8
8/29/2012	6:50:00 PM	760.6	737.4	735.8	3.5	3.1	3.6	760.1	737.3	735.6
8/29/2012	6:51:00 PM	750.9	726.5	723.4	3.5	3.2	3.6	750.8	726.5	723.2
8/29/2012	6:52:00 PM	819.6	796.6	800.9	3.1	2.8	3.2	819.3	796.9	801.1
8/29/2012	6:53:00 PM	813.7	787.8	790.7	3.2	2.9	3.2	813.3	787.6	790.4
8/29/2012	6:54:00 PM	852.8	828.6	832.8	3.1	2.7	3.1	852.4	828.4	832.5
8/29/2012	6:55:00 PM	865.1	838.7	840.7	3.1	2.7	3.1	864.8	838.5	840.3
8/29/2012	6:56:00 PM	869.3	844.1	847.3	3.1	2.7	3.1	869	843.9	846.9
8/29/2012	6:57:00 PM	871.5	844.3	848.8	3	2.7	3.1	871.2	844.1	848.5
8/29/2012	6:58:00 PM	860.6	836.6	834.9	3.1	2.7	3.1	860.3	836.4	834.6
8/29/2012	6:59:00 PM	833.2	808.1	808	3.2	2.9	3.2	832.9	807.8	807.6
8/29/2012	7:00:00 PM	831.4	805.7	806.4	3.2	2.8	3.2	831.1	805.5	806
8/29/2012	7:01:00 PM	830	804.6	803.7	3.2	2.8	3.2	829.7	804.4	803.4
8/29/2012	7:02:00 PM	815.6	792.5	794.2	3.2	2.8	3.2	815.3	792.3	793.8
8/29/2012	7:03:00 PM	812.9	787.5	793.6	3.2	2.8	3.2	812.5	787.5	793.2
8/29/2012	7:04:00 PM	838	810.7	821.8	3.2	2.7	3.1	837.7	810.5	821.4
8/29/2012	7:05:00 PM	843.4	814.2	826.2	3.1	2.7	3.1	843	814	825.8
8/29/2012	7:06:00 PM	842.4	813.7	826.4	3.2	2.7	3.1	842.1	813.5	826.1
8/29/2012	7:07:00 PM	853.9	827.3	837.7	3.1	2.7	3	853.5	827	837.3
8/29/2012	7:08:00 PM	904.4	877	892.4	2.9	2.5	2.9	904.1	876.8	892.1
8/29/2012	7:09:00 PM	905.1	877.3	895.9	2.9	2.5	2.9	904.8	877.1	895.6
8/29/2012	7:10:00 PM	900.8	874.2	891.4	3	2.6	2.9	900.6	874	891.1
8/29/2012	7:11:00 PM	896.6	869.7	886.4	3	2.6	2.9	896.3	869.6	886.1
8/29/2012	7:12:00 PM	919.1	892.8	916.2	3.2	2.8	3.2	918.6	892.5	915.7

Calcular TDD
Borrar Datos

GRAFICO No 34. Tabla de inserción de datos con todos los valores introducidos.

Con los valores ya introducidos en la tabla al lado de dicha tabla se ubican dos botones del programa ver gráfico anterior, el primer botón nos hace referencia al cálculo de la distorsión total de la demanda (TDD), y el segundo botón nos hace referencia al borrado de los datos que previamente hemos introducidos si por alguna circunstancia los valores se encuentran con un error o si fueron mal seleccionados, en el caso nuestro cada uno de los valores fueron insertados correctamente, por lo que se procede a dar clic en el botón calcular TDD. Luego de dar clic en el botón calcular TDD, encontramos una nueva hoja de cálculo con todos los resultados del análisis de la distorsión total de la demanda ver gráfico No 35.

CALCULOS DE CUMPLIMIENTO DEL TDD SEGÚN NORMA IEEE 519-12					
Fecha	Hora	Corriente Máx. RMS (A)	ATHD máx (%)	TDD (%)	TDD Límite(%)
8/29/2012	6:40:00 PM	663.5	4.7	4.23	5
8/29/2012	6:41:00 PM	676.4	4.3	3.94	5
8/29/2012	6:42:00 PM	669.7	4.7	4.27	5
8/29/2012	6:43:00 PM	715.5	3.8	3.69	5
8/29/2012	6:44:00 PM	736.5	3.7	3.70	5
8/29/2012	6:45:00 PM	736.4	3.7	3.70	5
8/29/2012	6:46:00 PM	738.9	3.8	3.81	5
8/29/2012	6:47:00 PM	742.1	3.7	3.72	5
8/29/2012	6:48:00 PM	744.1	3.7	3.73	5
8/29/2012	6:49:00 PM	733.4	3.7	3.68	5
8/29/2012	6:50:00 PM	760.6	3.6	3.71	5
8/29/2012	6:51:00 PM	750.9	3.6	3.67	5
8/29/2012	6:52:00 PM	819.6	3.2	3.56	5
8/29/2012	6:53:00 PM	813.7	3.2	3.53	5
8/29/2012	6:54:00 PM	852.8	3.1	3.59	5
8/29/2012	6:55:00 PM	865.1	3.1	3.64	5
8/29/2012	6:56:00 PM	869.3	3.1	3.65	5
8/29/2012	6:57:00 PM	871.5	3.1	3.66	5
8/29/2012	6:58:00 PM	860.6	3.1	3.62	5
8/29/2012	6:59:00 PM	833.2	3.2	3.62	5
8/29/2012	7:00:00 PM	831.4	3.2	3.61	5
8/29/2012	7:01:00 PM	830	3.2	3.60	5
8/29/2012	7:02:00 PM	815.6	3.2	3.54	5
8/29/2012	7:03:00 PM	812.9	3.2	3.53	5
8/29/2012	7:04:00 PM	838	3.2	3.64	5
8/29/2012	7:05:00 PM	843.4	3.1	3.55	5
8/29/2012	7:06:00 PM	842.4	3.2	3.66	5
8/29/2012	7:07:00 PM	853.9	3.1	3.59	5
8/29/2012	7:08:00 PM	904.4	2.9	3.56	5
8/29/2012	7:09:00 PM	905.1	2.9	3.56	5
8/29/2012	7:10:00 PM	900.8	3	3.67	5
8/29/2012	7:11:00 PM	896.6	3	3.65	5
8/29/2012	7:12:00 PM	919.1	3.2	3.99	5

Corriente de Cortocircuito, Isc (A):	6490
Prom. Corriente Fund. (A):	737.30
TDD limite (%):	5
Valores inferiores al limite (%)	

GRAFICO No 35. Cálculos de la distorsión total de la demanda arrojados por el programa según norma IEEE 519 – 12.

Observando el grafico anterior notamos que el cumplimiento de este parámetro para las cargas conectadas en el transformador con capacidad de 630 kVA se encuentran siempre por debajo del cinco por ciento (5%), teniendo un cumplimiento del cien por ciento (100%),

Si nos fijamos en el recuadro ubicado en la parte superior derecha de la hoja de cálculo ver gráfico anterior notamos que la última casilla con el nombre de valores inferiores al límite (%), se encuentra vacía, solo basta con dar clic en el botón de nombre cumplimiento que se encuentra ubicado en la parte superior derecha de la hoja de cálculo inmediatamente el programa nos mostrara el resultado de cuanto es el valor de cumplimiento en porcentajes de todos los datos que se insertaron en el programa que para el caso del análisis que se realizó al transformador de la subestación eléctrica No 2, que tiene una capacidad de 630 kVA fueron 4280 valores y nos arrojó que todos estos valores están cumpliendo ver gráfico No 36.

CALCULOS DE CUMPLIMIENTO DEL TDD SEGÚN NORMA IEEE 519-12					
Fecha	Hora	Corriente Máx. RMS (A)	ATHD máx (%)	TDD (%)	TDD Límite(%)
8/29/2012	6:40:00 PM	663.5	4.7	4.23	5
8/29/2012	6:41:00 PM	676.4	4.3	3.94	5
8/29/2012	6:42:00 PM	669.7	4.7	4.27	5
8/29/2012	6:43:00 PM	715.5	3.8	3.69	5
8/29/2012	6:44:00 PM	736.5	3.7	3.70	5
8/29/2012	6:45:00 PM	736.4	3.7	3.70	5
8/29/2012	6:46:00 PM	738.9	3.8	3.81	5
8/29/2012	6:47:00 PM	742.1	3.7	3.72	5
8/29/2012	6:48:00 PM	744.1	3.7	3.73	5
8/29/2012	6:49:00 PM	733.4	3.7	3.68	5
8/29/2012	6:50:00 PM	760.6	3.6	3.71	5
8/29/2012	6:51:00 PM	750.9	3.6	3.67	5
8/29/2012	6:52:00 PM	819.6	3.2	3.56	5
8/29/2012	6:53:00 PM	813.7	3.2	3.53	5
8/29/2012	6:54:00 PM	852.8	3.1	3.59	5
8/29/2012	6:55:00 PM	865.1	3.1	3.64	5
8/29/2012	6:56:00 PM	869.3	3.1	3.65	5

Corriente de Cortocircuito, I _{sc} (A):	6490
Prom. Corriente Fund. (A):	737.30
TDD límite (%):	5
Valores inferiores al límite (%)	100.00

GRAFICO No 36. Cumplimiento en porcentajes del TDD según datos analizados. Subestación eléctrica No 2.

En el grafico No 37. Se encuentra una mejor explicación del comportamiento de la distorsión total de la demanda TDD con respecto al límite de guía para este caso el cinco por ciento (5%), de acuerdo al resultado que existe de la relación entre la corriente de cortocircuito y la corriente a frecuencia fundamental.

Los datos de cumplimiento de la distorsión total de la demanda analizados en la gráfica muestran que van desde un valor mínimo del 0.76 % al 4.68 % siendo el TDD real ósea la distorsión total de la demanda de las cargas asignadas al transformador siemens de 630 kVA de la planta siempre un valor por debajo del límite de cumplimiento establecido por la norma IEEE 519 – 12, en su tabla No 10-3 correspondiente a la distorsión límite de la corriente para una distribución general del sistema entre 120 VAC y 69000 VAC, ver anexos.



**GRAFICO No 37. Comportamiento del TDD con respecto al límite IEEE 519-12.
Subestación No 2.**

En el grafico No 38. se observa el comportamiento que se dio en la disrtosion total de la demanda (TDD) en el tiempo de acuerdo a los valores establecidos por el equipo analizador de red.

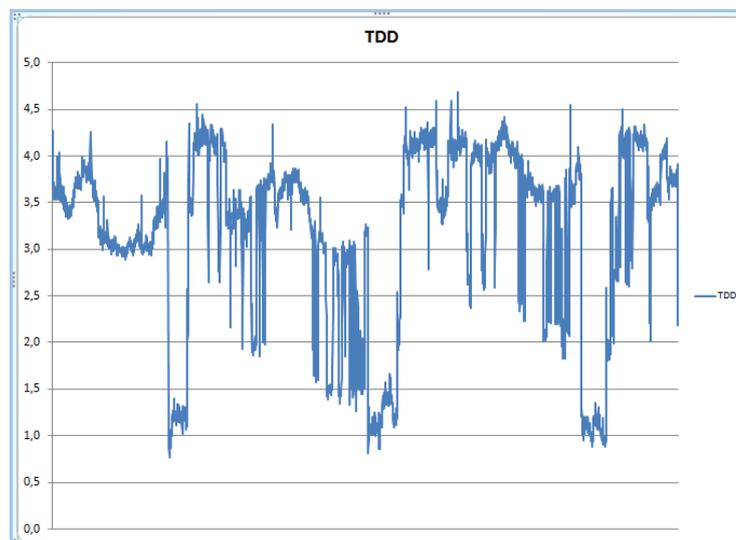


GRAFICO No 38. Comportamiento TDD en el tiempo. Subestación No 2.

19. DISEÑO DE FILTRO PASIVO SUBESTACION ELECTRICA No 1.

Con el fin de mitigar el efecto de los armónicos en la subestación eléctrica No 1, se propone el diseño de un filtro sintonizado simple (filtro de primer orden), lo que contribuye al mejoramiento del comportamiento de la instalación de la subestación eléctrica No 1, la cual es alimentada por el transformador marca SUNTEC, con capacidad de 1500 kVA.

Para lograr el diseño del filtro pasivo es necesario conocer cuál es la potencia reactiva (kVAR) necesaria para poder llevar el factor de potencia (F.P), de un valor de 0,94 hasta 0,96, de acuerdo al consumo de potencia aparente (kVA), presentado en la planta.

Los siguientes son los datos y parámetros a utilizar:

Potencia Máxima consumida en kVA: 1117,9

Factor de potencia subestación No 1: 0,944

Factor de potencia deseado: 0,96

$$Q1 = S * Sen (Cos - 1 (0,94))$$

$$Q1 = 111,7 \text{ kVA} * Sen (Cos - 1 (0,94))$$

$$Q1 = 380.897 \text{ kVAr}$$

Determinación de los KVAR necesarios para un F.P = 0,96

$$Q2 = S * Sen (Cos - 1 (0,96))$$

$$Q2 = 1117,9 * Sen (Cos - 1 (0,96))$$

$$Q2 = 312.760 \text{ kVAr}$$

$$Q \text{ filtro} = (Q1 - Q2)$$

$$Q_{\text{filtro}} = (380.897 - 312.760) \text{ kVAr}$$

$$Q_{\text{filtro}} = 68.137 \text{ kVAr}$$

$$X_{\text{filtro}} = \frac{kV^2}{Q_{\text{filtro}}}$$

$$X_{\text{filtro}} = \frac{0,228^2}{68.137 \text{ kVAr}}$$

$$X_{\text{filtro}} = 762.931 \mu\Omega$$

$$X_{\text{filtro}} = X_c - X_l$$

$$X_c = h^2 X_l$$

$$X_{\text{filtro}} = h^2 X_l - X_l$$

$$X_{\text{filtro}} = X_l(h^2 - 1)$$

$$X_l = \frac{X_{\text{filtro}}}{(h^2 - 1)}$$

$$X_l = \frac{762.931 \mu\Omega}{(4,8^2 - 1)}$$

$$X_l = 34.615 \mu\Omega$$

$$X_c = 4,8^2 * 34.615 \mu\Omega$$

$$X_c = 797.549 \mu\Omega$$

20. CALCULO DE LA MAXIMA CORRIENTE ADMISIBLE EN EL TRANSFORMADOR SUNTEC CON CAPACIDAD DE 1500 kVA, MEDIANTE EL SOFTWARE TDD / I MAX – CALC.

Para calcular cuánto es el máximo de corriente que puede soportar este transformador con la incidencia de los armónicos, se realizó la recopilación de los datos de placa del transformador como el nivel de tensión del primario y secundario, corriente del primario y secundario conexión etc., ver anexos, el certificado de las pruebas para transformadores realizada por el fabricante, en donde se encuentra los valores de las resistencias del bobinado tanto del primario como del secundario, el valor de las pérdidas por cargas del transformador, ver anexos, los valores de los armónicos individuales no múltiplos de tres desde el primer orden hasta el 19^o orden entregados por el analizador de red, cada uno de estos valores fueron procesados en el programador visual Basic por medio de una serie de secuencia y nos dio como resultado la máxima corriente a la que puede llevado el transformador con cada uno de los armónicos a los cuales está operando.

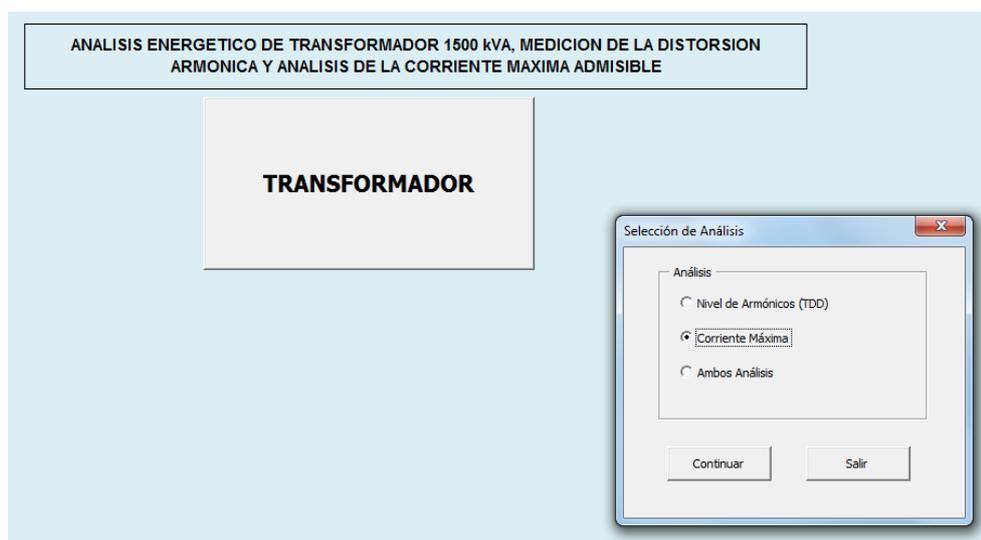


GRAFICO No 39. Inicio del programa para el cálculo de la I máxima.

En el gráfico anterior se observa que después de dar clic en el botón transformador aparece una ventana llamada selección de análisis para la cual escogemos el análisis de corriente máxima y le damos continuar luego aparecerá otra ventana con el nombre datos de placa, en la cual nos pide la potencia nominal del transformador en kilo voltio amperios (kVA) con valor de 1500 kVA, el tipo de conexión del transformador que para este caso es delta – estrella, por ultimo nos pide que insertemos las perdidas por cargas en kilo vatios (kW) con valor de 15,839 kW, posteriormente con todos estos datos en el programa de damos clic en continuar, ver gráfico 40.

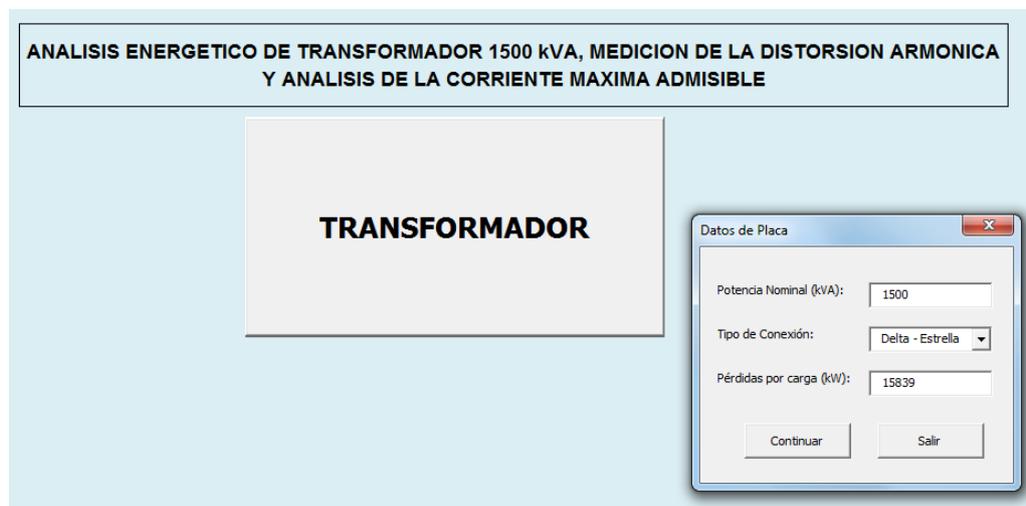


GRAFICO No 40. Datos de placa en el programa.

Luego de la inserción de cada uno de los datos de palca del transformador y de dar clic en continuar, aparece otra ventana con el nombre de devanados, ver gráfico No 41. En el cual nos pide que le insertamos los datos del tensión tanto en el primario como en el secundario, los datos de la resistencia del devanado primario que para este caso tiene un valor de 2.627 ohmios (Ω), y para el devanado secundario un valor de 0.000752 ohmios (Ω), dichos valores fueron sacados del certificado de pruebas realizadas por el fabricante del transformador marca SUNTEC, ver anexos.

presenta unas pérdidas del lado del primario con un valor de 2,5 kW, al igual que presenta unas pérdidas del lado del secundario de 7,23 kW.

También se muestra que el programa dio como resultado unas pérdidas por corrientes de Eddy de 15,82 kW.

TABLA DE INSERCIÓN DE VALORES AROJADOS POR UN ANALIZADOR DE RED PARA CALCULAR LA MÁXIMA CORRIENTE ADMISIBLE DEL TRANSFORMADOR SUNTEC DE 1500 KVA

Fecha	Hora	Corriente RMS (A)			Armónicos Individuales (%)						
		Línea 1	Línea 2	Línea 3	Orden 1	Orden 5	Orden 7	Orden 11	Orden 13	Orden 17	Orden 19
8/27/2012	2:55:00 PM	709,9	712,7	639,7	100	1,67	1,63	0,20	0,97	0,47	0,03
8/27/2012	3:00:00 PM	719,6	723,6	638	100	1,57	1,63	0,20	0,90	0,50	0,10
8/27/2012	3:05:00 PM	825,5	833,2	737,8	100	1,17	1,47	0,13	0,70	0,37	0,09
8/27/2012	3:10:00 PM	954,1	956,5	865,1	100	1,73	1,67	0,67	0,57	0,00	0,00
8/27/2012	3:15:00 PM	721,2	713,3	637	100	2,27	2,20	0,37	0,97	0,10	0,03
8/27/2012	3:20:00 PM	711,8	709,5	641,9	100	1,67	1,67	0,50	1,03	0,10	0,00
8/27/2012	3:25:00 PM	1042,3	1060,8	948,4	100	1,10	1,20	0,50	0,40	0,00	0,00
8/27/2012	3:30:00 PM	1148,3	1173,1	1057,4	100	1,70	1,40	0,43	0,23	0,00	0,00
8/27/2012	3:35:00 PM	765,4	762,1	679,5	100	3,53	2,60	0,50	0,80	0,20	0,03
8/27/2012	3:40:00 PM	689,9	672	588,7	100	3,03	2,53	0,40	0,93	0,57	0,27
8/27/2012	3:45:00 PM	928,4	931,8	844,9	100	1,03	1,37	0,47	0,70	0,13	0,07
8/27/2012	3:50:00 PM	1010,6	1015,3	923	100	0,57	1,13	0,70	0,40	0,00	0,00
8/27/2012	3:55:00 PM	808,2	804,2	735,3	100	1,20	1,70	1,27	0,53	0,00	0,00
8/27/2012	4:00:00 PM	810	814,8	734,8	100	0,97	1,43	0,80	0,67	0,07	0,00
8/27/2012	4:05:00 PM	1051,4	1058,2	966,9	100	1,17	1,57	0,87	0,17	0,00	0,00
8/27/2012	4:10:00 PM	979,3	976,6	904,2	100	2,03	2,13	1,00	0,17	0,00	0,00
8/27/2012	4:15:00 PM	685,4	670,8	608,4	100	4,53	3,67	0,87	1,20	0,47	0,13
8/27/2012	4:20:00 PM	837,2	832,6	755,1	100	1,53	1,80	0,57	0,63	0,30	0,07
8/27/2012	4:25:00 PM	1115,7	1123,3	1029	100	0,80	0,97	0,37	0,37	0,00	0,00
8/27/2012	4:30:00 PM	981	969,1	898,8	100	1,77	1,53	0,87	0,30	0,00	0,00

GRAFICO No 43. Tabla con los valores insertados.

El programa dio como resultado que la corriente máxima admisible de este transformador en porcentaje es del 95.99 %. De tal manera que mi corriente máxima admisible en amperios es de 4646,16 A. dando origen a un factor de carga por corriente en porcentajes de 16,57%.

RESULTADOS FINALES DEL ANALISIS DE LA CORRIENTE MÁXIMA ADMISIBLE EN EL TRANSFORMADOR CON POTENCIA DE 1500 KVA MARCA SUNTEC

Transformador		Promedio Mediciones		Pérdidas	
Potencia Nom. (kVA):	1500	Corriente RMS (A):	604,26	Por Corriente en primario (kW):	2,51
Tensión Primario (V):	13200	Armónico orden 1 (%):	100,00	Por Corriente en secundario (kW):	7,23
Tensión Secundario (V):	228	Armónico orden 5 (%):	2,47	Por Corrientes Eddy (kW):	15824,38
Relación Transformaci:	57,89	Armónico orden 7 (%):	2,54		
Corriente Primario (A):	65,61	Armónico orden 11 (%):	1,37	Límites	
Corriente Secundario (A):	3798,36	Armónico orden 13 (%):	0,96	Corriente máxima permisible (%):	95,99
Resistencia Primario(Ω):	0,58378	Armónico orden 17 (%):	0,22	Corriente máxima permisible (A):	3646,16
Resistencia Secundario(Ω):	0,00050	Armónico orden 19 (%):	0,08	Factor de Carga por corriente (%):	16,57
Pérdidas por carga (kW):	15839				

Orden, h	Corriente, I _A (p.u.)	Factor de distribución, I _A	h ²	I _h (pu) ²	I _h ²	I _h (pu) ² h ²	I _h h ²
1	1	1	1	1	1	1	1
5	0,0247444	0,02474443	25	0,0006123	0,0006123	0,0153072	0,0153072
7	0,0253698	0,02536977	49	0,0006436	0,0006436	0,0315376	0,0315376
11	0,0137031	0,0137031	121	0,0001878	0,0001878	0,0227208	0,0227208
13	0,0096259	0,00962588	169	9,266E-05	9,266E-05	0,0156591	0,0156591
17	0,0022306	0,00223056	289	4,975E-06	4,975E-06	0,0014379	0,0014379
19	0,0008477	0,00084774	361	7,187E-07	7,187E-07	0,0002594	0,0002594
Sumatoria				1,001542	1,001542	1,086922	1,086922

GRAFICO No 44. Resultados análisis de la corriente máxima admisible en el transformador No1 de 1500 KVA marca SUNTEC.

Comparando este resultado de la corriente máxima del transformador de la subestación eléctrica No 1, se evidencia que por carga este equipo está operando en óptimas condiciones que no presenta recalentamientos ni mucho menos sobrecargas, y que la incidencia de los armónicos de corriente en este transformados no generan condiciones anómalas en la funcionabilidad de este equipo.

21. CALCULO DE LA MAXIMA CORRIENTE ADMISIBLE EN EL TRANSFORMADOR SIEMENS CON CAPACIDAD DE 630 kVA, MEDIANTE EL SOFTWARE TDD / I MAX – CALC.

Con referencia al cálculo realizado al transformador de 1500 kVA de marca SUNTEC, aplicamos el mismo procedimiento para calcular la máxima corriente admisible de este transformador correspondiente a la subestación eléctrica No 2.

Se procede a insertar en el programa los datos de tensión y resistencia del primario correspondiente a 13200 V y 0.52631 ohmios, de lado del secundario 228 V y 0.00640 ohmios, el tipo de conexión del transformador es delta – estrella, potencia nominal de 630 kVA, pérdida por carga de 8,400 kW.

En esta parte empezaremos a demostrar como fue el cálculo de la corriente máxima admisible para el transformador en mención.

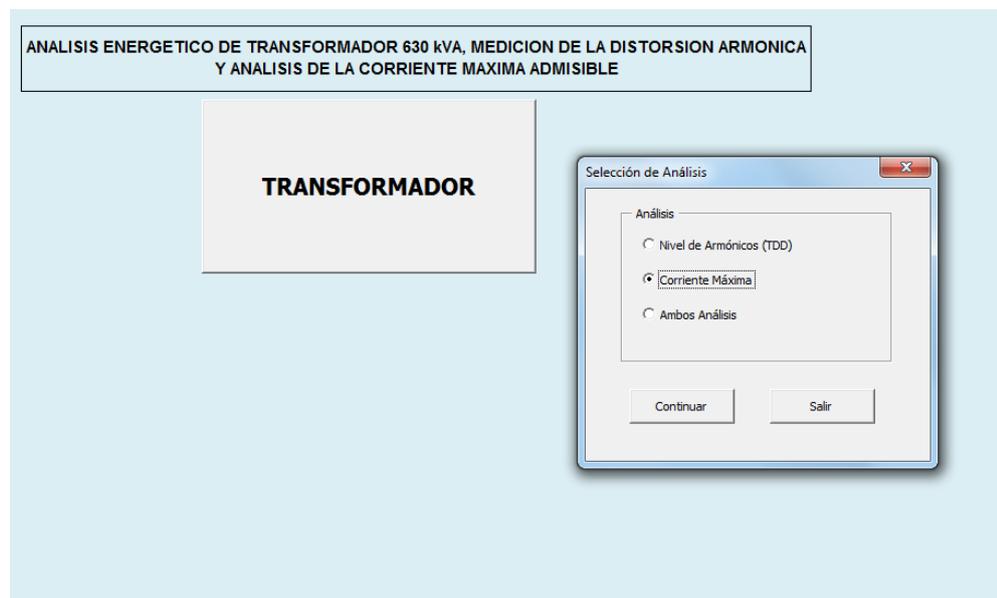


GRAFICO No 45. Inicio del programa transformador siemens 630 kVA.

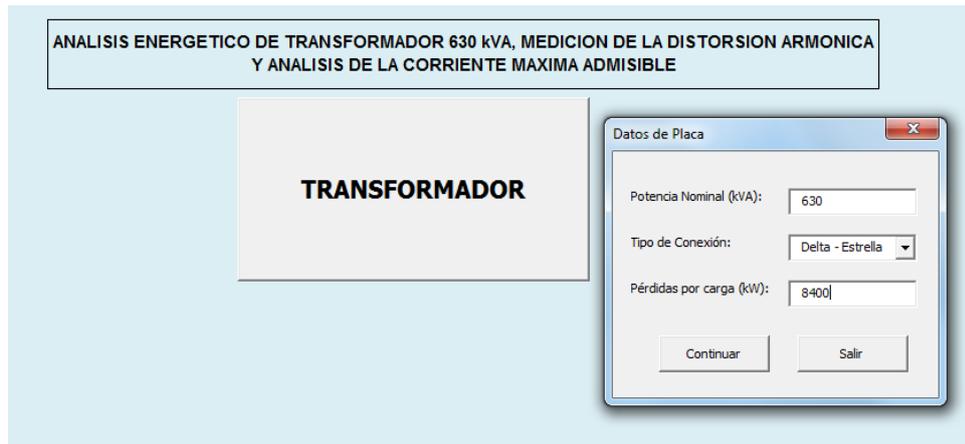


GRAFICO No 46. Datos potencia nominal, tipo de conexión y perdidas por carga.

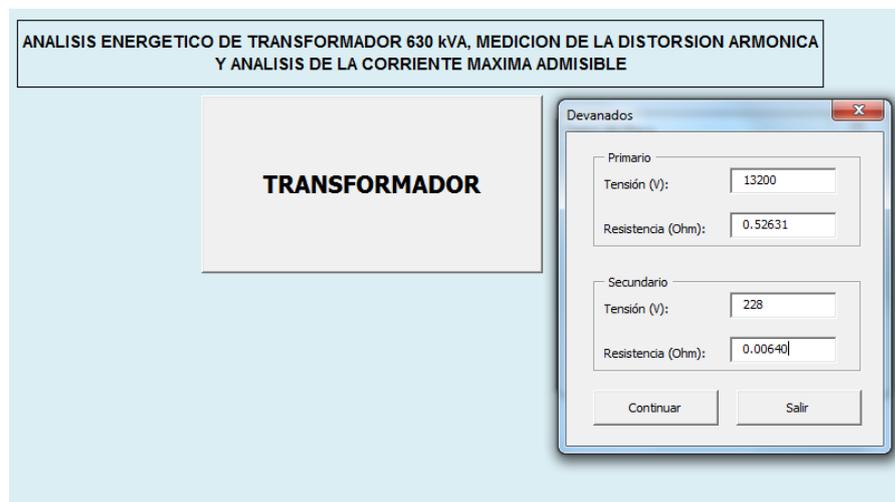


GRAFICO No 47. Datos tensión y resistencia del primario y secundario.

Posteriormente a los pasos realizados anteriormente se le da clic en continuar con el fin de que aparezca una hoja de cálculo donde se insertan los valores de corriente RMS en cada una de las tres líneas, y los valores de los armónicos de corriente individuales no múltiplos de tres como es el caso del armónico de primer orden, quinto orden, séptimo orden, décimo primer orden, décimo tercer orden, décimo séptimo orden y por último el décimo noveno orden todos estos valores son deben ser insertados en por unidad.

TABLA DE INSERCIÓN DE VALORES AROJADOS POR UN ANALIZADOR DE RED PARA CALCULAR LA MÁXIMA CORRIENTE ADMISIBLE DEL TRANSFORMADOR DE 630 KVA MARCA SIEMENS												
Fecha	Hora	Corriente RMS (A)			Armónicos Individuales (%)							
		Línea 1	Línea 2	Línea 3	Orden 1	Orden 5	Orden 7	Orden 11	Orden 13	Orden 17	Orden 19	
8/29/2012	6:40:00 PM	663.5	622.3	630.9	100	2.93	2.20	1.30	1.43	0.26	0.17	
8/29/2012	6:41:00 PM	676.4	644.6	636.5	100	2.73	2.07	1.27	1.27	0.26	0.10	
8/29/2012	6:42:00 PM	669.7	634.2	627.4	100	2.97	2.20	1.37	1.33	0.23	0.13	
8/29/2012	6:43:00 PM	715.5	686.4	677.6	100	2.43	1.83	1.13	1.13	0.20	0.07	
8/29/2012	6:44:00 PM	738.5	707.2	701.4	100	2.48	1.80	1.13	1.13	0.17	0.10	
8/29/2012	6:45:00 PM	736.4	707.2	697.7	100	2.43	1.83	1.13	1.13	0.17	0.13	
8/29/2012	6:46:00 PM	738.9	709.8	694.4	100	2.37	1.83	1.10	1.13	0.17	0.10	
8/29/2012	6:47:00 PM	742.1	711.9	706.7	100	2.43	1.83	1.10	1.13	0.17	0.10	
8/29/2012	6:48:00 PM	744.1	715.3	712.7	100	2.39	1.83	1.10	1.17	0.17	0.13	
8/29/2012	6:49:00 PM	733.4	709.2	706.3	100	2.40	1.83	1.10	1.13	0.20	0.13	
8/29/2012	6:50:00 PM	760.6	717.4	735.8	100	2.33	1.77	1.07	1.07	0.17	0.13	
8/29/2012	6:51:00 PM	759.8	726.5	723.4	100	2.39	1.77	1.03	1.07	0.17	0.13	
8/29/2012	6:52:00 PM	819.6	796.6	800.9	100	2.10	1.63	0.87	0.93	0.23	0.07	
8/29/2012	6:53:00 PM	813.7	787.8	790.7	100	2.17	1.63	0.90	1.00	0.20	0.07	
8/29/2012	6:54:00 PM	832.8	828.6	832.8	100	2.10	1.60	0.86	0.93	0.20	0.07	
8/29/2012	6:55:00 PM	865.1	838.7	840.7	100	2.10	1.60	0.83	0.93	0.20	0.07	
8/29/2012	6:56:00 PM	869.3	844.1	847.3	100	2.10	1.60	0.83	0.93	0.20	0.03	
8/29/2012	6:57:00 PM	871.5	844.3	848.8	100	2.10	1.57	0.83	0.90	0.23	0.07	
8/29/2012	6:58:00 PM	880.6	836.6	834.9	100	2.10	1.57	0.83	0.90	0.23	0.00	
8/29/2012	6:59:00 PM	831.2	808.1	808	100	2.20	1.63	0.93	0.90	0.27	0.03	
8/29/2012	7:00:00 PM	831.4	803.7	806.4	100	2.13	1.63	0.90	0.90	0.30	0.03	
8/29/2012	7:01:00 PM	830	804.6	803.7	100	2.10	1.60	0.90	0.90	0.30	0.03	
8/29/2012	7:02:00 PM	815.6	792.5	794.2	100	2.17	1.63	0.90	0.90	0.30	0.03	
8/29/2012	7:03:00 PM	821.9	787.5	793.6	100	2.10	1.63	0.87	0.90	0.33	0.03	
8/29/2012	7:04:00 PM	830	810.7	821.8	100	2.03	1.63	0.87	0.93	0.27	0.00	
8/29/2012	7:05:00 PM	843.4	814.2	826.2	100	2.00	1.63	0.87	0.97	0.27	0.00	
8/29/2012	7:06:00 PM	842.4	811.7	826.4	100	2.03	1.63	0.87	0.93	0.30	0.00	
8/29/2012	7:07:00 PM	853.3	827.3	837.7	100	2.00	1.57	0.87	0.90	0.30	0.00	

GRAFICO No 48. Valores de corriente RMS y armónicos individuales de corriente.

Luego de realizar la inserción de los valores anteriormente descritos inmediatamente emerge una nueva hoja de cálculo con los resultados esperados de acuerdo a la aplicación de la norma IEEE C.57 – 1986, la cual nos da bases para calcular la corriente máxima admisible para transformadores de potencia.

Como consecuencia se destaca que la corriente máxima permisible de este transformador es de 98,13 %, con un valor de 1565.42 A. También se destaca que este transformador tiene un factor de carga del 47%.

Las pérdidas presentadas en este transformador por corriente en el primarios arrojo un valor del 0.09 kW, las pérdidas por corriente en el secundario dio como resultado un valor del 10.86 kW y las perdidas por corriente de Eddy están en un valor de 8,38 kW. Ver gráfico No 11.6.4.

RESULTADOS FINALES DEL ANALISIS DE LA CORRIENTE MÁXIMA ADMISIBLE EN EL TRANSFORMADOR CON POTENCIA DE 630 KVA MARCA SIEMENS									
Transformador	Potencia Nom. (KVA):	630	Promedio Mediciones	Corriente RMS (A):	737.51	Pérdidas	Por Corriente en primario (KW):	0.09	
	Tensión Primario (V):	13100		Armónico orden 1 (%):	100.00		Por Corriente en secundario (KW):	10.86	
	Tensión Secundario (V):	228		Armónico orden 5 (%):	1.89		Por Corrientes Eddy (KW):	8383.58	
	Relación Transformación:	57.89		Armónico orden 7 (%):	1.34	Límites	Corriente máxima permisible (%):	98.13	
	Corriente Primario (A):	27.56		Armónico orden 11 (%):	0.89		Corriente máxima permisible (A):	1565.42	
	Corriente Secundario (A):	1595.31		Armónico orden 13 (%):	0.71		Factor de Carga por corriente (%):	47.11	
	Resistencia Primario(Ω):	0.11696		Armónico orden 17 (%):	0.31				
	Resistencia Secundario(Ω):	0.00427		Armónico orden 19 (%):	0.11				
	Pérdidas por carga (KW):	8400							

Orden, n	Corriente, I _n (p.u.)	Factor de distribución, f _n	I ₂	I _n (p.u.) ²	f ₂	I _n (p.u.) ² f ₂	f ₂ I ₂ ²
1	1	1	1	1	1	1	1
5	0.01888193	0.01888193	25	0.00035503	0.00035503	0.00911318	0.00911318
7	0.01342438	0.01342437	49	0.00018021	0.00018021	0.00083048	0.00083048
11	0.00893435	0.008934346	121	7.9823E-05	7.9823E-05	0.00065853	0.00065853
13	0.00713762	0.007137617	169	5.0946E-05	5.0946E-05	0.00066098	0.00066098
17	0.00510794	0.005107944	289	9.6093E-06	9.6093E-06	0.00279154	0.00279154
19	0.00314572	0.003145717	361	1.3127E-06	1.3127E-06	0.00067867	0.00067867
			Sumatoria	1.00067848	1.00067848	1.03927741	1.03927741

GRAFICO No 49. Resultado final del análisis de la corriente máxima admisible según aplicación de la norma IEEE C.57 – 1986.

22. IMPACTO QUE EJERCEN LOS ARMONICOS SOBRE LA ENAP IDENTIFICADA EN LA CARACTERIZACION ENERGETICA.

Con el fin de determinar cuál es el impacto ejercido por los armónicos en la subestación eléctrica No 1, representado en el no cumplimiento del límite del TDD; se analizara y posteriormente se relaciona el potencial de ahorro que tiene la compañía antes y después de la instalación del filtro pasivo, el cual nos ayudara a mitigar las corrientes armónicas presentes en la alimentación de cada una de las cargas conectadas a la subestación eléctrica No 1.

Para demostración del ahorro representado por la instalación del filtro pasivo se utilizara la siguiente formula:

$$\Delta\epsilon = (I_{Ao}^2 \times Z) - (I_{Af}^2 \times Z)$$

$$\Delta\epsilon = Z_{total} \times (I_{Ao} - I_{Af})^2$$

Dónde:

$\Delta\epsilon$ = Potencial de ahorro por la instalación del filtro pasivo en el lado de baja del transformador de la subestación eléctrica No 1.

$I_{Ao}^2 \times Z$ = Potencia inicial consumida en la instalacion (sin el filtro)

$I_{Af}^2 \times Z$ = Potencia final consumida (con la instalacion del filtro).

$$Z_{total} = Z_{Conductor} + Z_{Transformador}$$

$$Z_{Conductor} = (R \times \cos \theta + X_L \times \sin(\cos^{-1} 0,94))$$

$$Z_{Conductor} = (0,431 \Omega/kM \times 0,94 + 0,141 \Omega/kM \times \sin(\cos^{-1} 0,94))$$

$$Z_{Conductor} = 0,436 \Omega/kM \times 0,015 kM$$

$$Z_{Conductor} = 0,00654 \Omega$$

$$Z_{Transformador} = Z_{p.u.} \times Z_{base}$$

$$Z_{p.u.} = 6,8 \%$$

$$Z_{Base} = \frac{V^2}{S} = \frac{7600 V^2}{1500000 VA}$$

$$Z_{Base} = 38,5 \Omega$$

$$Z_{Transformador} = 6,8 \% \times 38,5 \Omega$$

$$Z_{Transformador} = 2,6 \Omega$$

$$Z_{total} = 0.00654 \Omega + 2,6 \Omega$$

$$Z_{total} = 2,60654 \Omega$$

Como la anterior impedancia es la representada en la parte de alta del transformador esta hay que transformarla o reflejarla al circuito secundario por medio de la siguiente formula:

$$Z_{Secundario} = \alpha^2 \times Z_{Total,primario}$$

$$Z_{Secundario} = 0.0172^2 \times 2,60654 \Omega$$

$$Z_{Secundario} = 0.777118 m \Omega$$

CALCULO DE CORRIENTE APARENTE ANTES Y DESPUES DE LA INSTALACION DE LOS FILTROS PASIVOS.

Fórmula para el cálculo de la corriente aparente inicial:

$$I_{Ao} = \sqrt{h_1^2 + h_2^2 + h_3^2 + h_4^2 + h_5^2 + h_6^2 \dots \dots + h_n^2}$$

Se colocan los datos de la corriente trifásica promedio inicial, en cada uno del orden de armónicos;

$$I_{Ao} = \sqrt{603,9A^2 + 1,9A^2 + 5,7A^2 + 14,2A^2 + 14A^2 + 0,68A^2}$$

$$I_{Ao} = 604,1 A$$

En esta parte se desarrolla la misma fórmula pero omitiendo las corrientes del armónico de quinto y séptimo orden ya que fueron mitigadas por los filtros pasivos:

$$I_{Af} = \sqrt{h_1^2 + h_2^2 + h_3^2 + h_9^2}$$

$$I_{Af} = \sqrt{603,9A^2 + 1,9A^2 + 5,7A^2 + 0,68A^2}$$

$$I_{Af} = 603 A$$

Posteriormente habiendo calculado cada una de las variables se procede a reemplazar en la formula general del ahorro energético por la instalación de los filtros pasivos;

$$\Delta\epsilon = Z_{total} \times (I_{Ao} - I_{Af})^2$$

$$\Delta\epsilon = (0.777118 m\Omega) \times (604,1A - 603A)^2$$

$$\Delta\epsilon = 1.032 \frac{kW}{h}$$

Este ahorro quedaría anualmente de la siguiente manera:

$$1.032 \text{ kW/h} \times 24(\text{horas}) \times 30 (\text{días}) \times 12 (\text{meses}) = 8,916.48 \text{ kW/h año.}$$

Este valor representa un porcentaje del 3,2 % en la energía no asociada a la producción, generando un ahorro de \$ 1'961.520 anual, por concepto de pago en la factura de energía eléctrica.

Formula cálculo de ahorro:

$$8,916.48 \text{ kW/h} \times \$220 = \$1'961.520 \text{ M/C}$$

23. RECOMENDACIONES.

De acuerdo a cada uno de los aspectos analizados en la empresa Alimentos Cárnicos se establecen las siguientes recomendaciones:

- Implementar un sistema de gestión energética capaz de mejorar la integración entre el mantenimiento y la productividad, logrando la optimización operacional de la planta, racionalizando y controlando cada uno los consumos de la energía eléctrica en las líneas de producción mediante las siguientes pautas:
 - Medición de la energía eléctrica y la producción asociada
 - Establecimiento de líneas base
 - Establecimiento de indicador de desempeño
 - Establecimiento de grafico de control de desempeño energético
 - Procedimientos de análisis y corrección de desviaciones del desempeño energético esperado
 - Capacitación del personal de mantenimiento y de operación para procurar la eficiencia energética en la planta
- Implementar indicadores de eficiencia energética, que permitan tomar acciones predictivas, desplazando a los típicos indicadores energéticos con que hoy en día cuenta la planta los cuales no son técnicamente soportados ni monitoreados día a día.
- Incluir para determinar el presupuesto de los años siguientes la metodología anteriormente expuesta donde realmente si se pueda cumplir con la meta impuesta.
- Realizar un estudio de calidad de energía y de eficiencia energética individualmente, en cada uno de los equipos y líneas de producción con mayor consumo en la planta, con el fin de obtener oportunidades de mejoras que día a día contribuyan a la eficiencia de cada uno de los procesos de producción.
- Radicar la implementación del cambio de equipos de producción como motores eléctricos, compresores de refrigeración con amoniaco y líneas

de procesos por equipos de alta eficiencia, soportado en la viabilidad del retorno de la inversión en un corto tiempo.

- Instalación de un sistema de filtrado pasivo contra armónicos; capaz de devolver en un periodo de dos años el valor de la inversión, con el fin de contribuir al ahorro energético, por medio de los kW/h que se dejan de consumir en la instalación eléctrica de la subestación eléctrica No 1, por la falta de consumo de las corrientes armónicas las cuales son eliminadas por el filtro.

24. CONCLUSIONES.

Con la implementación de este proyecto de grado se evidencio cada uno de los comportamientos de la calidad de la energía eléctrica que presenta la planta de Alimentos Cárnicos, a nivel de frontera comercial en los transformadores principales, resaltando los siguientes análisis más importantes del estudio:

- De acuerdo a la norma IEEE 519-12, con respecto al cumplimiento del TDD, el análisis en el transformador marca Suntec correspondiente a la subestación eléctrica No. 1 arrojo un comportamiento variable, en comparación con el valor de cumplimiento que recomienda esta norma que debe ser del 5% si la relación entre la corriente de corto circuito y la corriente fundamental es menor a 20, se destaca que el 50% de los datos analizados están por encima del límite establecido por esta norma, incurriendo en una no conformidad a nivel de cumplimiento de la normatividad, se recomienda realizara un análisis más detallado con respecto a las cargas que inciden en este comportamiento mitigando esta falencia.
- Referente a la eficiencia de cada uno de los transformadores, el análisis destaca que para el transformador marca suntec de 1500 kVA con la influencia de armónicos en su operación continua tiene una corriente máxima admisible del 95.99% operando actualmente con un factor de carga por corriente del 16.57%, permitiendo admitir más cargas sin que se vea afectado su eficiencia.
- En el transformador marca siemens de 630 kVA correspondiente a la subestación eléctrica No. 2 el nivel de la corriente admisible de este transformador es más alto en comparación con el primer transformador con un 98.13% pero su factor de carga es del 47.11% muy por encima del valor del primer transformador destacando que este equipo todavía puede ser cargado con un 50% de mas sin que sufre consideraciones en su eficiencia.
- Para todo el análisis de la calidad de la energía eléctrica que se realizó en la empresa Alimentos Cárnicos planta Barranquilla se destaca la

utilización de un programa en visual Basic que fue de gran ayuda, debido a que todos los datos arrojados por el analizador de red fueron procesados por este programa y determinando resultados soportados por la norma IEEE 519-12. Esta herramienta computacional será de gran ayuda para futuros proyectos de consultoría que la CUC decida realizar en esta temática de calidad de energía eléctrica. Igualmente, queda abierta a futuras mejoras y actualizaciones, necesarias para mantener la herramienta al día en materia de nuevos avances.

- Como resultado de la caracterización energética destacamos el diagrama de Pareto en el cual se evidencia cuáles son los equipos y líneas de la producción que presentan mayor consumo de energía eléctrica en la planta, siendo la línea de salchicha la de mayor consumo con un 17% del consumo total, el emulsificador COZZINI representa el motor con más consumo de energía eléctrica dentro de los motores que intervienen directamente en el proceso de producción, con un 14% del total de la energía consumida en la planta.
- El establecimiento de líneas base para tener mejores procesos de productividad minimizando al máximo la energía no asociada (ENAP), teniendo mejoras en las prácticas operacionales de gestión del mantenimiento, al igual que la utilización de estas líneas base para la programación de los futuros niveles de producción y de los diferentes consumos de energía eléctrica.
- El estudio de la caracterización energética también precipito una serie de potenciales de ahorro que la planta puede llegar a alcanzar referente al consumo de la energía eléctrica, este potencial de ahorro tiene un valor del **7.45%** dividido en un **3.26%** por mejoras en las practicas operacionales y gestión de mantenimiento y un **4.19%** por planeación de la producción.
- En base a la propuesta de los indicadores de eficiencia energética para poder lograr un ahorro a través de las practicas operacionales es vital la implementación de estos indicadores y su monitoreo permanentemente, los indicadores que se proponen son; tendencia acumulada de consumo

de energía, que simplemente es la suma acumulada de la diferencia entre la energía real y la energía base, indicador base 100 que relaciona la energía base y la energía real consumida en la planta y el presupuesto de energía a partir de la línea base de consumo.

- En el impacto que ejercen los armónicos sobre la eficiencia de la energía eléctrica en la compañía, resaltamos lo importante de reducir este consumo energético, por la disminución de corrientes reactivas, que en determinado punto genera una disminución de la energía no asociada a la producción (ENAP), la cual se analiza en la caracterización energética.
- Otro punto importante a resaltar es como la mitigación de estas corrientes armónicas que en un principio originaban un no cumplimiento de la compañía se convierten en un ahorro importante, permitiendo a la empresa ser mas competitiva ya que tiene la posibilidad de aumentar sus niveles de producción con menos consumo de energía eléctrica, (kW/h).
- Con la instalación de los filtros pasivos además de reducir la incidencia de los armónicos en la instalación y de llevar al cumplimiento de la compañía, se destaca el ahorro de un 3,2% de la energía no asociada a la producción (ENAP), representados con un valor de \$ 1'961.520 M/C.

BIBLIOGRAFIA

- INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality. IEEE 1159. Estados Unidos. 1995.
- INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems. IEEE 519. Estados Unidos. 1993.
- INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions. IEEE 1459. New York. 2010
- INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. Recommended Practice for Establishing Transformer Capability When Supplying Nonsinusoidal Load Currents. IEEE C57.110. Estados Unidos 1986.
- DUGAN Roger y MCGRANAGHAN Mark. Electrical Power Systems Quality. 2 ed. McGraw-Hill. Estados Unidos. 1996.
- ORGANIZACION INTERNACIONAL PARA LA ESTANDARIZACION. Sistema de gestión de la energía. Requisitos con orientación para su uso. ISO 50001:2011. 1 ed. Ginebra, Suiza: ISO, 2011.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION. Electrotecnia, tensiones y frecuencias nominales en sistemas de energía eléctrica en redes de servicio público. NTC 1340. Bogotá D.C.: El Instituto, 2004. 6 p.
- SARMIENTO JADAN Freddy y SANCHEZ CALLE Víctor. Análisis de la calidad de la energía eléctrica y estudio de carga de la universidad politécnica salesiana sede cuenca. Trabajo de grado ingeniero eléctrico. Cuenca. Universidad Politécnica Salesiana. Facultad de ingeniería. Departamento de ingeniería eléctrica. 2009. 179 p.

- EGUILUZ Lina, CANTELI Mañana y LAVANDERO GONZALEZ Juan. El futuro en la facturación de la energía eléctrica. Universidad de Cantabria. Departamento de ingeniería eléctrica y energética.
- UNIVERSIDAD DEL ATLANTICO. Calidad de la energía eléctrica.
- COLOMBIA. COMISION REGULADORA DE ENERGIA Y GAS. Resolución 108 (11, julio, 1997). Por la cual se señala criterios generales sobre protección de los derechos de los usuarios de los servicios públicos domiciliarios de energía eléctrica y gas combustible por red física, en relación con la facturación, comercialización y demás asuntos relativos a la relación entre la empresa y el usuario, y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C. CREG, 1997. 28 p.
- COLOMBIA. COMISION REGULADORA DE ENERGIA Y GAS. Resolución 070 (28, mayo, 1998). Que la comisión elaboro un proyecto de Reglamento de Distribución, el cual fue discutido ampliamente con las empresas y entidades del sector eléctrico colombiano. Bogotá D.C. CREG, 1998. 63 p.
- COLOMBIA. COMISION REGULADORA DE ENERGIA Y GAS. Resolución 082 (17, Diciembre, 2002). Por la cual se aprueban los principios y la metodología de los cargos por uso de los Sistemas de Transmisión Regional y Distribución Local. Bogotá D.C. CREG, 2002. 74 p.
- COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 142 (11, julio, 1994). SERVICIOS PUBLICOS DOMICILIARIOS. Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C. 1994. 597 p.
- COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 143 (12, julio, 1994). Por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional, se conceden unas autorizaciones y se dictan otras disposiciones en materia energética. Bogotá D.C. 1994. 347 p.
- ORTIZ TAMAYO Ramón. Evaluación de la calidad de la potencia eléctrica (CPE). Ante eventos de corta duración en un sistema de distribución.

(metodología para la aplicación en el SDL de EEPPM). Trabajo de grado maestría en ingeniería. Medellín. Universidad pontificia bolivariana. Escuelas de ingeniería. Facultad de ingeniería eléctrica. 2006. 131 p.

- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION. Referencias bibliográficas. Contenidos, formas y estructuras. NTC 5613. Bogotá. D.C.: El instituto. 2008. 38 p.

ANEXOS.

25.1. Certificado de pruebas técnicas. Transformador marca SUNTEC.
1500 KVA.

		TRANSFORMADORES SUNTEC S.A. CALLE 76 No 45A-104 ITAGÜI (COL.) CONMUT. (574) 3722622 FAX (574) 2779437 suntec@suntecrafo.com.co		CERTIFICADO DE PRUEBAS PARA TRANSFORMADORES CERTIFICADO No: 796901E HOJA 1/1 NORMA DE ENSAYO: NTC							
CLIENTE: FRIGORIFICO CONTINENTAL S.A.		ORDEN DE PRODUCCIÓN: 7969		FABRICANTE: SUNTEC S.A.							
TIPO: OTHV 3 TRANSFORMADOR EN ACEITE		No SERIE: 796901E									
POT:	1500 KVA	TIPO DE REFRIG:	ONAN	TEN.SERIE:	15/1.2 kV	CALENT DEVIADO:	65 °C	ALT. DISEÑO:	1000 msnm		
FASES:	3	FRECUENCIA:	60 Hz	NRA AT/BT:	95/30 kV	CLASE AISLAMIENTO:	Ao	FECHA FAB:	Abr-2004		
VALORES NOMINALES	DEVANADOS	TENSIÓN (V)	DESPACHO (V)	DERIVACIONES		CORRIENTE (A) DESPACHO (A)					
ALTA TENSION		13200	13200	2*2.5% a -2*2.5%		65.61	65.61				
BAJA TENSION		228/132	228/132			3798.36	3798.36				
RESULTADO DE ENSAYO A:		26 °C		POSICIÓN CONTACTADOR:		3					
1) LIQUIDO AISLANTE:		ACEITE		REFERENCIA:		MINERAL		TENSIÓN RUPTURA: >30 kV		MÉTODO: ASTM D-877	
2) RESISTENCIA DE AISLAMIENTO		TENS DE PRUEBA		AT CONTRA TIERRA		BT CONTRA TIERRA		AT-BT Y TIERRA			
TIEMPO DE LECTURA: 1 min		5 kV dc		>5000 MEGOHMS		>5000 MEGOHMS		>5000 . MEGOHMS			
3) RELAC. DE TRANSFORMACIÓN:		POLARIDAD:		N.A		GRUPO DE CONEXIÓN:		Dyn5		FASE-FASE: FASE-NEUTRO: X	
POSICIÓN	TENSIÓN DERIVACION	FASE U	FASE V	FASE W	NOMINAL	MINIMO	MAXIMO				
1	13860	105.183	105.145	105.190	105.290	104.764	105.816				
2	13530	102.683	102.645	102.690	102.783	102.269	103.297				
3	13200	100.183	100.183	100.193	100.277	99.776	100.778				
4	12870	97.694	97.548	97.703	97.770	97.281	98.259				
5	12540	95.195	95.176	95.203	95.263	94.787	95.739				
4) RESISTENCIA ENTRE TERMINALES	DEVANADOS ALTA TENSION: 0.880	BAJA TENSION: 0.249	0.873	0.246	0.874	0.251	PROVEDOR: OHMS	MATERIAL DE FABRICACIÓN: COBRE			
5) ENSAYOS DE AISLAMIENTO		5a) TENSIÓN APLICADA DURANTE 60 SEGUNDOS, 60 Hz		5b) TENSIÓN INDUCIDA		TENSIÓN: 456 V		TEMPO: 17.3 Sg			
		AT CONTRA BT Y TIERRA: 34 kV				FRECUENCIA: 415 Hz					
		BT CONTRA AT Y TIERRA: 10 kV									
6) ENSAYOS SIN CARGA	TENSIÓN (V): 228	I ₀ (A): 18.88	I _w (A): 18.76	I _{lv} (A): 19.48	PROM I ₀ (%): 0.501	GARANTIA I ₀ (%): 1.5	P ₀ MEDIDO (W): 1946	P ₀ GARANT (W): 2397			
7) ENSAYO DE CORTOCIRCUITO	PERDIDAS Cu (W): 13838	MEDIDAS A: 26 °C		REFERIDAS A: 85 °C		GARANTIZADAS A: 85 °C					
I _{cc} : 65.61 (A)	PR (W): 11082										
V _{cc} : 892.45 (V)	IMPEDANCIA (%): 6.76										
8) REGULACIÓN A PLENA CARGA Y F.P.:	0.8	4.98 %	9) EFICIENCIA A PLENA CARGA Y F.P.:		0.8	98.54 %					
10) DURACIÓN DEL CORTO CIRCUITO EN (SEG):	2.00		11) CORRIENTE DE CORTO CTO. A.T./B.T. EN (KA):		0.97/56.02						
12) CARACTERÍSTICAS MECANICAS. MASA TOTAL:	4020 kg		13) VOLUMEN DEL LIQUIDO AISLANTE:		1033 lts						
14) DIMENS. APROX. DEL TANQUE PRINCIPAL (mm)	LARGO: 1387		ANCHO: 610		ALTO: 1700						
15) PINTURA	COLOR: GRIS		ESPESOR: 120		ANCHO: 130						
16) REFRIGERACIÓN	NUMERO DE ELEMENTOS: 6 x 12		LARGO: 1200								
OBSERVACIONES: * TENSION NOMINAL DE DESPACHO		ESTE TRANSFORMADOR NO CONTIENE PLOMO									
CLIENTE/INTERVENTOR:		PROVEEDOR/CONTROL CALIDAD: FREDY AUGUSTO GÓMEZ R.									
MATRICULA No:		FECHA: 2004/04/30									

25.2. Prueba de Resistencia de Aislamiento (MEGGER). Transformador Marca Siemens, 630 kVA. Subestación Eléctrica No 2.

TRANSFORMADORES DEL CARIBE Y REPRESENTACIONES S A
Nit. 802.020.642-3

Calle 75 No. 72 - 90
Tel. (57) 5 3682197 - 3532938 - 3681167
Fax: (57) 5 3682198 - Cel: 3006091585
A.A. 50851 Barranquilla - Colombia
tradelca@etb.net.co www.tradelca.com





Transformador No 2.

Prueba de Resistencia de Aislamiento (Megger)

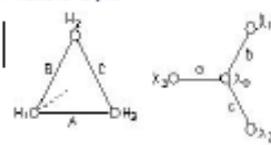
Temperatura 32°C Tensión Prueba.

A.T. contra B.T	6000 M?	5000 V
A.T. contra tierra	6000 M?	5000 V
B.T. contra tierra	3000 M?	1000 V

Observaciones: Los resultados se encuentran dentro de los parámetros permitidos.

Relación de Transformación (TTR)

Phasors: Dyn5



Phase	H-X	Connections	CT	Winding Shorted
A	H1-H3, X3-X0	H-Y	-	-
B	H2-H1, X1-X0	-	-	-
C	H3-H2, X3-X0	-	-	-

Phase	CT		Nameplate voltage			Taps			Ratio			Phase	I _{exc} mA	Resistance		Pass or Fail	
	Prim Amps	Sec Amps	H Volts	X Volts	Y Volts	H	X	Y	Calc Ratio	Meas Ratio	% Dev			Prim Ohms	Sec Ohms		
A	-	-	13860	228	-	1	-	-	105.29	105.59	0.28	21.3m	0.284	2.8943	0.0060	Pass	
B	-	-	13860	228	-	1	-	-	105.29	105.45	0.15	21.5m	0.252	3.1021	-	Pass	
C	-	-	13860	228	-	1	-	-	105.29	105.44	0.14	21.1m	0.199	2.7420	0.0008	Pass	
A	-	-	13530	228	-	2	-	-	102.79	103.03	0.24	21.7m	0.270	2.4844	0.0132	Pass	
B	-	-	13530	228	-	2	-	-	102.79	102.97	0.18	21.4m	0.270	2.5877	0.0014	Pass	
C	-	-	13530	228	-	2	-	-	102.79	102.95	0.16	21.3m	0.203	2.4355	-	Pass	
A	-	-	13200	228	-	3	-	-	100.29	100.54	0.27	21.3m	0.277	2.3848	0.0009	Pass	
B	-	-	13200	228	-	3	-	-	100.29	100.47	0.19	21.3m	0.280	2.4355	-	Pass	
C	-	-	13200	228	-	3	-	-	100.29	100.47	0.19	21.2m	0.210	2.3848	0.0039	Pass	
A	-	-	12870	228	-	4	-	-	97.770	97.972	0.21	21.1m	0.288	2.3848	0.0191	Pass	
B	-	-	12870	228	-	4	-	-	97.770	97.912	0.15	21.2m	0.292	2.4852	-	Pass	
C	-	-	12870	228	-	4	-	-	97.770	97.954	0.19	21.0m	0.218	2.3848	-	Pass	
A	-	-	12540	228	-	5	-	-	95.263	95.542	0.29	20.7m	0.299	2.4881	0.0005	Pass	
B	-	-	12540	228	-	5	-	-	95.263	95.443	0.19	20.8m	0.302	2.5408	-	Pass	
C	-	-	12540	228	-	5	-	-	95.263	95.410	0.15	20.7m	0.228	2.6932	-	Pass	
POSICION DEL TAP EN QUE QUEDA																	
A	-	-	13200	228	-	3	-	-	100.29	100.54	0.26	20.9m	0.276	2.3340	-	Pass	
B	-	-	13200	228	-	3	-	-	100.29	100.44	0.16	21.2m	0.276	2.3866	0.0096	Pass	
C	-	-	13200	228	-	3	-	-	100.29	100.44	0.16	21.3m	0.204	2.3848	-	Pass	

25.3. TABLA IEEE 519 – 12. Límites de cumplimiento de la DISTORSION TOTAL DE LA DEMANDA (TDD).

Table 10-3 – Current Distortion Limits for General Distribution Systems (120 V Through 69 000 V)

Maximum Harmonic Current Distortion in Percent of I_L						
Individual Harmonic Order (Odd Harmonics)						
I_H/I_L	<11	11,ab<17	17,ab<23	23,ab<35	35,ab	TDD
<20*	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Even harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits above.

Current distortions that result in a dc offset, e.g., half-wave converters, are not allowed.

* All power generation equipment is limited to these values of current distortion, regardless of actual I_H/I_L .

where
 I_H = maximum short-circuit current at PCC.
 I_L = maximum demand load current (fundamental frequency component) at PCC.

25.4. Valor de la corriente Cortocircuito (Icc), Suministrada por el operador de red. Empresas Públicas de Medellín (EPM).

+Tú Búsqueda Imágenes Maps Play YouTube Noticias Gmail Drive Calendar Más -

Google Luis.Cardenas@epm.com.co

Gmail - Mover a Recibidos Más -

REDACTAR

Recibidos (31)
Destacados
Importante
Enviados
Borradores (40)

CREANDO EMPRE...
Mercado libre
NH3 (6)
pagos bancolomb
Personal (21)
Viajes
Más -

inténtalo ahora
No se puede establecer contacto con Gmail. Revisa tu conexión a Internet o la configuración de red de la empresa.
Buscar contactos...

De: Injerman Garcia Gutierrez [mailto:igarcia@electricaribe.com]
Enviado el: martes, 06 de noviembre de 2012 05:44 p.m.
Para: LUIS FERNANDO CARDENAS PIEDRAHITA
CC: GILBERTO SALAZAR GOMEZ; Luis Eduardo Anguila Gomez
Asunto: RE: Solicitud nivel corto circuito ALIMENTOS CARNICOS - PLANTA BARRANQUILLA

Buenos tardes Luis Fernando,

De acuerdo a su solicitud, se remiten los datos de corto circuito en el CT 3401L, del circuito Lucero y que pertenece al cliente Alimentos Cárnicos:

DATOS CORTO CIRCUITO	
Trifásico	Monofásico
[Sec (MVA) 155.11]	[Sec (MVA) 29.52]
[Icc (kA) 5.49]	[Icc (kA) 3.58]
[R (Ohm) 0.5]	[R0 (Ohm) 0.939]
[X (Ohm) 1.25]	[X0 (Ohm) 4.58]

Esta información debe reposar en un expediente que solicitó EPM por aumento de potencia de Alimentos Cárnicos - Cunit (Expediente P11102012070212)

Cordialmente,

Injerman Garcia Gutierrez
Responsable Fronteras Comerciales
ELECTRICADORA DEL CARIBE S.A. E.S.P.
3611622 - Móvil 311 435 1716
Email: igarcia@electricaribe.com
Cl. 779 No 59B - 27 P1 Barranquilla - Atlántico
(Embedded image moved to file: pic10213.gif)
cid:image001.gif@01CC2AA1.2815B5E0

De: LUIS FERNANDO CARDENAS PIEDRAHITA [mailto:Luis.Cardenas@epm.com.co]
Enviado el: Martes 6 de Noviembre de 2012 09:28 AM
Para: Injerman Garcia Gutierrez
CC: GILBERTO SALAZAR GOMEZ; Luis Eduardo Anguila Gomez
Asunto: Solicitud nivel corto circuito ALIMENTOS CARNICOS - PLANTA BARRANQUILLA

25.5. TABLA IEEE 519 – 12. Limite por Distorsión de Tensión. (THV).

Table 11-1 – Voltage Distortion Limits

Bus Voltage at PCC	Individual Voltage Distortion (%)	Total Voltage Distortion THD (%)
69 kV and below	3.0	5.0
69.001 kV through 161 kV	1.5	2.5
161.001 kV and above	1.0	1.5

NOTE — High-voltage systems can have up to 2.0% THD where the cause is an HVDC terminal that will attenuate by the time it is tapped for a user.