

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA INSTALACIÓN  
DE MEDIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA BASADOS EN EL ESTÁNDAR  
IEEE 1459-2000 EN USUARIOS NO REGULADOS DE UNA EMPRESA DEL  
SECTOR ELÉCTRICO EN COLOMBIA**

**ERICK ALEXANDER LARA TUTA  
SORANY NIÑO GORDILLO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES Y  
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES  
BUCARAMANGA**

**2012**

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA INSTALACIÓN  
DE MEDIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA BASADOS EN EL ESTÁNDAR  
IEEE 1459-2000 EN USUARIOS NO REGULADOS DE UNA EMPRESA DEL  
SECTOR ELÉCTRICO EN COLOMBIA**

**ERICK ALEXANDER LARA TUTA  
SORANY NIÑO GORDILLO**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para obtener el título de  
Ingeniero Electrónico e Ingeniera Industrial**

**Directores de Proyecto:  
GABRIEL ORDÓÑEZ PLATA  
Ingeniero Electricista, PhD.  
NÉSTOR RAÚL ORTIZ PIMIENTO  
Ingeniero Industrial, Ms.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES Y  
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES  
BUCARAMANGA**

**2012**

## DEDICATORIA

*Mi tesis la dedico con todo amor y cariño.*

*A ti Dios por haberme permitido llegar hasta este punto siendo mi guía e iluminándome el camino, brindándome salud y fortaleza para lograr mis objetivos, además de tu infinita bondad y amor.*

*Con mucho amor principalmente a mi querida madre porque es la luz que alegra mi corazón. No tengo palabras que puedan describir mi gratitud, eres la persona que durante todos estos años ha confiado en mí, brindándome tu esfuerzo invaluable y sacrificio admirable, convirtiéndote en la gestora principal de este importante logro.*

*A Rodolfo Díaz y a mi familia materna abuelos, tíos y primos, quisiera nombrarlos a cada uno de ustedes pero son muchos, gracias por estar conmigo, y apoyarme.*

*A mi compañero de proyecto, mi amigo, solo quiero darte las gracias por todo el apoyo que me has dado durante el transcurso de mi carrera y de mi vida y el aliento que me regalas para continuar y seguir con mi camino, gracias por estar conmigo y recuerda que eres muy importante para mí.*

*A mí querido esposo e hija por la incondicionalidad y el ánimo que me brindaron día a día para que este sueño fuera realidad. Los amo.*

*A todos mis amigos y colegas a todos los que directa o indirectamente influyeron con sabios consejos en el camino que tomé, les expreso mi reconocimiento por la cooperación que siempre recibí de diferentes maneras.*

*¡Gracias a todos!*

*“Hermoso es lo que vemos. Más hermoso es lo que sabemos. Pero mucho más hermoso es lo que no conocemos” (Niels Steensen)*

SORANY

## DEDICATORIA

*A Dios.*

*Por permitirme llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.*

*A mis padres y hermanas.*

*Por su incondicional apoyo a quienes debo todos mis éxitos, quienes siempre estuvieron ahí y con todos sus esfuerzos me hicieron un profesional.*

*A todos mis familiares y amigos que me resulta muy difícil poder nombrarlos en tan poco espacio, sin embargo ustedes saben quiénes son.*

*A todas las personas que confiaron en mí y en la realización de mi proyecto de vida*

*ERICK*

## **AGRADECIMIENTOS**

Expresamos nuestros sinceros agradecimientos a las entidades y personas que se mencionarán a continuación y a todos aquellos que de una u otra manera nos apoyaron en la realización del presente trabajo de grado.

A la Universidad Industrial de Santander, por brindarnos la infraestructura adecuada para prepararnos como profesionales íntegros.

A Gabriel Ordóñez Plata y Néstor Raúl Ortiz Pimiento, Directores del proyecto, por sus valiosos aportes y sugerencias.

A Manuel Urbano Cala Flórez, por su importante orientación y confianza depositada en nuestras capacidades.

A Jesús David Angulo Acero, por sus recomendaciones y apoyo incondicional.

A toda persona que de una u otra forma participaron y contribuyeron a lograr el objetivo trazado.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	26
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO .....	29
1.1. OBJETIVOS.....	29
1.1.1. Objetivo general. ....	29
1.1.2. Objetivos específicos. ....	29
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	30
1.3. JUSTIFICACIÓN Y MOTIVACIÓN.....	31
2. GENERALIDADES SOBRE MEDICIÓN DE POTENCIA Y ENERGÍA .....	33
2.1. CLASIFICACIÓN DE CLIENTES.....	33
2.2. FACTURACIÓN DE ENERGÍA.....	37
2.2.1. Estructura de tarifas .....	37
2.3. SISTEMAS DE MEDICIÓN.....	38
2.4. MODELOS DE MEDICIÓN DE POTENCIA.....	39
2.4.1. Modelo IEEE Std 1459-2000/2010.....	39
2.5. MEDICIÓN DIGITAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	47
3. MEDIDORES DIGITALES DE ENERGÍA ELÉCTRICA UTILIZADOS POR GRANDES CLIENTES.....	48
3.1. ALGORITMOS DE ESTIMACIÓN USADOS EN LOS MEDIDORES.....	49
3.1.1. Medidor A.....	49
3.1.2. Medidor B.....	51
3.1.3. Medidor C.....	53
3.1.4. Medidor D.....	54
4. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	57
4.1. DEFINICIÓN DE LA POBLACIÓN OBJETIVO Y MARCO MUESTRAL ...	57
4.2. UNIDAD DE MUESTREO.....	58
4.3. TÉCNICA DE MUESTREO.....	59
4.4. PROCESO DE SELECCIÓN DEL TAMAÑO DE MUESTRA.....	60

5.	SIMULACIÓN DE LAS ESTIMACIONES DE POTENCIA.....	66
5.1.	MONITORIZACIÓN DE LAS SEÑALES DE TENSION Y CORRIENTE ...	66
5.2.	PROCESAMIENTO DE DATOS .....	68
5.3.	ESCENARIOS DE CARGA.....	70
5.4.	ESTIMACIÓN DE INCERTIDUMBRE.....	71
5.4.1.	Usuarios conectados en dos elementos.....	73
5.4.2.	Usuarios conectados en 3 elementos .....	75
6.	VALIDACIÓN DEL ALGORITMO MÁS EFICIENTE. ....	79
6.1.	DISEÑO EXPERIMENTAL PARA CLIENTES CON CARGA ELÉCTRICA BALANCEADA .....	80
6.1.1.	Anova factorial para clientes con carga eléctrica balanceada.....	82
6.2.	DISEÑO EXPERIMENTAL PARA CLIENTES CON CARGA ELÉCTRICA NO BALANCEADA.....	90
6.2.1.	Anova factorial para clientes con carga eléctrica no balanceada.....	91
7.	IMPACTO EN LA FACTURACIÓN .....	96
7.1.	IMPACTO DE USUARIOS CONECTADOS EN DOS ELEMENTOS.....	100
7.1.1.	Grupo de clientes con carga eléctrica balanceada.....	101
7.1.2.	Grupo de clientes con carga eléctrica no balanceada.....	103
7.2.	IMPACTO PARA USUARIOS CONECTADOS EN TRES ELEMENTOS	105
7.2.1.	Grupo de clientes con carga eléctrica balanceada.....	105
7.2.2.	Grupo de clientes con carga eléctrica no balanceada.....	106
7.3.	COMPARATIVO DE ESTIMACIONES RESPECTO A IEEE 1459- 2000/2010 .....	108
7.4.	OBSERVACIONES DE LOS ESCENARIOS DE CARGA.....	110
7.4.1.	Observaciones del escenario de carga balanceada.....	110
7.4.2.	Observaciones del escenario de carga no balanceada.....	111
8.	ANÁLISIS DE OFERTA TECNOLÓGICA Y ANÁLISIS AMBIENTAL .....	113
8.1.	ANÁLISIS DE OFERTA TECNOLÓGICA .....	113
8.1.1.	Dispositivos que implementan el estándar IEEE 1459-2000/2010...	113
8.2.	ANÁLISIS AMBIENTAL .....	117

8.2.1.	Identificación y clasificación de los residuos .....	118
8.2.2.	Consideraciones para la disposición de los residuos .....	119
8.2.3.	Aspectos e impactos ambientales .....	124
8.2.4.	Requisitos legales y otros requisitos .....	125
9.	ANÁLISIS ECONÓMICO .....	126
9.1.	ESTIMACIÓN DE COSTOS E INGRESOS .....	127
9.1.1.	Costos .....	127
9.1.2.	Ingresos .....	131
9.2.	EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	135
9.2.1.	Flujo de caja económico.....	136
9.2.2.	Determinación de los indicadores de evaluación .....	142
9.2.3.	Determinación de los beneficios intangibles .....	143
10.	CONCLUSIONES .....	145
11.	RECOMENDACIONES .....	147
	BIBLIOGRAFÍA.....	148
	ANEXOS.....	151

## LISTAS DE TABLAS

Tabla 1. Cumplimiento de objetivos.....	28
Tabla 2. Nombre y descripción de cada una de las componentes de potencia del modelo IEEE 1459-200/2010 para sistemas de tres hilos. ....	45
Tabla 3. Población objeto de estudio.....	57
Tabla 4. Total clientes industriales.....	58
Tabla 5. Errores porcentuales en el medidor A.....	61
Tabla 6. Errores porcentuales en el medidor D.....	61
Tabla 7. Errores porcentuales en el medidor C.....	61
Tabla 8. Errores porcentuales en el medidor B.....	62
Tabla 9. Valores de variación en las proporciones .....	62
Tabla 10. Distribución de las marcas de medidores seleccionados.....	63
Tabla 11. Tamaño de muestra para cada uno de los estratos.....	64
Tabla 12. Tamaño de muestra para cada nivel de tensión y cada uno de los estratos .....	64
Tabla 13. Clasificación de los algoritmos de medida objeto de estudio .....	68
Tabla 14. Rangos de consumo según los modos y niveles de tensión.....	71
Tabla 15. Incertidumbre en conexión de dos elementos y carga balanceada, nivel 2 de tensión .....	73
Tabla 16. Incertidumbre en conexión de dos elementos y carga balanceada, nivel 3 de tensión .....	74
Tabla 17. Incertidumbre en conexión de dos elementos y carga no balanceada, nivel de tensión 2 .....	74
Tabla 18. Incertidumbre en conexión 3 elementos, carga balanceada y nivel de tensión 2 .....	75
Tabla 19. Incertidumbre en conexión 3 elementos y carga balanceada y nivel de tensión 3 .....	76

Tabla 20. Incertidumbre en conexión 3 elementos, carga no balanceada y nivel de tensión 2 .....	77
Tabla 21. Diseño factorial para clientes con carga eléctrica balanceada.....	82
Tabla 22. ANOVA factorial.....	84
Tabla 23. Subconjuntos homogéneos.....	85
Tabla 24. Diseño factorial para clientes con carga eléctrica no balanceada.....	91
Tabla 25. ANOVA factorial.....	92
Tabla 26. Subconjuntos homogéneos.....	93
Tabla 27. Impacto en la facturación en conexión de dos elementos, carga balanceada y nivel de tensión 2.....	101
Tabla 28. Impacto en la facturación en conexión de dos elementos, carga balanceada y nivel de tensión 3.....	102
Tabla 29. Impacto en la facturación en conexión en dos elementos, carga no balanceada y nivel de tensión 2.....	103
Tabla 30. Impacto en la facturación en conexión 3 elementos , carga balanceada y nivel de tensión 2 .....	105
Tabla 31. Impacto en la facturación en conexión 3 elementos, carga balanceada y nivel de tensión 3 .....	106
Tabla 32. Impacto en la facturación en conexión 3 elementos, carga no balanceada y nivel de tensión 2.....	107
Tabla 33. Comparativo de estimaciones respecto a IEEE 1459-2000/2010.....	108
Tabla 34. Valor comercial de los dispositivos que implementan el estándar .....	116
Tabla 35. Especificaciones técnicas. ....	117
Tabla 36. Componentes de los medidores digitales de energía .....	118
Tabla 37. Identificación y clasificación de los residuos generados .....	119
Tabla 38. Costos de los gestores de residuos ofertantes .....	123
Tabla 39. Costos generados por tipo de residuo .....	124
Tabla 40. Matriz de identificación de aspectos e impactos ambientales.....	124
Tabla 41. Costos unitarios para el cambio de conexión y algoritmo .....	128
Tabla 42. Costo total para usuarios conectados en nivel de tensión 2 .....	130

Tabla 43. Costo total para usuarios conectados en nivel de tensión 3 .....	130
Tabla 44. Ingresos de energía vendida.....	134
Tabla 45. Flujo de Caja para el Escenario 1.....	136
Tabla 46. Flujo de caja para el escenario 2. ....	138
Tabla 47. Flujo de caja para el escenario 3. ....	140
Tabla 48. Resultados de los indicadores de evaluación para cada escenario .....	142

## LISTAS DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de clientes.....	36
Figura 2. Nombre y descripción de cada sigla para la ecuación 19.....	43
Figura 3. Foto real tomada en campo Parque Nacional del Chicamocha .....	67
Figura 4. Distribución de clientes según la naturaleza de los datos.....	80
Figura 5. Interacción entre los factores tipo de algoritmo y nivel de tensión.....	87
Figura 6. Interacción entre tipo de algoritmo, nivel de tensión 2 y tipo de consumo .....	88
Figura 7. Interacción entre tipo de algoritmo, nivel de tensión 3 y tipo de consumo .....	89
Figura 8. Interacción entre los factores tipo de algoritmo y tipo de consumo .....	95
Figura 9. Analizador de calidad de energía POWERXPLOER PX5 .....	114
Figura 10. Analizador de Calidad de Energía PQM-701 .....	115
Figura 11. CEDTRI .....	116
Figura 12. Conexión con dos elementos y conexión tres elementos. ....	126
Figura 13. Distribución y cantidad de clientes para determinar los ingresos .....	133
Figura 14. Diagrama flujo de caja para el escenario 1.....	137
Figura 15. Diagrama flujo de caja para el escenario 2.....	139
Figura 16. Diagrama flujo de caja para el escenario 3.....	141

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo A.</b> Estructura tarifaria .....	151
Anexo A 1. Tarifa de la energía eléctrica.....	151
Anexo A 2. Costo unitario de prestación del servicio.....	152
<b>Anexo B.</b> Listado clientes industriales seleccionados.....	155
<b>Anexo C.</b> Usuarios conectados en dos elementos.....	157
Anexo C 1. Grupo de usuarios balanceados.....	157
Anexo C 2. Grupo de usuarios no balanceados.....	158
<b>Anexo D.</b> Usuarios conectados en 3 elementos.....	159
Anexo D 1. Grupo de usuarios balanceados.....	159
Anexo D 2. Grupo de usuarios no balanceados .....	160
<b>Anexo E.</b> Datos de factor de potencia para el diseño experimental de clientes con carga eléctrica balanceada .....	161
<b>Anexo F.</b> Validación de los supuestos para clientes con carga eléctrica balanceada .....	210
Anexo F 1. Supuesto de normalidad .....	210
Anexo F 2. Supuesto de homocedasticidad.....	212
<b>Anexo G.</b> Pruebas Post Hoc para clientes con carga eléctrica balanceada.....	213
Anexo G 1. Factor tipo de algoritmo.....	213
Anexo G 2. Interacción tipo de algoritmo y nivel de tensión.....	214
Anexo G 3. Interacción tipo de algoritmo, nivel de tensión y tipo de consumo .....	215
<b>Anexo H.</b> Datos de factor de potencia para el diseño experimental de clientes con carga eléctrica no balanceada .....	218
<b>Anexo I.</b> Validación de los supuestos para clientes con carga eléctrica no balanceada .....	231
Anexo I 1. Supuesto de normalidad .....	231
Anexo I 2. Supuesto de homocedasticidad .....	232

<b>Anexo J.</b> Pruebas Post Hoc para clientes con carga eléctrica no balanceada...	233
Anexo J 1. Factor tipo de algoritmo .....	233
Anexo J 2. Interacción tipo de algoritmo y tipo de consumo.....	234
<b>Anexo K.</b> Criterio de facturación de potencia reactiva .....	236
<b>Anexo L.</b> Características y destacados de PowerXplorer PX5.....	237
<b>Anexo M.</b> Especificaciones de medida. PQM-701 .....	238
<b>Anexo N.</b> Propuestas gestión integral de residuos medidores de energía eléctrica .....	240
Anexo N 1. Propuesta Gaia-Vitare .....	240
Anexo N 2. Propuesta Belmont Trading Company.....	247
Anexo N 3. Propuesta C.I. Recycables S.A.....	251
Anexo N 4. Propuesta Eycling .....	258
Anexo N 5. Propuesta Ecorecicla Ltda y Descont S.A. E.S.P .....	265
<b>Anexo O.</b> Ahorro en infraestructura.....	275

## GLOSARIO

**ACOPIO:** Acción tendiente a reunir productos desechados o descartados por el consumidor al final de su vida útil y que están sujetos a planes de gestión de devolución de productos posconsumo, en un lugar acondicionado para tal fin, de manera segura y ambientalmente adecuada, a fin de facilitar su recolección y posterior manejo integral.

**A.I.U.:** Es una estipulación que puede pactarse en los contratos en desarrollo del principio de la autonomía de la voluntad de las partes. Se refiere a los costos requeridos para la ejecución del contrato, donde: **A**, significa Administración y son los costos indirectos necesarios para el desarrollo de un proyecto; **I**, significa Imprevistos; **U**, significa Utilidad y es la ganancia que el contratista espera recibir por la realización del contrato.

**APROVECHAMIENTO Y/O VALORIZACIÓN:** Es el proceso de recuperar el valor remanente o el poder calorífico de los materiales que componen los residuos, por medio de la recuperación, el reciclado o la regeneración.

**ARMÓNICOS:** Son tensiones o corrientes sinusoidales cuyas frecuencias son múltiplos enteros de la frecuencia a la cual el sistema de alimentación está diseñado para operar.

**ASPECTO AMBIENTAL:** Elemento de las actividades, productos o servicios de una organización que puede interactuar con el medio ambiente.

**CIRCUITO NO LINEAL:** Es un circuito cuya relación entre tensión y corriente no se puede describir con una ecuación o sistema lineal.

**CONEXIÓN ARÓN:** El método de los dos vatímetros (conocido también como Método ARÓN) se utiliza para medir la potencia activa consumida por una carga equilibrada o desequilibrada sin hilo neutro

**DISEÑO DESBALANCEADO:** Es el diseño en el que el número de réplicas asignado a los tratamientos es diferente.

**DISPOSICIÓN FINAL:** Es el proceso de aislar y confinar los residuos, en especial los no aprovechables, en lugares especialmente seleccionados, diseñados y debidamente autorizados, para evitar la contaminación y los daños o riesgos a la salud humana y al ambiente.

**ENERGÍA ELÉCTRICA:** Forma de energía que se produce como resultado de una diferencia de potencial entre dos puntos, estableciéndose así entre ellos una corriente eléctrica y obteniéndose un trabajo.

**EXPERIMENTO MULTIFACTORIAL:** Es aquel en el que se estudia simultáneamente más de un factor.

**FACTOR:** Es la variable independiente. Es la variable que manipula el investigador, para estudiar sus efectos sobre la variable dependiente.

**FACTOR DE POTENCIA:** Se denomina factor de potencia de una instalación, a la relación entre la potencia activa y la potencia aparente consumida por dicha instalación. El factor de potencia es un coeficiente que mide el aprovechamiento de la instalación.

**FLUJO DE CAJA:** Herramienta administrativa y financiera de Tesorería que refleja las entradas (Ingresos) y salidas (Desembolsos) de dinero generadas en una entidad  
Flujo de caja: Herramienta administrativa y financiera de Tesorería que

refleja las entradas (Ingresos) y salidas (Desembolsos) de dinero generadas en una entidad.

**IMPACTO AMBIENTAL:** Cualquier cambio en el medio ambiente, ya sea adverso o beneficioso, como resultado total o parcial de los aspectos ambientales de una organización.

**MUESTRA:** Subconjunto de elementos de la población elegidos para estudiar y así tratar de inferir características de la población.

**MUESTREO:** Conjunto de operaciones encaminadas a determinar una muestra, su tamaño y demás características necesarios para identificar a los elementos que la forman.

**NIVEL DEL FACTOR:** Es cada una de las categorías, valores o formas específicas del factor.

**POBLACIÓN:** Conjunto formado por la totalidad de elementos con arreglo a unas características concretas.

**POBLACIÓN DE ESTUDIO:** Conjunto de elementos sobre los que se toma la muestra.

**POTENCIA:** Es el trabajo o transferencia de energía realizada en la unidad de tiempo. Se mide en Watt (W) o kilowatt (kW).

**POTENCIA ACTIVA (P):** Es el valor promedio de la potencia instantánea durante el intervalo de tiempo de observación.

**POTENCIA APARENTE (S):** Es la que resulta de considerar la tensión aplicada al consumo y la corriente que éste demanda, esta potencia es lo que limita la utilización de transformadores, líneas de alimentación y demás elementos componentes de los circuitos eléctricos.

**POTENCIA ELÉCTRICA:** Es la relación de paso de energía por unidad de tiempo; es decir, la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un tiempo determinado ( $p = dW / dt$ ). La unidad en el Sistema Internacional de Unidades es el vatio o watt.

**POTENCIA REACTIVA (Q):** Es la amplitud de una potencia instantánea oscilante.

**RESIDUO:** Es cualquier objeto, material, sustancia, elemento o producto resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios, que el generador abandona, rechaza o entrega, y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o de disposición final. Los residuos se dividen en ordinarios, peligrosos y reciclables.

**RESIDUO ORDINARIO:** Es todo material o sustancia sólida o semisólida de origen orgánico e inorgánico, putrescible o no, proveniente de actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicio, que no ofrece ninguna posibilidad de aprovechamiento, reutilización o reincorporación en un proceso productivo. Son residuos sólidos que no tienen ningún valor comercial, requieren tratamiento y disposición final y por lo tanto generan costos de disposición.

**RESIDUO PELIGROSO:** Es aquel que por sus características infecciosas, tóxicas, explosivas, corrosivas, inflamables, volátiles, combustibles, radiactivas o reactivas puedan causar riesgo o daño para la salud humana y el ambiente. También son

residuos peligrosos aquellos que sin serlo en su forma original se transforman por procesos naturales en residuos peligrosos. Así mismo, se consideran residuos peligrosos los envases, los empaques, y embalajes que hayan estado en contacto con ellos.

**RESIDUO RECICLABLE:** Es cualquier material, objeto, sustancia o elemento sólido que no tiene valor de uso directo o indirecto para quien lo genere, pero que es susceptible de incorporación a un proceso productivo.

**SISTEMA TRIFÁSICO BALANCEADO:** En ingeniería eléctrica un *sistema trifásico* es un sistema de producción, distribución y consumo de energía eléctrica formado por tres corrientes alternas de igual frecuencia y amplitud (y por consiguiente, valor eficaz) que presentan una diferencia de fase entre ellas, en torno a  $120^\circ$ , y están dadas en una secuencia determinada.

**SISTEMA TRIFÁSICO DESBALANCEADO:** Aquel que incumple alguna de las condiciones que caracterizan un sistema balanceado.

**TRATAMIENTO:** Es el conjunto de operaciones, procesos o técnicas mediante los cuales se modifican las características de los residuos o desechos peligrosos, teniendo en cuenta el riesgo y grado de peligrosidad de los mismos, para incrementar sus posibilidades de aprovechamiento y/o valorización o para minimizar los riesgos para la salud humana y el ambiente.

**UNIDAD EXPERIMENTAL:** Son los objetos, individuos, intervalos de espacio o tiempo sobre los que se experimenta.

**VARIABLE RESPUESTA:** Es la variable en estudio, aquella cuyos cambios se desean estudiar. Es la variable dependiente.

## RESUMEN

### TITULO:

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA INSTALACIÓN DE MEDIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA BASADOS EN EL ESTÁNDAR IEEE 1459-2000 EN USUARIOS NO REGULADOS DE UNA EMPRESA DEL SECTOR ELÉCTRICO EN COLOMBIA\***

### AUTORES:

ERICK ALEXANDER LARA TUTA  
SORANY NIÑO GORDILLO\*\*

### PALABRAS CLAVES:

Algoritmo de estimación de energía eléctrica, Estándar IEEE 1459-2000, Estudio de factibilidad técnica y económica, Impacto ambiental, Medidor de energía eléctrica, Potencia reactiva, Tipo de conexión.

### DESCRIPCIÓN:

El presente estudio tiene como objetivo identificar la viabilidad técnica y económica del proyecto, mediante el desarrollo de estudios interdisciplinarios. Se inicia con la presentación de conceptos generales acerca de medición de potencia, energía y los distintos sistemas de medición temas necesarios para el entendimiento del análisis técnico. Se realizó una descripción de los algoritmos de cada uno de los medidores digitales de energía eléctrica utilizados por una empresa del sector eléctrico en Colombia y una definición del algoritmo en estudio.

Para desarrollar el estudio, se seleccionó la muestra definiendo población objetivo compuesta por los clientes industriales del operador de red, se determinó el método de muestreo para establecer el tamaño de la muestra y seleccionar los clientes a estudiar para la monitorización de las señales de tensión y corriente. Recopilada esta información, es procesada con la herramienta Matlab por los algoritmos propuestos en el IEEE Std 1459-2000/2010 y los implementados en los equipos de medida analizados; posteriormente se determinan las incertidumbres debidas al tipo de conexión y tipo de algoritmo, y mediante análisis estadístico se validó el algoritmo 1 como el más eficiente que poseen los usuarios respecto a las estimaciones del estándar IEEE 1459-2000/2010, para culminar la sección técnica con la estimación del impacto en la facturación de potencia reactiva.

Adicionalmente se establecen los residuos que generan el cambio de medidores y el costo del proceso de disposición final mitigando impactos ambientales y acatando normas legales, mediante un análisis de oferta se establece que actualmente no hay dispositivos que implementen el Algoritmo IEEE 1459-2000. Finalmente se lleva a cabo un análisis económico dando un concepto de factibilidad a los escenarios planteados con base en los estudios anteriores.

---

\*Proyecto de Grado

\*\*Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones y Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. Directores: Gabriel Ordóñez Plata y Néstor Raúl Ortiz Pimiento.

## ABSTRACT

**TITLE:**

**TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY STUDY ON METERS INSTALLATION ELECTRICITY BASED ON IEEE 1459-2000 IN UNREGULATED ELECTRICAL COMPANY IN COLOMBIA\***

**AUTHORS:**

ERICK ALEXANDER LARA TUTA  
SORANY NIÑO GORDILLO\*\*

**KEYWORDS:**

Algorithm power estimation, IEEE Standard 1459-2000, Study of technical and economic feasibility, environmental impact, power device, Reactive Power concept, Connection type.

**DESCRIPTION:**

The project has an objective to identify the technical and economic feasibility by developing interdisciplinary studies. The project develops in many steps. In the beginning, it is necessary to be familiar with technical analysis concepts that will be described in this book such as power and energy measurement, different measurement systems, the algorithm concept, and a description of algorithms used by an electric company in Colombia on each power digital meter inside the company.

In order to develop this study, it was necessary to select a sample, a specific population which in this case will be industrial clients of the network operator. Once the sample is defined, the next step is to determine which sampling method will be used and then, to establish the sample size and to select clients who will be monitored by the voltage and current signals. Once the information is already collected, it will be processed in software called Matlab and will be compared with algorithm already established by IEEE Std 1459-200. Subsequently, it will be necessary to determine the uncertainties due to connection and algorithm type. After, the statistical analysis gave a result; Algorithm 1 was validated as the most efficient meter all users have according to IEEE 1459-2000. Finally, it will be necessary to estimate the Reactive power billing impact.

Additional to technical analysis, it is necessary to set waste metering and calculated their cost with the idea to decrease environmental impacts and follow the law. According to the supply analysis, there are no devices that implement the algorithm IEEE 1459-2000. To conclude this study, the authors performed an economic analysis which gives feasibility to scenarios proposed based on previous studies.

---

\* Graduation Project

\*\* Physical Mechanical Engineering Faculty School of Electrical Engineering and Telecommunications and School of Industrial and Employers. Directed by Gabriel Ordoñez Plata and Nestor Raul Ortiz Pimiento.

## INTRODUCCIÓN

El aumento de la confiabilidad de los dispositivos electrónicos es el responsable de su masiva implementación en las industrias, causante del aumento en la deformación de la onda de tensión provocando la aparición de armónicos en las redes de distribución.

Las perturbaciones en el transporte y distribución, se presentan en mayor grado en zonas con demanda industrial donde se pueden encontrar cargas con comportamiento no lineal, por consiguiente es importante que el sector eléctrico implemente sistemas de medición capaces de ofrecer lecturas precisas y versátiles que se ajusten a las condiciones actuales de las redes.

Las definiciones de potencia que actualmente utilizan los medidores de energía eléctrica que ofrecen las empresas comercializadoras de energía eléctrica coinciden con las formulaciones mundialmente aceptadas en régimen sinusoidal con carga lineal, sin embargo, en régimen no sinusoidal presentan grandes divergencias entre distintos autores.

En enero del año 2000 el IEEE propuso el estándar IEEE 1459-2000 (actualizada en el año 2010), el cual plantea definiciones para la cuantificación de cantidades de potencia eléctrica bajo diferentes condiciones, presentes en los actuales sistemas de corriente alterna, su importancia radica en establecer lineamientos para medición y cálculo de la energía en los sistemas modernos.

Aceptada la existencia de estos factores causantes de errores en las mediciones de potencia es necesario hacer un análisis comparativo de las mediciones que proporcionan los medidores de energía eléctrica que actualmente utilizan los grandes clientes contrastando con las del algoritmo propuesto en la norma

mencionada, con el fin de establecer las fortalezas del algoritmo y contemplar la necesidad de implementar dispositivos capaces de realizar mediciones más acordes con las nuevas características de los consumos industriales.

Evaluar la viabilidad de ofrecer medidores de energía eléctrica con características que contemplen los factores indeseables en las redes es el fin de este trabajo y en el cual se considera determinar la conveniencia de instalar dispositivos capaces de medir eficazmente por medio de un análisis interdisciplinario teniendo en cuenta todas las variables determinantes como lo son, los costos que demandara y los beneficios económicos que generara.

Evidentemente con el propósito de que los intercambios comerciales se hagan con la mayor transparencia y equidad posible mediante expresiones de potencia adecuadas para la determinación de los parámetros que intervienen en la facturación.

## CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS

**Tabla 1. Cumplimiento de objetivos.**

OBJETIVO	PORCENTAJE DE CUMPLIMIENTO	CAPÍTULOS REFERENCIADO
Reconocer y recopilar información de los equipos de medida, que utilizan los grandes clientes	100%	Capítulo 4.
Determinar la incertidumbre en la medida de energía debido al tipo de conexión y los algoritmos que utilizan los contadores para la estimación de energía	100%	Capítulo 6. Numeral 6.4.
Determinar el impacto en la medición y facturación de energía eléctrica, generado por los algoritmos implementados en los medidores de energía eléctrica, respecto al algoritmo propuesto en el estándar IEEE 1459-2000/2010.	100%	Capítulo 7. y Capítulo 8.
Identificar y examinar, las opciones que existen en el mercado en algoritmos con características semejantes al estándar IEEE 1459-2000/2010.	100%	Capítulo 9. Numeral 9.1.
Plantear posibles escenarios de condiciones equitativas, teniendo en cuenta situaciones que contengan elementos tanto positivos como negativos	100%	Capítulo 10.
Identificar, medir y valorizar cuantitativamente, los costos y beneficios económicos de cada escenario.	100%	Capítulo 10. Numeral 10.2.

## **1. GENERALIDADES DEL PROYECTO**

En este capítulo inicialmente se presentan los objetivos del trabajo de grado, posteriormente se realiza el planteamiento de la situación problemática propuesta y finalmente se describe la justificación y motivación por la cual los autores realizaron el mismo.

### **1.1. OBJETIVOS**

Los objetivos general y específicos del trabajo de grado son descritos a continuación

#### **1.1.1. Objetivo general.**

Evaluar la viabilidad técnica y económica del cambio de medidores de energía eléctrica que utiliza una empresa del sector eléctrico en Colombia para grandes clientes, por medidores de energía basados en el algoritmo propuesto en el estándar IEEE 1459-2000/2010.

#### **1.1.2. Objetivos específicos.**

- Reconocer y recopilar información de los equipos de medida, que utilizan los grandes clientes.
- Determinar la incertidumbre en la medida de energía debido al tipo de conexión y los algoritmos que utilizan los contadores para la estimación de energía
- Determinar el impacto en la medición y facturación de energía eléctrica, generado por los algoritmos implementados en los medidores de energía

eléctrica, respecto al algoritmo propuesto en el estándar IEEE 1459-2000/2010.

- Identificar y examinar, las opciones que existen en el mercado en algoritmos con características semejantes al estándar IEEE 1459-2000/2010.
- Plantear posibles escenarios de condiciones equitativas, teniendo en cuenta situaciones que contengan elementos tanto positivos como negativos.
- Identificar, medir y valorizar cuantitativamente, los costos y beneficios económicos de cada escenario.

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la actualidad, es necesario analizar las causas y los efectos que generan las mediciones inexactas de los equipos de medida de energía eléctrica, instalados en clientes industriales.

La causa principal de estas inexactitudes es debida a la presencia de perturbaciones en las redes de suministro, responsables de originar corrientes altamente distorsionadas, que en consecuencia provocan sobrecargas al transformador de alimentación y a las líneas, que deben transportar este exceso de energía, y además aumenta las pérdidas por transmisión al mismo tiempo que generan disminución del factor de potencia.

Lo previamente expuesto hace que las empresas comercializadoras de energía eléctrica, consideren, dentro de sus planes de acción de respuestas a las causas, la instalación de equipos de medida, que contemplen definiciones de potencia y energía eléctrica en régimen no-sinusoidal, logrando mediciones con mayor exactitud al tener en cuenta los efectos generados por los armónicos y cargas

desbalanceadas; factores contemplados en el estándar IEEE 1459-2000/2010, que plantea un nuevo algoritmo para la medición de energía eléctrica.

La decisión de llevar a cabo este plan de acción en las empresas distribuidoras y comercializadoras de energía eléctrica, requiere además de una evaluación técnica respecto al desempeño de los algoritmos en señales reales; una traducción de dichos efectos, en términos económicos en lo referente a costos e ingresos y beneficios netos, justificando plenamente una posible acción de respuesta para la empresa

### **1.3. JUSTIFICACIÓN Y MOTIVACIÓN**

La medición de potencia eléctrica surge de la necesidad de realizar mediciones de energía, evaluación de la calidad de la energía, detección de las fuentes de distorsión entre otras.

Las expresiones matemáticas de potencia eléctrica que contempla el estándar IEEE 1459-2000/2010 bajo condiciones senoidales, no senoidales, balanceadas o desbalanceadas serán puestas a prueba y contrastadas con las definiciones de potencia implementadas en los medidores de energía que ofrece una comercializadora de energía eléctrica.

Con la implementación de los algoritmos propuestos en la norma se logrará discriminar las potencias causadas tanto por la componente fundamental, como por las componentes armónicas, el establecimiento del índice que permite valorar el efecto de los armónicos en el sistema, el grado de utilización del sistema (eficiencia), la valoración del desbalance de las cargas trifásicas; factores relevantes para una entidad comercializadora de energía eléctrica. También desaparecerá la ambigüedad en los resultados de la propuesta de Budeanu en la

que se contemplaba la existencia de una potencia aparente vectorial y otra aritmética, así como la definición de un único factor de potencia en sistemas trifásicos.

Por esta razón se hace necesario entender las condiciones de los sistemas eléctricos actuales de una empresa distribuidora de energía eléctrica, para determinar las definiciones de potencia que sean más acertadas y así planear estrategias para su medición.

Por tanto resulta de especial importancia el estudio de las peculiaridades de la potencia en régimen no sinusoidal no solo para los científicos e investigadores, sino también para las empresas eléctricas que son conscientes de la necesidad de actualizar los criterios de facturación de la energía eléctrica.

Las características de los sistemas de distribución modernos deben ser tenidas en cuenta por las empresas encargadas de la fabricación de los dispositivos medidores de energía eléctrica con el fin de que ofrezcan resultados más fiables y más cercanos a la realidad aspecto importante para sus principales clientes como son las comercializadoras de energía.

Esta investigación contribuye o aporta en investigaciones que contemplen los consumos de potencia de las actuales redes de distribución exponiendo los beneficios que proveen los nuevos algoritmos de medición respecto a los que se han venido utilizando en los medidores de energía eléctrica. Servirá de fundamento para determinar si los conceptos tarifarios aplicados en la actualidad en grandes clientes, son los adecuados pues se conocerán las contribuciones que hacen algunos clientes a la demanda de energía reactiva y la deformación armónica inyectada a la red y el consumo desequilibrado.

## 2. GENERALIDADES SOBRE MEDICIÓN DE POTENCIA Y ENERGÍA

En la medición de energía eléctrica la cuantificación de potencia es el parámetro de mayor relevancia en el análisis de circuitos eléctricos pues con base en ella se realizan las transacciones comerciales entre clientes y proveedores de este producto, se dimensionan los sistemas, y su utilización durante un intervalo de tiempo determina la energía consumida en un sistema eléctrico.

La aparición de armónicos en las ondas de tensión y corriente y los desbalances de las cargas eléctricas trifásicas inciden en la estimación de estos indicadores.

La adecuada medición de estos parámetros garantiza la transparencia y equidad para los diversos agentes participantes en el mercado de la energía eléctrica.

A continuación se realiza un recuento de los aspectos más relevantes en lo que respecta a la clasificación de los usuarios en una empresa del sector eléctrico en Colombia que se denominara de aquí en adelante como ENELCOL, medición de potencia y la facturación de la energía eléctrica.

### 2.1. CLASIFICACIÓN DE CLIENTES

La clasificación de los clientes conectados a las redes de transmisión y distribución de ENELCOL, principalmente depende del mercado al que pertenezca. La Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) tiene definidos dos mercados a los que deben pertenecer los clientes:

- **Mercado No Regulado (MNR):** Clientes que por sus características de consumo cumplen con una demanda mínima registrada por el medidor

de 0,1 MW, a este grupo pertenecen todos los clientes cuyo consumo mensual sea igual o superior a 55,000 kWh mes, en este mercado se encuentran en su gran mayoría los grandes y medianos industriales y algunos del sector comercial, estos clientes tienen la libertad de negociar libremente la tarifa de energía con su comercializador.<sup>1</sup>

- **Mercado Regulado (MR):** Clientes que por sus características de consumo no cumplen con las condiciones para el mercado no regulado. Estos clientes tienen la oportunidad de elegir su proveedor de energía pero sin negociar el precio, toda vez que el precio del kWh es fijado por la Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG<sup>2</sup> dentro de una franja en la que puede moverse el proveedor.

Una de las actividades comerciales de la empresa es la compra y venta de energía, consistente en la compra de energía eléctrica en el mercado mayorista<sup>3</sup> o en la bolsa de energía y su venta a los usuarios finales.

Actualmente los usuarios que se encuentran conectados a sus redes, se clasifican en usuarios del mercado regulado y del mercado no regulado.

Los usuarios que pertenecen al mercado regulado tienen tarifas reguladas por la CREG de él hacen parte todos los usuarios que por sus niveles de consumo están

---

<sup>1</sup> EXTRAÍDO DE LA PAGINA WEB DE COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS [www.creg.gov.co](http://www.creg.gov.co)

<sup>2</sup> EXTRAÍDO DE LA PAGINA WEB DE COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS [www.creg.gov.co](http://www.creg.gov.co)

<sup>3</sup> **MERCADO MAYORISTA:** Conjunto de sistemas de intercambio de información entre generadores y comercializadores de grandes bloques de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional, para realizar contratos de energía a largo plazo y en bolsa sobre cantidades y precios definidos, con sujeción al Reglamento de Operación y demás normas aplicables.

por debajo de lo establecido para el Mercado Regulado a este pertenecen la mayor parte de usuarios residenciales y comerciales.

Todos los usuarios del servicio de energía eléctrica tienen de acuerdo con la ley 142 de 1994, que regula el régimen para la prestación de los servicios públicos domiciliarios, la potestad de elegir libremente el prestador del servicio, con la diferencia que quienes pueden acceder al mercado no regulado negocian libremente la tarifa del servicio con el proveedor o comercializador y los pertenecientes al mercado regulado no gozan de este privilegio y se someten a cancelar la tarifa establecida por el proveedor la cual es regulada por la CREG y varía dentro de una franja establecida dentro de la que se mueven los comercializadores del servicio.

Adicionalmente, y dado que el sistema eléctrico está constituido por diferentes niveles de tensión en la cadena de transporte: Sistema de Transmisión Nacional (STN) 500 y 230 kV, Sistema de Transmisión Regional (STR) 115 kV y Sistema de Distribución Local (SDL) 34,5 – 13,2 kV, junto con el sistema de distribución en baja tensión 208 y 120 Voltios; los usuarios del servicio se pueden conectar a estos sistemas o niveles de tensión siempre y cuando cumplan con ciertos niveles de capacidad o potencia instalada y algunas condiciones de tipo técnico y operativo definidas por el operador de la red eléctrica. De acuerdo con lo anterior los clientes se clasifican según el nivel de tensión en el que se encuentran conectados en el sistema eléctrico y el nivel en el que está la medida de energía. En resolución CREG 097 de 2008 se definen los siguientes niveles de tensión para el sistema eléctrico en el cual se pueden conectar los clientes:

- Nivel de tensión I: tensiones inferiores a 1 kV
- Nivel de tensión II: tensiones comprendidas entre 1 a 30 kV
- Nivel de tensión III: tensiones comprendidas entre 30 kV y 57,5 kV
- Nivel de tensión IV: tensiones de valor mayor a 57,5 Kv

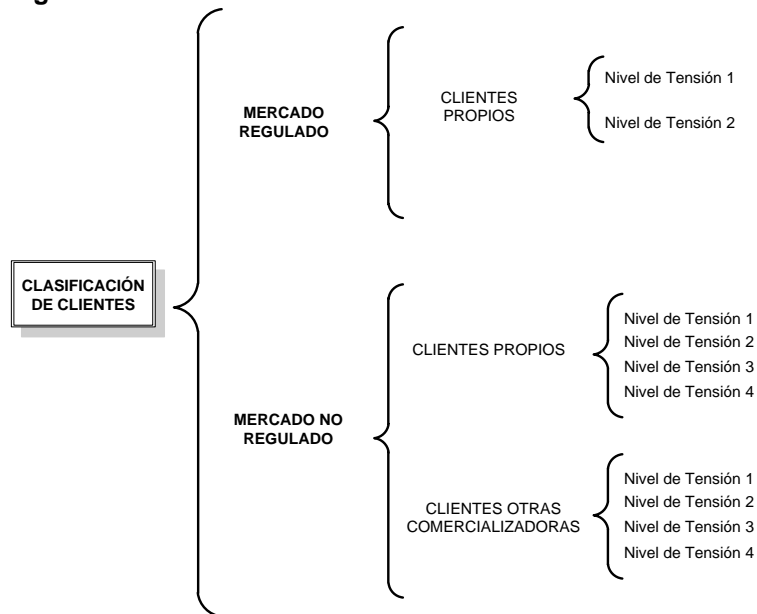
En el nivel de tensión 1, se encuentran los usuarios con menor capacidad instalada y por tanto bajo nivel de consumo de energía eléctrica por periodo, a medida que el nivel de tensión aumenta, el usuario conectado a estos niveles corresponde a un cliente con mayor capacidad instalada en sus instalaciones y por ende mayores consumos de energía, es común que los clientes conectados en los niveles II, III y IV pertenezcan al mercado no regulado.

Las comercializadoras de energía son las entidades responsables de crear las ofertas en el mercado de energía a los clientes no regulados.

Se definen como usuarios de otras comercializadoras (OTC), aquellos usuarios embebidos en los sistemas de transmisión regional o distribución local de un operador de red, pero que compran la energía a un comercializador distinto al asociado con el operador de red. También se incluyen en este grupo, las fronteras de exportación e importación de energía entre operadores de red.

La Figura 1 muestra la clasificación de los clientes

**Figura 1. Clasificación de clientes**



## **2.2. FACTURACIÓN DE ENERGÍA**

Para efectos de estimación de la energía y los cálculos de su equivalente en dinero, existen reglas que determinan los factores que deben influir en la facturación final de determinado cliente, en Colombia la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), es la entidad encargada de establecer las ecuaciones que rigen la facturación de energía eléctrica, la resolución CREG 119 de 2007 indica los parámetros que se deben tener en cuenta para determinar la estructura tarifaria de los clientes finales según el mercado en que se encuentre y el nivel de tensión.

Para la estimación de consumo de los clientes no regulados las comercializadoras son autónomas en definir dos de los parámetros de la ecuación con el fin de lograr ofertas atractivas para sus clientes de alto consumo, estos parámetros son:

**D:** Valor que se paga por transportar la energía desde las subestaciones del Sistema de Transmisión Nacional hasta el usuario final.

**PR:** Costos de pérdidas de energía, transporte y reducción de las mismas.

### **2.2.1. Estructura de tarifas**

La identificación del costo del servicio y el precio que se cobra a los distintos usuarios (tarifas) se denomina estructura tarifaria.

El costo del servicio es el resultado de agregar los costos de cada una de las etapas (producción, transmisión, distribución, comercialización y administración)

El Anexo A.1 muestra cómo se determina la tarifa de la energía eléctrica.

### **2.2.1.1. Costo del servicio:**

El Costo Unitario de prestación del servicio (CU) es un costo económico eficiente que resulta de agregar los costos de las actividades de generación, transmisión, distribución, comercialización y otros costos relacionados con la operación y administración del sistema interconectado nacional.

El Anexo A.2 muestra cómo se determina el Costo Unitario de prestación del servicio (CU).

## **2.3. SISTEMAS DE MEDICIÓN**

La medición de la energía eléctrica es un aspecto de suma importancia, por tal razón es necesario el análisis de los algoritmos implementados en medidores digitales de energía, con el fin de evaluar la manera en la que se cuantifican fenómenos como la aparición de armónicos en los sistemas de distribución y la cuantificación de energía eléctrica demandada por los sistemas eléctricos de los consumidores, con este estudio se pretende establecer las fortalezas que posee el algoritmo propuesto en la norma IEEE 1459-2000/2010 respecto a los algoritmos implementados en los medidores que los clientes de ENELCOL tienen instalados.

La medición de potencia eléctrica se efectúa de diversas maneras dependiendo del nivel de tensión en el que se encuentran los clientes, en la práctica están establecidos tres sistemas de medición de la energía eléctrica.

- **Medición directa:** Corresponde a bajos consumos de energía, por lo tanto, el medidor se conecta directamente a la tensión nominal y se alimenta con la corriente nominal del sistema.

- **Medición semidirecta:** Asociada a consumos mayores a 100 A y tensiones menores de 600 V, lo que hace necesario el uso de transformadores de corriente con relaciones 100, 200 hasta 1000/5 Amperios (A).
- **Medición indirecta:** Corresponde a cargas elevadas con un alto consumo de energía que exigen alimentación a niveles de tensión superiores a 600 V, lo cual exige el uso de transformadores de medida de corriente y tensión.

Dentro de estos dos últimos sistemas de medición existe una variante para la medición de potencia trifásica, denominada conexión dos elementos en sistemas de energía eléctrica de tres hilos. Esta conexión permite disminuir la cantidad de elementos necesarios para cuantificar la potencia activa, requiriendo el uso de solo dos transformadores de corriente y dos de tensión en lugar de los tres transformadores de cada tipo requeridos en la medición con tres elementos.

## **2.4. MODELOS DE MEDICIÓN DE POTENCIA**

En los últimos años a causa del incremento de las cargas no lineales han surgido varias propuestas de modelos de estimación de potencia y energía eléctrica, el propósito de esta sección es exponer los métodos planteados en el estándar IEEE 1459-2000/2010, propuesta que apunta a garantizar una correcta medición del consumo de energía eléctrica y por lo tanto, garantizar la correcta facturación aspecto importante para las compañías distribuidoras como para sus clientes.

### **2.4.1. Modelo IEEE Std 1459-2000/2010**

En enero del año 2000 el comité de instrumentación y medidas en sistemas de potencia del IEEE propuso el estándar IEEE 1459-2000 el cual contiene las

definiciones para la cuantificación de las cantidades de potencia eléctrica bajo distintos escenarios, presentes en los sistemas de corriente alterna. El modelo se denominó: *“IEEE Std 1459-2000: IEEE Trial-Use Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, No sinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions”*.

Este estándar ha sido actualizado y en el año 2010 el IEEE presento una nueva versión después de una serie de pruebas realizadas en todo el mundo por diferentes investigadores.

Según la propuesta del estándar, cualquier sistema trifásico se puede modelar por un sistema trifásico balanceado y equilibrado. Los valores eficaces de las tensiones y las corrientes del sistema equivalente balanceado y equilibrado se dividen en dos componentes: la componente fundamental y la componente no fundamental.

Donde

- $I_e$** : Corriente eficaz efectiva total del sistema trifásico equilibrado y balanceado.
- $I_{e1}$** : Corriente eficaz efectiva de la componente fundamental del sistema trifásico equilibrado y balanceado.
- $I_{eH}$** : Corriente eficaz efectiva armónica del sistema trifásico equilibrado y balanceado.
- $V_e$** : Voltaje eficaz efectivo del sistema trifásico equilibrado y balanceado.
- $V_{e1}$** : Voltaje eficaz efectivo de la componente fundamental del sistema trifásico equilibrado y balanceado.
- $V_{eH}$** : Voltaje eficaz efectivo armónico del sistema trifásico equilibrado y balanceado.

Las ecuaciones que relacionan los valores eficaces efectivo del sistema trifásico equivalente son:

$$I_e = \sqrt{I_{e1}^2 + I_{eH}^2} \quad (1)$$

$$V_e = \sqrt{V_{e1}^2 + V_{eH}^2} \quad (2)$$

#### 2.4.1.1. Determinación de corrientes y tensiones del modelo para sistemas de tres hilos.

Por ser el sistema de tres hilos, la corriente de neutro, tanto fundamental como armónica es cero.

$I_n$ : Corriente de neutro total

$$I_{n1} = I_{nH} = 0 \quad (3)$$

Las ecuaciones utilizadas para obtener los valores eficaces de las corrientes y tensiones efectivas del sistema trifásico equivalente son las siguientes:

$$I_e = \sqrt{\frac{I_a^2 + I_b^2 + I_c^2}{3}} \quad (4)$$

$$I_{e1} = \sqrt{\frac{I_{a1}^2 + I_{b1}^2 + I_{c1}^2}{3}} \quad (5)$$

$$I_{eH} = \sqrt{\frac{I_{aH}^2 + I_{bH}^2 + I_{cH}^2}{3}} = \sqrt{I_e^2 - I_{e1}^2} \quad (6)$$

$$V_e = \sqrt{\frac{V_{ab}^2 + V_{bc}^2 + V_{ca}^2}{9}} \quad (7)$$

$$V_{e1} = \sqrt{\frac{V_{ab1}^2 + V_{bc1}^2 + V_{ca1}^2}{9}} \quad (8)$$

$$V_{eH} = \sqrt{\frac{V_{abH}^2 + V_{bcH}^2 + V_{caH}^2}{9}} = \sqrt{V_e^2 - V_{e1}^2} \quad (9)$$

Potencia activa está definida como:

$$P = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} v[n]i[n] = \sum_{k=1}^h V_{rmsk} I_{rmsk} \cos \theta_k \quad (10)$$

Potencia aparente efectiva está definida como:

$$S_e = 3V_e I_e \quad (11)$$

De otra forma;

$$S_e^2 = S_{e1}^2 + S_{eN}^2 \quad (12)$$

Donde

$S_{e1}$ : Potencia aparente fundamental efectiva

$S_{eN}$ : Potencia aparente efectiva no fundamental.

$$S_{eN}^2 = S_e^2 - S_{e1}^2 = D_{e1}^2 + D_{eV}^2 + S_{eH}^2 \quad (13)$$

La potencia de distorsión de corriente definida por la expresión:

$$D_{e1} = 3V_{e1} I_{eH} \quad (14)$$

La potencia de distorsión de tensión definida como:

$$D_{eV} = 3V_{eH} I_{e1} \quad (15)$$

La potencia aparente armónica:

$$S_{eH} = 3V_{eH}I_{eH} \quad (16)$$

$$D_{eH} = \sqrt{S_{eH}^2 - P_{eH}^2} \quad (17)$$

Y finalmente la potencia no efectiva no activa del sistema trifásico.

$$Q_e = \sqrt{S_e^2 - P^2} \quad (18)$$

La potencia aparente efectiva obtenida por este modelo se puede dividir en:

$$S_e^2 = S_{e1}^2 + S_{eN}^2 \quad (19)$$

La Figura 2 presenta la descripción de cada una de las potencias propuestas por el estándar IEEE 1459-2000/2010.

**Figura 2. Nombre y descripción de cada sigla para la ecuación 19**

Sigla	Nombre	Descripción
$(S_{e1})$	Potencia aparente efectiva de la componente fundamental	Es la componente de la potencia aparente efectiva a frecuencia fundamental.
$(S_{e1^+})$	Potencia aparente efectiva fundamental de secuencia positiva:	Es la componente de la potencia aparente efectiva a frecuencia fundamental y de secuencia positiva.
$(P_1^+)$	Potencia activa fundamental de secuencia positiva:	Es la potencia activa de secuencia positiva a frecuencia fundamental.
$(Q_1^+)$	Potencia reactiva fundamental de secuencia positiva:	Es la potencia reactiva de secuencia positiva a frecuencia fundamental.

<b>(S<sub>U1</sub>)</b>	Potencia aparente fundamental no balanceada:	Es la potencia aparente fundamental debida al desbalance presente en la carga trifásica.
<b>(S<sub>eN</sub>)</b>	Potencia aparente efectiva no fundamental:	Es la componente de la potencia aparente efectiva a debida a las componentes armónicas.
<b>(D<sub>eI</sub>)</b>	Potencia de distorsión de corriente:	Es la potencia aparente debida a la distorsión armónica de la corriente.
<b>(D<sub>eV</sub>)</b>	Potencia de distorsión de tensión:	Es la potencia aparente debida a la distorsión armónica de la tensión.
<b>(S<sub>eH</sub>)</b>	Potencia armónica aparente:	Es la potencia aparente debida a las distorsiones armónicas de la tensión y la corriente.
<b>(PH)</b>	Potencia activa armónica	Es la potencia activa debida a las componentes armónicas de tensión y corriente.
<b>(D<sub>eH</sub>)</b>	Potencia de distorsión armónica	Es la potencia no activa debida a las componentes armónicas de tensión y corriente.

Fuente. Tesis de maestría UIS: Diseño e implementación de un prototipo de contador electrónico digital trifásico de energía eléctrica para control y monitorización remota

En algunos casos el uso de componentes simétricas puede ser muy útil. Las componentes simétricas de tensión  $V^+, V^-$  y  $V^0$  y las componentes de corriente  $I^+, I^-$  y  $I^0$  con sus respectivos ángulos de fase  $\theta^+, \theta^-$  y  $\theta^0$  producen las siguientes tres componentes de potencia activa:

- **Potencia activa de secuencia positiva, negativa y cero (W)**

Potencias activas de secuencia positiva, negativa y cero de la componente fundamental, se estiman de la siguiente manera respectivamente:

$$P_1^+ = 3V_1^+ I_1^+ \cos \theta_1^+ \quad (20)$$

$$P_1^- = 3V_1^- I_1^- \cos \theta_1^- \quad (21)$$

$$P_1^0 = 3V_1^0 I_1^0 \cos \theta_1^0 \quad (22)$$

Siendo la potencia activa de la componente fundamental igual a:

$$P_1 = P_1^+ + P_1^- + P_1^0 \quad (23)$$

- **Potencia reactiva de secuencia positiva, negativa y cero (var).**

Las tres componentes de potencia reactiva de la componente fundamental están definidas respectivamente por:

$$Q_1^+ = 3V_1^+ I_1^+ \theta_1^+ \quad (24)$$

$$Q_1^- = 3V_1^- I_1^- \theta_1^- \quad (25)$$

$$Q_1^0 = 3V_1^0 I_1^0 \theta_1^0 \quad (26)$$

Siendo la potencia reactiva de la componente fundamental igual a:

$$Q_1 = Q_1^+ + Q_1^- + Q_1^0 \quad (27)$$

- **Factor de potencia de secuencia positiva.**

$$PF_1^+ = \frac{P_1^+}{S_1^+} \quad (28)$$

- **Potencia de desbalance.**

$S_U^2 = \sqrt{S_e^2 - (S^+)^2}$ , evalúa el dimensionamiento debido al desbalance del sistema trifásico. Este no puede confundirse con el desbalance de tensión. Dicha potencia refleja los dos efectos, el desbalance de carga y las asimetrías de las tensiones.

En la Tabla 2 se muestran cada una de las siglas utilizadas en las definiciones de potencia del modelo IEEE1459-2000/2010 para sistemas trifásicos de 3 hilos.

**Tabla 2. Nombre y descripción de cada una de las componentes de potencia del modelo IEEE 1459-200/2010 para sistemas de tres hilos.**

CANTIDAD O INDICADOR	COMBINADA	POTENCIA A 60 Hz (Fundamental)	POTENCIA ≠60 Hz (No fundamental)
Potencia aparente(VA)	$S_e$	$S_{e1} S_1^+ S_{1U}$	$S_{eN} S_{eH}$
Potencia activa (W)	$P$	$P_1^+$	$P_H$

Potencia no activa(var)	$N$	$Q_1^+$	$D_{e1}D_{eV}D_{eH}$
Índice de utilización de la línea	$PF = P/S_e$	$PF_1^+ = P_1^+/S_1^+$	–
Polución armónica	–	–	$S_{eN}/S_{e1}$
Desbalance de carga	–	$S_{1U}/S_1^+$	–

Fuente. IEEE 1459

#### 2.4.1.2. Obtención de las corrientes y tensiones del modelo para sistemas de cuatro hilos.

Las expresiones generales siguen siendo las mismas, sólo que en este caso es necesario considerar el efecto de la corriente de neutro y las tensiones de fase. Los valores eficaces de las corrientes efectivas están ahora definidas por las expresiones:

$$I_e = \sqrt{\frac{I_a^2 + I_b^2 + I_c^2 + I_n^2}{3}} \quad (29)$$

$$I_{e1} = \sqrt{\frac{I_{a1}^2 + I_{b1}^2 + I_{c1}^2 + I_{n1}^2}{3}} \quad (30)$$

$$I_{eH} = \sqrt{\frac{I_{aH}^2 + I_{bH}^2 + I_{cH}^2 + I_{nH}^2}{3}} = \sqrt{I_e^2 + I_{e1}^2} \quad (31)$$

Los valores eficaces de las tensiones efectivas se obtienen con las expresiones:

$$V_e = \sqrt{\frac{1}{18} [3(V_a^2 + V_b^2 + V_c^2) + V_{ab}^2 + V_{bc}^2 + V_{ca}^2]} \quad (32)$$

$$V_{e1} = \sqrt{\frac{1}{18} [3(V_{a1}^2 + V_{b1}^2 + V_{c1}^2) + V_{ab1}^2 + V_{bc1}^2 + V_{ca1}^2]} \quad (33)$$

$$V_{eH} = \sqrt{\frac{1}{18} [3(V_{aH}^2 + V_{bH}^2 + V_{cH}^2) + V_{abH}^2 + V_{bcH}^2 + V_{caH}^2]} = \sqrt{V_e^2 + V_{e1}^2} \quad (34)$$

El cálculo de las potencias, se realiza al igual que para el caso anterior, mediante las expresiones (10) a (18).

Lo anterior pone de manifiesto la necesidad de replantear la tradicional forma de evaluar la potencia no activa de manera que en ella se incluyan todas las componentes derivadas de la posible presencia de componentes armónicas de tensión y corriente y los desbalances que puedan presentarse en los sistemas trifásicos.

## **2.5. MEDICIÓN DIGITAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

Un medidor digital de energía eléctrica, es un dispositivo que mediante el procesamiento de las muestras de las señales de tensión y corriente, obtiene los valores de potencia y energía eléctrica, además de otros parámetros que se describirán posteriormente. En el caso de la medición digital de energía eléctrica, es un factor importante la exactitud del dispositivo de medida debido a que los valores estimados por estos equipos corresponden a cantidades específicas de dinero. El tratamiento digital de señales aporta fortalezas en este tipo de dispositivos, garantizando menor probabilidad de que las señales procesadas se vean afectadas por factores externos, de tal forma que los resultados obtenidos en los cálculos del equipo corresponden a valores cercanos a los verdaderos.

### **3. MEDIDORES DIGITALES DE ENERGÍA ELÉCTRICA UTILIZADOS POR GRANDES CLIENTES.**

Por el tipo de usuarios que se analizarán, por los avances logrados durante los últimos años en materia tecnológica y por la masificación en su uso, el presente trabajo, se orienta en forma particular al estudio de los medidores digitales de energía en sistemas trifásicos.

El análisis se realizó con los medidores utilizados por los clientes no regulados en sus fronteras comerciales.

Los medidores digitales de energía eléctrica utilizados por los clientes no regulados corresponden a cuatro tipos de medidores:

- Medidor A
- Medidor B
- Medidor C
- Medidor D

Los medidores de energía instalados en los clientes monitorizados son de tipo trifásico, ubicados en los niveles de tensión 2 y 3 (sistemas de tres hilos), algunos se encuentran conectados en la configuración de dos elementos (conocida también como conexión Aron para la medición de potencia activa).

Todas las instalaciones cuentan con medición de energía reactiva, independientemente si se trata de medidores de inducción ó medidores de múltiple lectura o de equipos digitales.

### 3.1. ALGORITMOS DE ESTIMACIÓN USADOS EN LOS MEDIDORES

En este numeral es realizada una descripción de los algoritmos utilizados por los medidores digitales de energía que se encuentran instalados en las fronteras comerciales seleccionadas para el desarrollo de este trabajo de grado. Para diferenciar los medidores se hará una clasificación con letras de cada uno de ellos.

#### 3.1.1. Medidor A.

En este medidor se obtienen las potencias de dimensionamiento y activa a partir de muestras de señales de tensión y corriente, la potencia reactiva se estima con base en los cálculos de las potencias anteriores.

##### 3.1.1.1. Estimación de la potencia activa.

La potencia activa se obtiene a partir de la integración durante un periodo de la potencia instantánea y dividiendo el resultado sobre el periodo.

$$P = \frac{1}{T} \int_T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_T v(t) * i(t) dt \quad (35)$$

El medidor digital evalúa esta potencia a partir de las muestras de tensión y corriente como:

$$P = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} v[n]i[n] \quad (36)$$

Donde, **N** es el número de muestras de tensión y corriente adquiridas en un intervalo de tiempo y, **v[n]** e **i[n]** son las muestras de tensión y corriente en el instante n.

### 3.1.1.2. Estimación de la potencia de dimensionamiento (aparente).

La estimación de la potencia aparente se efectúa por medio del producto entre los valores eficaces de tensión y corriente obtenidos al muestrear las señales respectivas. La ecuación para la estimación de este parámetro corresponde a:

$$S = V * I = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} v[n]^2} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} i[n]^2} \quad (37)$$

Siendo **N** el número de muestras de tensión y corriente en un periodo o múltiplo enteros de períodos, y **v[n]** e **i[n]** son las muestras de tensión y corriente en el instante n.

### 3.1.1.3. Estimación de la potencia reactiva.

La potencia reactiva por fase, en magnitud se estima a partir de los cálculos previos de potencia activa y aparente, y se efectúa por medio de la ecuación:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (38)$$

### 3.1.1.4. Estimación del factor de potencia.

Este parámetro es calculado a partir de la relación entre potencia activa y potencia de dimensionamiento, definido así:

$$F. P = \frac{P}{S} \quad (39)$$

### 3.1.1.5. Estimación de potencias trifásicas.

Las potencias trifásicas tanto reactiva como activa, se calculan mediante la suma aritmética de las potencias correspondientes a cada fase:

$$P_{3\varphi} = P_R + P_S + P_T \quad (40)$$

$$S_{3\varphi} = S_R + S_S + S_T \quad (41)$$

$$Q_{3\varphi} = Q_R + Q_S + Q_T \quad (42)$$

### 3.1.2. Medidor B.

Este medidor estima la potencia aparente, potencia activa y potencia reactiva por medio de las muestras de tensión y corriente instantáneas.

#### 3.1.2.1. Estimación de la potencia activa.

Se obtiene a partir de la integración en un periodo de la potencia instantánea y dividiendo el resultado en el periodo.

Este medidor evalúa esta potencia con la expresión dada en la ecuación (36).

#### 3.1.2.2. Estimación de la potencia reactiva.

La estimación de la potencia reactiva se efectúa inicialmente por medio de una integración de la señal de tensión con el objetivo de lograr un cambio de fase de  $90^\circ$  y seguidamente una multiplicación entre esta señal y la corriente, esto sucede en cada fase, para después integrar este producto con el propósito de obtener el valor medio.

Es decir, evaluando las siguientes expresiones:

$$v_Q = \int v(t) dt \quad (43)$$

$$Q = \frac{1}{T} \int_T v_Q(t) * i(t) dt \quad (44)$$

El medidor digital evalúa esta potencia a partir de las muestras de tensión y corriente como:

$$V_Q = \sum_{n=0}^{N-1} v[n] \quad (45)$$

$$Q = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} V_Q[n] * i[n] \quad (46)$$

Siendo **N** el número de muestras de tensión y corriente en un periodo (o número entero de períodos), y  $v_Q[n]$  y  $i[n]$  las muestras de la integral de la tensión y de la corriente, respectivamente en el instante n.

### 3.1.2.3. Estimación de la potencia de dimensionamiento.

La potencia aparente por fase es evaluada como el producto de los valores eficaces de tensión y corriente por fase (ecuación (37)).

### 3.1.2.4. Estimación del factor de potencia.

Este indicador se obtiene como la relación entre la potencia activa y la potencia de dimensionamiento (ecuación (39)).

### 3.1.2.5. Estimación de potencias trifásicas.

Las potencias trifásicas activa, reactiva y de dimensionamiento, se obtienen a partir de las ecuaciones (40),(42) y (41), respectivamente.

### 3.1.3. Medidor C.

El medidor estima las potencias activa, reactiva y aparente por medio de las muestras de las señales de tensiones y corrientes.

#### 3.1.3.1. Estimación de la potencia activa.

Esta potencia es evaluada por medio de la ecuación (36).

#### 3.1.3.2. Estimación de la potencia reactiva.

La potencia reactiva por fase es calculada como el valor medio de la integral del producto entre la señal de tensión atrasada  $\pi/2\omega$  respecto a la señal de corriente. Es decir:

$$Q = \frac{1}{T} \int v\left(t - \frac{\pi}{2\omega}\right) * i(t) dt \quad (47)$$

Según esta expresión, el medidor evalúa la potencia reactiva como:

$$Q = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} v^{(90)}[n] * i[n] \quad (48)$$

Donde  $\mathbf{N}$  es el número de muestras en un periodo(o múltiplo entero de períodos) y  $v^{(90)}[n]$  e  $i[n]$  son las muestras de las señales de tensión (atrasada  $\pi/2\omega$ ) y de corriente, respectivamente, en el instante  $n$ .

### 3.1.3.3. Estimación de la potencia de dimensionamiento.

La potencia de dimensionamiento por fase se evalúa como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las potencias activa y reactiva.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (49)$$

### 3.1.3.4. Estimación del factor de potencia.

El factor de potencia es estimado como el coseno del arco tangente de la relación entre las potencias trifásicas reactiva y activa, así:

$$F.P = \cos[\tan^{-1}(Q/P)] \quad (50)$$

### 3.1.3.5. Estimación de potencias trifásicas.

Las potencias trifásicas activa, reactiva de dimensionamiento, se obtienen a partir de las ecuaciones (40),(42) y (41), respectivamente.

## 3.1.4. Medidor D.

Corresponde a un medidor que posee características muy similares a las del medidor B con una diferencia en la estimación del factor de potencia.

### 3.1.4.1. Evaluación de la potencia activa.

Esta potencia es evaluada por medio de la ecuación (36).

#### 3.1.4.2. Evaluación de la potencia reactiva.

La estimación de esta potencia es realizada mediante la multiplicación de la tensión por la corriente que previamente ha sido desfasada un ángulo 90°, de la forma:

$$Q = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} v[n] * i^{(90)}[n] \quad (51)$$

Donde N es el número de muestras de tensión y corriente adquiridas en un intervalo de tiempo que debe corresponder a un período o múltiplos enteros del período,  $v[n]$  es la muestra de tensión e  $i^{(90)}[n]$  es la muestra de la corriente desfasada 90°, respectivamente en el instante n.

#### 3.1.4.3. Evaluación de la potencia de dimensionamiento.

Este equipo de medida posee dos (2) modos de configuración para realizar el cálculo de la potencia aparente o de dimensionamiento por fase:

- Realizando el producto de los valores eficaces de tensión y corriente, ecuación (37).
- Por adición geométrica de las potencias activa y reactiva, ecuación (49).

#### 3.1.4.4. Evaluación del factor de potencia.

El factor de potencia se calcula como el coseno del arco tangente de la relación entre las potencias trifásicas reactiva y la potencia activa (ecuación (50)).

#### 3.1.4.5. Evaluación de las potencias trifásicas.

Las potencias trifásicas activa y reactiva, se obtienen a partir de las ecuaciones (40) y (41). La potencia trifásica aparente, se obtiene a partir de las ecuaciones (52) o (53), dependiendo de la configuración del equipo.

$$S_{3\phi} = \sqrt{P_{3\phi}^2 + Q_{3\phi}^2} \quad (52)$$

$$S_{3\phi} = S_R + S_S + S_T = V_{Rn}I_R + V_{Sn}I_S + V_{Tn}I_T \quad (53)$$

#### 3.1.4.6. Evaluación de la energía.

Una vez calculadas las potencias activa y reactiva respectivamente, el medidor acumula durante un segundo dichos valores y compara el resultado con un umbral, proporcionando un número de pulsos que cuantifican la magnitud de la energía.

## 4. POBLACIÓN Y MUESTRA

En este capítulo se presenta la definición de la población objetivo y los criterios que se utilizaron para seleccionar la muestra para el desarrollo del trabajo de grado.

### 4.1. DEFINICIÓN DE LA POBLACIÓN OBJETIVO Y MARCO MUESTRAL

La investigación se encuentra enfocada en los clientes industriales, por lo tanto se define como población objetivo la totalidad de los clientes industriales no regulados de consumo igual o superior a 60,000 kWh/mes instalados en el sistema de distribución, pertenecientes a la comercializadora propia u otras comercializadoras, que usen los siguientes tipos de medidores: Medidor A, Medidor B, Medidor C, Medidor D y que además hagan parte de los niveles de tensión 2 y 3. En la Tabla 3 se muestra la población objetivo utilizada.

Tabla 3. Población objeto de estudio

<b>POBLACIÓN OBJETIVO</b>			
<b>TIPO DE MEDIDOR</b>	<b>NUMERO DE USUARIOS</b>		
	<b>NIVEL 2</b>	<b>NIVEL 3</b>	<b>TOTAL</b>
Medidor A	13	10	24
Medidor D	27	17	43
Medidor C	21	13	34
Medidor B	3	8	11
<b>TOTAL</b>	<b>64</b>	<b>48</b>	<b>112</b>

Fuente. Comercializador de energía eléctrica

El documento que contiene la información del tamaño de la población, fue proporcionado por la empresa comercializadora de energía, la información suministrada se encuentra compilada en la Tabla 4.

Tabla 4. Total clientes industriales

<b>CLIENTES INDUSTRIALES</b>					
<b>CLIENTES NO REGULADOS PROPIOS (NRP)</b>					
<b>MARCA DEL MEDIDOR</b>	<b>Nivel 1</b>	<b>Nivel 2</b>	<b>Nivel 3</b>	<b>Nivel 4</b>	<b>Total</b>
Medidor D	2	3	5	0	10
Medidor E	0	2	3	0	5
Medidor C	0	4	5	0	9
Medidor B	0	0	4	0	4
Medidor F	0	1	1	0	2
Medidor G	0	1	1	0	2
<b>TOTAL USUARIOS NRP</b>					<b>32</b>
<b>CLIENTES OTRAS COMERCIALIZADORAS (OTC)</b>					
<b>MARCA DEL MEDIDOR</b>	<b>Nivel 1</b>	<b>Nivel 2</b>	<b>Nivel 3</b>	<b>Nivel 4</b>	<b>Total</b>
Medidor A	2	37	10	0	49
Medidor H	48	18	7	0	73
Medidor D	58	61	18	1	138
Medidor E	4	1	1	0	6
Medidor C	74	77	10	1	162
Medidor B	17	26	9	0	52
Medidor I	0	2	2	0	4
Medidor J	0	4	0	0	4
<b>TOTAL USUARIOS OTC</b>					<b>488</b>
<b>TOTAL DE USUARIOS</b>					<b>520</b>

Fuente. Comercializador de energía eléctrica

#### 4.2. UNIDAD DE MUESTREO

La unidad de muestreo que se eligió para realizar el estudio investigativo, corresponde a cada uno de los medidores enunciados como Medidor A, Medidor B, Medidor C, Medidor D pertenecientes a clientes industriales no regulados de consumo igual o superior a 60,000 kWh/mes y de niveles de tensión 2 y 3.

### 4.3. TÉCNICA DE MUESTREO

Debido a que en la investigación lo fundamental es comparar los algoritmos de medición implementados en los medidores de interés actualmente usados por los clientes conectados al sistema de distribución del comercializador, con el algoritmo propuesto en la norma IEEE 1459-2000/2010, es vital poder seleccionar una muestra representativa que permita atribuir las observaciones obtenidas a toda la población, para ello se toma la decisión de seleccionar como técnica de muestreo el MUESTREO ESTRATIFICADO ALEATORIO (M.E.A.).

Con esta técnica la población se subdivide en grupos denominados estratos; en la presente investigación los estratos corresponden a cada uno de los tipos de medidores seleccionados, en consecuencia se definieron cuatro estratos: Medidor A, Medidor B, Medidor C, Medidor D. La selección de los estratos se debe a que cada una de los medidores mencionados anteriormente corresponde a los más utilizadas por los clientes industriales no regulados, abarcando el 81,54% de la totalidad de la población; cabe resaltar que a partir de los estratos seleccionados se realizaron otras clasificaciones en las cuales se decidió tener en cuenta criterios técnicos como el nivel de tensión y el consumo de energía. Con relación al nivel de tensión se eligió únicamente a los clientes que se encuentran conectados a niveles de tensión 2 y 3, descartando el nivel de tensión 1 debido a que la demanda de energía reactiva que estos exigen es muy baja y generalmente corresponden a bajos consumos de energía reactiva, aspecto que no constituye ningún interés para la investigación pues el interés es determinar las diferencias en la medición de energía reactiva, y en lo que respecta al nivel de tensión 4 este se descartó por ser una población poco significativa para realizarle el proceso de muestreo; según lo anterior los niveles de tensión 2 y 3 son los de mayor demanda conformando el 63,44% de la población de interés. Finalmente en lo que respecta al consumo de energía se seleccionaron los clientes con consumos promedios mensuales iguales o mayores a 60,000kWh/mes.

#### **4.4. PROCESO DE SELECCIÓN DEL TAMAÑO DE MUESTRA**

Una vez definida la población objetivo y seleccionada la técnica de muestreo se determina el tamaño de la muestra, sobre la que se debe realizar la recolección de datos.

El tamaño de la muestra fue determinado por el método de proporciones, dado que se requiere hacer un análisis comparativo de las mediciones que proporcionan los medidores de energía eléctrica de las marcas de interés que actualmente utilizan los clientes industriales no regulados contrastado con los cálculos obtenidos del algoritmo propuesto en la norma IEEE 1459-2000/2010, con el fin de establecer las fortalezas del algoritmo y contemplar la necesidad de implementar dispositivos capaces de realizar mediciones más acordes con las nuevas características de los consumos industriales. Para esto se hace necesario diferenciar cada uno de los dispositivos, por tal razón se definió cada uno de los medidores de interés como estratos y así para cada estrato un valor de variación en las proporciones, estos valores se determinaron de acuerdo a estudios previos en los que se evaluaron los cálculos de algunos medidores de energía eléctrica respecto al algoritmo propuesto en el estándar IEEE 1459-2000/2010, como es el caso de **“IMPACTO DE LOS SISTEMAS DE MEDICIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA VALORACIÓN DE LA POTENCIA NO ACTIVA Y SU EFECTO SOBRE LA FACTURACIÓN”**<sup>4</sup>. En este documento se cuenta con una serie de tablas comparativas en las que es posible evaluar los errores porcentuales (E) de las mediciones de los cuatro contadores objeto de estudio respecto a un medidor que cuente con el algoritmo propuesto en el estándar IEEE 1459-2000/2010.

---

<sup>4</sup> **TESIS DE MAESTRÍA** “Impacto de los Sistemas de Medición de Energía Eléctrica en la Valoración de la Potencia No Activa y su Efecto Sobre la Facturación” **ADÁN DE JESÚS BAUTISTA MORANTES.**

Para el cálculo del valor de las variaciones en las proporciones de los diferentes estratos se tuvieron en cuenta los errores porcentuales (E) arrojados por cada tipo de medidor respecto al algoritmo de la norma IEEE 1459-2000/2010, obtenidos de las mediciones realizadas en los sistemas analizados, dichos sistemas corresponden a los más comúnmente presentes en clientes industriales logrando cubrir un amplio espectro de cargas, consumos, desbalances, entre otros. En las Tablas 5 a 8 se muestran los errores porcentuales obtenidos para cada uno de los tipos de medidores analizados

**Tabla 5. Errores porcentuales en el medidor A**

<b>MEDIDOR A</b>		
<b>Q [kVAr] IEEE 1459</b>	<b>Q [kVAr]</b>	<b>E (%)</b>
59488,9	58808,33	1,144029
129,45	81,75	36,8482
1151,27	1149,7	0,136371
76,93	76,43	0,649942
1151,27	1149,7	0,136371

Fuente.Trabajo de grado: Impacto de los sistemas de medición de energía eléctrica en la valoración de la potencia no activa y su efecto sobre la facturación

**Tabla 6. Errores porcentuales en el medidor D**

<b>MEDIDOR D</b>		
<b>Q [kVAr] IEEE1459</b>	<b>Q [kVAr]</b>	<b>E (%)</b>
59488,9	58698,11	1,329307
129,45	23,67	81,71495
1151,27	1022,5	11,18504
76,93	76,01	1,195892
1151,27	1022,5	11,18504

Fuente.Trabajo de grado: Impacto de los sistemas de medición de energía eléctrica en la valoración de la potencia no activa y su efecto sobre la facturación

**Tabla 7. Errores porcentuales en el medidor C**

<b>MEDIDOR C</b>		
<b>Q [kVAr] IEEE 1459</b>	<b>Q [kVAr]</b>	<b>E (Q%)</b>
59488,9	58698,11	1,329307
129,45	23,67	81,71495
1151,27	1022,5	11,18504
76,93	76,01	1,195892

1151,27	1022,5	11,18504
---------	--------	----------

Fuente.Trabajo de grado: Impacto de los sistemas de medición de energía eléctrica en la valoración de la potencia no activa y su efecto sobre la facturación

Tabla 8. Errores porcentuales en el medidor B

MEDIDOR B		
Q [kVAr] IEEE 1459	Q [kVAr]	E (%)
59488,9	58698,11	1,329307
129,45	23,67	81,71495
1151,27	1022,5	11,18504
76,93	76,01	1,195892
1151,27	1022,5	11,18504

Fuente.Trabajo de Grado: Impacto de los sistemas de medición de energía eléctrica en la valoración de la potencia no activa y su efecto sobre la facturación

Las diferencias en las estimaciones se presentan en las inapropiadas mediciones de la energía reactiva Q, por lo tanto es respecto a estos cálculos que se estiman los errores. De acuerdo a lo anterior y al objetivo de la investigación, los analistas definen a criterio las proporciones de éxito **p** como:

**p**: Porcentaje de medidores de cada una de las marcas de interés que estiman el parámetro potencia reactiva (Q) con un error  $E < 12\%$  respecto a las estimaciones que arrojan el algoritmo IEEE 1459-2000/2010.

Según la definición de la proporción de éxito **p** y los errores porcentuales (E) en las tablas de los diferentes tipos de medidor se determinan los valores de las variaciones en las proporciones para los distintos estratos (ver Tabla 9).

Tabla 9. Valores de variación en las proporciones

VARIACIÓN EN LAS PROPORCIONES		
MEDIDOR	p	q
A	0,8	0,2
D	0,8	0,2
C	0,8	0,2
B	0,8	0,2

Cada uno de las marcas de medidores tiene un porcentaje definido de participación dentro de la población objetivo.

**Tabla 10. Distribución de las marcas de medidores seleccionados**

MEDIDOR	PESO	% PARTICIPACIÓN
A	0,205	20,5%
D	0,393	39,3%
C	0,304	30,4%
B	0,098	9,8%

Al definir el error estándar máximo permitido y la confiabilidad de la inferencia esperada para el presente estudio, el analista tiene en cuenta factores como: el objetivo principal y la disponibilidad de los recursos técnicos, financieros y de tiempo, por lo tanto a criterio convencional se define un error del 7%, con un intervalo de confianza de 90%, lo cual representa un valor de estandarización para la curva normal  $Z = 1,64476$ .

Las expresiones para realizar los cálculos de estimación de la muestra se listan a continuación

**V:** Variación de la muestra

$$V = \frac{e^2}{Z^2} \quad V = \frac{0,07^2}{1,64476^2} \quad V = 0,001811303 \quad (54)$$

**n<sub>o</sub>:** Tamaño de la muestra para universos infinitos

$$n_o = \frac{\sum W_h P_h Q_h}{V} \quad (55)$$

$$= \frac{(0,205 * 0,8 * 0,2) + (0,393 * 0,8 * 0,2) + (0,304 * 0,8 * 0,2) + (0,098 * 0,8 * 0,2)}{0,001811303}$$

$$n_o = \mathbf{88,334}$$

**n:** Tamaño de la muestra para universos finitos

$$n = \frac{n_o}{1 + (n_o/N)} \quad n = \frac{88,334}{1 + (88,334/112)} \quad n = 49,3 \cong 50 \quad (56)$$

Se determinó una muestra de 49,3846 clientes industriales, que se aproxima a 50 clientes industriales no regulados de consumo igual o superior a 60,000 kWh/mes.

La selección del número de clientes industriales no regulados por cada una de las marcas de medidores de interés, es decir por cada estrato se llevó a cabo por el método de asignación proporcional, que consiste en utilizar la misma tasa de muestreo en todos los estratos.

$$W_h = \frac{N_h}{N}$$

$$n_h = nW_h \quad (57)$$

De acuerdo a la expresión anterior se obtiene la Tabla 11.

**Tabla 11. Tamaño de muestra para cada uno de los estratos**

MEDIDOR	NUMERO DE USUARIOS			PESO	n <sub>h</sub>
	NIVEL 2	NIVEL 3	TOTAL		
A	13	10	23	0,205	10,141
D	27	17	44	0,393	19,401
C	21	13	34	0,304	14,992
B	3	8	11	0,098	4,850
<b>TOTAL</b>	<b>64</b>	<b>48</b>	<b>112</b>	<b>1</b>	<b>49,385</b>

Para determinar la cantidad de clientes que se deben analizar en cada uno de los niveles de tensión de cada estrato, se realizó una nueva fijación proporcional, proceso que arroja como resultado la Tabla 12.

**Tabla 12. Tamaño de muestra para cada nivel de tensión y cada uno de los estratos**

MEDIDOR	PESO		MUESTRA		n <sub>h(i,j)</sub>		n <sub>h</sub>
	NT 2	NT 3	NT 2	NT 3	NT 2	NT 3	
A	0,565	0,435	5,732	4,409	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>10</b>
D	0,614	0,386	11,905	7,496	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>20</b>

C	0,618	0,382	9,260	5,732	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>15</b>
B	0,273	0,727	1,323	3,527	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>n</b>					<b>28</b>	<b>22</b>	<b>50</b>

Con el tamaño de muestra por estratos y niveles de tensión ya determinado, se realiza una selección de clientes industriales aleatoria simple dentro de los estratos y niveles de tensión.

En el Anexo B se presenta la lista de clientes seleccionados donde se describen cuatro características de los clientes, la primera es el código SIC, dicho código es la identificación del cliente en el sistema interno de la empresa, seguido por la ciudad donde se encuentra radicado el cliente, departamento y por último la marca del medidor utilizada por cada uno de los clientes.

## 5. SIMULACIÓN DE LAS ESTIMACIONES DE POTENCIA

En este capítulo se describen los procedimientos realizados para la captura de señales trifásicas de tensión y corriente y los métodos utilizados para el posterior procesamiento de las respectivas señales, se exponen los resultados de las mediciones y análisis de los cálculos obtenidos en base al factor de potencia determinado en cada uno de los casos, se hace una clasificación de la información recopilada según el desbalance de carga de los usuarios seleccionados, con el propósito de mantener lo más homogénea posible las poblaciones objeto de estudio.

Posteriormente se identifican las incertidumbres en la medida del factor de potencia debidas a la implementación de algoritmos de medición que difieren del propuesto en el estándar IEEE 1459-2000/2010 y a la utilización del método de conexión en dos elementos en lugar de tres elementos.

### 5.1. MONITORIZACIÓN DE LAS SEÑALES DE TENSIÓN Y CORRIENTE

Como el estudio está orientado a la selección de un grupo de usuarios sobre los cuales se realizarán la monitorización de las señales de tensión y corriente que servirán como base para analizar el comportamiento de los medidores instalados en sus fronteras, mediante el uso de un dispositivo analizador de redes FLUKE 435 (véase **Figura 3, ovalo verde**) se realizó la monitorización.

La mayor parte de los usuarios tenía el equipo de medida conectado en conexión con dos elementos, y solo unos pocos se encontraban conectados con los tres elementos.

El dispositivo cuenta con una serie de pinzas rígidas de corriente eléctrica Modelo: I5S, con unas especificaciones de corriente de 5 [A] que se conectan en las entradas de corriente del equipo de medida del usuario (véase **Figura 3, ovalo amarillo**).

En el tablero de conexiones se conectan las pinzas de tensión Modelo: AC285, con especificaciones en Tensión1 – 1000 [V] (véase **Figura 3, ovalo rojo**).

El dispositivo estuvo conectado al equipo de medida de los clientes durante un periodo de 24 horas y los datos recopilados se almacenaban en un computador portátil conectado al FLUKE 435 por medio del software del dispositivo y su respectivo cable óptico.

**Figura 3. Foto real tomada en campo Parque Nacional del Chicamocha**



## 5.2. PROCESAMIENTO DE DATOS

Mediante el uso del software MATLAB se procesan los datos adquiridos, con el propósito de estimar las mediciones de potencia que corresponden a cada conjunto de datos recopilado en las instalaciones de cada usuario.

Los medidores analizados dentro del presente estudio, tienen comportamientos que difieren en el cálculo de las potencias reactiva, de dimensionamiento y en el factor de potencia principalmente. Sin embargo algunos de ellos tienen características comunes, por lo cual marcas de medidores digitales analizados, se pueden clasificar en tres grandes grupos denominados Algoritmo 1, 2 y 3 respectivamente a su vez se incluye un nuevo algoritmo que corresponde al propuesto en el estándar IEEE 1459-2000/2010 y estos cuatro algoritmos procesan los datos capturados. En la Tabla 13 se describen las ecuaciones utilizadas por cada uno de estos algoritmos para estimar las potencias reactiva y de dimensionamiento así como el factor de potencia. La estimación de la potencia activa se realiza de igual forma en todos los medidores digitales analizados.

**Tabla 13. Clasificación de los algoritmos de medida objeto de estudio**

TIPO DE ALGORITMO	POTENCIA REACTIVA	POTENCIA APARENTE	FACTOR DE POTENCIA
ALGORITMO 1	$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$	$S = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} v_n^2} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} i_n^2}$	$FP = P/S$
ALGORITMO 2	$Q = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} v_n^{(90)} \cdot i_n$	$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$	$FP = P/S$
ALGORITMO 3	$Q = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} v_n^{(90)} \cdot i_n$	$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$	$FP = \cos\left(\tan^{-1} \frac{Q}{P}\right)$

Fuente. Catálogos de fabricantes de equipos de medida

Las señales adquiridas se escalan a los valores reales según la relación de transformación de los transformadores de corriente y los niveles de tensión a los que se encontraban conectados los clientes.

En los sistemas de tres hilos, la corriente de la fase de referencia (s) se obtiene como:  $i_s(t) = -i_r(t) - i_t(t)$

Los datos recopilados son simulados para los dos tipos de conexión posibles para la medición de potencia y energía en un sistema de tres hilos: Conexión con 3 elementos y conexión con dos elementos. De esta simulación se obtienen los indicadores relevantes para la estimación de energía eléctrica que se mencionaron previamente en el Capítulo 4.

El dispositivo estuvo conectado al equipo medidor de energía de los usuarios seleccionados durante un periodo de 24 horas consecutivas. La revisión posterior de los datos recopilados evidencia que los usuarios presentan 2 modos de consumo durante el periodo de tiempo indicado, es decir el consumo de energía de los usuarios cambiaba de un modo de bajo consumo a otro de alto consumo sin tener periodos de tiempo con consumo intermedio; por esta razón solo se tienen en cuenta para el análisis dos modos de consumo con una duración de seis horas cada uno, pues los periodos de tiempo restantes son equivalentes a los evaluados.

Las señales adquiridas se obtienen por periodos y se agregan en grupos de 12 periodos para lograr señales de 0,2 [s] de duración, posteriormente se agregan 3000 paquetes de 12 ciclos para lograr paquetes de 600 [s], para finalizar agregando 6 paquetes de 600 [s] hasta lograr paquetes de 1 [h] de duración.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> CEI 61000-4-30:2003 Parte 4-30 :Técnicas de ensayo y de medida

Para efectos del trabajo desarrollado los parámetros simulados se agregaron en periodos de duración de 1[h] obteniéndose así 6 (seis) estimaciones del mismo parámetro para cada modo de consumo, lo que conduce a doce (12) datos por cliente.

### 5.3. ESCENARIOS DE CARGA

Se establecieron dos (2) escenarios de carga según la información indicada por el desbalance de corriente, calculado en los sistemas.

$D(\%) = \text{Desbalance de corriente}$

$I_{max} = \text{Corriente maxima de las tres (3) fases}$

$I_{med} = \text{Corriente media de las tres (3) fases}$

$$D(\%) = \frac{I_{max} - I_{med}}{I_{med}} \quad (58)$$

Los escenarios son:

- **Grupo de usuarios con carga balanceada ( $0,270\% < D < 1,804\%$ )**

En este grupo encontramos un conjunto de usuarios en el que los valores eficaces de las corrientes de cada fase, para el mismo instante de tiempo son aproximadamente iguales entre si asociado a sistemas conectados en niveles de tensión 2 y 3 con carga trifásica y con algunas cargas monofásicas adecuadamente distribuidas. Los usuarios que pertenecen a este escenario corresponden al sector industrial de alto consumo de energía.

- **Grupo de usuarios con carga no balanceada ( $D \gg 3, 288\%$ )**

En este escenario, los valores eficaces de las corrientes de cada fase, difieren entre sí para un mismo instante de tiempo. El escenario está asociado con sistemas a nivel de tensión 2, con cargas trifásicas, cargas monofásicas elevadas que no están distribuidas equitativamente dentro del sistema o eventualmente con cargas trifásicas en falla.

Estos escenarios de carga tienen una clasificación interna por tipos de consumo como se indicó en la sección anterior. Los tipos de consumo bajo y alto están definidos según el nivel de tensión en el que se adquirieron los datos. La Tabla 14 presenta los rangos de consumo establecidos.

**Tabla 14. Rangos de consumo según los modos y niveles de tensión**

RANGOS DE CONSUMO		
TIPO DE CONSUMO	NIVELES DE TENSIÓN	
	NT 2	NT 3
Bajo consumo	$0 - 40 [kW/h]$	$0 - 100 [kW/h]$
Alto consumo	$100 - 200 [kW/h]$	$200 - 1000 [kW/h]$

#### 5.4. ESTIMACIÓN DE INCERTIDUMBRE

El procedimiento que se llevó a cabo para la determinación de la incertidumbre en la medida, corresponde a la realización de una interpolación de los datos estimados.

Con el fin de determinar si las dos variables cuantitativas están correlacionadas cuando los valores de una de ellas ( $fp_i$ ), varían sistemáticamente con respecto a los valores homónimos de la otra ( $fp_e$ ).

Una vez estimada la correlación de tendencia lineal se analizan de la ecuación de la recta correspondiente, los valores de pendiente e intercepto teniendo en cuenta que las correlaciones confiables son aquellas con índice de correlación de Pearson cercano a uno (1), es decir:

Siendo:

$fp_i$ : Factor de potencia según Algoritmo  $i$

$fp_e$ : Factor de potencia según Algoritmo IEEE 1459 – 2000/2010

Para  $n$  muestras de  $fp_i$  para  $i = 1,2,3$  y  $n$  muestras de  $fp_e$ , se correlacionan los datos de  $fp_i$  y  $fp_e$ , para estimar la mejor tendencia lineal y determinar los factores de potencia de los  $i$  Algoritmos en términos del factor de potencia efectivo definido según el estándar IEEE 1459-2000/2010 es decir:

$$fp_i(fp_e) = m * fp_e + b \quad (59)$$

Donde  $m$  corresponde a la pendiente de la recta obtenida y esta debe ser  $m \cong 1$  con el propósito de que el intercepto  $b$  corresponda a la incertidumbre en la medida del factor de potencia, también se debe cumplir que  $R^2$  sea aproximadamente 1 pues este coeficiente de correlación indica la confiabilidad de la estimación.

Para efectos ilustrativos se presentan en los Anexos C y D tablas de incertidumbres con una clasificación según el tipo de consumo, con el propósito de exponer cuales de las aproximaciones debidas a la interpolación son adecuadas cuando la población objeto de estudio se fracciona respecto al nivel de consumo de energía alto o bajo definido en la Tabla 14. En este anexo se evidencia que las correlaciones son muy confiables y que la mayoría de las incertidumbres estimadas son válidas cuando se clasifican los datos por tipo de consumo.

De aquí en adelante en la sección de incertidumbre no se mencionaran incertidumbres clasificadas según tipo de consumo (bajo ó alto), debido a que esta clasificación implica una dispersión en los valores de incertidumbre, así que solo se estimaran las incertidumbres de los algoritmos a los que no los afecta esta clasificación.

#### 5.4.1. Usuarios conectados en dos elementos

En las Tablas 15 a 17 se exponen las incertidumbres en la estimación del factor de potencia para niveles de tensión 2 y 3 cuando los medidores están conectados utilizando dos elementos para la medición de potencia y energía.

En la Tabla 15 se presentan los resultados obtenidos cuando la conexión realizada en el equipo de medida es con dos elementos, la carga esta balanceada y los usuarios están conectados en nivel de tensión 2.

En este caso particular no es posible estimar una incertidumbre en la medición, que sea confiable para los **algoritmos 1 ,2 y 3**, debido a que no se cumplen los requisitos de  $m \cong 1$  y que el coeficiente de correlación  $R^2 \cong 1$ .

**Tabla 15. Incertidumbre en conexión de dos elementos y carga balanceada, nivel 2 de tensión**

ALGORITMOS	NIVEL DE TENSIÓN 2		
	PENDIENTE (m)	INTERCEPTO (b)	R <sup>2</sup>
1	1,416	0,4714	0,9
2	0,4321	0,5242	0,44
3	0,6197	0,3598	0,76
INCERTIDUMBRE			

En la Tabla 16 se presentan los resultados obtenidos cuando la conexión realizada en el equipo de medida es con dos elementos, la carga esta balanceada y los usuarios están conectados en nivel de tensión 3.

Tabla 16. Incertidumbre en conexión de dos elementos y carga balanceada, nivel 3 de tensión

ALGORITMOS	NIVEL DE TENSIÓN 3		
	PENDIENTE (m)	INTERCEPTO (b)	R <sup>2</sup>
1	0,91	0,008	0,99
2	0,99	0,0007	0,99
3	0,991	0,0029	1
INCERTIDUMBRE			

Para esta situación tal como se muestra en la Tabla 16 se cumple el requisito de alta confiabilidad de la correlación  $R^2 \cong 1$  y  $m \approx 1$  por lo tanto, se obtiene que:

- **El algoritmo 1** presenta una incertidumbre en la medida de  $\pm 0,008$ , en tipo de **conexión de dos elementos**.
- **El algoritmo 2** presenta una incertidumbre en la medida de  $\pm 0,0007$ , en tipo de **conexión de dos elementos**.
- **El algoritmo 3** presenta una incertidumbre en la medida de  $\pm 0,0029$ , en tipo de **conexión de dos elementos**.

#### 5.4.1.1. Grupo de usuarios no balanceados

En la Tabla 17 se presentan los resultados obtenidos cuando la conexión realizada en el equipo de medida es con dos elementos, la carga no está balanceada y los usuarios están conectados en nivel de tensión 2.

Tabla 17. Incertidumbre en conexión de dos elementos y carga no balanceada, nivel de tensión 2

ALGORITMOS	NIVEL DE TENSIÓN 2		
	PENDIENTE (m)	INTERCEPTO (b)	R <sup>2</sup>
1	0,7	0,1114	0,989
2	0,7	0,1114	0,99
3	1,2	-0,1243	0,99
INCERTIDUMBRE			

Para esta situación tal como se muestra en la Tabla 17, se obtiene que:

- **El algoritmo 1** presenta una incertidumbre en la medida de  $\pm 0,1114$ , en tipo de **conexión de dos elementos**.
- En este caso particular no es posible estimar una incertidumbre en la medición, que sea confiable para los **algoritmos 2 y 3**, debido a que no se cumplen los requisitos  $m \cong 1$  aunque los coeficientes  $R^2 \approx 1$

#### 5.4.2. Usuarios conectados en 3 elementos

El análisis de usuarios conectados en tres elementos se presenta a continuación tanto para los niveles de tensión 2 y 3 como para cargas balanceadas y no balanceadas.

##### 5.4.2.1. Grupo de usuarios balanceados

De acuerdo con los resultados mostrados en la Tabla 18, se acepta únicamente la incertidumbre obtenida para el algoritmo 1, las de los algoritmos restantes tienen índices de correlación muy bajos y pendientes muy inferiores a la unidad.

**Tabla 18. Incertidumbre en conexión 3 elementos, carga balanceada y nivel de tensión 2**

ALGORITMOS	NIVEL DE TENSIÓN 2		
	PENDIENTE (m)	INTERCEPTO (b)	R <sup>2</sup>
1	0,9785	0,02	0,99
2	0,4321	0,5242	0,4364
3	0,6197	0,3598	0,7632
INCERTIDUMBRE			

Los resultados de la Tabla 18 permiten concluir que los algoritmos objeto de estudio, cuando censan usuarios con cargas balanceadas y están conectados en tres elementos exhiben las siguientes incertidumbres:

- **El algoritmo 1** presenta una incertidumbre en la medida de  $\pm 0,02$  , en la **conexión tres elementos** para usuarios conectados en **nivel de tensión 2**.
- En este caso particular no es posible estimar una incertidumbre en la medición, que sea confiable para los **algoritmos 2 y 3**, debido a que no se cumplen los requisitos  $m \cong 1$  y que el coeficiente de correlación  $R^2 \cong 1$ .

En la Tabla 19 se presentan los resultados obtenidos cuando la conexión realizada en el equipo de medida es con tres (3) elementos, carga balanceada y los usuarios están conectados en nivel de tensión 3.

**Tabla 19. Incertidumbre en conexión 3 elementos y carga balanceada y nivel de tensión 3**

ALGORITMOS	NIVEL DE TENSIÓN 3		
	PENDIENTE (m)	INTERCEPTO (b)	R <sup>2</sup>
1	1,0029	-0,0023	1
2	0,9938	0,0007	0,99
3	0,991	0,0029	1
		INCERTIDUMBRE	

Para esta situación y de acuerdo con los resultados de la Tabla 19 se establece que para el nivel de tensión 3 con carga balanceada y conexión de tres elementos:

- **El algoritmo 1** presenta una incertidumbre en la medida de  $\pm 0,0023$  .
- **El algoritmo 2** presenta una incertidumbre en la medida de  $\pm 0,0007$  .
- **El algoritmo 3** presenta una incertidumbre en la medida de  $\pm 0,0029$  .

#### 5.4.2.2. Grupo de usuarios no balanceados

En la Tabla 20 se presentan los resultados obtenidos cuando la conexión realizada en el equipo de medida es con tres elementos, la carga no está balanceada y los usuarios están conectados en nivel de tensión 2.

Tabla 20. Incertidumbre en conexión 3 elementos, carga no balanceada y nivel de tensión 2

ALGORITMOS	NIVEL DE TENSIÓN 2		
	PENDIENTE (m)	INTERCEPTO (b)	R <sup>2</sup>
1	1,01	-0,0069	0,99
2	1,23	-0,1374	0,99
3	1,2	-0,1243	0,99
INCERTIDUMBRE			

Los resultados de la Tabla 20 permiten concluir que:

- **El algoritmo 1** presenta una incertidumbre en la medida de  $\pm 0,0069$ , en la **conexión de tres elementos**.
- En este caso particular no es posible estimar una incertidumbre en la medición, que sea confiable para los **algoritmos 2 y 3**, debido a que no se cumplen los requisitos  $m \cong 1$  aunque los coeficientes  $R^2 \approx 1$ .

En todos los casos fue posible estimar la incertidumbre del algoritmo 1, este tipo de algoritmo fue quien arrojó mejores incertidumbres sin importar nivel de tensión. En el nivel de tensión 3 con cargas balanceadas, todos los algoritmos permiten establecer un nivel de incertidumbre. Para clientes con desbalance en la carga los datos son tan dispersos en los algoritmos 2 y 3 que solo el algoritmo 1 permite establecer un valor de incertidumbre válido.

El algoritmo 1 que había presentado el mejor comportamiento en tipo de conexión tres elementos, cuando es conectado en dos elementos no permite establecer una incertidumbre válida en clientes balanceados, pero cuando los usuarios

presentan desbalance de carga, el algoritmo 1 es quien permite establecer una incertidumbre posible.

Cuando se aumenta el nivel de tensión, las estimaciones de los algoritmos mejoran significativamente y todos los algoritmos permiten establecer la incertidumbre en la medida.

## 6. VALIDACIÓN DEL ALGORITMO MÁS EFICIENTE.

A fin de obtener conclusiones válidas y objetivas de la eficiencia de los algoritmos, los datos hallados en el estudio técnico de la presente investigación son sometidos a un análisis estadístico que permitirá establecer comparaciones entre los algoritmos implementados en los medidores de los usuarios y el algoritmo planteado por el estándar IEEE 1459 – 2000/2010.

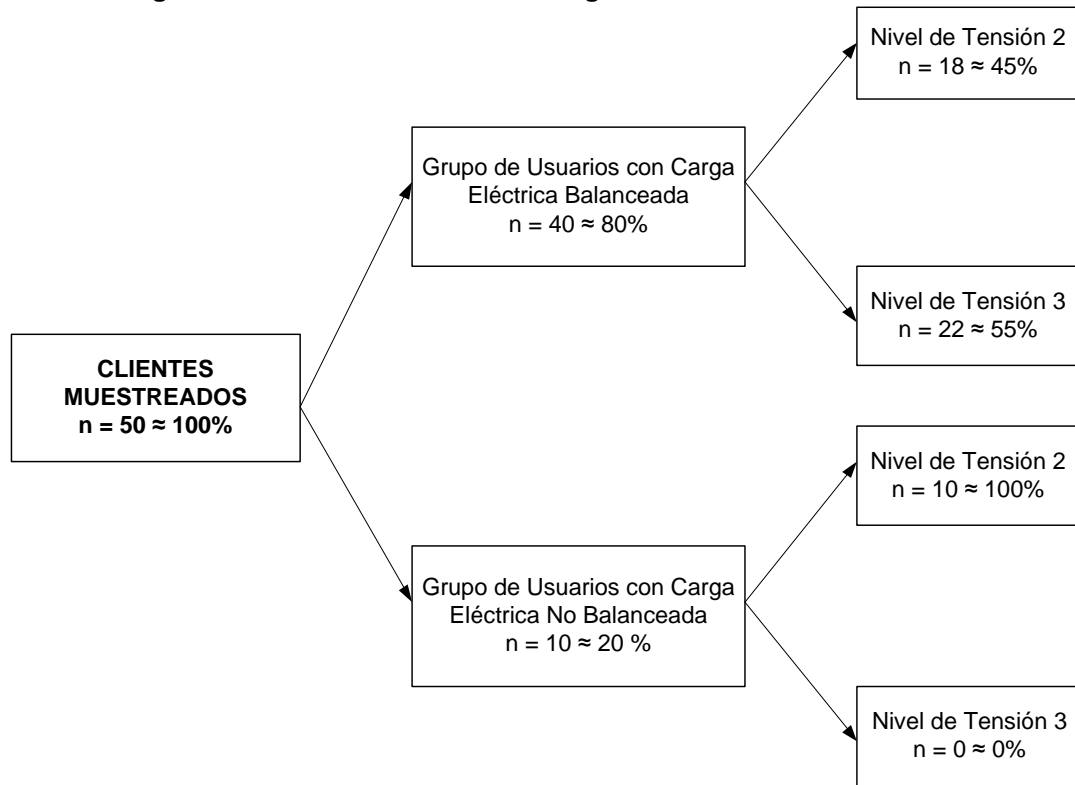
Para el análisis se usan dos diseños experimentales factoriales con modelo de efectos fijos, uno equilibrado y el otro desbalanceado; los datos fueron capturados y procesados como se explica en el Capítulo 6 de este libro, en este proceso solo se analiza el tipo de conexión a tres elementos debido a que la definición de la norma IEEE 1459 – 2000/2010 únicamente contempla este tipo de conexión.

Los clientes objeto de estudio se clasifican en dos grupos homogéneos según sus características:

- Grupo de usuarios con carga eléctrica balanceada
- Grupo de usuarios con carga eléctrica no balanceada

Ahora bien, de los clientes muestreados  $n = 50$ , el 80% pertenecen al grupo con carga eléctrica balanceada y el 20% restante al grupo con carga eléctrica no balanceada, igualmente como se mencionó en el Capítulo 5 los clientes poseen otra clasificación que es el nivel de tensión al que se encuentran conectados que para efectos de este capítulo y como se explicara más adelante esta clasificación se convierte en una variable de análisis, por lo tanto la distribución de los clientes para este estudio según los datos obtenidos es la mostrada en la Figura 4.

**Figura 4. Distribución de clientes según la naturaleza de los datos**



Dado que cada grupo de usuarios corresponde a una unidad experimental, en el desarrollo de este análisis tal y como se mencionó anteriormente se llevan a cabo dos diseños experimentales cada uno con su respectivo análisis.

### **6.1. DISEÑO EXPERIMENTAL PARA CLIENTES CON CARGA ELÉCTRICA BALANCEADA**

En el diseño experimental factorial se establece la influencia de los factores (variables independientes) en la estimación de la variable dependiente, mediante el análisis de la significancia de los efectos principales y sus interacciones, las variables a estudiar consideradas son:

- **VARIABLE DEPENDIENTE:** Factor de potencia

- **VARIABLES INDEPENDIENTES:**

- Tipo de algoritmo
- Nivel de tensión
- Tipo de consumo

Las variables independientes por ser cualitativas, sus niveles se clasifican de la siguiente manera y fueron definidos y denominados en los capítulos anteriores.

- **TIPO DE ALGORITMO:**

- Algoritmo 1
- Algoritmo 2
- Algoritmo 3
- Algoritmo IEEE 1459 - 2000/2010

- **NIVEL DE TENSIÓN**

- Nivel de tensión 2
- Nivel de tensión 3

- **TIPO DE CONSUMO**

- Bajo consumo
- Alto consumo

El diseño se esquematiza como se muestra en la Tabla 21 donde también se señala la cantidad de réplicas por tratamiento establecidas según la distribución de clientes antes mencionada y teniendo en cuenta que para cada cliente existen 6 réplicas donde cada una equivale a una hora de procesamiento, tal y como se explica en el Capítulo 6. En el Anexo E. se presentan los datos usados para este análisis estadístico.

**Tabla 21. Diseño factorial para clientes con carga eléctrica balanceada**

TIPO DE ALGORITMO	NIVEL DE TENSIÓN			
	Nivel de Tensión 2		Nivel de Tensión 3	
	TIPO DE CONSUMO		TIPO DE CONSUMO	
	Bajo Consumo	Alto Consumo	Bajo Consumo	Alto Consumo
Algoritmo 1	108 datos	108 datos	132 datos	132 datos
Algoritmo 2	108 datos	108 datos	132 datos	132 datos
Algoritmo 3	108 datos	108 datos	132 datos	132 datos
Algoritmo IEEE	108 datos	108 datos	132 datos	132 datos

Para conocer la influencia y la significancia de los efectos de las variables se procede a realizar un análisis de varianza factorial (ANOVA factorial) a un nivel de significancia del 5%, para realizar los análisis mencionados se utiliza el paquete estadístico SPSS versión 17.0.

#### **6.1.1. Anova factorial para clientes con carga eléctrica balanceada**

El objetivo principal de este análisis es optimizar la variable dependiente encontrando la combinación de niveles de los factores que optimizan dicha respuesta. Antes de llevar a cabo el análisis se comprobará si los supuestos para el modelo de efectos fijos se satisfacen con el fin de validar el modelo y el uso del ANOVA; con respecto al primer supuesto se afirma que los datos del experimento provienen de muestras independientes aleatorias, los siguientes supuestos se llevan a cabo aplicando el test de Kolmogorov a los datos residuales y el test de Levene, para normalidad y homocedasticidad respectivamente, la aplicación realizada se encuentra en los anexos F.1. – F.2. y verifican el cumplimiento de ellos.

Ahora se realiza el ANOVA factorial para sacar las conclusiones necesarias acerca del experimento en estudio, entonces:

- **Hipótesis ANOVA**

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \dots \dots \dots = \mu_k$$

**H<sub>1</sub>: Al menos dos medias no son iguales**

La regla de decisión es:

Si **Sig. > 0,05**, entonces se acepta la **H<sub>0</sub>**.

Si se da el caso de que se acepta **H<sub>0</sub>**, no es necesario realizar otras comparaciones, por el contrario si se rechaza quiere decir que las medias difieren para lo que se hace necesario realizar las pruebas de comparaciones múltiples y conocer en que grupos se producen las diferencias significativas, por último, y si el análisis concluye en que se rechaza la hipótesis nula, solo restará por determinar si las diferencias que se aprecian entre las medias responden a efectos principales o/y al efecto provocado por alguna interacción de las variables independientes

La tabla ANOVA (Tabla 22) contiene la información por columnas de: fuentes de variación, las sumas de cuadrados, los grados de libertad (gl), las medias cuadráticas, los estadísticos F y los niveles críticos (Sig.) asociados a cada estadístico F, este último es el parámetro de interés para la regla de decisión.

Las filas que son de interés para el estudio son: Tipo de Algoritmo, Nivel de Tensión, Tipo de Consumo, Tipo de Algoritmo \* Nivel de Tensión, Tipo de Algoritmo \* Tipo de Consumo, Nivel de Tensión \* Tipo de Consumo, Tipo de Algoritmo \* Nivel de Tensión \* Tipo de Consumo, que corresponden a los efectos de cada uno de los factores y a las intersecciones de orden dos y orden tres entre los factores.

**Tabla 22. ANOVA factorial**

**Pruebas de los efectos inter-sujetos**

Variable dependiente: FACTOR DE POTENCIA

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	0,428 <sup>a</sup>	15	0,029	117.235	0,000
Intersección	1540.156	1	1540.156	6330096.728	0,000
TIPODEALGORITMO	0,014	3	0,005	19.384	0,000
NIVELDETENSION	0,084	1	0,084	344.990	0,000
TIPODECONSUMO	3.252E-5	1	3.252E-5	0,134	0,715
TIPODEALGORITMO * NIVELDETENSION	0,053	3	0,018	72.200	0,000
TIPODEALGORITMO * TIPODECONSUMO	0,028	3	0,009	37.795	0,000
NIVELDETENSION * TIPODECONSUMO	0,229	1	0,229	939.861	0,000
TIPODEALGORITMO * NIVELDETENSION * TIPODECONSUMO	0,028	3	0,009	38.016	0,000
Error	0,463	1904	0,000		
Total	1554.308	1920			
Total corregida	0,891	1919			

a. R cuadrado = ,480 (R cuadrado corregida = ,476)

De acuerdo a la regla de decisión el efecto que no es estadísticamente significativo del modelo planteado es **Tipo de Consumo** debido a que el **Sig.** Es **0,715**, por lo tanto se acepta  $H_0$  y no es necesario realizar otras comparaciones para este efecto. Para los efectos restantes se realizan pruebas de comparaciones múltiples.

- **Pruebas post hoc**

Se analizan los efectos principales, primero se estudia qué Tipo de Algoritmo es significativamente diferente mediante la prueba Scheffe, prueba apropiada para modelos con datos desbalanceados, la tabla arrojada por esta prueba mediante el paquete estadístico SPSS se encuentra en el anexo G.1.

**Tabla 23. Subconjuntos homogéneos**

**FACTOR DE POTENCIA**

Scheffe<sup>a,b</sup>

TIPO DE ALGORITMO	N	Subconjunto	
		1	2
Algoritmo IEEE	480	0,8971274568	
Algoritmo 1	480	0,8976176334	
Algoritmo 2	480		0,9007239783
Algoritmo 3	480		0,9024668158
Sig.		0,971	0,392

Se muestran las medias de los grupos de subconjuntos homogéneos.

Basadas en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) =0 ,000.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 480,000

b. Alfa = 0,05.

La aplicación de la prueba indica que de acuerdo con el procedimiento de Scheffe, el grupo Algoritmo 1 no difiere del grupo Algoritmo IEEE para el cual el valor **Sig.** es 0,971 con un intervalo de confianza (-0,0023 – 0,0033), y el grupo Algoritmo 2 no difiere del grupo Algoritmo 3 con un valor **Sig.** de 0,392 y un intervalo de (-0,001 – 0,0045); estos valores de Sig. hallados y los correspondientes intervalos de confianza que como se observa pasan por cero conforman subconjuntos homogéneos de los grupos cuyas medias no difieren entre sí, tal y como se muestra en la Tabla 23.

De aquí se obtiene una primera conclusión del análisis con base al objetivo de este estudio investigativo y es la optimización de la medida, factor de potencia validando para ello el algoritmo que más se acerque al propuesto en la norma IEEE 1459-2000/2010, que según los resultados determina que el más eficiente es el Algoritmo 1.

Continuando con el análisis de los efectos principales queda por analizar el factor Nivel de Tensión que para efectos del estudio solo tiene interés cuando interactúa con el Tipo de Algoritmo.

- **Efecto de las interacciones**

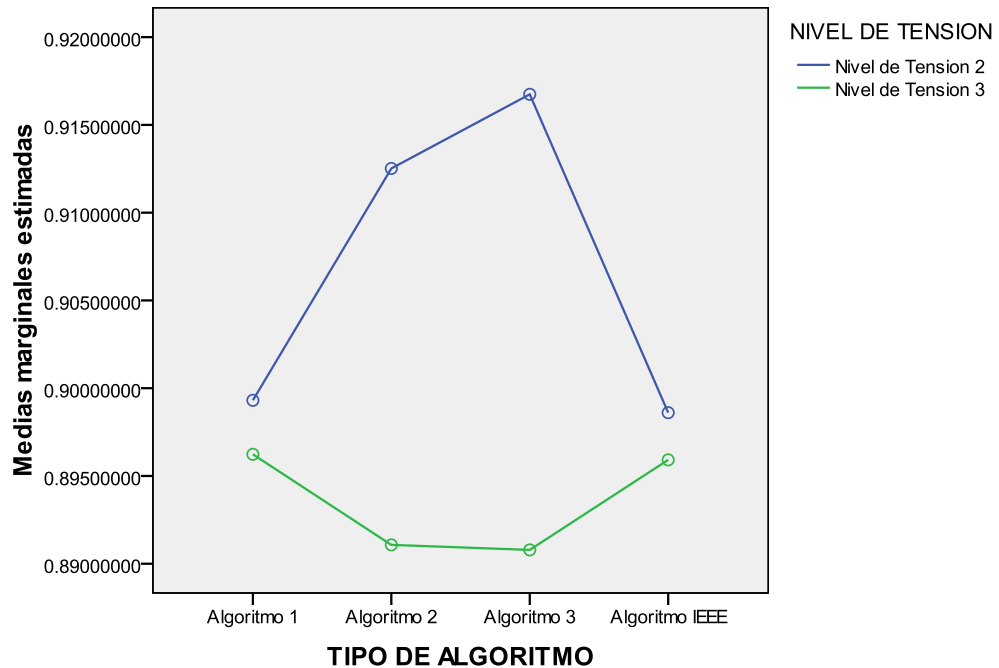
Se realiza comparación por pares que permite contrastar los efectos simples, es decir comparar entre si los niveles de un factor dentro de cada nivel del otro factor y mediante el nivel crítico (Sig.) asociado a cada comparación se realiza interpretaciones correctas de los efectos, adicional se valida con gráficos de perfil.

En el gráfico de perfil de interacción entre dos factores, en el eje de ordenadas se representa la escala de las medias de la variable respuesta; en el eje de abscisas se representan los niveles de un factor y las líneas gráfico representan los niveles del otro. El gráfico en la interacción triple se muestra un gráfico de interacción doble en cada nivel del tercer factor.

Las interacciones Tipo de Algoritmo\* Tipo de consumo y Nivel de tensión\*Tipo de consumo, no son de interés para el estudio por tanto se omite su análisis e interpretación.

- Tipo de algoritmo y nivel de tensión

**Figura 5. Interacción entre los factores tipo de algoritmo y nivel de tensión  
Medias marginales estimadas de FACTOR DE POTENCIA**

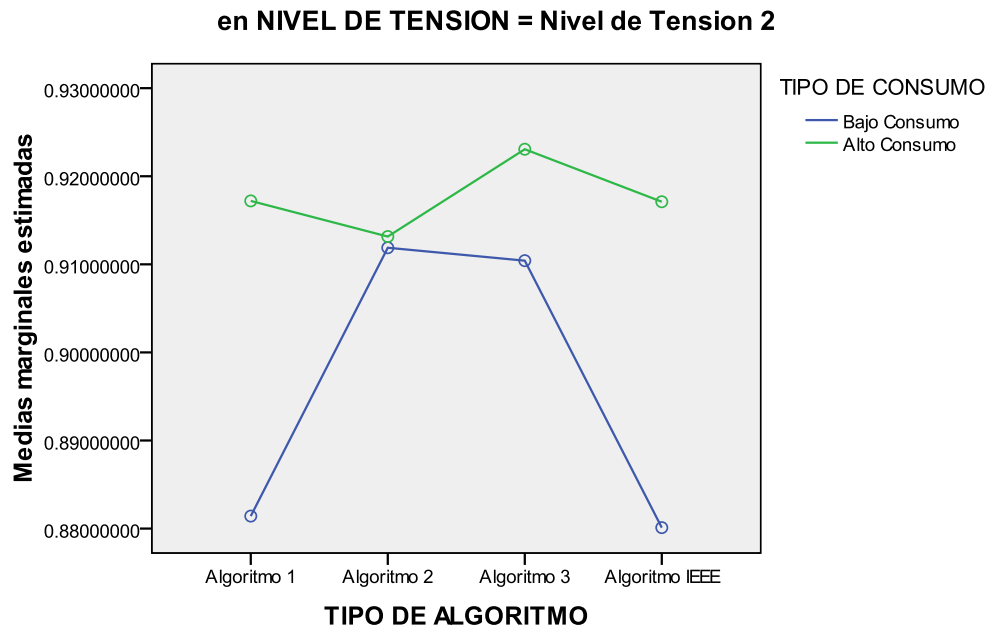


Según los resultados obtenidos que se encuentran en el anexo G.2 y se muestran en la Figura 5 Indican que en el Nivel de Tensión 2 el grupo Algoritmo 1 no difiere del grupo Algoritmo IEEE para el cual el valor **Sig.** es 1 con un intervalo de confianza (-0,003 – 0,005), y para el Nivel de Tensión 3 se comporta igual el algoritmo 1 con el algoritmo IEEE teniendo un valor de **Sig.** de 1 y un intervalo (-0,003 – 0,004) adicional para este nivel de tensión el grupo Algoritmo 2 no difiere del grupo Algoritmo 3 con un valor **Sig.** de 1 y un intervalo de confianza de (-0,003 – 0,004); los intervalos confirman que de la manera como se nombraron los grupos no son estadísticamente diferentes, dado que dichos intervalos pasan por cero.

Nuevamente los efectos muestran que el Algoritmo 1 es el que más se aproxima a la estimación del factor de potencia del algoritmo IEEE 1459 - 2000/2010 adicional señala que es el más eficiente independiente del nivel de tensión al cual se encuentre conectado el usuario.

- **Tipo de algoritmo, nivel de tensión y tipo de consumo**

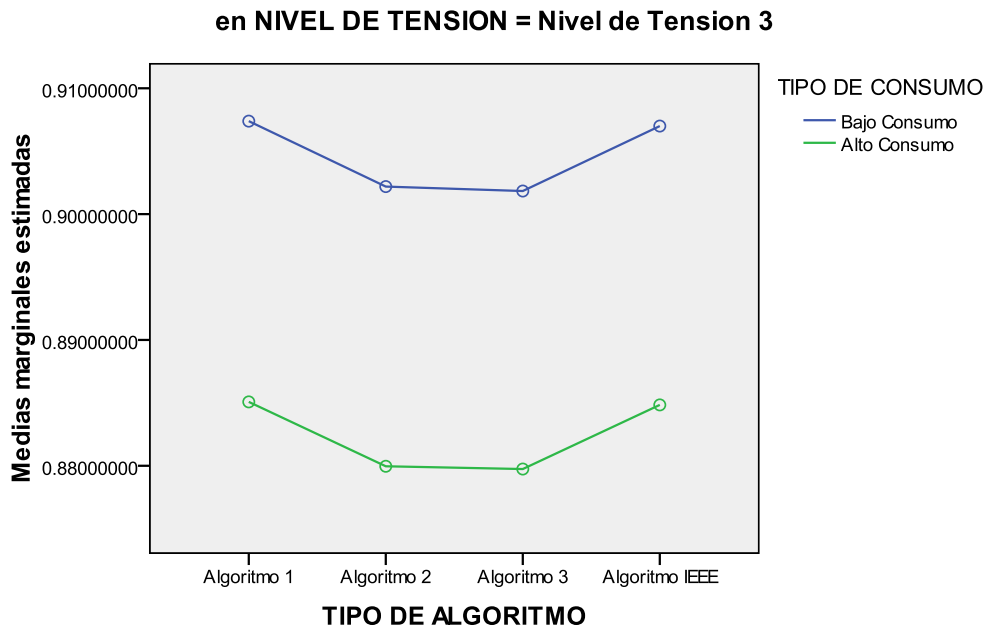
**Figura 6. Interacción entre tipo de algoritmo, nivel de tensión 2 y tipo de consumo**  
**Medias marginales estimadas de FACTOR DE POTENCIA**



Los datos que corresponden a la Figura 6 para su respectiva interpretación se encuentran en el anexo G.3, aquí se analiza en el Nivel de Tensión 2, los algoritmos para los dos modos de consumo y muestra según los datos que en Bajo Consumo el grupo del Algoritmo 1 no difiere del grupo Algoritmo IEEE 1459 - 2000/2010 para el cual el valor **Sig.** es 1 con un intervalo de confianza (-0,004–0,007), y el grupo Algoritmo 2 no difiere del grupo Algoritmo 3 con un valor **Sig.** de 1 y un intervalo de (-0,004 – 0,007), para Alto Consumo cambian estos

subconjuntos ya que en este modo el algoritmo IEEE 1459 – 2000/2010 no es estadísticamente diferente con el algoritmo 1 y el algoritmo 2 con valores **Sig.** de 1 y 0,377 respectivamente avalados con intervalos de (-0,006 – 0,006) y (-0,002 – 0,010) correspondientemente y el algoritmo 3 es estadísticamente diferente con todos teniendo valores **Sig.** < 0,05.

**Figura 7. Interacción entre tipo de algoritmo, nivel de tensión 3 y tipo de consumo**  
**Medias marginales estimadas de FACTOR DE POTENCIA**



Igualmente los datos que se encuentran en el anexo G.3 son los que corresponden al de la Figura 7, para su interpretación, aquí se analiza el Nivel de Tensión 3 el cual muestra para Bajo Consumo que el algoritmo 1 no difiere del algoritmo IEEE 1459 – 2000/2010 con **Sig.** de 1 e intervalo de (-0,05 – 0,05) y el algoritmo 2 no difiere del algoritmo 3 con **Sig.** de 1 e intervalo de (-0,05 – 0,05).

Nota: Aunque en los datos la interacción Algoritmo 2 y Algoritmo IEEE 1459 - 2000/2010 en Bajo Consumo presenta una Sig. > 0,05 el respectivo intervalo de

confianza (0,10 – 0,00) al no pasar por 0 (cero) encontrándose en el parámetro y no dar certeza, se concluye que es estadísticamente diferente, lo mismo sucede en la interacción en el modo de Alto Consumo para el algoritmo 2 respecto al algoritmo IEEE 1459 - 2000/2010.

## **6.2. DISEÑO EXPERIMENTAL PARA CLIENTES CON CARGA ELÉCTRICA NO BALANCEADA**

Las variables a estudiar consideradas para el grupo con carga eléctrica no balanceada son:

- **VARIABLE DEPENDIENTE:** Factor de potencia
- **VARIABLES INDEPENDIENTES:**
  - Tipo de algoritmo
  - Tipo de consumo

Las variables independientes por ser cualitativas, sus niveles se clasifican de la siguiente manera:

- **TIPO DE ALGORITMO:**
  - Algoritmo 1
  - Algoritmo 2
  - Algoritmo 3
  - Algoritmo IEEE 1459 -2000/2010
  
- **TIPO DE CONSUMO**
  - Bajo consumo
  - Alto consumo

El diseño se esquematiza como se muestra en la Tabla 24 donde también se señala la cantidad de réplicas por tratamiento establecidas según la distribución de clientes antes mencionada y teniendo en cuenta que para cada cliente existen seis 6 réplicas donde cada una equivale a una hora de procesamiento, tal y como se explica en el Capítulo 6. En el Anexo H. Se presentan los datos usados para este análisis estadístico.

**Tabla 24. Diseño factorial para clientes con carga eléctrica no balanceada**

TIPO DE ALGORITMO	TIPO DE CONSUMO	
	Bajo Consumo	Alto Consumo
Algoritmo 1	60 DATOS	60 DATOS
Algoritmo 2	60 DATOS	60 DATOS
Algoritmo 3	60 DATOS	60 DATOS
Algoritmo IEEE	60 DATOS	60 DATOS

Para conocer la influencia y la significancia de los efectos de las variables se procede a realizar un análisis de varianza factorial (ANOVA factorial) a un nivel de significancia del 5%, para realizar los análisis mencionados se utiliza el paquete estadístico SPSS versión 17.0.

### **6.2.1. Anova factorial para clientes con carga eléctrica no balanceada**

Tal y como se hizo anteriormente se realizan las pruebas para dar cumplimiento a los supuestos y de esta manera validar el uso del ANOVA, igualmente se afirma que los datos del experimento provienen de muestras independiente aleatorias; la aplicación de los demás supuestos se encuentra en los anexos I.1 – I.2 y verifican el cumplimiento de los mismos.

Después de realizados los supuestos y verificado su validez se realiza el ANOVA factorial,

- **Hipótesis ANOVA**

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \dots \dots \dots = \mu_k$$

**H<sub>1</sub>: Al menos dos medias no son iguales**

La regla de decisión es:

Si **Sig. > 0,05**, entonces se acepta la **H<sub>0</sub>**.

**Tabla 25. ANOVA factorial**

**Pruebas de los efectos inter-sujetos**

Variable dependiente: FACTOR DE POTENCIA

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	9.935 <sup>a</sup>	7	1.419	3123.670	0,000
Intersección	275.403	1	275.403	606115.801	0,000
TIPODEALGORITMO	0,091	3	0,030	66.395	0,000
TIPODECONSUMO	9.753	1	9.753	21464.765	0,000
TIPODEALGORITMO * TIPODECONSUMO	0,092	3	0,031	67.247	0,000
Error	0,214	472	0,000		
Total	285.553	480			
Total corregida	10.150	479			

a. R cuadrado = ,979 (R cuadrado corregida = ,979)

En la Tabla 25 se observan las filas de Tipo de Algoritmo, Tipo de Consumo, Tipo de Algoritmo \* Tipo de Consumo, que corresponden a la variabilidad debida a los efectos de cada uno de los factores y a la intersección de orden dos entre los factores. Se observa que todos los valores de **Sig.** son de 0,000 lo que indica que los efectos son estadísticamente significativos de acuerdo a la regla de decisión; paso seguido se realizará pruebas de comparaciones múltiples.

- **Pruebas post hoc**

Mediante la prueba Tukey se determinara qué Tipos de Algoritmo son significativamente diferentes

**Tabla 26. Subconjuntos homogéneos**  
**FACTOR DE POTENCIA**

DHS de Tukey<sup>a,b</sup>

TIPO DE ALGORITMO	N	Subconjunto	
		1	2
Algoritmo IEEE	120	0,7425641529	
Algoritmo 1	120	0,7450890528	
Algoritmo 3	120		0,7692671574
Algoritmo 2	120		0,7729474994
Sig.		0,796	0,540

Se muestran las medias de los grupos de subconjuntos homogéneos.

Basadas en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = 0,000.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 120,000

b. Alfa =0 ,05.

En el Anexo J.1 Se encuentran los datos que muestran que de acuerdo con el procedimiento de Tukey el grupo de Algoritmo 1 no difiere del grupo Algoritmo IEEE 1459 - 2000/2010 para el cual el valor **Sig.** es 0,796 con un intervalo de confianza (-0,004– 0,009), y el grupo Algoritmo 2 no difiere del grupo Algoritmo 3 con un valor **Sig.** de 0,540 y un intervalo de (-0,003– 0,01); estos valores de Sig. hallados y los intervalos que como se observa pasan por cero forman subconjuntos homogéneos de los grupos cuyas medias no difieren entre sí, tal y como se muestra en la Tabla 26.

Nuevamente con base al objetivo del estudio investigativo la conclusión hallada es que el algoritmo que más se aproxima al propuesto en la norma IEEE 1459-2000/2010 según los resultados es el algoritmo 1 por lo tanto es el más eficiente.

Continuando con el análisis de los efectos principales queda por analizar el factor Tipo de Consumo que para efectos del estudio solo tiene interés cuando interactúa con el Tipo de Algoritmo.

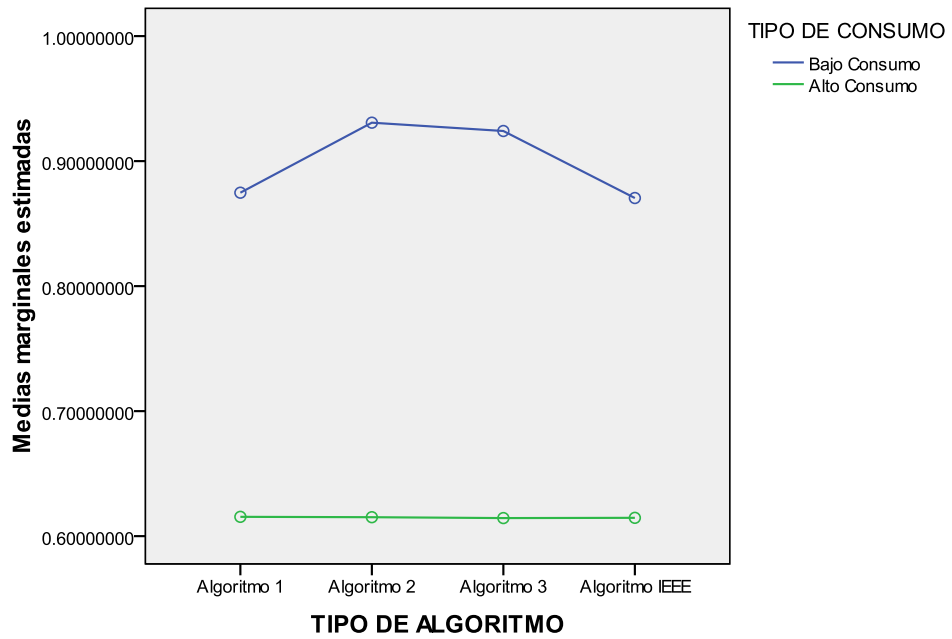
- **Efecto en la interacción**

Se realizó comparación por pares donde se permitía contrastar los efectos simples es decir comparar entre si los niveles de un factor dentro de cada nivel del otro factor y mediante el nivel crítico (Sig.) asociado a cada comparación se realiza interpretaciones correctas de los efectos, adicional se valida con el gráfico de perfil.

- **Tipo de algoritmo y tipo de consumo**

Según los resultados obtenidos que se encuentran en el anexo J.2 y son validados en la Figura 8 En Bajo Consumo el grupo de Algoritmo 1 no difiere del grupo Algoritmo IEEE 1459 - 2000/2010 para el cual el valor **Sig.** es 1 con un intervalo de confianza (-0,006 – 0,15), y el Algoritmo 2 no difiere del Algoritmo 3 con valor **Sig.** de 0,526 e intervalo de (-0,004 – 0,17); en Alto Consumo el algoritmo IEEE no difiere estadísticamente del resto de algoritmos como se observa en el gráfico mediante una línea recta y se confirma en los datos dado que dichos intervalos pasan por cero y todos poseen un valor **Sig.** de 1

**Figura 8. Interacción entre los factores tipo de algoritmo y tipo de consumo**  
**Medias marginales estimadas de FACTOR DE POTENCIA**



Se concluye que el algoritmo que mejor se aproxima a la estimación del factor de potencia del algoritmo planteado en la norma IEEE 1459-2000/2010 independiente de los demás factores y de tipo de carga del usuario es el Algoritmo 1, teniendo en cuenta que el usuario debe estar conectado con 3 elementos.

## 7. IMPACTO EN LA FACTURACIÓN

Con el fin de determinar el impacto que se provoca en la facturación generado por usar medidores con algoritmos diferentes al propuesto en el estándar IEEE1459 – 2000/2010, se procede a correlacionar los factores de potencia estimados por los algoritmos objeto de estudio y los correspondientes calculados con el Algoritmo IEEE 1459-2000/2010.

El **coeficiente de correlación de Pearson**  $\{R^2\}$  permite establecer el grado de relación de los factores de potencia estimados por los *Algoritmos 1, 2 y 3* respecto a los factores de potencia calculados por medio del *Algoritmo IEEE 1459 – 2000/2010*.

Los coeficientes de correlación  $R^2$  indican:

- Si  $R^2 = 1$ , existe una correlación positiva perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables denominada *relación directa*: cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace en proporción constante.
- Si  $0 < R^2 < 1$ , existe una correlación positiva.

Por tanto en las siguientes tablas se indican los correspondientes  $\{R^2\}$  para cada uno de los algoritmos de interés y solo se estiman impactos en la facturación para aquellos con índices de Pearson  $R^2 \cong 1$ .

Una manera de cuantificar los cambios en facturación provocados por el uso de algoritmos que difieren en sus estimaciones de potencia reactiva, potencia

aparente y factor de potencia, es evaluar la ecuación de la recta que correlaciona  $fp_i$  de los algoritmos 1, 2 y 3 con el  $fp_e$  propuesto en el estándar, para obtener los correspondientes factores de potencia  $fp_i$  con  $i = 1, 2, 3$ .

Es decir:

Para  $i = 1, 2, 3$

$$fp_i = \delta * fp_e + \sigma$$

Siendo  $\delta$  y  $\sigma$  la pendiente y el intercepto respectivamente, de las rectas obtenidas de la correlación.

El valor de  $fp_e$  en el que se evalúan las rectas, para obtener los correspondientes  $fp_i$  es el promedio del factor de potencia según IEEE 1459-2000/2010, es decir  $\overline{fp_e}$ , las rectas con  $R^2 \ll 1$  no se evalúan pues debido al índice de correlación tan bajo ofrecen resultados que pueden ser equivocados.

- **Procedimiento:**

Aquí se expresaran las ecuaciones de potencia de los  $i$  Algoritmos, en términos de parámetros de potencia aparente efectiva según IEEE 1459-2000/2010 =  $\{S_e\}$ .

Para  $i = 1, 2, 3$  que corresponde a los Algoritmos objeto de estudio.

$$fp_e = \frac{P}{S_e} \quad y \quad fp_i = \frac{P}{S_i}$$

$$S_i = \left( \frac{fp_e}{fp_i} \right) * S_e$$

$$\text{Siendo } \beta = \left( \frac{fp_e}{fp_i} \right)$$

$$S_i = \beta * S_e \quad (60)$$

Estimación de  $Q_i$ :

Siendo  $Q_i$ : La potencia reactiva segun el Algoritmo  $i$

$$P^2 + Q_i^2 = S^2$$

$$P^2 + Q_i^2 = \beta^2 * S_e^2 \quad (61)$$

$$fp_e = \frac{P}{S_e} \quad (62)$$

$$P = fp_e * S_e$$

$$Q_i^2 = \beta^2 * S_e^2 - P^2$$

$$Q_i^2 = \beta^2 * S_e^2 - S_e^2 * fp_e^2$$

$$Q_i^2 = S_e^2 (\beta^2 - fp_e^2)$$

$$Q_i = \sqrt{(\beta^2 - fp_e^2) * S_e^2}$$

$$\alpha = \sqrt{(\beta^2 - fp_e^2)}$$

$$Q_i = \alpha * S_e \quad (63)$$

Estimación de  $Q_e$  en términos de  $S_e$ :

Siendo  $Q_e$ : La potencia reactiva segun Algoritmo IEEE 1459 – 2000/2010

$$P = fp_e * S_e$$

$$P^2 + Q_e^2 = S_e^2$$

$$Q_e^2 = S_e^2 * (1 - fp_e^2)$$

$$Q_e = \sqrt{(1 - fp_e^2) * S_e^2}$$

$$\gamma = \sqrt{(1 - fp_e^2)}$$

$$Q_e = \gamma * S_e \quad (64)$$

Hasta este punto se ha logrado expresar los parámetros de interés  $\langle P, Q_i, S_i, Q_e \rangle$  en función de  $S_e$  con el propósito de validar las comparaciones que se plantean entre las constantes  $\langle fp_e, \alpha, \beta, \gamma \rangle$  respectivamente.

Dado que la energía reactiva se factura si la potencia reactiva supera el 50% de la potencia activa, el indicador de este sobrecosto se expresa en la siguiente relación:

$$\begin{aligned}
 P &= fp_e * S_e \\
 Q_i &= \alpha * S_e \\
 \alpha * S_e &> \frac{fp_e * S_e}{2} \\
 \alpha &> \frac{fp_e}{2} \qquad (65)
 \end{aligned}$$

Si la desigualdad se cumple el usuario debe asumir un sobrecosto por concepto de energía reactiva, y la energía reactiva que se le facturaría corresponde a la magnitud de Kvar que se exceden del 50% de la potencia activa es decir:

$$\text{Exceso de reactiva facturado}_i: \left( \alpha - \frac{fp_e}{2} \right) * S_e \qquad (66)$$

$$\text{Exceso de reactiva facturado}_{IEEE\ 1459-2000} = \left( \gamma - \frac{fp_e}{2} \right) * S_e \qquad (67)$$

El procedimiento que se utiliza para determinar el impacto en la facturación es el siguiente:

Inicialmente se plantea la siguiente desigualdad  $\gamma > \overline{fp_e}/2$  para cada uno de los escenarios de carga contemplado, si se cumple significa que el valor de Potencia reactiva  $Q_e$  es mayor que el 50% de la potencia activa y se debe penalizar según el algoritmo IEEE 1459-2000/2010.

Para comparar la estimación que hacen los algoritmos del parámetro  $Q_i$  se tiene la siguiente desigualdad  $\alpha > \overline{fp_e}/2$ , si se cumple indica que el *Algoritmo<sub>i</sub>* expresa la necesidad de penalizar consumo de reactiva.

Resta comparar como es  $\alpha$  respecto  $\gamma$  para establecer el porcentaje de reactiva en que estiman los *Algoritmos i* respecto a la estimación del *Algoritmo<sub>IEEE 1459-2000</sub>*, este se estima así:

$$\mu = \alpha - \gamma \quad (68)$$

El indicador del exceso o defecto en la facturación es  $\mu$  siendo  $\mu > 0$  se sobrefacturó y si  $\mu < 0$  se subfacturó.

Para interpretar las siguientes tablas se deben tener en cuenta las siguientes ecuaciones de potencia:

$$Q_i = \alpha * S_e$$

$$Q_e = \gamma * S_e$$

En el Anexo K, se encuentra la relación entre potencia reactiva y factor de potencia que la empresa aplica como criterio para establecer cobro por concepto de energía reactiva.

## 7.1. IMPACTO DE USUARIOS CONECTADOS EN DOS ELEMENTOS

Aquí se analizarán grupos de usuarios conectados en los niveles de tensión 2 y 3, y con equipo de medida en conexión en dos elementos

### 7.1.1. Grupo de clientes con carga eléctrica balanceada

A continuación se describen los impactos en la facturación que corresponden a usuarios con carga balanceada.

**Tabla 27. Impacto en la facturación en conexión de dos elementos, carga balanceada y nivel de tensión 2**

NIVEL DE TENSIÓN 2				
TIPO DE ALGORITMO	ÍNDICE IMPACTO EN LA FACTURACIÓN (%)	$R^2$	$fp_i(\overline{fp_e})$	$\alpha$
Algoritmo 1	89,164	0,909	0,80158	0,670542
Algoritmo 2	101,519	0,436	-	-
Algoritmo 3	101,833	0,763	-	-
$\overline{fp_e}: 0,899 \approx 0,9$				
$\gamma : 0,438$		$\overline{fp_e}/2 : 0,4495$		

El valor en las celdas correspondientes a **ÍNDICE IMPACTO EN LA FACTURACIÓN (%)**, revela que porcentaje de  $\overline{fp_e}$ , logra estimar cada uno de los algoritmos.

De la Tabla 27, se tiene que:

- El algoritmo IEEE 1459-2000/2010, indica que no se debe facturar valor alguno por concepto de Reactiva, puesto que  $\gamma < \overline{fp_e}/2$ .
- El algoritmo 1, indica que **si** se debe facturar al usuario por concepto de reactiva puesto que  $\alpha \geq \overline{fp_e}/2$  y revela que se debe cobrar:

$$\text{Exceso de reactiva facturado}_1 = (\alpha - \overline{fp_e}/2) * S_e = 0,22 * S_e$$

- Los algoritmos 2 y 3, presentan un índice de correlación  $R^2 \ll 1$ , por tanto no ofrece confiabilidad y no es posible estimar un valor de su impacto en la facturación.

En consecuencia en este escenario el algoritmo 1 por ser conectado en dos (2) elementos, sobrefacturan en promedio el 22% de la potencia aparente efectiva ( $S_e$ ).

En la Tabla 28 se muestran los resultados del análisis realizado para usuarios conectados al nivel de tensión tres en configuración de dos elementos. De estos resultados se destaca que:

- El algoritmo IEEE 1459-2000/2010, indica que no se debe penalizar consumo de Reactiva, puesto que  $\gamma < \overline{fp_e}/2$ .
- El algoritmo 1, indica que **si** se debe penalizar al usuario por consumo de reactiva puesto que  $\alpha > \overline{fp_e}/2$  y revela que se debe cobrar:  

$$\text{Exceso de reactiva facturado}_1 = (\alpha - \overline{fp_e}/2) * S_e = 0,17 * S_e$$
- Los algoritmo 2 y 3, indica que **no** se debe penalizar al usuario por consumo de reactiva puesto que  $\alpha \cong \overline{fp_e}/2$ .

Tabla 28. Impacto en la facturación en conexión de dos elementos, carga balanceada y nivel de tensión 3

NIVEL DE TENSIÓN 3				
TIPO DE ALGORITMO	ÍNDICE IMPACTO EN LA FACTURACIÓN %	$R^2$	$fp_i(\overline{fp_e})$	$\alpha$
Algoritmo 1	91,881	0,992	0,82325	0,617836
Algoritmo 2	99,458	0,999	0,89114	0,456191
Algoritmo 3	99,323	1	0,889936	0,459193
$\overline{fp_e}: 0,896 \approx 0,9$				
$\gamma: 0,444$		$\overline{fp_e}/2 : 0,448 \cong 0,45$		

En este caso se exhibe sobrefacturación de energía reactiva de un 17% de la Potencia Aparente efectiva ( $S_e$ ), en las estimaciones del **Algoritmo 1**.

Para usuarios con carga balanceada el **Algoritmo 1** en equipos de medida conectado en configuración de dos elementos, independiente del nivel de tensión, estiman tan solo el 90% de  $fp_e$ , ocasionando sobrefacturación por concepto de potencia reactiva que según el criterio de cobro no se deben hacer. Es decir a causa de conectar los equipos de medida en conexión de dos elementos, los dispositivos estiman menores  $fp_i$ , que al indicar menores eficiencias de las reales generan una facturación de energía reactiva que no corresponde a la realidad del sistema.

Equipos de medida que implementan los **Algoritmos 2 y 3**, cuando son instalados en usuarios con carga balanceada en **Nivel de Tensión 3**, exhiben una estimación para  $\langle fp_{2,3} \rangle$  muy cercana a la real  $\langle fp_e \rangle$ , por tanto estos dispositivos prometen excelente confiabilidad en las condiciones mencionadas.

### 7.1.2. Grupo de clientes con carga eléctrica no balanceada

A continuación se describen los impactos en la facturación que corresponden a usuarios con carga no balanceada.

**Tabla 29. Impacto en la facturación en conexión en dos elementos, carga no balanceada y nivel de tensión 2**

<b>NIVEL DE TENSIÓN 2</b>				
<b>TIPO DE ALGORITMO</b>	<b>ÍNDICE IMPACTO EN LA FACTURACIÓN %</b>	$R^2$	$fp_i(\overline{fp_e})$	$\alpha$
Algoritmo 1	85,343	0,989	0,634101	0,906048
Algoritmo 2	85,343	0,995	0,634101	0,906048
Algoritmo 3	103,611	0,995	0,769829	0,616007
$\overline{fp_e}: 0,743$				
$\gamma : 0,669$		$\overline{fp_e}/2=0,3715$		

En la Tabla 29 se muestran los resultados del análisis realizado para usuarios conectados al nivel de tensión dos en configuración de dos elementos. De estos resultados se destaca que:

- El algoritmo IEEE 1459-2000/2010, indica que **si** se debe facturar por concepto de Reactiva, puesto que  $\gamma > \overline{fp_e}/2$  y revela que se debe cobrar:  

$$\text{Exceso de reactiva facturado}_{IEEE\ 1459-2000} = (\gamma - \overline{fp_e}/2) * S_e = 0,3 * S_e$$
- Los algoritmos 1 y 2, indican que **si** se debe facturar por concepto de Reactiva puesto que  $\alpha > \overline{fp_e}/2$  y revela que se debe cobrar:  

$$\text{Exceso de reactiva facturado}_1 = (\alpha - \overline{fp_e}/2) * S_e = 0,53 * S_e,$$
revela sobrefacturación  $\mu_{1,y2} = \alpha - \gamma = 0,23$
- El algoritmo 3, indica que **si** se debe facturar por concepto de Reactiva puesto que  $\alpha > \overline{fp_e}/2$  y revela que se debe cobrar:  

$$\text{Exceso de reactiva facturado}_3 = (\alpha - \overline{fp_e}/2) * S_e = 0,24 * S_e,$$
revela sobrefacturación  $\mu_3 = \alpha - \gamma = -0,06$  y puesto que  $\mu < 0$  el Algoritmo mencionado esta subfacturando consumo de Potencia Reactiva equivalente a 6% de la potencia aparente efectiva ( $S_e$ ).

Aunque los tres (3) Algoritmos exponen que se debe penalizar por concepto de Energía Reactiva, los Algoritmos 1 y 2 sobrefacturan la energía reactiva real según IEEE 1459-2000/2010 y generan un sobrecosto de  $\mu_{1,y2} = 0,23\%$  a los usuarios, en otras palabras los usuarios estarían cancelando un consumo superior al real a causa de una estimación errónea de alrededor de un 23% de la potencia aparente efectiva ( $S_e$ ).

En la muestra analizada no se encontraron usuarios con carga no balanceada conectados en nivel de tensión 3 por esta razón esta sección solo contiene la Tabla 29.

## 7.2. IMPACTO PARA USUARIOS CONECTADOS EN TRES ELEMENTOS

Aquí se analizarán grupos de usuarios conectados en los niveles de tensión 2 y 3, y con equipo de medida en conexión con tres (3) elementos.

### 7.2.1. Grupo de clientes con carga eléctrica balanceada

A continuación se describen los impactos en la facturación que corresponden a usuarios con carga balanceada

Tabla 30. Impacto en la facturación en conexión 3 elementos , carga balanceada y nivel de tensión 2

NIVEL DE TENSIÓN 2				
TIPO DE ALGORITMO	ÍNDICE IMPACTO EN LA FACTURACIÓN %	$R^2$	$fp_i(\overline{fp_e})$	$\alpha$
Algoritmo 1	100,025	0,999	0,899222	0,437385
Algoritmo 2	101,487	0,436	-	-
Algoritmo 3	101,833	0,763	-	-
$\overline{fp_e}: 0,899 \approx 0,9$				
$\gamma : 0,438$		$fp/2=0,4495$		

En la Tabla 30 se muestran los resultados del análisis realizado para usuarios conectados al nivel de tensión dos en configuración de tres elementos. De estos resultados se destaca que:

- El algoritmo IEEE 1459-2000/2010, indica que no se debe facturar por concepto de Reactiva, puesto que  $\gamma < \overline{fp_e}/2$  .
- El algoritmo 1, indica que **no** se debe facturar por concepto de Reactiva al usuario puesto que  $\alpha < \overline{fp_e}/2$ .
- Los algoritmos 2 y 3, presentan unos índices de correlación  $R^2 \ll 1$ , indicando que no es confiable la información que se puede extrapolar de sus mediciones.

En la Tabla 31 se muestran los resultados del análisis realizado para usuarios conectados al nivel de tensión dos en configuración de tres elementos. De estos resultados se destaca que:

- El algoritmo IEEE 1459-2000/2010, indica que no se debe facturar por concepto de Reactiva, puesto que  $\gamma < \overline{fp_e}/2$  .
- Los algoritmos 1, 2 y 3, indican que **no** se debe facturar por concepto de Reactiva puesto que  $\alpha < \overline{fp_e}/2$ .

Tabla 31. Impacto en la facturación en conexión 3 elementos, carga balanceada y nivel de tensión 3

NIVEL DE TENSIÓN 3				
TIPO DE ALGORITMO	ÍNDICE IMPACTO EN LA FACTURACIÓN %	$R^2$	$fp_i(\overline{fp_e})$	$\alpha$
Algoritmo 1	99,977	1	0,895792	0,444577
Algoritmo 2	99,300	0,999	0,889728	0,459709
Algoritmo 3	99,323	1	0,889936	0,459193
$\overline{fp_e}: 0,896 \approx 0,9$				
$\gamma : 0,444$		$\overline{fp_e}/2 = 0,448 \approx 0,5$		

En usuarios con carga balanceada y conectados en tres (3) elementos se evidencia el correcto funcionamiento de cualquiera de los Algoritmos, exponiendo **ÍNDICE IMPACTO EN LA FACTURACIÓN %  $\cong 100\%$**  cabe resaltar que el Algoritmo 1 es el que exhibe menores errores en las mediciones de interés independiente del Nivel de Tensión en el que esté conectado el usuario.

### 7.2.2. Grupo de clientes con carga eléctrica no balanceada

A continuación se describen los impactos en la facturación que corresponden a usuarios con carga no balanceada.

**Tabla 32. Impacto en la facturación en conexión 3 elementos, carga no balanceada y nivel de tensión 2**

NIVEL DE TENSIÓN 2				
TIPO DE ALGORITMO	ÍNDICE IMPACTO EN LA FACTURACIÓN %	$R^2$	$fp_i(\overline{fp_e})$	$\alpha$
Algoritmo 1	100,392	0,999	0,745916	0,663436
Algoritmo 2	104,061	0,995	0,773175	0,609442
Algoritmo 3	103,611	0,995	0,769829	0,616007
$\overline{fp_e}: 0,743$				
$\gamma : 0,669$		$\overline{fp_e}/2=0,3715$		

En la Tabla 32 se muestran los resultados del análisis realizado para usuarios conectados al nivel de tensión dos en configuración de tres elementos. De estos resultados se destaca que:

- El algoritmo IEEE 1459-2000/2010, indica que **si** se debe facturar por concepto de Reactiva, puesto que  $\gamma > \overline{fp_e}/2$  y revela que se debe cobrar:

$$\text{Exceso de reactiva facturado}_{IEEE\ 1459-2000} = (\gamma - \overline{fp_e}/2) * S_e = 0,29 * S_e$$

- El algoritmo 1, indica que **si** se debe facturar por concepto de Reactiva y la magnitud debe ser la misma indicada en el ítem anterior puesto que  $\alpha_1 \cong \gamma$ .
- Los algoritmos 2 y 3, indican que **si** se debe facturar por concepto de Reactiva puesto que  $\alpha_{2,3} > \overline{fp_e}/2$ , y revela que se debe cobrar:

$$\text{Exceso de reactiva facturado}_{2y3} = (\alpha - \overline{fp_e}/2) * S_e = 0,24 * S_e,$$

estimando el indicador de exceso o defecto en facturación se obtiene  $\mu = \alpha - \gamma = -0,06$  y puesto que  $\mu < 0$  los medidores mencionados están subfacturando consumo de Potencia Reactiva equivalente a 6% de la potencia aparente efectiva ( $S_e$ ).

En los casos en que los usuarios presentan un desbalance en la carga y el equipo de medida esté conectado en tres elementos, los Algoritmos 2 y 3 subestiman la Potencia Reactiva, mientras el Algoritmo 1 facturaría el valor más cercano al indicado por IEEE 1459-2000/2010.

En la muestra analizada no se encontraron usuarios con carga no balanceada conectados en nivel de tensión 3 por esta razón esta sección solo contiene la Tabla 32.

### 7.3. COMPARATIVO DE ESTIMACIONES RESPECTO A IEEE 1459-2000/2010

En esta sección se discuten los resultados obtenidos a causa de utilizar conexión con dos elementos en lugar de tres (3) elementos en usuarios con carga balanceada y no balanceada, se estiman los porcentajes de incidencia en la facturación a causa de energía reactiva y se confirman las conclusiones acerca del mejor algoritmo indicadas en el Capítulo 7 Los algoritmos que no se mencionan en la Tabla 33 corresponden a aquellos a los que no es posible estimar de manera confiable el impacto que generan en la facturación.

**Tabla 33. Comparativo de estimaciones respecto a IEEE 1459-2000/2010**

		TIPO DE CONEXIÓN	
		2 ELEMENTOS	3 ELEMENTOS
USUARIO BALANCEADO	NIVEL DE TENSIÓN 2		
	Algoritmo 1 estima un exceso de Potencia Reactiva de 49 %, ocasionando incremento en la Facturación por concepto de reactiva del 22% de $\langle S_e \rangle$	Algoritmo 1 no comete error en la estimación de Potencia Reactiva, por lo tanto no genera impacto en la facturación	
	NIVEL DE TENSIÓN 3		
	Algoritmo 1 estima un exceso de Potencia Reactiva de 39 %, ocasionando incremento en la Facturación por concepto de reactiva del 17% de $\langle S_e \rangle$	Algoritmo 1, 2 y 3 no cometen errores en la estimación de Potencia Reactiva, por lo tanto no genera impacto en la facturación	

	Algoritmo 2 y 3 no comete error en la estimación de Potencia Reactiva	
USUARIO NO BALANCEADO	<b>NIVEL DE TENSIÓN 2</b>	
	Algoritmo 1 , 2 estiman un exceso de Potencia Reactiva de 36 %, ocasionando incremento en la Facturación por concepto de reactiva del 23% de $\langle S_e \rangle$	Algoritmo 1 no comete error en la estimación de Potencia Reactiva, por lo tanto no genera impacto en la facturación
	Algoritmo 3 subestima la Potencia Reactiva en 9%, generando subfacturación por concepto de Reactiva del 6% de $\langle S_e \rangle$	Algoritmo 2 y 3 subestiman la Potencia Reactiva en 9%, generando subfacturación por concepto de Reactiva del 6% de $\langle S_e \rangle$

A continuación se exponen algunas observaciones correspondientes a la Tabla 33:

Instalar medidores que contengan los Algoritmo 1 en clientes con carga balanceada en conexión con dos elementos, ocasiona que el registro de Potencia Reactiva aumente en porcentajes cercanos al 50% generando al suscriptor un cobro por concepto de energía reactiva, mientras que si la conexión hubiese sido realizada en conexión tres (3) elementos el error seria nulo (0%).

En usuarios con desbalance en la carga, tipo de conexión dos elementos, se observa una diferencia significativa entre el registro de potencia reactiva calculado mediante Algoritmo IEEE 1459-2000/2010 respecto al de los demás Algoritmos en estudio.

Por otra parte si estos usuarios se hubieran conectado a tres (3) elementos los Algoritmos 2 y 3 subregistran la potencia reactiva, mientras que el Algoritmo 1, refleja con mayor fidelidad cualquier cambio que ocurre en el sistema de medición.

Este caso pone de manifiesto la incidencia del desbalance en un sistema sobre la estimación de la potencia reactiva y permite concluir que la conexión con dos elementos es inconveniente para el operador de red y para el usuario, debido a que los resultados son impredecibles y muy diferentes las estimaciones de potencias reactiva y aparente a los obtenidos en conexión con tres (3) elementos.

Como se puede observar en la tabla comparativa **33**, si los usuarios objeto de estudio hubieran implementado en sus instalaciones conexión a tres (3) elementos, no existiría cobro por concepto de energía reactiva. Por lo tanto el ahorro del usuario por conectar el equipo de medida en conexión con dos elementos en lugar de 3 elementos ocasiona una sobrefacturación de energía que se traduce en mayores costos a largo plazo.

#### **7.4. OBSERVACIONES DE LOS ESCENARIOS DE CARGA**

En esta sección se describen los resultados obtenidos, clasificados según los escenarios de carga contemplados.

##### **7.4.1. Observaciones del escenario de carga balanceada**

A continuación se describen algunas apreciaciones acerca de los usuarios no regulados que exhiben balance en la carga, clasificándose según el tipo de conexión en el equipo de medida (2 o 3 elementos).

- Aunque se trata de un sistema prácticamente libre de perturbaciones, la implementación de la conexión con dos elementos origina diferencias en las lecturas de potencia aparente y factor de potencia con respecto a la convencional con tres elementos.

- La conexión con 2 Elementos el Algoritmo 1 estima un factor de potencia equivalente al 89% del real, como se indica en las tablas 27 y 28 en la columna **ÍNDICE DE IMPACTO EN LA FACTURACIÓN (%)**.
- Según la reglamentación establecida por la CREG, cuando él  $fp < 0,9$ , se debe incluir en la facturación el cobro por concepto de energía reactiva. En este caso, los usuarios con equipos de medida que contemplen el Algoritmo 1 deberían cancelar un costo adicional por este concepto, aunque el sistema real registre  $fp > 0,9$  como ocurre cuando se implementa la conexión con tres (3) elementos.

Para la conexión con tres elementos, no se evidencian grandes diferencias entre los registros de potencia reactiva de cada medidor, a la vez que el factor de potencia es superior a 0,9. Sin embargo, la realidad de los usuarios contemplados en este escenario es Tipo de Conexión con dos (2) elementos y por tanto se cancela al operador de red por concepto de energía reactiva. Por su parte el Algoritmo 1, refleja con mayor fidelidad cualquier cambio que ocurre en el sistema de medición.

De lo expresado anteriormente se concluye que la conexión con dos elementos es inconveniente para el usuario y el comercializador de energía, debido a que genera estimaciones erróneas de potencia reactiva y aparente respecto a las obtenidas en conexión con tres (3) elementos.

#### **7.4.2. Observaciones del escenario de carga no balanceada**

A continuación se describen algunas apreciaciones acerca de los usuarios no regulados que exhiben carga no balanceada, clasificándose según el tipo de conexión en el equipo de medida (2 o 3 elementos).

- Debido al considerable desbalance de corrientes que presenta el sistema, se observa una gran diferencia entre el registro de potencia reactiva calculado mediante el Algoritmo propuesto en IEEE 1459-2000/2010 con respecto al de los medidores en estudio, este es un caso que pone de manifiesto, la incidencia del desbalance de corrientes de un sistema sobre el cálculo de la potencia reactiva principalmente.
- Cuando este escenario es evaluado en conexión con dos (2) elementos, las estimaciones de Potencia Reactiva de los Algoritmos 1 y 2, llegan a ser superiores en un 34% respecto a las del Algoritmo IEEE 1459-2000/2010., sin embargo si este mismo usuario se hubiera conectado en tres (3) elementos los errores en la estimación hubieran sido de **0%** para el **Algoritmo 1** y de **9%** para **Algoritmo 2**.

## **8. ANÁLISIS DE OFERTA TECNOLÓGICA Y ANÁLISIS AMBIENTAL**

En este capítulo se exponen algunos de los dispositivos que en la actualidad contemplan las consideraciones para medición de potencia que propone el estándar IEEE 1459-2000/2010, se establecen los residuos que componen los equipos de medida y los costos del proceso de disposición final.

### **8.1. ANÁLISIS DE OFERTA TECNOLÓGICA**

En esta sección se realiza una investigación acerca de los dispositivos de medición y calidad de energía existente, en versión prototipo o disponibles en los mercados regional e internacional, que incorporen dentro de sus especificaciones los algoritmos propuestos en la norma IEEE-1459-2000/2010

#### **8.1.1. Dispositivos que implementan el estándar IEEE 1459-2000/2010**

En la actualidad existen diversos dispositivos que implementan los algoritmos propuestos en el estándar IEEE 1459-2000/2010, estos son:

- Analizadores de calidad de Energía Eléctrica.
- Prototipo de Medidor Digital Trifásico de Energía Eléctrica.

A continuación se exponen algunas de las especificaciones técnicas de los dispositivos y valores comerciales de los equipos disponibles en el mercado.

### 8.1.1.1. Analizadores de calidad de energía eléctrica.

Existen en el mercado dos analizadores de calidad de energía eléctrica que contemplan las definiciones del estándar IEEE 1459-2000/2010 sus características y precios se definen a continuación.

- **PowerXplorer PX5**

El PowerXplorer PX5 es un dispositivo analizador de calidad de energía que utiliza el algoritmo propuesto en el estándar IEEE 1459-2000/2010 para realizar los cálculos de distorsión y desbalance de las redes en las que se utilice.

El PowerXplorer PX5 garantiza la integración de las funciones más avanzadas en un dispositivo analizador de calidad, además cuenta con una pantalla a color y una interfaz gráfica fácil de manejar (táctil), este dispositivo cuenta con una alta velocidad de muestreo y captura de datos (1microsegundo/canal), es un dispositivo de 8 canales capaz de capturar y calcular miles de parámetros, uno de sus principales logros es la capacidad de capturar transitorios de frecuencia baja-media y alta, y la estimación de medidas de potencia para caracterizar con claridad armónicos de voltaje, en sistemas no senoidales y desbalanceados.

Figura 9. Analizador de calidad de energía POWERXPLORER PX5



Fuente. Catalogo Comercial <http://dranetz.com/portable/powerexplorer-p>

Las especificaciones técnicas de **PowerXplorer PX5** se encuentran en el Anexo L

- **PQM-701**

Dispositivo analizador destinado a un amplio espectro de usuarios que requieran controlar la calidad de la energía con un equipo portátil. Se puede utilizar en todo tipo de red eléctrica de 110 V a 690 V, en conexión directa o indirecta a través de transductores.

El analizador viene integrado en una caja sencilla y robusta con índice de protección IP65, se puede utilizar en instalaciones al aire libre, adicionalmente cuenta con un calentador integrado que se activa automáticamente cuando la temperatura ambiente es inferior a 0°C y con protección a radiación electromagnética.

La información recopilada por el equipo es almacenada en una tarjeta de memoria SD (Secure Digital) de alta capacidad extraíble, para fácil manipulación de los datos. El analizador cuenta con una batería incorporada para mantener el funcionamiento del dispositivo en caso de pérdida de tensión en la fase L1.

**Figura 10. Analizador de Calidad de Energía PQM-701**



Fuente. Catalogo Comercial  
[http://esp.sonel.pl/news/34-134\\_Power\\_quality\\_analyzer\\_PQM\\_701.html](http://esp.sonel.pl/news/34-134_Power_quality_analyzer_PQM_701.html)

Las especificaciones técnicas de **PQM-701** se encuentran en el Anexo M

En la Tabla 34 se exponen los precios comerciales de los dispositivos que comprenden dentro de sus especificaciones los algoritmos propuestos en el estándar IEEE 1459-2000/2010

**Tabla 34. Valor comercial de los dispositivos que implementan el estándar**

<b>ANALIZADOR DE RED</b>	<b>VALOR COMERCIAL</b>	<b>EQUIVALENTE EN PESOS*</b>
PowerXplorer PX5	US\$17390.00	\$ 33.098.560,90
PQM-701	EUR 2,400	\$ 6.198.264,00

\*El equivalente en pesos se hace a la tasa que se encuentre actualmente, la cual es para el Dólar \$ 1903.31 y para el Euro \$ 2,582.61

#### **8.1.1.2. Prototipo de medidor digital trifásico de energía eléctrica (CEDTRI).**

Este dispositivo es de fabricación Colombiana, desarrollado por el grupo de Investigación GISEL y CEMOS de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones (E3T) perteneciente a la Universidad Industrial de Santander. (Figura 11)

**Figura 11. CEDTRI**



Fuente. Tesis de maestría UIS: Diseño e implementación de un prototipo de contador electrónico digital trifásico de energía eléctrica para control y monitorización remota

El CEDTRI es un contador electrónico digital trifásico tetrafilar, diseñado para calcular las magnitudes de potencias y energías formuladas en el IEEE1459-2000/2010, en la actualidad el dispositivo está siendo sometido a pruebas por los respectivos grupos de investigación.

- **Especificaciones técnicas**

El equipo está en capacidad de estimar la energía eléctrica teniendo en cuenta los diversos escenarios en los sistemas de distribución de energía eléctrica actuales; como desbalance de cargas y componentes armónicas.

**Tabla 35. Especificaciones técnicas.**

ESPECIFICACIONES				
Rango de entrada*		Mínimo	Nominal	Máximo
	Tensión	10Vrms	120Vrms	150Vrms
	Corriente	250mArms	5Arms	7Arms
Ancho de banda	6KHz			
Frecuencia de muestreo máxima	High speed	57Ksps		
	Low power	10Ksps		
Número de canales	Tensión	3		
	Corriente	4		
Alimentación	Analógica	5Vdc		
	Digital	3,3Vdc		
Frecuencia para el reloj interno	Mínimo	Máximo		
	100KHz	32MHz		
Consumo de potencia	350mW : a 2.44KHz en DRDY			
Medición de corriente DC	Sí			
Medición de tensión DC	No			

*La tarjeta de adquisición está en la capacidad de adquirir y digitalizar tensiones desde 10Vrms hasta 150Vrms y corrientes desde 200mArms hasta 7Arms, los cuales se ajustan a los niveles de tensión y corriente máxima exigidos por las normas ICONTEC para medidores trifásicos de energía eléctrica de 120 Vrms y 5ª nominales*  
**Fuente. Tesis de maestría UIS: Diseño e implementación de un prototipo de contador electrónico digital trifásico de energía eléctrica para control y monitorización remota**

## 8.2. ANÁLISIS AMBIENTAL

Con el fin de proteger el medio ambiente y garantizar la gestión y manejo integral de los residuos o desechos que pudiera generar la implementación del presente

estudio investigativo, así como la importancia de dar cumplimiento a las normas legales ambientales aplicables se realiza este análisis.

### 8.2.1. Identificación y clasificación de los residuos

Como se ha indicado anteriormente el presente estudio se enfoca en los medidores digitales de energía eléctrica y en tal sentido los residuos generados se derivan de los componentes integrados en los medidores; la información necesaria sobre los componentes fue suministrada por los proveedores de los dispositivos mencionados y se ilustra en la tabla 36.

**Tabla 36. Componentes de los medidores digitales de energía**

<b>COMPONENTES DE LOS MEDIDORES</b>	
<b>1</b>	Desecho Especial
<b>2</b>	Circuito Impreso en GlassEpoxy
<b>3</b>	Chatarra
<b>4</b>	Bobina
<b>5</b>	Batería de Litio
<b>6</b>	Display LCD
<b>7</b>	Cobre
<b>8</b>	Aluminio
<b>9</b>	Plástico ABS
<b>10</b>	Plástico Poliéster

**Fuente. Proveedores de medidores digitales de energía**

Dentro de la clasificación de residuos se determinó que los componentes de los medidores hacen referencia a residuos sólidos, por tal motivo se debe establecer si dichos residuos son reciclables(**R**), esto indica si el residuo es apto para su reutilización lo que sugiere que corresponde a un residuo aprovechable o por el

contrario es un residuo ordinario (O), lo que indica que no es reutilizable y finalmente podríamos estar tratando con un residuo peligroso (P) al cual se le tendría que establecer un tipo de tratamiento y/o disposición final adecuada. Ver tabla 37.

**Tabla 37. Identificación y clasificación de los residuos generados**

<b>IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS</b>					
<b>MATERIAL (ES)</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>			<b>CANTIDAD</b>	
	<b>P</b>	<b>R</b>	<b>O</b>	<b>kg/und.</b>	<b>%</b>
Desecho Especial	X			0,025	1,471
Tarjeta de Circuito Impreso en GlassEpoxy	X			0,245	14,412
Chatarra (Metal Ferroso)		X		0,15	8,824
Bobina (en su interior contiene cobre y plomo)	X			0,24	14,118
Batería de Litio	X			0,01	0,588
Display LCD	X			0,015	0,882
Cobre		X		0,015	0,882
Aluminio		X		0,225	13,235
Plástico ABS	X	X		0,255	15,000
Plástico Poliéster	X	X		0,52	30,588
<b>TOTAL</b>				<b>1,7</b>	<b>100</b>

### **8.2.2. Consideraciones para la disposición de los residuos**

Es significativa la importancia de aclarar que cada uno de los medidores objeto de estudio pertenece al cliente, pero esta razón no detiene el compromiso ambiental del comercializador de energía eléctrica que va más allá de una exigencia, pero si es una razón para que este análisis deba ser complementado con un análisis económico teniendo en cuenta diferentes escenarios que en su momento se planteen, por ahora simplemente se asume que la empresa se hace cargo de la disposición de todos los residuos generados en la implementación de este estudio

investigativo; pues de demostrarse que el cambio de medidores es viable técnicamente este factor debe valorarse dentro del análisis económico y en consecuencia el comercializador estaría comprometido a aplicar el tratamiento ambiental requerido.

#### **8.2.2.1. Almacenamiento**

Se debe disponer de instalaciones e insumos adecuados para el almacenamiento de los dispositivos, que prevengan alteraciones de los materiales que los componen durante el tiempo que sea necesario, de manera que al finalizar el acopio se encuentren aptos para el aprovechamiento o disposición final.

#### **8.2.2.2. Transporte**

En la clasificación de residuos se determinó que varios de los componentes corresponden a residuos peligrosos para los cuales se debe tener en cuenta requisitos técnicos y condiciones de seguridad para la logística del transporte, servicio que estará a cargo de la entidad contratada para el aprovechamiento o disposición final.

#### **8.2.2.3. Proceso de recuperación de los materiales**

La disposición final de los medidores digitales de energía comienza con un proceso de desagregación de los componentes de los medidores para posteriormente realizar una selección de estos materiales según sus posibilidades de aprovechamiento o tratamiento; a continuación se indica el manejo específico para cada uno de los materiales.

- **Aprovechamiento y/o valorización**

El comercializador de energía eléctrica deberá contratar el servicio de aprovechamiento y/o valorización de los residuos que lo requieran, con entidades que cuenten con las licencias, permisos, autorizaciones o demás instrumentos de manejo y control ambiental a que haya lugar.

Los siguientes residuos listados son aquellos que según su clasificación se adapta a un proceso de aprovechamiento y/o valorización, mencionando para cada uno de ellos el procedimiento aplicado.

- **Chatarra (metal ferroso):** Separación y embalaje para envío a siderurgia.
- **Cobre:** Separación y embalaje para envío a siderurgia.
- **Aluminio:** Separación y embalaje para envío a siderurgia.
- **Plástico ABS:** Se verifica si hay mezcla con otros plásticos. El ABS puro puede reintroducirse en la industria eléctrica luego de ser procesado mecánicamente. No obstante, en este tipo de dispositivos suele presentarse mezcla con otros polímeros y presencia de piroretardantes. Existen dos alternativas: realizar proceso de triturado o manejarlo como un material peligroso si existiera presencia de piroretardantes.
- **Plástico poliéster:** Se verifica si hay mezcla con otros plásticos. Aplicación similar al plástico ABS.

- **Tratamientos y/o disposición final**

El comercializador de energía eléctrica deberá contratar el servicio de tratamientos y/o disposición final de los residuos que lo requieran, con entidades que cuenten con las licencias, permisos, autorizaciones o demás instrumentos de manejo y control ambiental a que haya lugar.

Los siguientes residuos listados son aquellos que según su clasificación se adapta a un proceso de tratamiento y/o disposición final, mencionando para cada uno de ellos el procedimiento aplicado.

- **Desecho especial:** Separación e incineración.
- **Tarjeta de circuito impreso en GlassEpoxy:** Incineración.
- **Bobina (en su interior contiene cobre y plomo):** Encapsulamiento.
- **Batería de Litio:** Se tiene dos opciones: retorno a fabricantes (Res. 1297 de 2010) o encapsulamiento y disposición en celda de seguridad.
- **Display LCD:** Incineración.
- **Plástico ABS:** Se verifica si hay mezcla con otros plásticos. El ABS puro puede reintroducirse en la industria eléctrica luego de ser procesado mecánicamente. No obstante, en este tipo de dispositivos suele presentarse mezcla con otros polímeros y presencia de pirotardantes. Existen dos alternativas: realizar proceso de triturado o manejarlo como un material peligroso si existiera presencia de pirotardantes.
- **Plástico poliéster:** Se verifica si hay mezcla con otros plásticos. Aplicación similar al plástico ABS.

#### **8.2.2.4. Costos ambientales**

El Tratamiento de materiales de carácter peligroso y la realización de un proceso formal en cumplimiento de la normativa ambiental para la disposición final de estos componentes, asocia unos costos que corresponden al manejo específico que requieren; existen casos donde la entidad prestadora del servicio ofrece una retribución por el total de los residuos. En aras de seleccionar la alternativa más segura para la empresa resaltando que el 77,06 % en peso de los medidores es de carácter peligroso y que existen componentes que pueden ser reutilizados o remanufacturados, por lo tanto potencialmente comercializados en los mercados negros de partes; es aconsejable tomar como opción pagar por la disposición final

de los dispositivos garantizando así la seguridad y confiabilidad para la empresa comercializadora de energía eléctrica.

La cancelación de los costos del servicio de gestión integral de los residuos se define en función del peso de los dispositivos, la tarifa está definida por kilogramo, adicionalmente se deben tener en cuenta los costos de transporte y almacenamiento y se efectúa contra entrega de la factura presentada, anexando una relación de los residuos recolectados y pesados respectivamente, de igual manera el gestor debe adjuntar el certificado de disposición final de dichos residuos.

Con el fin de determinar el costo total ambiental que se debe asumir para darle la debida disposición a los residuos que se generan se recibieron cinco (5) propuestas de gestores que cumplieran con los requisitos de participación que exige ENELCOL, en el anexo N se listan las cinco (5) propuestas presentadas para la gestión integral de los residuos, de las cuales se descarta una (1) debido a que esta propuesta ofrece una retribución y ya se mencionó que no es aconsejable tomar esta opción, de las cuatro (4) entidades restantes una (1) de ellas no especificó el valor a cobrar por el servicio de gestión de residuos, por lo tanto restan tres (3) entidades ofertantes con las que se define el costo total de la gestión integral de los residuos mediante la estimación de la media aritmética de las tres ofertas, que corresponden a las siguientes:

**Tabla 38. Costos de los gestores de residuos ofertantes**

<b>OFERTA</b>	<b>COSTO (kg/Unid.)</b>
Oferta 1	\$800
Oferta 2	\$ 1.100
Oferta 3	\$ 1.700

$$m_a = \frac{800 + 1100 + 1700}{3} \qquad m_a = 1200 \qquad (69)$$

Hecha esta operación se halla el costo que genera todo el procedimiento ambiental para darle la debida disposición a los dispositivos. Ver tabla 39.

**Tabla 39. Costos generados por tipo de residuo**

<b>COSTOS AMBIENTALES</b>					
<b>NOMBRE DE RESIDUO</b>	<b>No. UNIDADES</b>	<b>PESO (Kg/Unid.)</b>	<b>COSTO (Kg/Unid.)</b>	<b>PESO TOTAL (Kg)</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
Medidor de Energía Eléctrica	552	1,7	\$ 1.200	938,4	\$ 1.126.080,00
<b>Costo Almacenamiento</b>					\$ -
<b>Costo Total Transporte*</b>					\$ 950.000
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$ 2.076.080</b>
<b>IVA</b>					\$ 332.172,80
<b>COSTO TOTAL AMBIENTAL</b>					<b>\$ 2.408.252,80</b>
*El valor del transporte aplica cuando el material va a ser llevado fuera de la ciudad a nivel nacional; cuando se traslada dentro de la ciudad el transporte tiene un valor de \$0 pesos					

### 8.2.3. Aspectos e impactos ambientales

Los aspectos ambientales identificados para este estudio son elementos que interactúan con el ambiente, pero en los que ENELCOL puede influir. La relación aspecto e impacto es de causa y efecto y los determinados para este estudio se encuentran en la tabla 40.

**Tabla 40. Matriz de identificación de aspectos e impactos ambientales**

<b>MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS E IMPACTO AMBIENTALES</b>		
<b>ACTIVIDAD</b>	<b>AA</b>	<b>IA</b>
Mejoras Tecnológicas de los Medidores	Generación de residuos convencionales	Contaminación del aire

Digitales de Energía	Generación de residuos peligrosos	Aumento de residuos a disponer (presión sobre el relleno sanitario)
----------------------	-----------------------------------	---

#### **8.2.4. Requisitos legales y otros requisitos**

El análisis pone en manifiesto la presencia de impactos ambientales adversos que deben ser mitigados de manera correcta según las normas ambientales de la constitución política de Colombia evitando simultáneamente multas y sanciones, de acuerdo con lo anterior debe dar el cumplimiento legal al manejo de residuos peligrosos regido por el Decreto 4741 de 2005, emitido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, dado el caso en donde la disposición final de los residuos peligrosos se llevará a cabo fuera del territorio nacional se debe realizar bajo los términos del Decreto mencionado anteriormente y el Convenio de Basilea – Ley 253 de 1996 que aprueba en Colombia el Convenio de Basilea; adicionalmente otro requisito importante relacionado a las condiciones de transporte las cuales se tratan en el Decreto 1609 de 2002, emitido por el Ministerio de Transporte; por último pero no menos importante, se tendrán en cuenta las normas internas de la empresa al momento de disponer de los materiales de residuo.

Para dar cumplimiento a la legislación aplicable se contratará una empresa gestora de residuos la cual deberá cumplir con un requisito esencial y es el contar con licencia ambiental para todos los procesos requeridos, siendo esta otorgada por las autoridades competentes, esto tiene como propósito que finalizado el proceso el comercializador cuente con un acta como soporte legal que certifique el manejo adecuado de los residuos y sea avalada ante las autoridades ambientales.

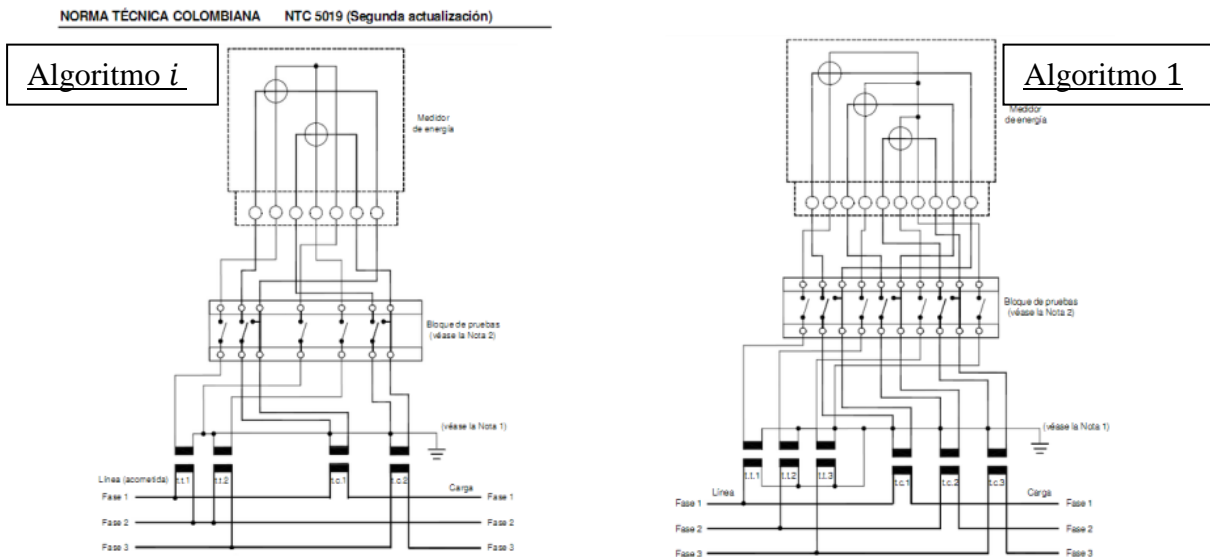
## 9. ANÁLISIS ECONÓMICO

En esta etapa se realiza el análisis económico de los escenarios establecidos con base en las conclusiones obtenidas de los capítulos anteriores con el fin de determinar si estos son factibles para el comercializador de energía.

Por tanto se procede a evaluar económicamente la realización del cambio en el tipo de conexión con dos elementos por conexión en tres elementos y cambiar los medidores por dispositivos que implementen el *Algoritmo 1* para usuarios en nivel de tensión 2 y 3

En la Figura 12 se esquematizan los procedimientos descritos, a la izquierda se encuentra la configuración en tipo de conexión dos (2) y con equipo de medida con *Algoritmo i* y a la derecha se encuentra el tipo de conexión tres (3) elementos con equipo de medida con *Algoritmo 1*.

**Figura 12. Conexión con dos elementos y conexión tres elementos.**



Fuente. Norma Técnica Colombiana NTC 5019

Considerando las acciones a realizar los escenarios establecidos consisten en otorgar créditos donde el monto a financiar varía de tres maneras diferentes.

- **Escenario 1.** Financiar a los usuarios el total de los costos de implementar el cambio en el tipo de conexión y el cambio del medidor electrónico.
- **Escenario 2.** Financiar a los usuarios el setenta por ciento (70%) del total de los costos de implementar el cambio en el tipo de conexión y el cambio del medidor electrónico, el treinta por ciento (30%) restante será asumido por el comercializador de energía eléctrica
- **Escenario 3.** Financiar a los usuarios el valor de los costos de equipo de medida y los costos de equipo requerido para el cambio de conexión en nivel de tensión 2 y nivel de tensión 3, los demás costos serán asumidos por el comercializador de energía eléctrica.

Con el fin de determinar el rendimiento de los escenarios se estimaron los ingresos y los costos involucrados

## **9.1. ESTIMACIÓN DE COSTOS E INGRESOS**

En esta sección se detallan los costos e ingresos implicados para determinar los flujos de los escenarios contemplados.

### **9.1.1. Costos**

A continuación se describen los costos unitarios de mano de obra, equipo de medida, equipo requerido para el cambio de conexión en los niveles de tensión 2 y 3, costos de materiales y otros costos, finalmente se estiman los costos totales discriminados por tipo de usuario según Nivel de Tensión, adicionalmente se incrementa el costo neto por el porcentaje correspondiente a gastos de

Administración, Imprevistos y Utilidad frecuentes en este tipo de proyectos, este corresponde a A.I.U. de 25%.

**Tabla 41. Costos unitarios para el cambio de conexión y algoritmo**

<b>COSTOS UNITARIOS</b>				
<b>COSTOS MANO DE OBRA</b>	<b>UNID.</b>	<b>CANT.</b>	<b>VLR. UNITARIO</b>	<b>VLR. TOTAL</b>
Instalación y Conexión de Transformadores de Tensión tipo Exterior	UND	1	\$ 150.000	\$ 150.000
Instalación y Conexión de Transformadores de Corriente tipo Exterior	UND	1	\$ 150.000	\$150.000
Instalación, Conexión y Programación de Medidor Electrónico de Energía	UND	1	\$ 380.000	\$ 380.000
Instalación y Conexión de Bornera de Pruebas	UND	1	\$ 80.000	\$ 80.000
Acometida en seis conductores, desde salidas de TP's y TC's hasta borneras de prueba	ML	2	\$ 3.500	\$ 7.000
<b>SUBTOTAL</b>				<b><u>\$ 767.000</u></b>
<b>COSTOS EQUIPO DE MEDIDA</b>	<b>UNID.</b>	<b>CANT.</b>	<b>VLR. UNITARIO</b>	<b>VLR. TOTAL</b>
Medidor Electrónico Trifásico Multirango De Energía Activa Y Reactiva Clase 0.5s De 1/6 Amp Multirango Clase 0.5s	UNI	1	\$ 756.000	<b><u>\$ 756.000</u></b>
<b>COSTOS EQUIPO DE CAMBIO DE CONEXIÓN EN NIVEL TENSIÓN 2</b>	<b>UNID.</b>	<b>CANT.</b>	<b>VLR. UNITARIO</b>	<b>VLR. TOTAL</b>
Transformador De Potencial Tipo Exterior Clase 0.5 S	UNI	1	\$ 1.880.000	\$ 1.880.000
Transformador De Corriente Tipo Exterior Clase 0.5 S	UNI	1	\$ 1.850.000	\$ 1.850.000
Bornera De Pruebas	UNI	1	\$ 150.000	\$ 150.000
<b>SUBTOTAL</b>				<b><u>\$ 3.880.000</u></b>
<b>COSTOS EQUIPO DE CAMBIO DE CONEXIÓN EN NIVEL TENSIÓN 3</b>	<b>UNID.</b>	<b>CANT.</b>	<b>VLR. UNITARIO</b>	<b>VLR. TOTAL</b>
Transformador De Potencial Tipo Exterior Clase 0.5 S	UNI	1	\$ 2.990.000	\$ 2.990.000

Transformador De Corriente Tipo Exterior Clase 0.5 S	UNI	1	\$ 2.900.000	\$ 2.900.000
Bornera De Pruebas	UNI	1	\$ 150.000	\$ 150.000
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 6.040.000</b>
<b>COSTOS MATERIALES</b>	<b>UNID.</b>	<b>CANT.</b>	<b>VLR. UNITARIO</b>	<b>VLR. TOTAL</b>
Cruceta Metálica Galvanizada De 3"X3"X3/8" X 3 Mts	UNI	5	\$ 117.018	\$ 585.088
Collarín Una Salida De 8" A 9"	UNI	5	\$ 12.788	\$ 63.939
Diagonal En V De 110 X 40 Cm Para Cruceta Metálica	UNI	3	\$ 16.890	\$ 50.669
Coraza Metálica De 1"	MTR	10	\$ 4.482	\$ 44.824
Caja Metálica Para Medidor Polifásico Y Bornera De 60x40x25 Cm	UNI	1	\$ 187.200	\$ 187.200
Cable Encauchetado 7x12 Awg.	MTR	19	\$ 8.200	\$ 155.800
Adaptador Terminal Roscado De 1" Para Coraza Metálica	UNI	1	\$ 5.200	\$ 5.200
Coraza Metálica De 3/4"	MTR	10	\$ 4.482	\$ 44.824
Adaptador Terminal Roscado De 3/4" Para Coraza Metálica	UNI	4	\$ 5.200	\$ 20.800
Terminal De Ojo De 3/8" Calibre 12 AwgPonchable	UNI	4	\$ 312	\$ 1.248
Cinta De Acro Inoxidable De 5/8"	PIE	15	\$ 1.248	\$ 18.720
Hebilla De Acero Inoxidable	UNI	4	\$ 520	\$ 2.080
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 1.180.392</b>
<b>OTROS COSTOS</b>	<b>UNID.</b>	<b>CANT.</b>	<b>VLR. UNITARIO</b>	<b>VLR. TOTAL</b>
Transportes	UND	1	\$ 40.000	\$ 40.000
Costo Ambiental	UND	1	\$ 3.761	\$ 3.761
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 43.761</b>

Fuente. Comercializador de energía eléctrica

La inversión inicial para usuarios conectados en Nivel de Tensión 2 se muestra en la Tabla 42, donde se relacionan la descripción de los costos, la cantidad de usuarios, el valor unitario y valor total de los costos respectivos.

Tabla 42. Costo total para usuarios conectados en nivel de tensión 2

<b>COSTOS USUARIOS EN NIVEL DE TENSIÓN 2</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANT.</b>	<b>VLR. UNITARIO</b>	<b>VLR. TOTAL</b>
Costos Materiales	237	\$ 1.180.392	\$ 279.752.999
Costos Equipo de Cambio de Conexión	237	\$ 3.880.000	\$ 919.560.000
Costo Medidor Electrónico Trifásico	154	\$ 756.000	\$ 116.424.000
Otros Costos	237	\$ 43.761	\$ 10.371.357
<b>SUBTOTAL</b>			<b>\$ 1.326.108.356</b>
IVA		16%	\$ 212.177.337
Costos Mano de Obra	237	\$ 767.000	\$ 181.779.000
%A.I.U.		25%	\$ 376.971.839
<b>TOTAL COSTOS</b>			<b>\$ 2.097.036.532</b>

La inversión inicial para usuarios conectados en Nivel de Tensión 3 se muestra en la Tabla 43, donde se relacionan la descripción de los costos, la cantidad de usuarios, el valor unitario y valor total de los costos respectivos.

Tabla 43. Costo total para usuarios conectados en nivel de tensión 3

<b>COSTOS USUARIOS EN NIVEL DE TENSIÓN 3</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANT.</b>	<b>VLR. UNITARIO</b>	<b>VLR. TOTAL</b>
Costos Materiales	76	\$ 1.180.392	\$ 89.709.822
Costos Equipo de Cambio de Conexión	76	\$ 6.040.000	\$ 459.040.000
Costo Medidor Electrónico Trifásico	44	\$ 756.000	\$ 33.264.000
Otros Costos	76	\$ 43.761	\$ 3.325.836
<b>SUBTOTAL</b>			<b>\$ 585.339.658</b>
IVA		16%	\$ 93.654.345
Costos Mano de Obra	76	\$ 767.000	\$ 58.292.000
%A.I.U.		25%	\$ 160.907.915
<b>TOTAL COSTOS</b>			<b>\$ 898.193.918</b>

### 9.1.2. Ingresos

Para calcular los ingresos se cuantificó la capacidad de energía recuperada a causa de realizar los cambios descritos en la cantidad de usuarios objeto de estudio, según la distribución de usuarios mencionada en el Capítulo 7.

Entiéndase por energía recuperada aquella energía que a causa de un error en las estimaciones de los algoritmos, no se está comercializando en la actualidad debido a que los algoritmos reportan eficiencias superiores a las reales.

Cuando se realizan los cambios de conexión y de equipo de medida en algunos usuarios el  $\langle fp_i \rangle$  disminuye, este hecho revela que un porcentaje de la eficiencia del sistema se estaba sobreestimando por tanto los equipos de medida reportaran al comercializador eficiencias menores en los sistemas de algunos usuarios, que se traducen en un aumento de la disponibilidad en las redes, para estimar el beneficio económico de este suceso se procede a estimar la cantidad de usuarios promedio que estarían incluidos en esta situación y se valoran los porcentajes recuperados de disponibilidad en su equivalente de energía vendida, logrando así determinar los ingresos después de realizar las acciones mencionadas.

La capacidad recuperada se estimó de la siguiente manera, de acuerdo con la reglamentación establecida por la CREG, de existir un factor de potencia inferior a 0,9, se incluye en la factura para el suscriptor el cobro por concepto de energía reactiva se determina la diferencia en la estimación del  $fp$  que tienen los Algoritmos objeto de estudio respecto al *Algoritmo 1* conectado en 3 elementos, es decir:

Siendo  $fp_i$  y  $fp_1$  los factores de potencia promedio hora de los Algoritmos  $i$  y  $1$  respectivamente se procede a estimar la diferencia que cada uno expone respecto a  $fp_{minimo} = 0,9$  es decir:

$$fp_{minimo} - fp_i = \varepsilon_i \quad (70)$$

$$fp_{\text{minimo}} - fp_1 = \varepsilon_1 \quad (71)$$

Seguidamente se procede a establecer la diferencia entre  $\varepsilon_1$  y  $\varepsilon_i$ , para establecer qué porcentaje de la eficiencia del sistema se estimó erróneamente.

$$\tau_i = \varepsilon_1 - \varepsilon_i \quad (72)$$

Siendo  $\tau_i$  el porcentaje promedio de capacidad recuperado por hora a causa de realizar el cambio de Medidor y Tipo de conexión en los usuarios con equipo de medida actual  $i$ .

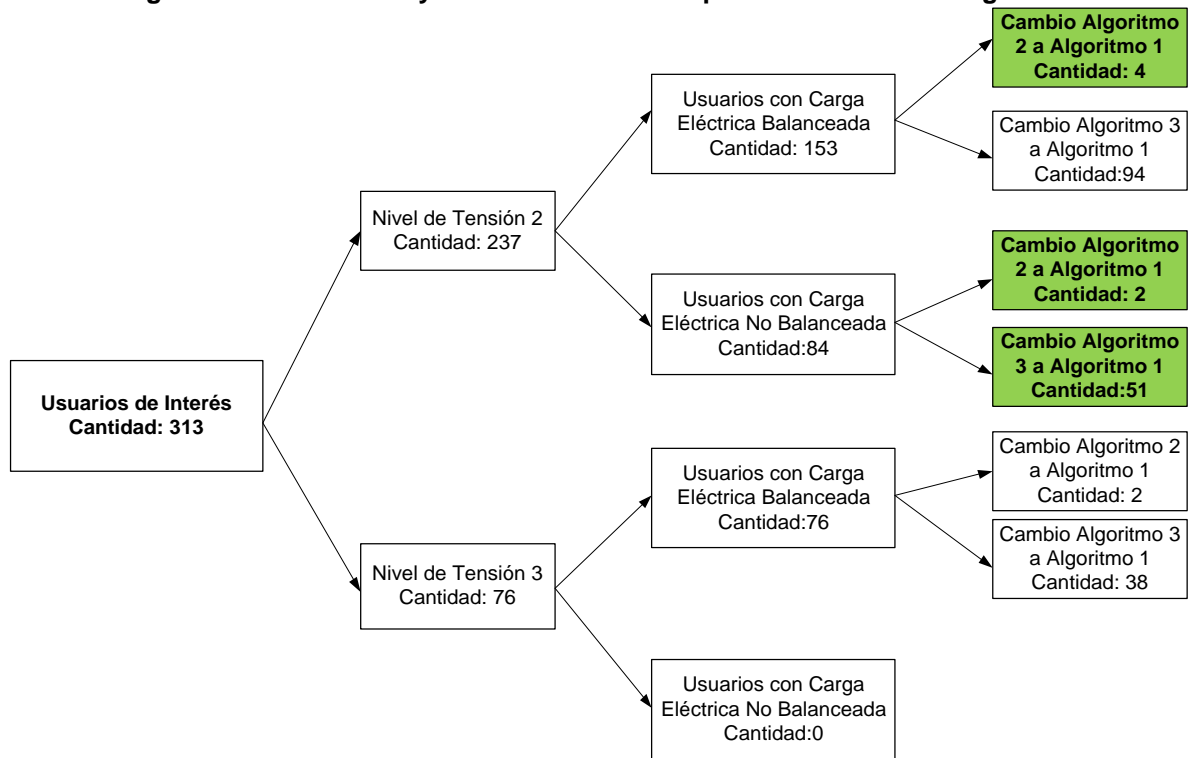
Con la información recopilada se estimaron sesenta (60) valores para  $\tau_i$ , que equivalen a seis (6) periodos de diez (10) horas de duración que es el promedio de horas de trabajo día de un usuario industrial. Por tanto se tienen los porcentajes de eficiencia promedio recuperados por día durante una semana que posteriormente se proyectan a los respectivos años.

Determinado el porcentaje promedio de capacidad recuperado para todos los grupos de usuarios, se determinó que los usuarios conectados en Nivel de Tensión 2 son los únicos que exhiben una disminución del factor de potencia al realizar los cambios indicados es decir,  $\tau > 0$ , adicionalmente este suceso solo se evidencia en los usuarios con equipos de medida con *Algoritmo 2* y con carga balanceada y usuarios con *Algoritmo 2* y *3* con carga no balanceada, el resto de usuarios no exhiben una disminución del factor de potencia a causa de realizar el cambio de conexión y cambio de equipo de medida.

Para un mejor entendimiento de la distribución de usuarios se muestra la Figura 13 y en él se indica la cantidad de usuarios por cada grupo y resaltada en verde la

cantidad de usuarios que generan beneficios a causa de liberación de la capacidad descrita.

**Figura 13. Distribución y cantidad de clientes para determinar los ingresos**



Para determinar la capacidad recuperada en kVAh/Semana se promedió la capacidad instalada de los usuarios implicados y finalmente para cuantificar este valor se tomó la tarifa promedio del costo de distribución.

El cálculo de los ingresos se halla en la Tabla 44.

Tabla 44. Ingresos de energía vendida

<b>INGRESOS</b>		
<b>Cambio de Algoritmo 2 a 1 - Conexión Nivel de Tensión 2 - Carga Balanceada.</b>		
<b>Detalle de Ingresos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor/Año</b>
Capacidad Instalada (KvA)	300	
Tarifa de Distribución \$/KvAh	93,36	
Porcentaje de Recuperación (Hora)	1,30%	
Número de Usuarios	4	
Energía Vendida (\$/Semana)		\$ 87.381,50
Energía Vendida (\$/Año)		\$ 4.194.311,85
<b>Subtotal</b>		<b>\$ 4.194.312</b>
<b>Cambio de Algoritmo 2 a 1 - Conexión Nivel de Tensión 2 - Carga No Balanceada.</b>		
<b>Detalle de Ingresos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor/Año</b>
Capacidad Instalada (KvA)	300	
Tarifa de Distribución \$/KvAh	93,3563	
Porcentaje de Recuperación (Hora)	2,79%	
Número de Usuarios	2	
Energía Vendida (\$/Semana)		\$ 93.767,07
Energía Vendida (\$/Año)		\$ 4.500.819,25
<b>Subtotal</b>		<b>\$ 4.500.819,25</b>
<b>Cambio de Algoritmo 3 a 1 - Conexión Nivel de Tensión 2 - Carga No Balanceada.</b>		
<b>Detalle de Ingresos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor/Año</b>
Capacidad Instalada (KvA)	300	
Tarifa de Distribución \$/KvAh	93,3563	
Porcentaje de Recuperación (Hora)	1,37%	
Número de Usuarios	51	
Energía Vendida (\$/Semana)		\$ 1.174.104,84
Energía Vendida (\$/Año)		\$ 56.357.032,44
<b>Subtotal</b>		<b>\$ 56.357.032,44</b>
<b>Cambio en Tipo de Conexión y Medidores en Nivel de Tensión 3</b>		
<b>Ingresos</b>		<b>-</b>
<b>TOTAL INGRESOS</b>		<b>\$ 65.052.163,54</b>

## 9.2. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Teniendo en cuenta estudios del Grupo Bancolombia con datos del DANE para la proyección del índice de precios del productor (IPP), se tomaron las proyecciones de diez años y se aplicaron al valor de energía vendida por año; los créditos planteados en los escenarios serán pagados a través de la factura eléctrica en plazos no mayores a dos (2) años con un interés del DTF + 8, que traducido a un factor, aplicable a los veinticuatro (24) meses es 0,0477<sup>6</sup>; mediante los criterios de valor actual neto y la tasa interna de retorno se determina el escenario con mayor rendimiento, aceptando una tasa mínima de rendimiento (TMRA) del diez coma setenta y seis por ciento (10,76%)<sup>7</sup> y asumiendo que el capital de inversión es financiado en su totalidad por recursos propios

---

<sup>6</sup> Fuente: Comercializadora de energía eléctrica

<sup>7</sup> Fuente: Comercializadora de energía eléctrica

## 9.2.1. Flujo de caja económico

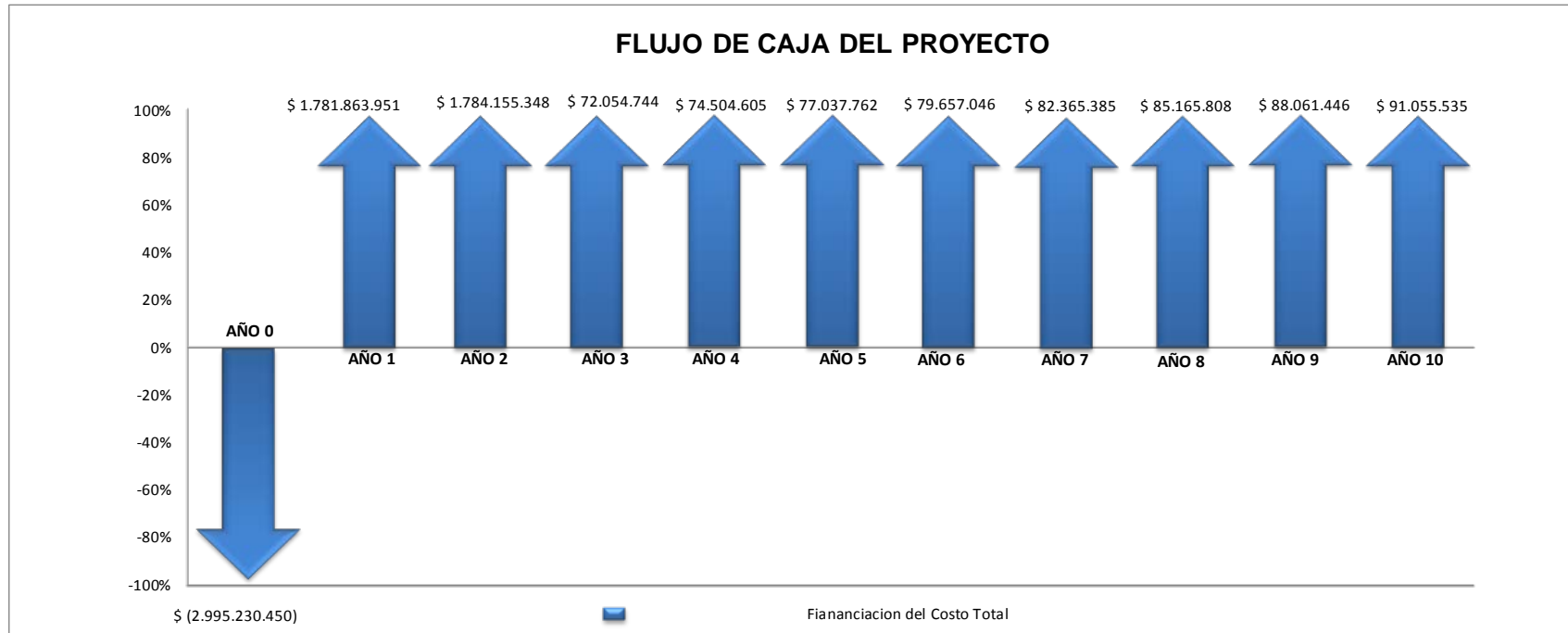
- **Flujo de caja del escenario 1.**

Financiar a los usuarios el total de los costos de implementar el cambio en el tipo de conexión y el cambio del medidor electrónico.

**Tabla 45. Flujo de Caja para el Escenario 1.**

FLUJO DE CAJA ECONÓMICO											
	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
IPP PROYECTADO		3,60%	3,40%	3,40%	3,40%	3,40%	3,40%	3,40%	3,40%	3,40%	3,40%
INVERSIÓN	\$ (2.995.230.450)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Beneficio Energía Vendida (\$/Año)		\$ 67.394.041	\$ 69.685.439	\$ 72.054.744	\$ 74.504.605	\$ 77.037.762	\$ 79.657.046	\$ 82.365.385	\$ 85.165.808	\$ 88.061.446	\$ 91.055.535
Cuota		\$ 1.714.469.910	\$ 1.714.469.910								
<b>FLUJO DE CAJA</b>	<b>\$ (2.995.230.450)</b>	<b>\$ 1.781.863.951</b>	<b>\$ 1.784.155.348</b>	<b>\$ 72.054.744</b>	<b>\$ 74.504.605</b>	<b>\$ 77.037.762</b>	<b>\$ 79.657.046</b>	<b>\$ 82.365.385</b>	<b>\$ 85.165.808</b>	<b>\$ 88.061.446</b>	<b>\$ 91.055.535</b>

Figura 14. Diagrama flujo de caja para el escenario 1.



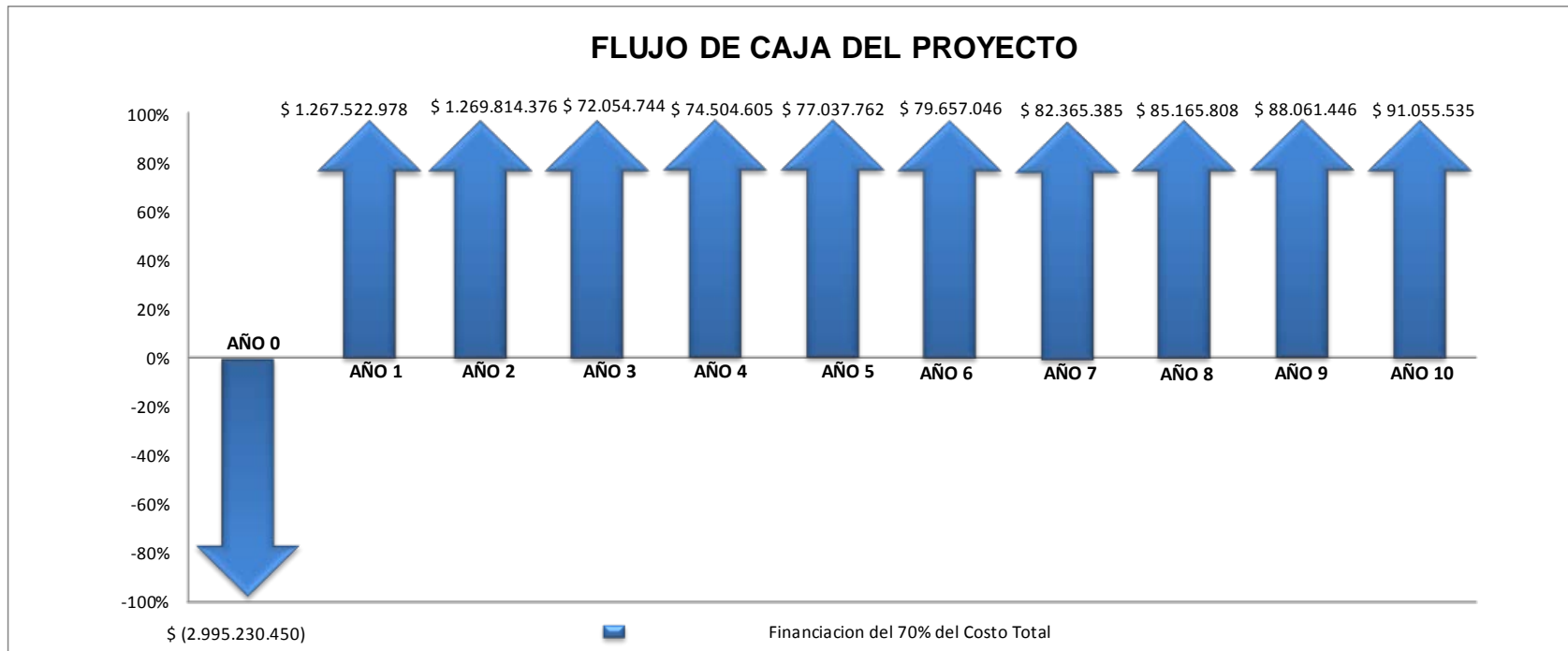
- **Flujo de caja del escenario 2.**

Financiar a los usuarios el setenta por ciento (70%) del total de los costos de implementar el cambio en el tipo de conexión y el cambio del medidor electrónico, el treinta por ciento (30%) restante será asumido por el comercializador de energía eléctrica

**Tabla 46. Flujo de caja para el escenario 2.**

<b>FLUJO DE CAJA ECONÓMICO</b>											
	<b>AÑO 0</b>	<b>AÑO 1</b>	<b>AÑO 2</b>	<b>AÑO 3</b>	<b>AÑO 4</b>	<b>AÑO 5</b>	<b>AÑO 6</b>	<b>AÑO 7</b>	<b>AÑO 8</b>	<b>AÑO 9</b>	<b>AÑO 10</b>
	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>
IPP PROYECTADO		3,60%	3,40%	3,40%	3,40%	3,40%	3,40%	3,40%	3,40%	3,40%	3,40%
INVERSIÓN	\$ (2.995.230.450)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Beneficio Energía Vendida (\$/Año)		\$ 67.394.041	\$ 69.685.439	\$ 72.054.744	\$ 74.504.605	\$ 77.037.762	\$ 79.657.046	\$ 82.365.385	\$ 85.165.808	\$ 88.061.446	\$ 91.055.535
Cuota		\$ 1.200.128.937	\$ 1.200.128.937								
<b>FLUJO DE CAJA</b>	<b>\$ (2.995.230.450)</b>	<b>\$ 1.267.522.978</b>	<b>\$ 1.269.814.376</b>	<b>\$ 72.054.744</b>	<b>\$ 74.504.605</b>	<b>\$ 77.037.762</b>	<b>\$ 79.657.046</b>	<b>\$ 82.365.385</b>	<b>\$ 85.165.808</b>	<b>\$ 88.061.446</b>	<b>\$ 91.055.535</b>

Figura 15. Diagrama flujo de caja para el escenario 2.



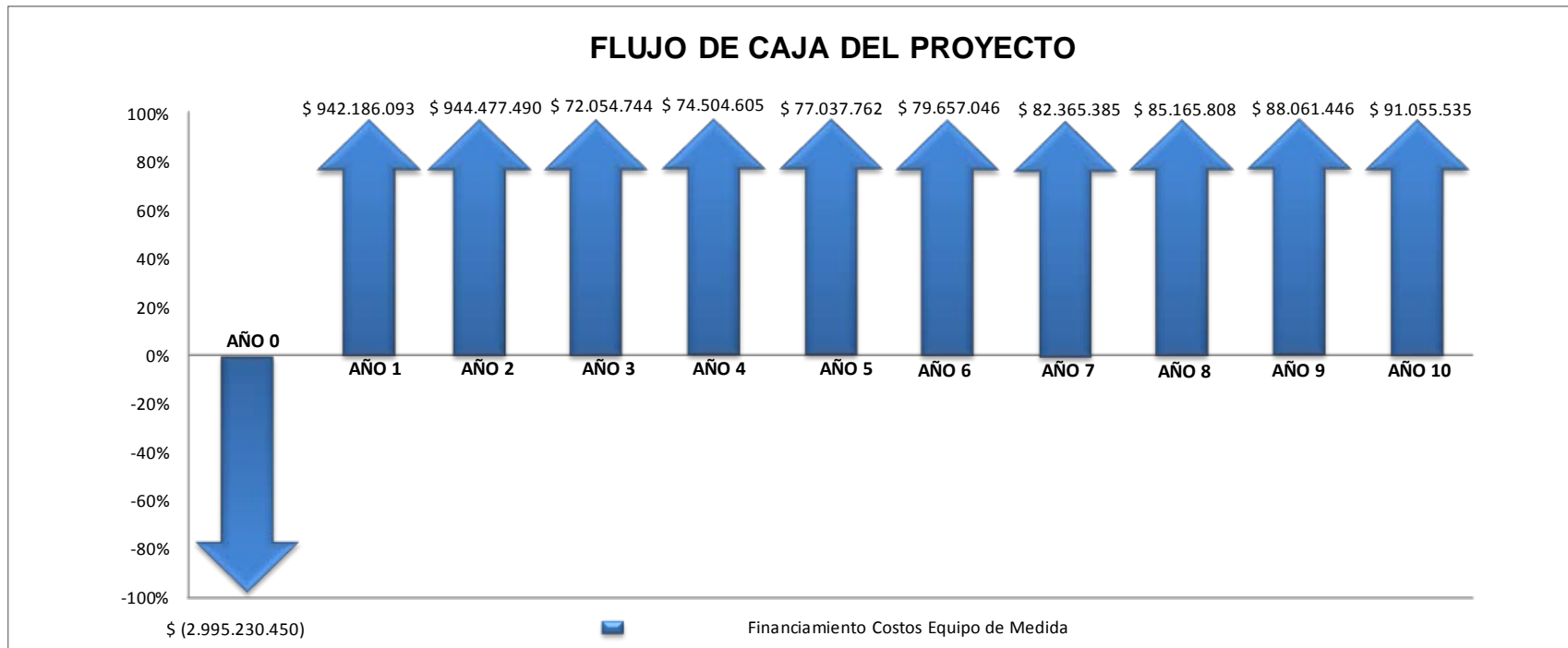
- **Flujo de caja del escenario 3.**

Financiar a los usuarios el valor de los costos de equipo de medida y los costos de equipo requerido para el cambio de conexión en nivel de tensión 2 y nivel de tensión 3, los demás costos serán asumidos por el comercializador de energía eléctrica.

**Tabla 47. Flujo de caja para el escenario 3.**

<b>FLUJO DE CAJA ECONÓMICO</b>											
	<b>AÑO 0</b>	<b>AÑO 1</b>	<b>AÑO 2</b>	<b>AÑO 3</b>	<b>AÑO 4</b>	<b>AÑO 5</b>	<b>AÑO 6</b>	<b>AÑO 7</b>	<b>AÑO 8</b>	<b>AÑO 9</b>	<b>AÑO 10</b>
	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>
IPP PROYECTADO		3,60%	3,40%	3,40%	3,40%	3,40%	3,40%	3,40%	3,40%	3,40%	3,40%
INVERSIÓN	\$ (2.995.230.450)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Beneficio Energía Vendita (\$/Año)		\$67.394.041	\$69.685.439	\$ 72.054.744	\$ 74.504.605	\$ 77.037.762	\$ 79.657.046	\$ 82.365.385	\$ 85.165.808	\$ 88.061.446	\$ 91.055.535
Cuota		\$ 874.792.051	\$ 874.792.051								
<b>FLUJO DE CAJA</b>	<b>\$ (2.995.230.450)</b>	<b>\$ 942.186.093</b>	<b>\$ 944.477.490</b>	<b>\$ 72.054.744</b>	<b>\$ 74.504.605</b>	<b>\$ 77.037.762</b>	<b>\$ 79.657.046</b>	<b>\$ 82.365.385</b>	<b>\$ 85.165.808</b>	<b>\$ 88.061.446</b>	<b>\$ 91.055.535</b>

Figura 16. Diagrama flujo de caja para el escenario 3.



### 9.2.2. Determinación de los indicadores de evaluación

En la Tabla 48 se resumen los escenarios planteados y los respectivos resultados de indicadores para determinar la factibilidad.

**Tabla 48. Resultados de los indicadores de evaluación para cada escenario**

ESCENARIO	DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO	Resultados de Evaluación	
		VAN	TIR
<b>ESCENARIO 1</b>	Financiar a los usuarios el total de los costos de implementar el cambio en el tipo de conexión y el cambio del medidor electrónico	\$ 405.519.563	19%
<b>ESCENARIO 2</b>	Financiar a los usuarios el setenta por ciento (70%) del total de los costos de implementar el cambio en el tipo de conexión y el cambio del medidor electrónico, el treinta por ciento (30%) restante será asumido por el comercializador de energía eléctrica	\$ (478.116.471)	3%
<b>ESCENARIO 3</b>	Financiar a los usuarios el valor de los costos de equipo de medida y los costos de equipo requerido para el cambio de conexión en nivel de tensión 2 y nivel de tensión 3, los demás costos serán asumidos por el comercializador de energía eléctrica.	\$ (1.037.044.128)	-5%

Para un periodo de diez (10) años los resultados indican que implementar los cambios mencionados solo es factible bajo el escenario 1 donde el VNA del proyecto es \$ 405.519.563 y la TIR 19% los dos criterios muestran una decisión unánime y es la aceptación y factibilidad del proyecto porque genera rentabilidad, recuperándose la inversión en un año y nueve meses.

Los otros dos escenarios reflejan que mínimo para un mismo periodo de diez años no es factible implementar los cambios asumiendo costos y esto se refleja en el  $VNA < 0$  y  $TIR < TMRA$ .

Dado que el escenario 1 corresponde a financiación total de los costos relacionados se estima un VNA agravado por la inflación para el 2012 y se contrasta con la utilidad operativa de la empresa, con el propósito de establecer la incidencia de la implementación del proyecto sobre la utilidad operativa. Los beneficios que se obtienen corresponden al 4,11% de la utilidad operativa.

### **9.2.3. Determinación de los beneficios intangibles**

Los beneficios intangibles que tendría la empresa al mejorar la estimación en el factor de potencia de los usuarios no regulados serían:

- Mejoramiento de la imagen de la empresa
- Mejor reputación de la comercializadora de energía
- Responsabilidad social empresarial, estimación justa de las mediciones.
- Beneficios económicos de los usuarios
- Incentivar el ahorro del usuario en la facturación, proponiéndole al usuario estrategias para eliminar las penalizaciones.
- Correcto dimensionamiento del sistema eléctrico y del equipo
- Propuesta de corrección del factor de potencia y optimización del consumo de energía reactiva.
- Con las soluciones propuestas para mejorar la calidad de la energía eléctrica, puede conseguirse un aumento en la vida útil de los equipos. Se pueden lograr reducciones de la potencia aparente en la instalación, lo cual redundaría en un menor valor de la factura de la energía eléctrica.

- Hace posible una optimización de la utilización de la instalación eléctrica, la red de servicios y el generador de energía.
- La empresa puede dar una mejor atención al cliente, al identificar mejor su demanda y patrones de consumo de sus clientes.
- La adecuada medición de la energía eléctrica es fundamental para la nueva estructuración de redes inteligentes, las cuales permiten optimizar los procesos de los sistemas eléctricos para aprovechar de forma más eficiente la energía y son una herramienta clave para la transición hacia economías bajas en emisiones de carbono.
- La empresa puede fomentar el ahorro y la eficiencia energética.
- Coadyuvaría a que la empresa se consolide como un modelo de empresa sostenible, ética y responsable; integrada en la sociedad, atenta a sus grupos de interés y referente en los mercados en los que opera.
- La empresa puede convertirse en un referente tecnológico reconocido por la industria, los mercados, la comunidad científica, los clientes y la sociedad.
- Debido a la capacidad recuperada se estimó que el comercializador de energía no tendría que invertir en el corto plazo en nueva infraestructura para aumentar la capacidad de sus redes, en los mismos porcentajes en los que se logró el cambio en las estimaciones de eficiencia. Por tanto ese ahorro en infraestructura corresponde a un porcentaje del costo actual de una subestación de las características de los usuarios que permitieron recuperar capacidad. (véase Anexo O).

## 10. CONCLUSIONES

En la Tabla 1 se especifican las secciones en las que se cumplieron los objetivos planteados, que conllevan a las siguientes conclusiones del trabajo de grado realizado.

- El estudio realizado a los medidores digitales utilizados por los usuarios permitió establecer las diferencias existentes en la actualidad entre los algoritmos de estimación de potencia y energía eléctrica.
- En la totalidad de los medidores objeto de estudio la estimación de la potencia activa se realiza de la misma forma, y este método de estimación no se ve afectado a causa de implementar conexión con dos (2) elementos o tres (3) elementos.
- Los algoritmos evaluados exhiben diferencias en la metodología de estimación de las potencias reactiva y aparente, estas diferencias son las responsables de que los Algoritmos 2 y 3 presenten incertidumbres tan significativas respecto al Algoritmo IEEE 1459-2000/2010, aspecto que no es relevante en el caso del Algoritmo 1 quien demostró el mejor comportamiento sin importar el escenario de la carga que este monitorizando.
- Los algoritmos 2 y 3 estiman la potencia reactiva como lo harían los medidores de inducción, factor que genera errores en la medición del parámetro cuando se contemplan sistemas desbalanceados y desequilibrados.
- En los escenarios de carga con desbalance de corriente no es válida la estimación de Potencia trifásica como la suma de las potencias de cada fase (considerar el sistema trifásico como tres sistemas monofásicos individuales) razón por la que se presenta una alta variación en las

estimaciones de los Algoritmos respecto a lo indicado en la norma IEEE 1459-2000/2010.

- El Algoritmo 3 calcula el factor de potencia a partir del valor de la potencia activa y reactiva y como estos valores no cambian entre uno y otro sistema de medición, el valor del factor de potencia para una misma carga siempre es la igual independiente del tipo de conexión.
- De los medidores contemplados en el estudio podemos afirmar que los equipos de medida que contemplan el Algoritmo 1 estiman adecuadamente las potencias de interés en cada fase, cuando este se conecta en tres (3) elementos pero este Algoritmo conectado en dos (2) elementos exhibe estimaciones considerablemente erradas.
- En la actualidad no existen medidores de Energía Eléctrica en el mercado que contemplen los Algoritmos de la norma IEEE 1459-2000/2010, solo existen dispositivos analizadores de redes descritos en el Capítulo 9.
- De acuerdo a los indicadores económicos, el escenario que plantea que la totalidad de los costos sean asumidos por los usuarios mediante financiación; es rentable y ofrece un rendimiento más alto que el de la TMRA.

## 11. RECOMENDACIONES

- Con el propósito de garantizar una incertidumbre adecuada en el proceso de medición, se recomienda establecer una normativa que exija que las estimaciones de energía eléctrica en sistemas de tres hilos se realicen utilizando en todos los casos la configuración de tres (3) elementos, tres transformadores de tensión y tres transformadores de corriente del equipo conectados al equipo de medida.
- Adquirir alguno de los dispositivos analizadores de redes que se encuentran en el mercado y que contemplan la evaluación de los parámetros de interés según el algoritmo IEEE 1459-2000/2010.
- Fomentar entre los fabricantes de equipos de medida la necesidad de incorporar en los dispositivos algoritmos que contemplen los escenarios de carga actuales los cuales contienen componentes armónicas y sistemas desbalanceados.
- Se recomienda exigir a los proveedores de medidores de energía, la entrega de la descripción de los Algoritmos de medida que posee cada dispositivo con el objetivo de realizar un análisis profundo del Algoritmo que mejor estima los parámetros de interés.
- Comercializar equipos de medida que contemplen en sus diseños, la dinámica de los sistemas eléctricos con el fin de suministrar equipos con adecuada exactitud y confiabilidad que permitan garantizar una incertidumbres adecuada en los intercambios de energía reactiva entre todos los actores involucrados en el mercado y reducir los niveles de pérdidas por energía no facturada para el comercializador o sobre facturada para el usuario final.

## BIBLIOGRAFÍA

BAUTISTA MORANTES, Adán De Jesús. Impacto de los Sistemas de Medición de Energía Eléctrica en la Valoración de la Potencia No Activa y Su Efecto Sobre la Facturación. Trabajo de investigación para optar al título de Magíster en Ingeniería, Área Ingeniería Eléctrica. Director: Gabriel Ordóñez Plata. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánica. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, 2007. 109p.

CASTRO RODRÍGUEZ, Raúl y MOKATE, Karen Marie. Evaluación Económica y Social de Proyectos de Inversión. Santafé De Bogotá: Uniandes, 1998. 424p.

COLOMBIA. EL CONGRESO DE COLOMBIA. Ley numero 253 (9, enero, 1996). Por medio de la cual se aprueba el Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación, hecho en Basilea el 22 de marzo de 1989. Diario oficial. Bogotá D.C., 1996. N° 42.688. P. 1 – 54

COLOMBIA. EL MINISTRO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución numero 1297(8, julio, 2010). Por la cual se establecen los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de residuos de pilas y/o acumuladores y se adoptan otras disposiciones. Diario oficial. Bogotá D.C., 13 de julio de 2010. N° 47.769. P. 1 – 10

COLOMBIA. EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. Decreto numero 4741(30, diciembre, 2005). Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral. Diario oficial. Bogotá D.C., 2005. N° 46.137. P. 1 – 25

COLOMBIA. EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. Decreto numero 1609 (31, julio, 2002). Por el cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera. Diario oficial. Bogotá D.C., 2002. N° 44.892. P. 1 – 29

DE LEÓN, Francisco y COHEN, José. Análisis Profundo y Critico de las Definiciones de Potencia y Factor de Potencia de la Nueva Norma IEEE-1459-2000. 2002.

Departamento de Investigaciones Económicas y Estrategias del Grupo Bancolombia. Informe de proyecciones macroeconómicas [online]. Bucaramanga

[citado septiembre de 2012]. Disponible en internet: <http://investigaciones.bancolombia.com/InvEconomicas/sid/24026/20110100609145721.pdf>.

DIAZ CADAVID, Abel. Diseño Estadístico de Experimentos. 1ed. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia, 1999. 347p.

EIGELES EMANUEL, Alexander. *FELLOW, IEEE, SUMMARY OF IEEE STANDARD 1459: Definitions For The Measurement Of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, Or Unbalanced Conditions*. En: IEEE Transactions on Industry Applications. May-June, 2004, Vol. 40 N°3. 8p.

FRÍAS QUINTERO, Oscar y GÁMEZ LAMUS, Edward Yesid. Contadores de Estado Sólido y Digitales: Análisis de los algoritmos de Medición de Energía e Índices de Calidad de Onda que se Pueden Evaluar. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Eléctrico. Director: Gabriel Ordóñez Plata. Bucaramanga: Universidad Industrial De Santander. Facultad De Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, 2004. 133p

GAMA MELO, Wagner Da. Desarrollo del Algoritmo de Programación para su Aplicación en Medidores Digitales de Energía Eléctrica Basado en el Estándar IEEE 1459-2000.2006 (Portugués).

GONZÁLEZ, Gabriel; ORDOÑEZ, Gabriel; BARRERO, Jaime y DUARTE, Cesar. Diseño de un Prototipo de Contador Trifásico Electrónico de Energía Eléctrica Teniendo en Cuenta las Recomendaciones del Estándar IEEE 1459-2000.2007.

GONZÁLEZ SUA, Gabriel E. Definiciones para la Estimación de Potencia y Energía Eléctrica. En: Maestría en Ingeniería – Tópicos Especiales. Segundo Semestre de 2006. 10p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Sistemas de Gestión Ambiental. Requisitos con Orientación para su Uso. NTC-ISO 14001, Primera Actualización, Bogotá: ICONTEC, 2004. 28p.

MIRANDA MIRANDA, Juan José. Gestión De Proyectos: Identificación, Formulación, Evaluación Financiera- Económica- Social- Ambiental. 4ed. Bogotá: MM Editores, 2003.438p.

MOKATE, Karen Marie; CUERVO DE FORERO, Adriana y VALLEJO, Hernán Eduardo. Evaluación Financiera De Proyectos De Inversión. 2 Ed. Santafé De Bogotá: Uniandes, 2004. 298p.

PAÍSES MIEMBROS Y LA UNIÓN EUROPEA. CONFERENCIA DE PLENIPOTENCIARIOS DEL 22 DE MARZO 1989. Convenio de Basilea (Entrada en Vigor: Mayo 5 de 1992). Sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación. Basilea, Suiza, 1989.

RODRÍGUEZ CAIRO, Vladimir. BAO GARCÍA, Raúl. CÁRDENAS LUCERO, Luis. Formulación y Evaluación de Proyectos. 1ed. México: Limusa, 2008. 456p.

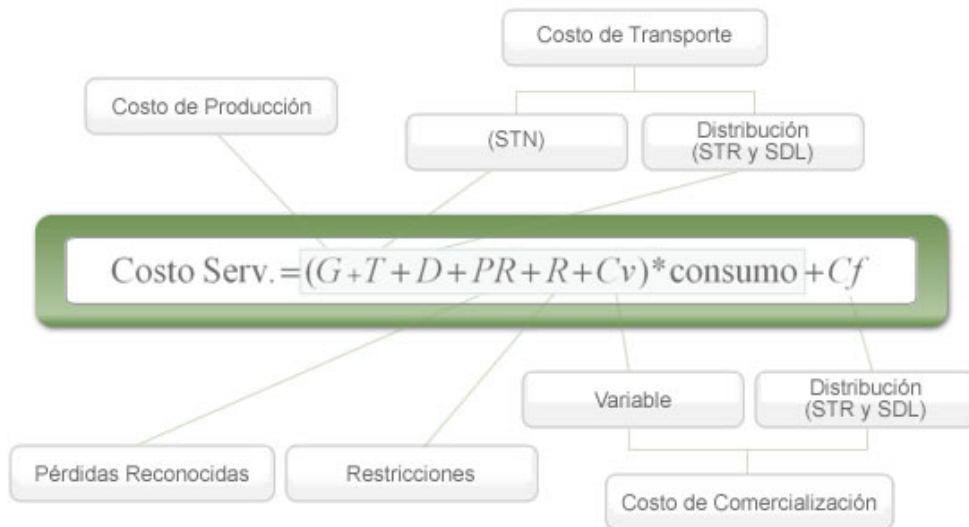
SALVARREDY, Julián Raúl. Gestión Económica y Financiera de Proyectos con Microsoft Excel. Buenos Aires: OmicronSystem, 2003. 240p.

## ANEXOS.

### Anexo A. Estructura tarifaria

#### Anexo A 1. Tarifa de la energía eléctrica

Determinación tarifa (costo servicio) Res. CREG 119 de 2007



Fuente: [http://www.creg.gov.co/html/cache/gallery/GC-1/G-1/grafica\\_estructura\\_tarifaria.jpg](http://www.creg.gov.co/html/cache/gallery/GC-1/G-1/grafica_estructura_tarifaria.jpg)

## Anexo A 2. Costo unitario de prestación del servicio

$$CUv_{n,m,i,j} = G_{m,i,j} + T_m + D_{n,m} + Cv_{m,i,j} + PR_{n,m,i,j} + R_{m,i}$$

$$CUf_{m,j} = Cf_{m,j}$$

Dónde:

- n*** : Nivel de tensión de conexión del usuario.  
***m*** : Es el mes para el cual se calcula el Costo Unitario de Prestación del Servicio.  
***i*** : Comercializador Minorista.  
***j*** : Es el Mercado de Comercialización.

$CUv_{n,m,i,j}$  : Componente variable del Costo Unitario de Prestación del Servicio (\$/kWh) para los usuarios conectados al nivel de tensión  $n$ , correspondiente al mes  $m$ , del Comercializador Minorista  $i$ , en el Mercado de Comercialización  $j$ .

$G_{m,i,j}$  : Costo de compra de energía (\$/kWh) para el mes  $m$ , del Comercializador Minorista  $i$ , en el Mercado de Comercialización  $j$ , determinados conforme se establece en el Capítulo III de la Resolución CREG 119 de 2007.

$T_m$  : Costo por uso del Sistema Nacional de Transmisión (\$/kWh) para el mes  $m$  determinado conforme al Capítulo IV de la Resolución CREG 119 de 2007.

- $D_{n,m}$  : Costo por uso de Sistemas de Distribución (\$/kWh) correspondiente al nivel de tensión  $n$  para el mes  $m$ , determinados conforme al Capítulo IV de la Resolución CREG 119 de 2007.
- $Cv_{m,i,j}$  : Margen de Comercialización correspondiente al mes  $m$ , del Comercializador Minorista  $i$ , en el Mercado de Comercialización  $j$  que incluye los costos variables de la actividad de comercialización, expresado en (\$/kWh) y determinado conforme al Capítulo V de la Resolución CREG 119 de 2007.
- $R_{m,i}$  : Costo de Restricciones y de Servicios asociados con generación en \$/kWh asignados al Comercializador Minorista  $i$  en el mes  $m$ , conforme al Capítulo VI de la Resolución CREG 119 de 2007.
- $PR_{n,m,i,j}$  : Costo de compra, transporte y reducción de pérdidas de energía (\$/kWh) acumuladas hasta el nivel de tensión  $n$ , para el mes  $m$ , del Comercializador Minorista  $i$ , en el Mercado de Comercialización  $j$ , determinado conforme se establece en el Capítulo VII de la Resolución CREG 119 de 2007.
- $CUf_{m,j}$  : Componente fija del Costo Unitario de Prestación del Servicio (\$/factura) correspondiente al mes  $m$  para el Mercado de Comercialización  $j$ .
- $Cf_{m,j}$  : Costo Base de Comercialización (\$/factura) correspondiente al mes  $m$ , para el Mercado de Comercialización  $j$ .

**Parágrafo 1:** El costo máximo del servicio en un período dado corresponderá a la suma de: i) el producto entre el consumo en kWh en dicho período y el componente variable del costo unitario  $CUv_{n,m,i,j}$ ; y ii) el valor del componente fijo del costo unitario  $CUf_{m,j}$ <sup>8</sup>

---

<sup>8</sup> Resolución CREG 119 de 2007.

**Anexo B. Listado clientes industriales seleccionados**

<b>Cant.</b>	<b>Código Sic</b>	<b>Ciudad</b>	<b>Departamento</b>	<b>Medidor</b>
1	I2DOD001	Girón	SANTANDER	A
2	I2J3A001	Girón	SANTANDER	A
3	I2DN5001	Bucaramanga	SANTANDER	A
4	I2D78001	Bucaramanga	SANTANDER	A
5	I2DRP001	Floridablanca	SANTANDER	A
6	I2CIG001	Bucaramanga	SANTANDER	A
7	I2CR3001	Girón	SANTANDER	A
8	I2DQ4001	Bucaramanga	SANTANDER	A
9	I2BYS001	Floridablanca	SANTANDER	A
10	I2CLE001	Bucaramanga	SANTANDER	A
11	I2CN2001	Bucaramanga	SANTANDER	D
12	I1AID001	Bucaramanga	SANTANDER	D
13	I2B9C001	Girón	SANTANDER	D
14	I2G21001	Bucaramanga	SANTANDER	D
15	I2IXJ001	Bucaramanga	SANTANDER	D
16	I2JMM001	Bucaramanga	SANTANDER	D
17	I2DTF001	Bucaramanga	SANTANDER	D
18	I2IUA001	Bucaramanga	SANTANDER	D
19	I2JMK001	Bucaramanga	SANTANDER	D
20	I2JPO001	Aratocha	SANTANDER	D
21	I2CHJ001	Piedecuesta	SANTANDER	D
22	I2CN3001	Bucaramanga	SANTANDER	D
23	I2GAO001	Bucaramanga	SANTANDER	D
24	I2IU9001	Bucaramanga	SANTANDER	D
25	I2G9W001	Cantagallo	BOLÍVAR	D
26	I2BYF001	Bucaramanga	SANTANDER	D
27	I2B5X001	Bucaramanga	SANTANDER	D
28	I2GME001	Floridablanca	SANTANDER	D
29	I2JOT001	Bucaramanga	SANTANDER	D
30	I2K2P001	Barrancabermeja	SANTANDER	D
31	I2DBE001	Bucaramanga	SANTANDER	C
32	I2BWH001	Bucaramanga	SANTANDER	C
33	I2DI2001	Girón	SANTANDER	C
34	I2EEU001	Bucaramanga	SANTANDER	C

<b>Cant.</b>	<b>Código Sic</b>	<b>Ciudad</b>	<b>Departamento</b>	<b>Medidor</b>
35	I2EMJ001	Bucaramanga	SANTANDER	C
36	I2ERX001	Bucaramanga	SANTANDER	C
37	I2GP2001	Puerto Wilches	SANTANDER	C
38	I2HC5001	Puerto Wilches	SANTANDER	C
39	I2I77001	Puerto Wilches	SANTANDER	C
40	I2CI4001	Rionegro	SANTANDER	C
41	I2B57001	Girón	SANTANDER	C
42	I2C6W001	Floridablanca	SANTANDER	C
43	I2E3X001	Bucaramanga	SANTANDER	C
44	I2F9B001	Floridablanca	SANTANDER	C
45	I2CEX001	Girón	SANTANDER	C
46	I2JHL001	Bucaramanga	SANTANDER	B
47	I2HST001	Bucaramanga	SANTANDER	B
48	I2I1J001	Floridablanca	SANTANDER	B
49	I2G22001	Bucaramanga	SANTANDER	B
50	I2FSC001	Bucaramanga	SANTANDER	B

## Anexo C. Usuarios conectados en dos elementos

### Anexo C 1. Grupo de usuarios balanceados

Para los usuarios con cargas balanceadas conectados al nivel 2 de tensión; en la Tabla D.1 se encuentran las incertidumbres en la estimación del factor de potencia para cada uno de los algoritmos objeto de estudio, clasificados según el tipo de consumo.

**Tabla D.1. Incertidumbre por tipo de consumo en conexión de dos elementos y carga balanceada, nivel 2 de tensión**

ALGORITMO S	NIVEL DE TENSIÓN 2					
	TIPO DE CONSUMO					
	CONSUMO BAJO			CONSUMO ALTO		
	PENDIENT E (m)	INTERCEPTO (b)	R <sup>2</sup>	PENDIENT E (m)	INTERCEPTO (b)	R <sup>2</sup>
1	0,7	0,16	0,4	0,84	0,06	0,94
2	1,09	-0,05	0,99	0,98	0,02	0,8
3	1,1	-0,07	0,99	0,98	0,02	0,02
		INCERTIDUMBRE			INCERTIDUMBRE	

Como se puede observar en la Tabla D.1, si los factores de potencia calculados se clasifican por tipos de consumo, las aproximaciones son adecuadas, pero las incertidumbres son muy dispersas si se expresaran con esta clasificación adicional

En la Tabla D.2 se presentan las incertidumbres obtenidas de acuerdo con el tipo de consumo para usuarios conectados al nivel 3 de tensión con carga balanceada. Como puede observarse en este caso, las pendientes y los índices de correlación son cercanos a la unidad.

**Tabla D.2. Incertidumbre por tipo de consumo en conexión de dos elementos y carga balanceada, nivel 3 de tensión**

ALGORITMO S	NIVEL DE TENSIÓN 3					
	TIPO DE CONSUMO					
	CONSUMO BAJO			CONSUMO ALTO		
	PENDIENT E (m)	INTERCEPTO (b)	R <sup>2</sup>	PENDIENT E (m)	INTERCEPTO (b)	R <sup>2</sup>
1	0,89	0,024	0,99	0,87	0,042	0,99

2	0,98	0,0044	0,99	0,99	0,005	1
3	0,99	0,01	1	0,99	0,01	1
<b>INCERTIDUMBRE</b>			<b>INCERTIDUMBRE</b>			

### Anexo C 2. Grupo de usuarios no balanceados

En la Tabla D.3 se muestran los resultados de la incertidumbre obtenidos considerando el tipo de consumo en usuarios del nivel de tensión 2 con conexión de dos elementos en el equipo de medición de potencia y energía y carga no balanceada.

**Tabla D.3. Incertidumbre por tipo de consumo en conexión de dos elementos y carga no balanceada, nivel de tensión 2**

ALGORITMOS	NIVEL DE TENSIÓN 2					
	TIPO DE CONSUMO					
	CONSUMO BAJO			CONSUMO ALTO		
	PENDIENTE (m)	INTERCEPTO (b)	R <sup>2</sup>	PENDIENTE (m)	INTERCEPTO (b)	R <sup>2</sup>
1	0,98	0,021	0,99	0,98	0,0122	0,99
2	0,98	0,0812	0,724	0,9	0,0606	0,97
3	0,96	0,0828	0,73	0,91	0,0514	0,97
<b>INCERTIDUMBRE</b>			<b>INCERTIDUMBRE</b>			

## Anexo D. Usuarios conectados en 3 elementos

El análisis de usuarios conectados en tres elementos se presenta a continuación tanto para los niveles de tensión 2 y 3 como para cargas balanceadas y no balanceadas.

### Anexo D 1. Grupo de usuarios balanceados

La Tabla E.1 muestra los resultados de la incertidumbre obtenidos considerando el tipo de consumo en usuarios del nivel de tensión 2 con conexión de tres elementos en el equipo de medición de potencia y energía y carga balanceada.

**Tabla E.1 Incertidumbre por tipo de consumo en conexión 3 elementos, carga balanceada y nivel de tensión 2**

ALGORITMOS	NIVEL DE TENSIÓN 2					
	TIPO DE CONSUMO					
	CONSUMO BAJO			CONSUMO ALTO		
	PENDIENTE E (m)	INTERCEPTO (b)	R <sup>2</sup>	PENDIENTE E (m)	INTERCEPTO (b)	R <sup>2</sup>
1	0,99	0,01	1	1	-0,001	1
2	1,09	0,04	0,99	0,99	0,01	0,99
3	1,1	-0,07	0,99	0,98	0,02	0,02
		INCERTIDUMBRE			INCERTIDUMBRE	

Para el nivel de tensión 3, la Tabla E.2 presenta los resultados de la incertidumbre obtenidos considerando el tipo de consumo para la conexión de tres elementos en el equipo de medición de potencia y energía.

**Tabla E.2. Incertidumbre por tipo de consumo en conexión 3 elementos, carga balanceada y nivel de tensión 3**

ALGORITMOS	NIVEL DE TENSIÓN 3					
	TIPO DE CONSUMO					
	CONSUMO BAJO			CONSUMO ALTO		
	PENDIENTE (m)	INTERCEPTO (b)	R <sup>2</sup>	PENDIENTE (m)	INTERCEPTO (b)	R <sup>2</sup>
1	1	0	1	1	0	1
2	0,99	0	0,99	0,99	0,01	1
3	0,99	0,01	1	0,99	0,01	1
		INCERTIDUMBRE			INCERTIDUMBRE	

## Anexo D 2. Grupo de usuarios no balanceados

La Tabla E.3 presenta los resultados de la incertidumbre obtenidos considerando el tipo de consumo en usuarios del nivel de tensión 2 con conexión de tres elementos en el equipo de medición de potencia y energía y carga no balanceada.

**Tabla E.3 Incertidumbre por tipo de consumo en conexión 3 elementos, carga no balanceada y nivel de tensión 2**

ALGORITMOS	NIVEL DE TENSIÓN 2					
	TIPO DE CONSUMO					
	CONSUMO BAJO			CONSUMO ALTO		
	PENDIENTE (m)	INTERCEPTO (b)	R <sup>2</sup>	PENDIENTE (m)	INTERCEPTO (b)	R <sup>2</sup>
1	0,98	0,021	0,99	0,98	0,0122	0,99
2	0,98	0,0812	0,724	0,9	0,06	0,97
3	0,96	0,0828	0,733	0,92	0,0514	0,98
		INCERTIDUMBRE			INCERTIDUMBRE	

**Anexo E. Datos de factor de potencia para el diseño experimental de clientes con carga eléctrica balanceada**

TIPO DE ALGORITMO	NIVEL DE TENSIÓN	TIPO DE CONSUMO	FACTOR DE POTENCIA
1	2	0	0,873423
1	2	0	0,873274167
1	2	0	0,882338463
1	2	0	0,893931626
1	2	0	0,898307008
1	2	0	0,8951303
1	2	0	0,870029871
1	2	0	0,864537137
1	2	0	0,891502379
1	2	0	0,905435504
1	2	0	0,91082939
1	2	0	0,893912163
1	2	0	0,876665819
1	2	0	0,88435208
1	2	0	0,899799043
1	2	0	0,890464524
1	2	0	0,889579713
1	2	0	0,897700385
1	2	0	0,880673756
1	2	0	0,881380243
1	2	0	0,879130931
1	2	0	0,879932333
1	2	0	0,891664595
1	2	0	0,873151065
1	2	0	0,853560523
1	2	0	0,868241633
1	2	0	0,853038789
1	2	0	0,88053929
1	2	0	0,879120591
1	2	0	0,880498536
1	2	0	0,883487611
1	2	0	0,880413192
1	2	0	0,860177612
1	2	0	0,861037506

1	2	0	0,877518404
1	2	0	0,88521924
1	2	0	0,882516373
1	2	0	0,872948021
1	2	0	0,872793503
1	2	0	0,888355685
1	2	0	0,880058414
1	2	0	0,867752115
1	2	0	0,875725277
1	2	0	0,873422487
1	2	0	0,87240468
1	2	0	0,866918361
1	2	0	0,868666313
1	2	0	0,884016656
1	2	0	0,890781421
1	2	0	0,869342719
1	2	0	0,86459516
1	2	0	0,875002611
1	2	0	0,880482906
1	2	0	0,880745657
1	2	0	0,873063213
1	2	0	0,882281739
1	2	0	0,90023275
1	2	0	0,887228034
1	2	0	0,861687628
1	2	0	0,863348167
1	2	0	0,866962481
1	2	0	0,880116018
1	2	0	0,888458004
1	2	0	0,896081943
1	2	0	0,907233006
1	2	0	0,898627405
1	2	0	0,861848373
1	2	0	0,855199946
1	2	0	0,871970995
1	2	0	0,897950635
1	2	0	0,905128841
1	2	0	0,902991308
1	2	0	0,905098692
1	2	0	0,90849345

1	2	0	0,898159455
1	2	0	0,888665584
1	2	0	0,895661463
1	2	0	0,897427022
1	2	0	0,903028549
1	2	0	0,900079121
1	2	0	0,893955257
1	2	0	0,904009515
1	2	0	0,906762597
1	2	0	0,862525208
1	2	0	0,855424158
1	2	0	0,872377686
1	2	0	0,889190677
1	2	0	0,891923716
1	2	0	0,880855881
1	2	0	0,869509159
1	2	0	0,878154696
1	2	0	0,84656466
1	2	0	0,876025266
1	2	0	0,889581409
1	2	0	0,883569815
1	2	0	0,868027951
1	2	0	0,856126631
1	2	0	0,864695027
1	2	0	0,887628106
1	2	0	0,893794903
1	2	0	0,873345989
1	2	0	0,874405863
1	2	0	0,881643111
1	2	0	0,880905388
1	2	0	0,883724363
1	2	0	0,880776436
1	2	0	0,869018695
1	2	0	0,875130024
2	2	0	0,902348751
2	2	0	0,90216831
2	2	0	0,91245768
2	2	0	0,925500565
2	2	0	0,929408504
2	2	0	0,924717752

2	2	0	0,899263258
2	2	0	0,894610938
2	2	0	0,924220205
2	2	0	0,93910982
2	2	0	0,944631323
2	2	0	0,925693036
2	2	0	0,906275913
2	2	0	0,915152501
2	2	0	0,932786287
2	2	0	0,921514071
2	2	0	0,920292004
2	2	0	0,930098699
2	2	0	0,91103951
2	2	0	0,911840561
2	2	0	0,909171011
2	2	0	0,909773792
2	2	0	0,922722306
2	2	0	0,902549054
2	2	0	0,880515052
2	2	0	0,89716698
2	2	0	0,882674302
2	2	0	0,910725153
2	2	0	0,908707331
2	2	0	0,910312446
2	2	0	0,913874752
2	2	0	0,909770613
2	2	0	0,887811036
2	2	0	0,888960735
2	2	0	0,907670222
2	2	0	0,915647289
2	2	0	0,912296718
2	2	0	0,902198065
2	2	0	0,901491321
2	2	0	0,919010496
2	2	0	0,910139508
2	2	0	0,896720966
2	2	0	0,904170881
2	2	0	0,902300157
2	2	0	0,902814502
2	2	0	0,895894195

2	2	0	0,897019843
2	2	0	0,914820837
2	2	0	0,922080253
2	2	0	0,897984808
2	2	0	0,893459474
2	2	0	0,905460459
2	2	0	0,911165645
2	2	0	0,911109345
2	2	0	0,902877368
2	2	0	0,911888954
2	2	0	0,932621043
2	2	0	0,917703709
2	2	0	0,888775028
2	2	0	0,893359091
2	2	0	0,896946078
2	2	0	0,91071018
2	2	0	0,921182109
2	2	0	0,92821858
2	2	0	0,938891073
2	2	0	0,930844606
2	2	0	0,88980919
2	2	0	0,882744661
2	2	0	0,902554544
2	2	0	0,931821581
2	2	0	0,938611701
2	2	0	0,936376517
2	2	0	0,937389007
2	2	0	0,942116266
2	2	0	0,930576831
2	2	0	0,919532341
2	2	0	0,928589206
2	2	0	0,930699027
2	2	0	0,937305919
2	2	0	0,932334229
2	2	0	0,92642896
2	2	0	0,936000583
2	2	0	0,940926827
2	2	0	0,890204589
2	2	0	0,882583819
2	2	0	0,903528634

2	2	0	0,921606924
2	2	0	0,923244733
2	2	0	0,910787891
2	2	0	0,898190982
2	2	0	0,908306001
2	2	0	0,877976043
2	2	0	0,905234438
2	2	0	0,920786918
2	2	0	0,914381213
2	2	0	0,896495059
2	2	0	0,884243816
2	2	0	0,893488599
2	2	0	0,918519155
2	2	0	0,925809348
2	2	0	0,903572707
2	2	0	0,904006553
2	2	0	0,91149171
2	2	0	0,911546371
2	2	0	0,914809491
2	2	0	0,911367255
2	2	0	0,89766799
2	2	0	0,904352248
3	2	0	0,900773401
3	2	0	0,900630472
3	2	0	0,910832027
3	2	0	0,92430289
3	2	0	0,928956321
3	2	0	0,924123158
3	2	0	0,898826439
3	2	0	0,894175304
3	2	0	0,923787619
3	2	0	0,938574558
3	2	0	0,944063203
3	2	0	0,925130255
3	2	0	0,905809423
3	2	0	0,914567842
3	2	0	0,932271855
3	2	0	0,9209523
3	2	0	0,919886187
3	2	0	0,929269896

3	2	0	0,909344998
3	2	0	0,910033372
3	2	0	0,907494505
3	2	0	0,907953953
3	2	0	0,920851331
3	2	0	0,900986996
3	2	0	0,878984872
3	2	0	0,895502828
3	2	0	0,881603903
3	2	0	0,909053053
3	2	0	0,906933234
3	2	0	0,908659369
3	2	0	0,912029129
3	2	0	0,908059424
3	2	0	0,886136132
3	2	0	0,887508043
3	2	0	0,905725448
3	2	0	0,913783735
3	2	0	0,910359697
3	2	0	0,900423488
3	2	0	0,899582233
3	2	0	0,917125453
3	2	0	0,90844328
3	2	0	0,894953607
3	2	0	0,902489164
3	2	0	0,900465671
3	2	0	0,900807018
3	2	0	0,894094256
3	2	0	0,895352863
3	2	0	0,9129045
3	2	0	0,920363464
3	2	0	0,896329208
3	2	0	0,891918008
3	2	0	0,903632202
3	2	0	0,909340073
3	2	0	0,909185037
3	2	0	0,901145859
3	2	0	0,910056217
3	2	0	0,930614982
3	2	0	0,916149105

3	2	0	0,887215547
3	2	0	0,891619737
3	2	0	0,895078286
3	2	0	0,908861067
3	2	0	0,919250326
3	2	0	0,926454619
3	2	0	0,937067777
3	2	0	0,929050634
3	2	0	0,888098685
3	2	0	0,881318049
3	2	0	0,901404437
3	2	0	0,931123423
3	2	0	0,937901814
3	2	0	0,935741282
3	2	0	0,936772205
3	2	0	0,941439065
3	2	0	0,929933569
3	2	0	0,91895565
3	2	0	0,928038094
3	2	0	0,930075019
3	2	0	0,936617882
3	2	0	0,931671602
3	2	0	0,925847389
3	2	0	0,935355808
3	2	0	0,939167921
3	2	0	0,888465648
3	2	0	0,881021407
3	2	0	0,901470835
3	2	0	0,919659111
3	2	0	0,92123531
3	2	0	0,909081949
3	2	0	0,896282813
3	2	0	0,906394267
3	2	0	0,876887181
3	2	0	0,903454958
3	2	0	0,918899889
3	2	0	0,912392127
3	2	0	0,894691967
3	2	0	0,882347363
3	2	0	0,891758482

3	2	0	0,91651083
3	2	0	0,9239737
3	2	0	0,901743691
3	2	0	0,902410556
3	2	0	0,909602121
3	2	0	0,908734666
3	2	0	0,912749221
3	2	0	0,909531093
3	2	0	0,895800146
3	2	0	0,902525201
4	2	0	0,872078733
4	2	0	0,871967779
4	2	0	0,881010806
4	2	0	0,89277973
4	2	0	0,897705484
4	2	0	0,894457334
4	2	0	0,869505593
4	2	0	0,863981788
4	2	0	0,890914048
4	2	0	0,904804697
4	2	0	0,910201251
4	2	0	0,893292017
4	2	0	0,876019316
4	2	0	0,883681768
4	2	0	0,899146552
4	2	0	0,8898301
4	2	0	0,888942005
4	2	0	0,896752401
4	2	0	0,879223256
4	2	0	0,879924773
4	2	0	0,877635818
4	2	0	0,87841167
4	2	0	0,890117865
4	2	0	0,871710729
4	2	0	0,852169811
4	2	0	0,86673353
4	2	0	0,852356578
4	2	0	0,879201207
4	2	0	0,877585907
4	2	0	0,87898342

4	2	0	0,88197653
4	2	0	0,878867843
4	2	0	0,858730146
4	2	0	0,859576165
4	2	0	0,875908984
4	2	0	0,883638276
4	2	0	0,880916132
4	2	0	0,871351586
4	2	0	0,871184056
4	2	0	0,886763411
4	2	0	0,878523494
4	2	0	0,866197588
4	2	0	0,874136295
4	2	0	0,871824821
4	2	0	0,87080138
4	2	0	0,865398964
4	2	0	0,867083696
4	2	0	0,882435076
4	2	0	0,889227297
4	2	0	0,867856944
4	2	0	0,863084047
4	2	0	0,873485517
4	2	0	0,878962953
4	2	0	0,879199397
4	2	0	0,871539375
4	2	0	0,88075779
4	2	0	0,898587422
4	2	0	0,885737774
4	2	0	0,860224978
4	2	0	0,861813765
4	2	0	0,865433321
4	2	0	0,878600845
4	2	0	0,886905162
4	2	0	0,894507104
4	2	0	0,905679899
4	2	0	0,897041976
4	2	0	0,860330857
4	2	0	0,853751811
4	2	0	0,870954198
4	2	0	0,897218104

4	2	0	0,904400364
4	2	0	0,902277275
4	2	0	0,904373245
4	2	0	0,907765432
4	2	0	0,897430586
4	2	0	0,887945345
4	2	0	0,894940775
4	2	0	0,89673234
4	2	0	0,902301805
4	2	0	0,899348433
4	2	0	0,893210065
4	2	0	0,903273503
4	2	0	0,905017145
4	2	0	0,860984696
4	2	0	0,85385827
4	2	0	0,870722071
4	2	0	0,887582448
4	2	0	0,890310899
4	2	0	0,879307363
4	2	0	0,867915253
4	2	0	0,87655801
4	2	0	0,845781574
4	2	0	0,87441476
4	2	0	0,887900071
4	2	0	0,881931219
4	2	0	0,866556262
4	2	0	0,854583211
4	2	0	0,863126155
4	2	0	0,885973797
4	2	0	0,892165398
4	2	0	0,87181412
4	2	0	0,87284938
4	2	0	0,880048106
4	2	0	0,878437505
4	2	0	0,882176691
4	2	0	0,879129972
4	2	0	0,867452779
4	2	0	0,873597609
1	2	1	0,91035302
1	2	1	0,905054184

1	2	1	0,912039117
1	2	1	0,943750223
1	2	1	0,940823034
1	2	1	0,937687477
1	2	1	0,927839214
1	2	1	0,91349124
1	2	1	0,91607555
1	2	1	0,928978259
1	2	1	0,927285395
1	2	1	0,898101699
1	2	1	0,905500502
1	2	1	0,916258151
1	2	1	0,924472012
1	2	1	0,916267324
1	2	1	0,924920921
1	2	1	0,911619152
1	2	1	0,920145661
1	2	1	0,900308068
1	2	1	0,918563335
1	2	1	0,942921516
1	2	1	0,92691935
1	2	1	0,888955338
1	2	1	0,883198087
1	2	1	0,922019576
1	2	1	0,936229406
1	2	1	0,924782913
1	2	1	0,940206066
1	2	1	0,923361849
1	2	1	0,91241727
1	2	1	0,906320552
1	2	1	0,904268344
1	2	1	0,924186231
1	2	1	0,936745086
1	2	1	0,932663866
1	2	1	0,895141362
1	2	1	0,907565615
1	2	1	0,936058077
1	2	1	0,93874181
1	2	1	0,915414909
1	2	1	0,896925317

1	2	1	0,920884246
1	2	1	0,893342664
1	2	1	0,917695413
1	2	1	0,891010131
1	2	1	0,904472314
1	2	1	0,909600761
1	2	1	0,902537869
1	2	1	0,88886961
1	2	1	0,904228095
1	2	1	0,93084971
1	2	1	0,913423811
1	2	1	0,898093246
1	2	1	0,899208861
1	2	1	0,920045692
1	2	1	0,928004815
1	2	1	0,924435929
1	2	1	0,902282786
1	2	1	0,91322337
1	2	1	0,906898309
1	2	1	0,917828732
1	2	1	0,902534751
1	2	1	0,926141693
1	2	1	0,935839919
1	2	1	0,916845388
1	2	1	0,916772374
1	2	1	0,941139286
1	2	1	0,935219147
1	2	1	0,9287434
1	2	1	0,879886225
1	2	1	0,854199724
1	2	1	0,929948963
1	2	1	0,925246811
1	2	1	0,922270605
1	2	1	0,902905972
1	2	1	0,907546505
1	2	1	0,911392121
1	2	1	0,905843292
1	2	1	0,924464384
1	2	1	0,935414529
1	2	1	0,930063041

1	2	1	0,925744708
1	2	1	0,93589005
1	2	1	0,918443641
1	2	1	0,907088412
1	2	1	0,915539275
1	2	1	0,918603096
1	2	1	0,922860371
1	2	1	0,905166319
1	2	1	0,921266187
1	2	1	0,924636295
1	2	1	0,91689715
1	2	1	0,920913153
1	2	1	0,913869934
1	2	1	0,896251603
1	2	1	0,931705415
1	2	1	0,951283235
1	2	1	0,93373855
1	2	1	0,914150266
1	2	1	0,908890454
1	2	1	0,918350316
1	2	1	0,94669519
1	2	1	0,943402422
1	2	1	0,91220102
1	2	1	0,902004689
1	2	1	0,917851197
1	2	1	0,920236456
2	2	1	0,906532618
2	2	1	0,901395332
2	2	1	0,908721991
2	2	1	0,939406278
2	2	1	0,935826628
2	2	1	0,932811006
2	2	1	0,922605118
2	2	1	0,910047792
2	2	1	0,912408212
2	2	1	0,924253331
2	2	1	0,924069867
2	2	1	0,893973037
2	2	1	0,901326859
2	2	1	0,911673399

2	2	1	0,919941087
2	2	1	0,91163087
2	2	1	0,921568437
2	2	1	0,90776401
2	2	1	0,915674181
2	2	1	0,895675772
2	2	1	0,914293025
2	2	1	0,938600382
2	2	1	0,922488107
2	2	1	0,885287303
2	2	1	0,88091722
2	2	1	0,917308777
2	2	1	0,931778568
2	2	1	0,920646822
2	2	1	0,935041191
2	2	1	0,918570579
2	2	1	0,909372196
2	2	1	0,902537617
2	2	1	0,900107061
2	2	1	0,920899732
2	2	1	0,933698506
2	2	1	0,928600205
2	2	1	0,893071448
2	2	1	0,902948735
2	2	1	0,931035842
2	2	1	0,934293103
2	2	1	0,912322711
2	2	1	0,892806223
2	2	1	0,916333465
2	2	1	0,889535904
2	2	1	0,914090461
2	2	1	0,887354472
2	2	1	0,900164926
2	2	1	0,905109774
2	2	1	0,898504686
2	2	1	0,887277452
2	2	1	0,900042385
2	2	1	0,925888592
2	2	1	0,90864925
2	2	1	0,893402355

2	2	1	0,896201976
2	2	1	0,918074623
2	2	1	0,924572616
2	2	1	0,919510328
2	2	1	0,897661222
2	2	1	0,910134861
2	2	1	0,902653519
2	2	1	0,913429728
2	2	1	0,899299618
2	2	1	0,923254892
2	2	1	0,932402901
2	2	1	0,912464452
2	2	1	0,91241101
2	2	1	0,93655055
2	2	1	0,931775522
2	2	1	0,924212851
2	2	1	0,875927855
2	2	1	0,85092823
2	2	1	0,925268926
2	2	1	0,921359777
2	2	1	0,918297645
2	2	1	0,900391668
2	2	1	0,903411871
2	2	1	0,906673481
2	2	1	0,901568463
2	2	1	0,91975663
2	2	1	0,930625748
2	2	1	0,925521183
2	2	1	0,922035803
2	2	1	0,931713313
2	2	1	0,913671613
2	2	1	0,902280907
2	2	1	0,910832264
2	2	1	0,914195557
2	2	1	0,919508479
2	2	1	0,902099724
2	2	1	0,917495724
2	2	1	0,9225119
2	2	1	0,912760243
2	2	1	0,915666076

2	2	1	0,909134784
2	2	1	0,892191188
2	2	1	0,927604468
2	2	1	0,947586822
2	2	1	0,928480622
2	2	1	0,910001793
2	2	1	0,904232954
2	2	1	0,913840092
2	2	1	0,941821918
2	2	1	0,939839832
2	2	1	0,908592692
2	2	1	0,898475198
2	2	1	0,913875279
2	2	1	0,915555771
3	2	1	0,916513775
3	2	1	0,911362961
3	2	1	0,918597392
3	2	1	0,949090941
3	2	1	0,945665587
3	2	1	0,942810088
3	2	1	0,932575832
3	2	1	0,920030008
3	2	1	0,922319803
3	2	1	0,93424341
3	2	1	0,933904596
3	2	1	0,903931239
3	2	1	0,911308975
3	2	1	0,921496477
3	2	1	0,92987015
3	2	1	0,921607624
3	2	1	0,931264963
3	2	1	0,917695534
3	2	1	0,92566813
3	2	1	0,905654974
3	2	1	0,924139777
3	2	1	0,948485927
3	2	1	0,932440231
3	2	1	0,895225219
3	2	1	0,890912927
3	2	1	0,927168094

3	2	1	0,941361782
3	2	1	0,930524448
3	2	1	0,944894067
3	2	1	0,92849275
3	2	1	0,919275755
3	2	1	0,912521656
3	2	1	0,909832614
3	2	1	0,930693569
3	2	1	0,943655793
3	2	1	0,93847807
3	2	1	0,903057942
3	2	1	0,91294646
3	2	1	0,940964432
3	2	1	0,944220627
3	2	1	0,922033317
3	2	1	0,902802199
3	2	1	0,926315791
3	2	1	0,899523268
3	2	1	0,923930477
3	2	1	0,897353974
3	2	1	0,910158263
3	2	1	0,915089013
3	2	1	0,90828863
3	2	1	0,897150984
3	2	1	0,910041108
3	2	1	0,935869283
3	2	1	0,918552209
3	2	1	0,903340151
3	2	1	0,90615851
3	2	1	0,927898291
3	2	1	0,934465648
3	2	1	0,92948288
3	2	1	0,907573415
3	2	1	0,919961193
3	2	1	0,912575506
3	2	1	0,923267188
3	2	1	0,909153409
3	2	1	0,933149647
3	2	1	0,942278344
3	2	1	0,922378453

3	2	1	0,922306717
3	2	1	0,946431407
3	2	1	0,941761388
3	2	1	0,934181454
3	2	1	0,885800257
3	2	1	0,860850192
3	2	1	0,935230921
3	2	1	0,931345014
3	2	1	0,928227017
3	2	1	0,910200364
3	2	1	0,913353456
3	2	1	0,916662385
3	2	1	0,911471203
3	2	1	0,929696909
3	2	1	0,940597889
3	2	1	0,935497047
3	2	1	0,932002761
3	2	1	0,941689267
3	2	1	0,923600824
3	2	1	0,912264651
3	2	1	0,92083129
3	2	1	0,92417508
3	2	1	0,929433289
3	2	1	0,91201169
3	2	1	0,927434833
3	2	1	0,932218237
3	2	1	0,922671135
3	2	1	0,925632682
3	2	1	0,919102112
3	2	1	0,902173981
3	2	1	0,937602498
3	2	1	0,957497747
3	2	1	0,938409965
3	2	1	0,919927666
3	2	1	0,914230459
3	2	1	0,923705145
3	2	1	0,951716136
3	2	1	0,949439157
3	2	1	0,918505065
3	2	1	0,90841183

3	2	1	0,923787054
3	2	1	0,925379722
4	2	1	0,910334424
4	2	1	0,905012142
4	2	1	0,911888822
4	2	1	0,943439905
4	2	1	0,940658681
4	2	1	0,937688388
4	2	1	0,9278218
4	2	1	0,913480811
4	2	1	0,91598991
4	2	1	0,928969629
4	2	1	0,927127605
4	2	1	0,898046102
4	2	1	0,90548598
4	2	1	0,916060595
4	2	1	0,924409356
4	2	1	0,916243196
4	2	1	0,924567791
4	2	1	0,911549141
4	2	1	0,920139431
4	2	1	0,900284847
4	2	1	0,918405034
4	2	1	0,94281882
4	2	1	0,926858243
4	2	1	0,888911871
4	2	1	0,883189218
4	2	1	0,921862001
4	2	1	0,935721979
4	2	1	0,924654683
4	2	1	0,940049697
4	2	1	0,923276308
4	2	1	0,912274394
4	2	1	0,906295827
4	2	1	0,904004886
4	2	1	0,923886524
4	2	1	0,936671203
4	2	1	0,932542071
4	2	1	0,895122969
4	2	1	0,907567149

4	2	1	0,935979839
4	2	1	0,938648889
4	2	1	0,91503314
4	2	1	0,896920002
4	2	1	0,920865675
4	2	1	0,893335981
4	2	1	0,917482818
4	2	1	0,891011354
4	2	1	0,904465527
4	2	1	0,909582547
4	2	1	0,902303509
4	2	1	0,888758829
4	2	1	0,904233033
4	2	1	0,930834546
4	2	1	0,913390778
4	2	1	0,89804371
4	2	1	0,899166689
4	2	1	0,919780601
4	2	1	0,927855879
4	2	1	0,924396436
4	2	1	0,902194536
4	2	1	0,912964239
4	2	1	0,906847456
4	2	1	0,917646196
4	2	1	0,902405698
4	2	1	0,926022747
4	2	1	0,935688804
4	2	1	0,916730204
4	2	1	0,916657493
4	2	1	0,941008317
4	2	1	0,935206501
4	2	1	0,928707295
4	2	1	0,879744336
4	2	1	0,854104895
4	2	1	0,929914302
4	2	1	0,925238929
4	2	1	0,922201455
4	2	1	0,902697916
4	2	1	0,907503639
4	2	1	0,911376934

4	2	1	0,905740312
4	2	1	0,924405946
4	2	1	0,935400406
4	2	1	0,93002634
4	2	1	0,925732047
4	2	1	0,935876037
4	2	1	0,918383885
4	2	1	0,907076153
4	2	1	0,915542022
4	2	1	0,918595587
4	2	1	0,922788003
4	2	1	0,905097821
4	2	1	0,921211884
4	2	1	0,924343067
4	2	1	0,916843189
4	2	1	0,920874297
4	2	1	0,91383243
4	2	1	0,89621892
4	2	1	0,931702369
4	2	1	0,951172672
4	2	1	0,933644446
4	2	1	0,914059994
4	2	1	0,908892012
4	2	1	0,918201704
4	2	1	0,946570752
4	2	1	0,942987911
4	2	1	0,912084425
4	2	1	0,901950186
4	2	1	0,917758151
4	2	1	0,920036817
1	3	0	0,903272057
1	3	0	0,905639169
1	3	0	0,902628362
1	3	0	0,884811014
1	3	0	0,869947442
1	3	0	0,885903763
1	3	0	0,921203356
1	3	0	0,900067462
1	3	0	0,90465658
1	3	0	0,882232347

1	3	0	0,885410292
1	3	0	0,894662652
1	3	0	0,896995712
1	3	0	0,916909242
1	3	0	0,910094134
1	3	0	0,879443538
1	3	0	0,874372386
1	3	0	0,903191616
1	3	0	0,90952907
1	3	0	0,897017099
1	3	0	0,885419998
1	3	0	0,900457976
1	3	0	0,920138066
1	3	0	0,9115147
1	3	0	0,910950762
1	3	0	0,905216591
1	3	0	0,896234531
1	3	0	0,913909511
1	3	0	0,901346823
1	3	0	0,883365316
1	3	0	0,924357562
1	3	0	0,921380906
1	3	0	0,907103835
1	3	0	0,909602882
1	3	0	0,914835327
1	3	0	0,888752621
1	3	0	0,868523684
1	3	0	0,863666005
1	3	0	0,9066929
1	3	0	0,919373138
1	3	0	0,887757379
1	3	0	0,910446127
1	3	0	0,906819893
1	3	0	0,899510211
1	3	0	0,908861298
1	3	0	0,920044146
1	3	0	0,937702084
1	3	0	0,920115491
1	3	0	0,880823499
1	3	0	0,882212546

1	3	0	0,912512516
1	3	0	0,907986849
1	3	0	0,896692025
1	3	0	0,89253546
1	3	0	0,907388358
1	3	0	0,928841247
1	3	0	0,923931967
1	3	0	0,896870548
1	3	0	0,889708311
1	3	0	0,88528665
1	3	0	0,91479893
1	3	0	0,92144285
1	3	0	0,923002957
1	3	0	0,916838257
1	3	0	0,901598878
1	3	0	0,906253262
1	3	0	0,91936968
1	3	0	0,914774752
1	3	0	0,89743313
1	3	0	0,892821872
1	3	0	0,905970536
1	3	0	0,926110705
1	3	0	0,92840193
1	3	0	0,896831165
1	3	0	0,912451137
1	3	0	0,905834906
1	3	0	0,904621184
1	3	0	0,91748754
1	3	0	0,906783139
1	3	0	0,92635427
1	3	0	0,914871787
1	3	0	0,893186771
1	3	0	0,896080433
1	3	0	0,921849795
1	3	0	0,923044703
1	3	0	0,901222202
1	3	0	0,874989621
1	3	0	0,894853626
1	3	0	0,933066868
1	3	0	0,923881618

1	3	0	0,909748924
1	3	0	0,896147597
1	3	0	0,8855025
1	3	0	0,931532007
1	3	0	0,934425237
1	3	0	0,911297918
1	3	0	0,938814357
1	3	0	0,918337007
1	3	0	0,899031131
1	3	0	0,903381272
1	3	0	0,921951502
1	3	0	0,91914358
1	3	0	0,907434773
1	3	0	0,891245487
1	3	0	0,910101677
1	3	0	0,923033811
1	3	0	0,902274557
1	3	0	0,931357962
1	3	0	0,922707667
1	3	0	0,912919999
1	3	0	0,93355459
1	3	0	0,911887014
1	3	0	0,922102869
1	3	0	0,920549745
1	3	0	0,911853139
1	3	0	0,909641405
1	3	0	0,928351982
1	3	0	0,912876824
1	3	0	0,906911741
1	3	0	0,890678171
1	3	0	0,898716504
1	3	0	0,941008562
1	3	0	0,927464397
1	3	0	0,890272375
1	3	0	0,891602564
1	3	0	0,886855425
1	3	0	0,930067919
1	3	0	0,935334406
1	3	0	0,911246289
1	3	0	0,924232575

1	3	0	0,911077423
1	3	0	0,91562112
2	3	0	0,898138894
2	3	0	0,900422671
2	3	0	0,897441983
2	3	0	0,879906265
2	3	0	0,865137312
2	3	0	0,881008505
2	3	0	0,91588881
2	3	0	0,89492659
2	3	0	0,899593045
2	3	0	0,877467972
2	3	0	0,88049512
2	3	0	0,889661499
2	3	0	0,891947966
2	3	0	0,911673249
2	3	0	0,904929286
2	3	0	0,874622307
2	3	0	0,869457151
2	3	0	0,897956159
2	3	0	0,904218697
2	3	0	0,891873597
2	3	0	0,880419356
2	3	0	0,895278319
2	3	0	0,914809249
2	3	0	0,90630612
2	3	0	0,905731141
2	3	0	0,900174528
2	3	0	0,891261553
2	3	0	0,908562209
2	3	0	0,896276319
2	3	0	0,878510597
2	3	0	0,918999186
2	3	0	0,916098462
2	3	0	0,901802216
2	3	0	0,904255752
2	3	0	0,909447885
2	3	0	0,883692282
2	3	0	0,863924363
2	3	0	0,859034392

2	3	0	0,901594018
2	3	0	0,914082169
2	3	0	0,882819476
2	3	0	0,90531271
2	3	0	0,901646033
2	3	0	0,894333089
2	3	0	0,903614831
2	3	0	0,914600716
2	3	0	0,932136086
2	3	0	0,914745966
2	3	0	0,875880177
2	3	0	0,877259472
2	3	0	0,907200579
2	3	0	0,902719551
2	3	0	0,891531802
2	3	0	0,887420941
2	3	0	0,902131895
2	3	0	0,923361139
2	3	0	0,918609083
2	3	0	0,89176613
2	3	0	0,884720241
2	3	0	0,880482413
2	3	0	0,909608004
2	3	0	0,916113965
2	3	0	0,917566364
2	3	0	0,911574989
2	3	0	0,896482627
2	3	0	0,900950842
2	3	0	0,913819639
2	3	0	0,909290918
2	3	0	0,892178523
2	3	0	0,887846676
2	3	0	0,900931349
2	3	0	0,920721043
2	3	0	0,922894718
2	3	0	0,891741465
2	3	0	0,907252614
2	3	0	0,900634677
2	3	0	0,899371525
2	3	0	0,912043617

2	3	0	0,901431291
2	3	0	0,920882167
2	3	0	0,909691475
2	3	0	0,888312721
2	3	0	0,891006738
2	3	0	0,916514343
2	3	0	0,917687434
2	3	0	0,896101456
2	3	0	0,870102588
2	3	0	0,889724863
2	3	0	0,927467947
2	3	0	0,918548882
2	3	0	0,904603381
2	3	0	0,891169061
2	3	0	0,880536935
2	3	0	0,926058695
2	3	0	0,928971799
2	3	0	0,906069705
2	3	0	0,933453192
2	3	0	0,913200256
2	3	0	0,893860151
2	3	0	0,89819497
2	3	0	0,916554579
2	3	0	0,913813664
2	3	0	0,902236689
2	3	0	0,886138064
2	3	0	0,904810281
2	3	0	0,917589493
2	3	0	0,897111254
2	3	0	0,926025564
2	3	0	0,917490677
2	3	0	0,907731683
2	3	0	0,928053948
2	3	0	0,906680353
2	3	0	0,91670611
2	3	0	0,915189313
2	3	0	0,906542532
2	3	0	0,90428669
2	3	0	0,922780343
2	3	0	0,907585936

2	3	0	0,901684041
2	3	0	0,885651469
2	3	0	0,893507328
2	3	0	0,935493216
2	3	0	0,922247079
2	3	0	0,885220553
2	3	0	0,886556618
2	3	0	0,881957255
2	3	0	0,924518583
2	3	0	0,929799524
2	3	0	0,906014812
2	3	0	0,918835036
2	3	0	0,90580517
2	3	0	0,910223694
3	3	0	0,897822291
3	3	0	0,900121322
3	3	0	0,897143669
3	3	0	0,879540684
3	3	0	0,864848344
3	3	0	0,880685726
3	3	0	0,91550772
3	3	0	0,894570875
3	3	0	0,899190553
3	3	0	0,87711223
3	3	0	0,880156758
3	3	0	0,889350256
3	3	0	0,891605509
3	3	0	0,911265546
3	3	0	0,904573408
3	3	0	0,874321554
3	3	0	0,869221496
3	3	0	0,897679749
3	3	0	0,903937508
3	3	0	0,891582365
3	3	0	0,880154114
3	3	0	0,895008344
3	3	0	0,914457814
3	3	0	0,905951644
3	3	0	0,905363065
3	3	0	0,8997519

3	3	0	0,890945647
3	3	0	0,908307822
3	3	0	0,895916294
3	3	0	0,878236775
3	3	0	0,918693886
3	3	0	0,915792946
3	3	0	0,901568417
3	3	0	0,904039551
3	3	0	0,909186021
3	3	0	0,88342837
3	3	0	0,863612379
3	3	0	0,858791273
3	3	0	0,901298562
3	3	0	0,913731873
3	3	0	0,882503189
3	3	0	0,904917698
3	3	0	0,901304711
3	3	0	0,894030568
3	3	0	0,90330427
3	3	0	0,914309751
3	3	0	0,931754368
3	3	0	0,914369194
3	3	0	0,875587905
3	3	0	0,877035691
3	3	0	0,906969576
3	3	0	0,902433808
3	3	0	0,891250369
3	3	0	0,887168456
3	3	0	0,901889393
3	3	0	0,923103762
3	3	0	0,918290913
3	3	0	0,89139493
3	3	0	0,884384471
3	3	0	0,880126321
3	3	0	0,909331939
3	3	0	0,915770711
3	3	0	0,91726549
3	3	0	0,91116849
3	3	0	0,896094271
3	3	0	0,90062002

3	3	0	0,913536962
3	3	0	0,909011056
3	3	0	0,891885056
3	3	0	0,887470776
3	3	0	0,900643956
3	3	0	0,920349105
3	3	0	0,922538442
3	3	0	0,891392888
3	3	0	0,906811095
3	3	0	0,90023944
3	3	0	0,89900818
3	3	0	0,911711431
3	3	0	0,901152967
3	3	0	0,920479588
3	3	0	0,909214315
3	3	0	0,887867369
3	3	0	0,890702706
3	3	0	0,916172226
3	3	0	0,917306233
3	3	0	0,895729689
3	3	0	0,869761826
3	3	0	0,889385864
3	3	0	0,927077328
3	3	0	0,918091421
3	3	0	0,904095287
3	3	0	0,890696589
3	3	0	0,880177535
3	3	0	0,925677998
3	3	0	0,928486599
3	3	0	0,905656045
3	3	0	0,932934912
3	3	0	0,912724062
3	3	0	0,893454482
3	3	0	0,897863544
3	3	0	0,916191411
3	3	0	0,91341736
3	3	0	0,901825387
3	3	0	0,885802287
3	3	0	0,904416208
3	3	0	0,917141963

3	3	0	0,896709534
3	3	0	0,925577015
3	3	0	0,917038702
3	3	0	0,907247924
3	3	0	0,927638772
3	3	0	0,906283097
3	3	0	0,916266053
3	3	0	0,914715387
3	3	0	0,906136166
3	3	0	0,903956428
3	3	0	0,922426621
3	3	0	0,907248849
3	3	0	0,901339418
3	3	0	0,885275122
3	3	0	0,893188892
3	3	0	0,935127914
3	3	0	0,921770159
3	3	0	0,884843373
3	3	0	0,886145556
3	3	0	0,881525713
3	3	0	0,924126393
3	3	0	0,929372365
3	3	0	0,905644713
3	3	0	0,918361869
3	3	0	0,90538854
3	3	0	0,909853532
4	3	0	0,902859516
4	3	0	0,905272745
4	3	0	0,902265987
4	3	0	0,884403676
4	3	0	0,869582338
4	3	0	0,885539726
4	3	0	0,920799752
4	3	0	0,899679271
4	3	0	0,904271785
4	3	0	0,88186052
4	3	0	0,88503233
4	3	0	0,894300822
4	3	0	0,896593783
4	3	0	0,916493312

4	3	0	0,909756667
4	3	0	0,879118757
4	3	0	0,874070288
4	3	0	0,902846562
4	3	0	0,909192334
4	3	0	0,896670959
4	3	0	0,885120675
4	3	0	0,9001426
4	3	0	0,91973944
4	3	0	0,911138965
4	3	0	0,910551065
4	3	0	0,904793764
4	3	0	0,895908438
4	3	0	0,913607872
4	3	0	0,900972843
4	3	0	0,883041323
4	3	0	0,92407355
4	3	0	0,921085516
4	3	0	0,906818859
4	3	0	0,909311186
4	3	0	0,914523432
4	3	0	0,888430055
4	3	0	0,868173449
4	3	0	0,863357401
4	3	0	0,906362263
4	3	0	0,919005212
4	3	0	0,887411097
4	3	0	0,910070045
4	3	0	0,906465217
4	3	0	0,899174993
4	3	0	0,908501682
4	3	0	0,919700347
4	3	0	0,937316178
4	3	0	0,919757706
4	3	0	0,880511731
4	3	0	0,88192412
4	3	0	0,912228235
4	3	0	0,907646433
4	3	0	0,89634826
4	3	0	0,892253718

4	3	0	0,907107934
4	3	0	0,928550435
4	3	0	0,923595034
4	3	0	0,896471376
4	3	0	0,889373489
4	3	0	0,884908486
4	3	0	0,914475756
4	3	0	0,921086452
4	3	0	0,92264563
4	3	0	0,916449568
4	3	0	0,90121551
4	3	0	0,905852645
4	3	0	0,918996548
4	3	0	0,914440153
4	3	0	0,897075021
4	3	0	0,892397785
4	3	0	0,905609598
4	3	0	0,925693479
4	3	0	0,928026731
4	3	0	0,896447112
4	3	0	0,912027631
4	3	0	0,90541874
4	3	0	0,904217821
4	3	0	0,917105082
4	3	0	0,906454458
4	3	0	0,925945354
4	3	0	0,914407965
4	3	0	0,892701821
4	3	0	0,895694596
4	3	0	0,921429003
4	3	0	0,922591012
4	3	0	0,900774935
4	3	0	0,874605597
4	3	0	0,894459136
4	3	0	0,93262492
4	3	0	0,923393854
4	3	0	0,90918901
4	3	0	0,895666756
4	3	0	0,885126407
4	3	0	0,931083685

4	3	0	0,933918277
4	3	0	0,910816814
4	3	0	0,938313155
4	3	0	0,917858536
4	3	0	0,898545891
4	3	0	0,902954245
4	3	0	0,921511306
4	3	0	0,918670501
4	3	0	0,906983684
4	3	0	0,890822456
4	3	0	0,90965812
4	3	0	0,922562034
4	3	0	0,901836268
4	3	0	0,930926713
4	3	0	0,922238404
4	3	0	0,912388595
4	3	0	0,933076253
4	3	0	0,911423485
4	3	0	0,921653116
4	3	0	0,920089243
4	3	0	0,911411595
4	3	0	0,909226045
4	3	0	0,927914327
4	3	0	0,912475644
4	3	0	0,906500727
4	3	0	0,890254309
4	3	0	0,898346244
4	3	0	0,940592327
4	3	0	0,926960268
4	3	0	0,889865921
4	3	0	0,891187544
4	3	0	0,886401296
4	3	0	0,929606408
4	3	0	0,934884416
4	3	0	0,910809892
4	3	0	0,923776772
4	3	0	0,910664089
4	3	0	0,91517377
1	3	1	0,89764629
1	3	1	0,921300717

1	3	1	0,911537273
1	3	1	0,88691197
1	3	1	0,8640248
1	3	1	0,875870584
1	3	1	0,887852338
1	3	1	0,897355974
1	3	1	0,899199804
1	3	1	0,881780854
1	3	1	0,886227979
1	3	1	0,876925492
1	3	1	0,86477871
1	3	1	0,874604895
1	3	1	0,892326622
1	3	1	0,918391818
1	3	1	0,904225242
1	3	1	0,869801483
1	3	1	0,879202973
1	3	1	0,888729079
1	3	1	0,880125767
1	3	1	0,875580987
1	3	1	0,880562685
1	3	1	0,890656666
1	3	1	0,909403089
1	3	1	0,917573566
1	3	1	0,931184036
1	3	1	0,90532358
1	3	1	0,881036197
1	3	1	0,868676841
1	3	1	0,8642668
1	3	1	0,859237044
1	3	1	0,872785262
1	3	1	0,8857239
1	3	1	0,898084231
1	3	1	0,900290134
1	3	1	0,881843046
1	3	1	0,867097982
1	3	1	0,875532997
1	3	1	0,887681163
1	3	1	0,895548708
1	3	1	0,882660563

1	3	1	0,862323988
1	3	1	0,871253806
1	3	1	0,883159028
1	3	1	0,877269743
1	3	1	0,886416859
1	3	1	0,888836481
1	3	1	0,898473232
1	3	1	0,88614723
1	3	1	0,879329463
1	3	1	0,895236036
1	3	1	0,901073083
1	3	1	0,899571209
1	3	1	0,893305375
1	3	1	0,904666584
1	3	1	0,899884919
1	3	1	0,889707184
1	3	1	0,877015856
1	3	1	0,874097774
1	3	1	0,871916797
1	3	1	0,869492485
1	3	1	0,868282803
1	3	1	0,880693102
1	3	1	0,901651276
1	3	1	0,915305308
1	3	1	0,88991706
1	3	1	0,883468302
1	3	1	0,901849044
1	3	1	0,894574231
1	3	1	0,873009992
1	3	1	0,860325523
1	3	1	0,876588765
1	3	1	0,890252039
1	3	1	0,894044058
1	3	1	0,90755948
1	3	1	0,90645061
1	3	1	0,889654135
1	3	1	0,869917269
1	3	1	0,877227717
1	3	1	0,889178573
1	3	1	0,899010455

1	3	1	0,899708431
1	3	1	0,890498628
1	3	1	0,879462387
1	3	1	0,877517973
1	3	1	0,873044261
1	3	1	0,87537674
1	3	1	0,882001784
1	3	1	0,882941207
1	3	1	0,873132675
1	3	1	0,846630221
1	3	1	0,87177928
1	3	1	0,901471243
1	3	1	0,906081482
1	3	1	0,89470149
1	3	1	0,879864815
1	3	1	0,875338704
1	3	1	0,877942784
1	3	1	0,88283022
1	3	1	0,901124154
1	3	1	0,894917675
1	3	1	0,876293457
1	3	1	0,864976556
1	3	1	0,876458595
1	3	1	0,881726311
1	3	1	0,899924022
1	3	1	0,890553379
1	3	1	0,888938967
1	3	1	0,890835683
1	3	1	0,888332777
1	3	1	0,872872074
1	3	1	0,866154311
1	3	1	0,870271638
1	3	1	0,886591249
1	3	1	0,893068072
1	3	1	0,869147927
1	3	1	0,888845064
1	3	1	0,894590272
1	3	1	0,872130484
1	3	1	0,856519347
1	3	1	0,866587323

1	3	1	0,885811876
1	3	1	0,904767083
1	3	1	0,911098991
1	3	1	0,91385675
1	3	1	0,88912824
1	3	1	0,869427921
1	3	1	0,84953997
1	3	1	0,853926169
1	3	1	0,853165042
1	3	1	0,870637025
2	3	1	0,892353987
2	3	1	0,915749124
2	3	1	0,906106955
2	3	1	0,881775597
2	3	1	0,859100646
2	3	1	0,870747265
2	3	1	0,882663235
2	3	1	0,892033243
2	3	1	0,893804137
2	3	1	0,87668112
2	3	1	0,881050968
2	3	1	0,871874345
2	3	1	0,859832091
2	3	1	0,86951972
2	3	1	0,887080811
2	3	1	0,912852684
2	3	1	0,898819392
2	3	1	0,864809613
2	3	1	0,874144292
2	3	1	0,88355916
2	3	1	0,875036787
2	3	1	0,870550304
2	3	1	0,875436611
2	3	1	0,885426273
2	3	1	0,904085189
2	3	1	0,912054463
2	3	1	0,92555556
2	3	1	0,899887725
2	3	1	0,875873564
2	3	1	0,863664209

2	3	1	0,859374377
2	3	1	0,854341805
2	3	1	0,867773835
2	3	1	0,880512412
2	3	1	0,892733984
2	3	1	0,894933193
2	3	1	0,876774518
2	3	1	0,862113926
2	3	1	0,870466856
2	3	1	0,882481904
2	3	1	0,890293019
2	3	1	0,877591461
2	3	1	0,857523511
2	3	1	0,866381231
2	3	1	0,878088582
2	3	1	0,872220452
2	3	1	0,881200318
2	3	1	0,883638593
2	3	1	0,893171118
2	3	1	0,88098142
2	3	1	0,874279386
2	3	1	0,889930475
2	3	1	0,895855435
2	3	1	0,894299565
2	3	1	0,888144941
2	3	1	0,899243749
2	3	1	0,894506677
2	3	1	0,884474342
2	3	1	0,871885196
2	3	1	0,868981676
2	3	1	0,866888607
2	3	1	0,864480225
2	3	1	0,863333154
2	3	1	0,875723071
2	3	1	0,896333706
2	3	1	0,909870997
2	3	1	0,884807766
2	3	1	0,878334887
2	3	1	0,89654643
2	3	1	0,889343275

2	3	1	0,868058951
2	3	1	0,855477067
2	3	1	0,871615554
2	3	1	0,885155013
2	3	1	0,888905177
2	3	1	0,90225726
2	3	1	0,901187724
2	3	1	0,884558934
2	3	1	0,865020749
2	3	1	0,872200095
2	3	1	0,884106278
2	3	1	0,893741318
2	3	1	0,894427878
2	3	1	0,885331017
2	3	1	0,874474166
2	3	1	0,87258628
2	3	1	0,868134902
2	3	1	0,870405667
2	3	1	0,876998875
2	3	1	0,877908209
2	3	1	0,868226438
2	3	1	0,842089129
2	3	1	0,866902467
2	3	1	0,896238532
2	3	1	0,900687934
2	3	1	0,889554124
2	3	1	0,874947306
2	3	1	0,870360609
2	3	1	0,872862427
2	3	1	0,877610148
2	3	1	0,895746051
2	3	1	0,889722071
2	3	1	0,871334272
2	3	1	0,860188259
2	3	1	0,871409132
2	3	1	0,876691876
2	3	1	0,894653435
2	3	1	0,885316394
2	3	1	0,883747509
2	3	1	0,88560598

2	3	1	0,883225023
2	3	1	0,867923142
2	3	1	0,861236502
2	3	1	0,865373743
2	3	1	0,881514909
2	3	1	0,887813706
2	3	1	0,864208238
2	3	1	0,883686789
2	3	1	0,889377692
2	3	1	0,867235545
2	3	1	0,851783502
2	3	1	0,86174772
2	3	1	0,880688806
2	3	1	0,89944938
2	3	1	0,905681624
2	3	1	0,908416319
2	3	1	0,884087983
2	3	1	0,864572189
2	3	1	0,844832337
2	3	1	0,849177433
2	3	1	0,848385553
2	3	1	0,8658934
3	3	1	0,892085666
3	3	1	0,915461333
3	3	1	0,905824823
3	3	1	0,881496589
3	3	1	0,858896138
3	3	1	0,870588963
3	3	1	0,882434417
3	3	1	0,891824125
3	3	1	0,893636057
3	3	1	0,876429818
3	3	1	0,880847429
3	3	1	0,87166029
3	3	1	0,859648789
3	3	1	0,869351406
3	3	1	0,88692573
3	3	1	0,912626815
3	3	1	0,898614145
3	3	1	0,864622348

3	3	1	0,873924835
3	3	1	0,883326389
3	3	1	0,874829227
3	3	1	0,870337115
3	3	1	0,875256403
3	3	1	0,88523513
3	3	1	0,903880004
3	3	1	0,911869715
3	3	1	0,925284127
3	3	1	0,899684057
3	3	1	0,875681364
3	3	1	0,863521963
3	3	1	0,859187196
3	3	1	0,85417423
3	3	1	0,867552427
3	3	1	0,880333498
3	3	1	0,892550656
3	3	1	0,894753327
3	3	1	0,876528124
3	3	1	0,861950092
3	3	1	0,870272206
3	3	1	0,88226986
3	3	1	0,890032746
3	3	1	0,877341284
3	3	1	0,857279761
3	3	1	0,866123893
3	3	1	0,877854519
3	3	1	0,872007185
3	3	1	0,88102005
3	3	1	0,883421457
3	3	1	0,892901058
3	3	1	0,88074776
3	3	1	0,874051119
3	3	1	0,889715424
3	3	1	0,89552638
3	3	1	0,893995939
3	3	1	0,887926837
3	3	1	0,899051386
3	3	1	0,894302509
3	3	1	0,884270246

3	3	1	0,871704448
3	3	1	0,868817819
3	3	1	0,866675028
3	3	1	0,864306993
3	3	1	0,863117882
3	3	1	0,875396125
3	3	1	0,89607862
3	3	1	0,909598067
3	3	1	0,884580399
3	3	1	0,878122425
3	3	1	0,896311039
3	3	1	0,889095382
3	3	1	0,867798169
3	3	1	0,855274155
3	3	1	0,871360282
3	3	1	0,884859046
3	3	1	0,888589721
3	3	1	0,901973543
3	3	1	0,900895219
3	3	1	0,884248955
3	3	1	0,864781111
3	3	1	0,871997698
3	3	1	0,883869099
3	3	1	0,893567432
3	3	1	0,894218129
3	3	1	0,885097676
3	3	1	0,874223093
3	3	1	0,872296797
3	3	1	0,867899612
3	3	1	0,870199225
3	3	1	0,876716766
3	3	1	0,877629573
3	3	1	0,86798195
3	3	1	0,841866334
3	3	1	0,866657314
3	3	1	0,896003546
3	3	1	0,900493213
3	3	1	0,889248765
3	3	1	0,87459434
3	3	1	0,870148601

3	3	1	0,872711008
3	3	1	0,877525876
3	3	1	0,895601942
3	3	1	0,889495306
3	3	1	0,871068318
3	3	1	0,859909424
3	3	1	0,871238659
3	3	1	0,876477069
3	3	1	0,8944443
3	3	1	0,885156658
3	3	1	0,883566913
3	3	1	0,885427912
3	3	1	0,882984431
3	3	1	0,867683756
3	3	1	0,861056855
3	3	1	0,865204935
3	3	1	0,881305792
3	3	1	0,887627309
3	3	1	0,864018262
3	3	1	0,883471854
3	3	1	0,889147266
3	3	1	0,866984073
3	3	1	0,851582269
3	3	1	0,861558852
3	3	1	0,880515149
3	3	1	0,899209293
3	3	1	0,90545836
3	3	1	0,908186199
3	3	1	0,883817018
3	3	1	0,864316096
3	3	1	0,844670841
3	3	1	0,849005924
3	3	1	0,84827232
3	3	1	0,865806229
4	3	1	0,897285688
4	3	1	0,921026859
4	3	1	0,91127444
4	3	1	0,886638379
4	3	1	0,863820726
4	3	1	0,875644201

4	3	1	0,887599268
4	3	1	0,897110186
4	3	1	0,898987048
4	3	1	0,88148692
4	3	1	0,885971098
4	3	1	0,876697424
4	3	1	0,864564076
4	3	1	0,874392646
4	3	1	0,892128974
4	3	1	0,918184517
4	3	1	0,903997715
4	3	1	0,869608772
4	3	1	0,879000115
4	3	1	0,888518786
4	3	1	0,879906409
4	3	1	0,875348108
4	3	1	0,880364661
4	3	1	0,890443515
4	3	1	0,909190492
4	3	1	0,917335968
4	3	1	0,930924608
4	3	1	0,905139588
4	3	1	0,880872417
4	3	1	0,868503398
4	3	1	0,864062377
4	3	1	0,859009633
4	3	1	0,872528505
4	3	1	0,885497494
4	3	1	0,897874728
4	3	1	0,900047504
4	3	1	0,881582916
4	3	1	0,866893811
4	3	1	0,87531585
4	3	1	0,887429689
4	3	1	0,895297823
4	3	1	0,882357195
4	3	1	0,862071012
4	3	1	0,871006792
4	3	1	0,882945741
4	3	1	0,877067656

4	3	1	0,886202245
4	3	1	0,888595368
4	3	1	0,89818239
4	3	1	0,885895003
4	3	1	0,879064393
4	3	1	0,895024231
4	3	1	0,900787845
4	3	1	0,899275329
4	3	1	0,89305157
4	3	1	0,904418914
4	3	1	0,899609804
4	3	1	0,889464674
4	3	1	0,876785524
4	3	1	0,873893767
4	3	1	0,871678555
4	3	1	0,869291066
4	3	1	0,868008445
4	3	1	0,880358898
4	3	1	0,901341905
4	3	1	0,915043721
4	3	1	0,88966947
4	3	1	0,883247856
4	3	1	0,901630354
4	3	1	0,894325528
4	3	1	0,872763599
4	3	1	0,860079705
4	3	1	0,876294486
4	3	1	0,889957831
4	3	1	0,893673128
4	3	1	0,907228055
4	3	1	0,906176448
4	3	1	0,889379938
4	3	1	0,869675114
4	3	1	0,876963808
4	3	1	0,888911594
4	3	1	0,898761785
4	3	1	0,899441555
4	3	1	0,890247424
4	3	1	0,879140812
4	3	1	0,877206482

4	3	1	0,872756078
4	3	1	0,875112961
4	3	1	0,88168743
4	3	1	0,882647674
4	3	1	0,872870803
4	3	1	0,846398824
4	3	1	0,8715347
4	3	1	0,901278802
4	3	1	0,905864649
4	3	1	0,894409382
4	3	1	0,879495127
4	3	1	0,875073899
4	3	1	0,877815226
4	3	1	0,882716456
4	3	1	0,900992589
4	3	1	0,894711157
4	3	1	0,876032386
4	3	1	0,864684355
4	3	1	0,876215236
4	3	1	0,881490697
4	3	1	0,899678971
4	3	1	0,890335946
4	3	1	0,888726659
4	3	1	0,890612941
4	3	1	0,888076471
4	3	1	0,872591158
4	3	1	0,86592515
4	3	1	0,870052605
4	3	1	0,886401046
4	3	1	0,892861053
4	3	1	0,868954261
4	3	1	0,888627645
4	3	1	0,894387447
4	3	1	0,871882075
4	3	1	0,856322112
4	3	1	0,866370716
4	3	1	0,885620412
4	3	1	0,904520109
4	3	1	0,910839236
4	3	1	0,91363713

4	3	1	0,888886639
4	3	1	0,869190298
4	3	1	0,849333416
4	3	1	0,853749143
4	3	1	0,85300176
4	3	1	0,870540323

## Anexo F. Validación de los supuestos para clientes con carga eléctrica balanceada

### Anexo F 1. Supuesto de normalidad

#### Hipótesis Normalidad

$H_0$ : Los residuos del grupo (i) son normales

$H_1$ : Los residuos del grupo (i) NO son normales

		Residuo para FACTORDEPOTENCIA
N		1920
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	.0000
	Desviación típica	.01554
Diferencias más extremas	Absoluta	.023
	Positiva	.019
	Negativa	-.023
Z de Kolmogorov-Smirnov		1.025
Sig. asintót. (bilateral)		.244

a. La distribución de contraste es la Normal.

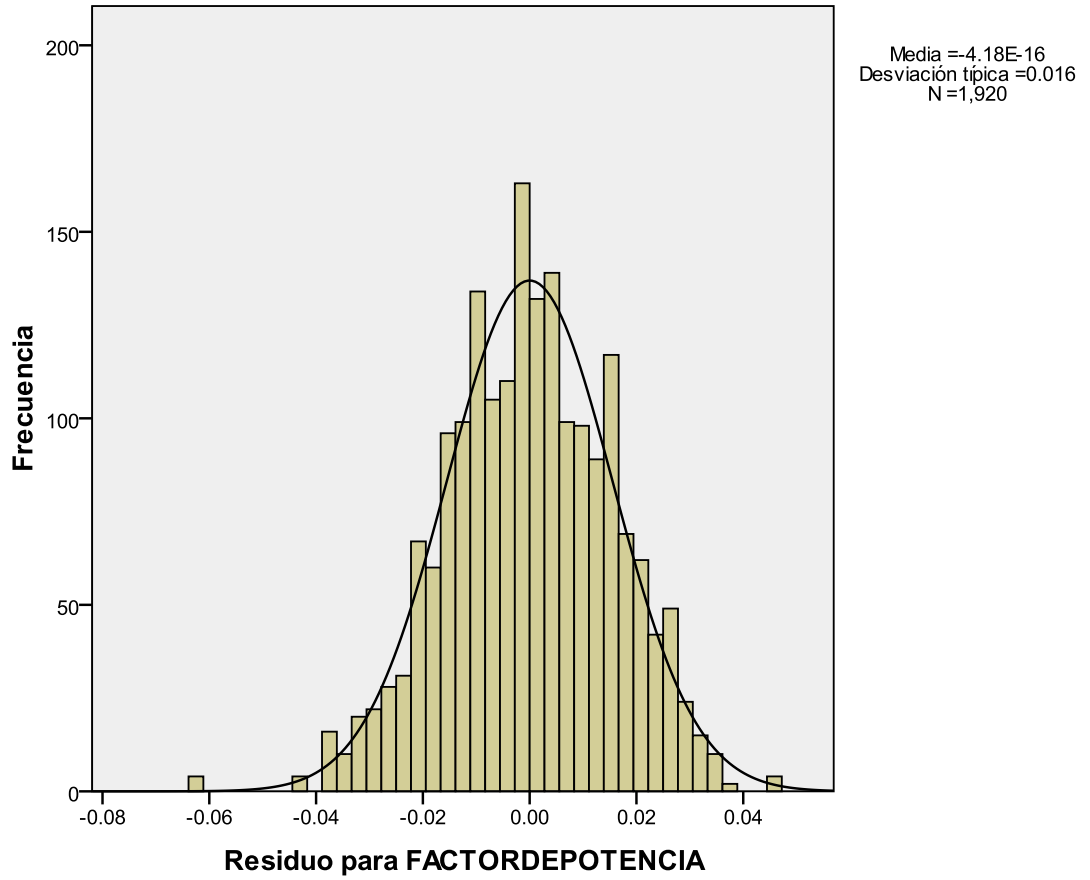
b. Se han calculado a partir de los datos.

Donde la regla de decisión es:

Si **Sig. > 0,05**, entonces se acepta la  $H_0$ .

Para el caso **Sig.** es 0,244 por lo tanto se acepta  $H_0$  y se concluye que cumple el supuesto de normalidad, igualmente se analiza con el gráfico de histograma de los residuos donde se observa que los datos provienen de una distribución normal.

**Histograma de los Residuos de los Datos Factor de Potencia**



## Anexo F 2. Supuesto de homocedasticidad

### Hipótesis Homogeneidad de Varianzas

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 \dots \dots \dots = \sigma_K^2$$

**H<sub>1</sub>: Al menos una varianza difiere**

Variable dependiente: FACTOR DE POTENCIA

F	gl1	gl2	Sig.
.249	15	1904	.998

Donde la regla de decisión es:

Si **Sig. > 0,05**, entonces se acepta la **H<sub>0</sub>**.

Para el caso **Sig.** es 0,998 por lo tanto se acepta **H<sub>0</sub>** y se concluye que cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas.

## Anexo G. Pruebas Post Hoc para clientes con carga eléctrica balanceada

### Anexo G 1. Factor tipo de algoritmo

Comparaciones Múltiples						
FACTOR DE POTENCIA						
Scheffe						
(I)TIPO DE ALGORITMO	(J)TIPO DE ALGORITMO	Diferencia de medias (I-J)	Error típ.	Sig.	Intervalo de confianza 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Algoritmo 1	Algoritmo 2	-3.1063448125E-3	.001	.023	-.0059235416	-.0002891480
	Algoritmo 3	-4.8491823604E-3	.001	.000	-.0076663791	-.0020319856
	Algoritmo IEEE	.0004901766	.001	.971	-.0023270202	.0033073734
Algoritmo 2	Algoritmo 1	.0031063448*	.001	.023	.0002891480	.0059235416
	Algoritmo 3	-.0017428375	.001	.392	-.0045600343	.0010743592
	Algoritmo IEEE	.0035965214*	.001	.005	.0007793246	.0064137182
Algoritmo 3	Algoritmo 1	.0048491824*	.001	.000	.0020319856	.0076663791
	Algoritmo 2	.0017428375	.001	.392	-.0010743592	.0045600343
	Algoritmo IEEE	.0053393590*	.001	.000	.0025221622	.0081565557
Algoritmo IEEE	Algoritmo 1	-.0004901766	.001	.971	-.0033073734	.0023270202
	Algoritmo 2	-3.5965214083E-3	.001	.005	-.0064137182	-.0007793246
	Algoritmo 3	-5.3393589562E-3	.001	.000	-.0081565557	-.0025221622

## Anexo G 2. Interacción tipo de algoritmo y nivel de tensión

Comparaciones por pares							
Variable dependiente: FACTOR DE POTENCIA							
NIVEL DE TENSIÓN	(I)TIPO DE ALGORITMO	(J)TIPO DE ALGORITMO	Diferencia de medias (I-J)	Error típ.	Sig. <sup>a</sup>	Intervalo de confianza al 95 % para la diferencia <sup>a</sup>	
						Límite inferior	Límite superior
Nivel de Tensión 2	Algoritmo 1	Algoritmo 2	-.013 <sup>*</sup>	.002	.000	-.017	-.009
		Algoritmo 3	-.017 <sup>*</sup>	.002	.000	-.021	-.013
		Algoritmo IEEE	.001	.002	1.000	-.003	.005
	Algoritmo 2	Algoritmo 1	.013 <sup>*</sup>	.002	.000	.009	.017
		Algoritmo 3	-.004 <sup>*</sup>	.002	.030	-.008	.000
		Algoritmo IEEE	.014 <sup>*</sup>	.002	.000	.010	.018
	Algoritmo 3	Algoritmo 1	.017 <sup>*</sup>	.002	.000	.013	.021
		Algoritmo 2	.004 <sup>*</sup>	.002	.030	.000	.008
		Algoritmo IEEE	.018 <sup>*</sup>	.002	.000	.014	.022
	Algoritmo IEEE	Algoritmo 1	.000	.002	1.000	-.005	.003
		Algoritmo 2	-.014 <sup>*</sup>	.002	.000	-.018	-.010
		Algoritmo 3	-.018 <sup>*</sup>	.002	.000	-.022	-.014
Nivel de Tensión 3	Algoritmo 1	Algoritmo 2	.005 <sup>*</sup>	.001	.001	.002	.009
		Algoritmo 3	.005 <sup>*</sup>	.001	.000	.002	.009
		Algoritmo IEEE	.000	.001	1.000	-.003	.004
	Algoritmo 2	Algoritmo 1	-.005 <sup>*</sup>	.001	.001	-.009	-.002
		Algoritmo 3	.000	.001	1.000	-.003	.004
		Algoritmo IEEE	-.005 <sup>*</sup>	.001	.002	-.008	-.001
	Algoritmo 3	Algoritmo 1	-.005 <sup>*</sup>	.001	.000	-.009	-.002
		Algoritmo 2	.000	.001	1.000	-.004	.003
		Algoritmo IEEE	-.005 <sup>*</sup>	.001	.001	-.009	-.002
	Algoritmo IEEE	Algoritmo 1	.000	.001	1.000	-.004	.003
		Algoritmo 2	.005 <sup>*</sup>	.001	.002	.001	.008
		Algoritmo 3	.005 <sup>*</sup>	.001	.001	.002	.009

### Anexo G 3. Interacción tipo de algoritmo, nivel de tensión y tipo de consumo

Comparaciones por pares								
Variable dependiente: FACTOR DE POTENCIA								
NIVEL DE TENSIÓN	TIPO DE CONSUMO	(I)TIPO DE ALGORITMO	(J)TIPO DE ALGORITMO	Diferencia de medias (I-J)	Error típ.	Sig. <sup>a</sup>	Intervalo de confianza al 95 % para la diferencia <sup>a</sup>	
							Límite inferior	Límite superior
Nivel de Tensión 2	Bajo Consumo	Algoritmo 1	Algoritmo 2	-.030 <sup>*</sup>	.002	.000	-.036	-.025
			Algoritmo 3	-.029 <sup>*</sup>	.002	.000	-.035	-.023
			Algoritmo IEEE	.001	.002	1.000	-.004	.007
		Algoritmo 2	Algoritmo 1	.030 <sup>*</sup>	.002	.000	.025	.036
			Algoritmo 3	.001	.002	1.000	-.004	.007
			Algoritmo IEEE	.032 <sup>*</sup>	.002	.000	.026	.037
		Algoritmo 3	Algoritmo 1	.029 <sup>*</sup>	.002	.000	.023	.035
			Algoritmo 2	-.001	.002	1.000	-.007	.004
			Algoritmo IEEE	.030 <sup>*</sup>	.002	.000	.025	.036
		Algoritmo IEEE	Algoritmo 1	-.001	.002	1.000	-.007	.004
			Algoritmo 2	-.032 <sup>*</sup>	.002	.000	-.037	-.026
			Algoritmo 3	-.030 <sup>*</sup>	.002	.000	-.036	-.025
	Alto Consumo	Algoritmo 1	Algoritmo 2	.004	.002	.341	-.002	.010
			Algoritmo 3	-.006 <sup>*</sup>	.002	.035	-.011	.000
			Algoritmo IEEE	9.534E-5	.002	1.000	-.006	.006
		Algoritmo 2	Algoritmo 1	-.004	.002	.341	-.010	.002
			Algoritmo 3	-.010 <sup>*</sup>	.002	.000	-.016	-.004
			Algoritmo IEEE	-.004	.002	.377	-.010	.002
		Algoritmo 3	Algoritmo 1	.006 <sup>*</sup>	.002	.035	.000	.011

			Algoritmo 2	.010*	.002	.000	.004	.016
			Algoritmo IEEE	.006*	.002	.030	.000	.012
		Algoritmo IEEE	Algoritmo 1	-9.534E-5	.002	1.000	-.006	.006
			Algoritmo 2	.004	.002	.377	-.002	.010
			Algoritmo 3	-.006*	.002	.030	-.012	.000
Nivel de Tensión 3	Bajo Consumo	Algoritmo 1	Algoritmo 2	.005*	.002	.041	.000	.010
			Algoritmo 3	.006*	.002	.023	.000	.011
			Algoritmo IEEE	.000	.002	1.000	-.005	.005
		Algoritmo 2	Algoritmo 1	-.005*	.002	.041	-.010	.000
			Algoritmo 3	.000	.002	1.000	-.005	.005
			Algoritmo IEEE	-.005	.002	.074	-.010	.000
		Algoritmo 3	Algoritmo 1	-.006*	.002	.023	-.011	.000
			Algoritmo 2	.000	.002	1.000	-.005	.005
			Algoritmo IEEE	-.005*	.002	.043	-.010	-9.246E-5
	Alto Consumo	Algoritmo IEEE	Algoritmo 1	.000	.002	1.000	-.005	.005
			Algoritmo 2	.005	.002	.074	.000	.010
			Algoritmo 3	.005*	.002	.043	9.246E-5	.010
		Algoritmo 1	Algoritmo 2	.005*	.002	.047	4.665E-5	.010
			Algoritmo 3	.005*	.002	.033	.000	.010
			Algoritmo IEEE	.000	.002	1.000	-.005	.005
		Algoritmo 2	Algoritmo 1	-.005*	.002	.047	-.010	-4.665E-5
			Algoritmo 3	.000	.002	1.000	-.005	.005
			Algoritmo IEEE	-.005	.002	.067	-.010	.000
	Algoritmo 3	Algoritmo 1	-.005*	.002	.033	-.010	.000	
		Algoritmo 2	.000	.002	1.000	-.005	.005	
		Algoritmo IEEE	-.005*	.002	.048	-.010	-2.671E-5	

		Algoritmo IEEE	Algoritmo 1	.000	.002	1.000	-.005	.005
			Algoritmo 2	.005	.002	.067	.000	.010
			Algoritmo 3	.005*	.002	.048	2.671E-5	.010
Basadas en las medias marginales estimadas.								
*. La diferencia de medias es significativa al nivel ,05.								

**Anexo H. Datos de factor de potencia para el diseño experimental de clientes con carga eléctrica no balanceada**

TIPO DE ALGORITMO	TIPO DE CONSUMO	FACTOR DE POTENCIA
1	0	0,89453815
1	0	0,887796679
1	0	0,884191697
1	0	0,870404345
1	0	0,868918654
1	0	0,87422105
1	0	0,876558517
1	0	0,883908956
1	0	0,884084857
1	0	0,887570203
1	0	0,885538213
1	0	0,878386376
1	0	0,876291858
1	0	0,874888941
1	0	0,884371918
1	0	0,887233211
1	0	0,888955791
1	0	0,885987162
1	0	0,865083956
1	0	0,845660487
1	0	0,826564432
1	0	0,847659351
1	0	0,855932062
1	0	0,864353636
1	0	0,860543337
1	0	0,853836288
1	0	0,851793792
1	0	0,849993822
1	0	0,868211586
1	0	0,891780134
1	0	0,895074143
1	0	0,897353215
1	0	0,896602027
1	0	0,897717605

1	0	0,898092933
1	0	0,903668957
1	0	0,898109578
1	0	0,898875665
1	0	0,906947839
1	0	0,843233215
1	0	0,880293063
1	0	0,874749116
1	0	0,863157049
1	0	0,861276707
1	0	0,869137745
1	0	0,862618634
1	0	0,865997988
1	0	0,876429395
1	0	0,885829735
1	0	0,886876476
1	0	0,871802326
1	0	0,854185637
1	0	0,866764607
1	0	0,89874457
1	0	0,8928534
1	0	0,895075378
1	0	0,796256586
1	0	0,867482668
1	0	0,866664251
1	0	0,856879859
2	0	0,955184974
2	0	0,946671726
2	0	0,94420688
2	0	0,925866252
2	0	0,927741039
2	0	0,931290666
2	0	0,937658599
2	0	0,943382717
2	0	0,942893897
2	0	0,94747276
2	0	0,946788906
2	0	0,936250189
2	0	0,935368608
2	0	0,935595369

2	0	0,94485767
2	0	0,950220431
2	0	0,950033237
2	0	0,948666699
2	0	0,92074434
2	0	0,899532335
2	0	0,878284876
2	0	0,897889806
2	0	0,90592016
2	0	0,917078573
2	0	0,9154944
2	0	0,901936242
2	0	0,903065485
2	0	0,901023912
2	0	0,92911637
2	0	0,954122598
2	0	0,961523093
2	0	0,964269498
2	0	0,964818394
2	0	0,966613707
2	0	0,963425421
2	0	0,968626746
2	0	0,964562993
2	0	0,962593266
2	0	0,971289603
2	0	0,938498589
2	0	0,933198229
2	0	0,92680791
2	0	0,912556881
2	0	0,909003369
2	0	0,909078257
2	0	0,90087594
2	0	0,904603645
2	0	0,918352161
2	0	0,926272365
2	0	0,928122426
2	0	0,909350522
2	0	0,889717853
2	0	0,909236883
2	0	0,952398587

2	0	0,946419688
2	0	0,951312815
2	0	0,902353735
2	0	0,909963741
2	0	0,907432833
2	0	0,897168303
3	0	0,950046867
3	0	0,940710318
3	0	0,93849064
3	0	0,920549738
3	0	0,922246759
3	0	0,925146571
3	0	0,930573626
3	0	0,936935832
3	0	0,936965963
3	0	0,941676763
3	0	0,940968709
3	0	0,930392036
3	0	0,929475647
3	0	0,928328915
3	0	0,939063792
3	0	0,944198193
3	0	0,944497196
3	0	0,942481192
3	0	0,915532677
3	0	0,894148278
3	0	0,869693859
3	0	0,88982167
3	0	0,898171114
3	0	0,908524748
3	0	0,907119746
3	0	0,893966513
3	0	0,894397554
3	0	0,89259896
3	0	0,919386678
3	0	0,945564493
3	0	0,951805569
3	0	0,955065037
3	0	0,954204435
3	0	0,957103765

3	0	0,95444393
3	0	0,960193471
3	0	0,955667138
3	0	0,95546642
3	0	0,965534002
3	0	0,931774056
3	0	0,927052793
3	0	0,921199078
3	0	0,90723516
3	0	0,903745671
3	0	0,90397632
3	0	0,895594023
3	0	0,899098999
3	0	0,912080188
3	0	0,920776621
3	0	0,922616824
3	0	0,904399704
3	0	0,88424952
3	0	0,902623594
3	0	0,945526188
3	0	0,940881263
3	0	0,945075547
3	0	0,897400448
3	0	0,904634207
3	0	0,902227592
3	0	0,891865882
4	0	0,891595773
4	0	0,88415352
4	0	0,880675918
4	0	0,867289346
4	0	0,865751166
4	0	0,870629503
4	0	0,872679925
4	0	0,880149583
4	0	0,880529583
4	0	0,884353939
4	0	0,882142037
4	0	0,874867633
4	0	0,872717187
4	0	0,870798366

4	0	0,881090323
4	0	0,883890186
4	0	0,885625566
4	0	0,882634312
4	0	0,86204344
4	0	0,842305868
4	0	0,820715237
4	0	0,842746835
4	0	0,851234036
4	0	0,859346554
4	0	0,855764587
4	0	0,848744637
4	0	0,846788769
4	0	0,844771673
4	0	0,862731988
4	0	0,886858424
4	0	0,889942207
4	0	0,892388826
4	0	0,891027611
4	0	0,892525228
4	0	0,893412738
4	0	0,8990751
4	0	0,893268661
4	0	0,894935783
4	0	0,903694135
4	0	0,840626623
4	0	0,876597611
4	0	0,871314842
4	0	0,859784053
4	0	0,858090196
4	0	0,865031098
4	0	0,857942098
4	0	0,861263393
4	0	0,871253437
4	0	0,881207818
4	0	0,882135638
4	0	0,867246208
4	0	0,849993485
4	0	0,861333739
4	0	0,893666853

4	0	0,888983176
4	0	0,890799676
4	0	0,787810682
4	0	0,863029983
4	0	0,862126194
4	0	0,852490668
1	1	0,589488609
1	1	0,614894109
1	1	0,625630621
1	1	0,616583933
1	1	0,603795796
1	1	0,629376095
1	1	0,638533297
1	1	0,62640985
1	1	0,605348709
1	1	0,609860893
1	1	0,594348453
1	1	0,583339549
1	1	0,61253978
1	1	0,635526579
1	1	0,599315523
1	1	0,643658331
1	1	0,63080295
1	1	0,641352844
1	1	0,576424988
1	1	0,612750434
1	1	0,644969533
1	1	0,645865225
1	1	0,632846556
1	1	0,640375841
1	1	0,58045043
1	1	0,58126102
1	1	0,563633114
1	1	0,617223982
1	1	0,635000555
1	1	0,590263181
1	1	0,619143593
1	1	0,64288396
1	1	0,618392709
1	1	0,6321158

1	1	0,616006835
1	1	0,600807654
1	1	0,611572131
1	1	0,617186268
1	1	0,616828386
1	1	0,603100973
1	1	0,581911572
1	1	0,616840643
1	1	0,616244056
1	1	0,572458508
1	1	0,628509729
1	1	0,612922631
1	1	0,639121784
1	1	0,647356681
1	1	0,646046259
1	1	0,578991674
1	1	0,613951699
1	1	0,592816228
1	1	0,614023349
1	1	0,618993793
1	1	0,613878259
1	1	0,601558972
1	1	0,625288352
1	1	0,634081372
1	1	0,637884237
1	1	0,633887615
2	1	0,58886824
2	1	0,613715416
2	1	0,623468446
2	1	0,615318966
2	1	0,603665996
2	1	0,62704745
2	1	0,637376644
2	1	0,624827423
2	1	0,606765704
2	1	0,607404359
2	1	0,593532199
2	1	0,595088173
2	1	0,610523554
2	1	0,634230757

2	1	0,597384724
2	1	0,642188846
2	1	0,629179895
2	1	0,640767031
2	1	0,57602148
2	1	0,610585442
2	1	0,642639885
2	1	0,64407446
2	1	0,633157226
2	1	0,638497428
2	1	0,5951728
2	1	0,58128557
2	1	0,563939079
2	1	0,616329293
2	1	0,634448781
2	1	0,590133736
2	1	0,617139263
2	1	0,642043403
2	1	0,617092838
2	1	0,630464138
2	1	0,615980613
2	1	0,6002715
2	1	0,609249206
2	1	0,61632892
2	1	0,615894286
2	1	0,601917608
2	1	0,582024581
2	1	0,617411776
2	1	0,614224024
2	1	0,573080571
2	1	0,627930759
2	1	0,613859936
2	1	0,636979244
2	1	0,644537423
2	1	0,643946948
2	1	0,587704866
2	1	0,612965009
2	1	0,602729619
2	1	0,614038902
2	1	0,617099896

2	1	0,611557473
2	1	0,599832172
2	1	0,622544058
2	1	0,6341263
2	1	0,636741446
2	1	0,631536976
3	1	0,58767658
3	1	0,613014884
3	1	0,623157107
3	1	0,614106921
3	1	0,602524137
3	1	0,626459294
3	1	0,636826129
3	1	0,624473284
3	1	0,60630204
3	1	0,606605792
3	1	0,593143337
3	1	0,593119898
3	1	0,609673692
3	1	0,634121866
3	1	0,596777771
3	1	0,642155197
3	1	0,628672896
3	1	0,640601843
3	1	0,57534947
3	1	0,610202051
3	1	0,642614293
3	1	0,643204332
3	1	0,632352594
3	1	0,637767899
3	1	0,592990049
3	1	0,580438236
3	1	0,562356422
3	1	0,615671425
3	1	0,634311231
3	1	0,589050686
3	1	0,616673774
3	1	0,641772339
3	1	0,616104878
3	1	0,629845359

3	1	0,615345343
3	1	0,59912321
3	1	0,608826268
3	1	0,615556537
3	1	0,615252567
3	1	0,601548199
3	1	0,580967056
3	1	0,616732964
3	1	0,613715592
3	1	0,572004744
3	1	0,62777557
3	1	0,612793889
3	1	0,636498464
3	1	0,644148871
3	1	0,643629216
3	1	0,586159313
3	1	0,612713698
3	1	0,601515229
3	1	0,613317511
3	1	0,616538362
3	1	0,610888047
3	1	0,599203146
3	1	0,622100827
3	1	0,63341802
3	1	0,636130935
3	1	0,630845114
4	1	0,588088776
4	1	0,614207582
4	1	0,625305147
4	1	0,615318352
4	1	0,602511203
4	1	0,628659017
4	1	0,638049775
4	1	0,626006301
4	1	0,604796231
4	1	0,609057684
4	1	0,593998226
4	1	0,580472509
4	1	0,611568111
4	1	0,635437961

4	1	0,598719849
4	1	0,643618337
4	1	0,630274593
4	1	0,64120306
4	1	0,575572595
4	1	0,612346683
4	1	0,644955241
4	1	0,644912161
4	1	0,631999546
4	1	0,639563504
4	1	0,577129474
4	1	0,580223313
4	1	0,561953247
4	1	0,616618863
4	1	0,634791282
4	1	0,588958696
4	1	0,618624242
4	1	0,642611555
4	1	0,617290865
4	1	0,631458799
4	1	0,615385234
4	1	0,599532918
4	1	0,611106656
4	1	0,616326603
4	1	0,616210604
4	1	0,602755823
4	1	0,580818126
4	1	0,616160371
4	1	0,615710469
4	1	0,571188806
4	1	0,628318832
4	1	0,611584486
4	1	0,638663597
4	1	0,646958376
4	1	0,645700506
4	1	0,576917886
4	1	0,613703449
4	1	0,591502564
4	1	0,613223868
4	1	0,618342054

4	1	0,613153787
4	1	0,6009227
4	1	0,62479993
4	1	0,633285255
4	1	0,63728743
4	1	0,633211561

## Anexo I. Validación de los supuestos para clientes con carga eléctrica no balanceada

### Anexo I 1. Supuesto de normalidad

#### Hipótesis Normalidad

$H_0$ : Los residuos del grupo i son normales

$H_1$ : Los residuos del grupo i NO son normales

		Residuo para FACTORDEPOTENCIA
N		480
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	.0000
	Desviación típica	.02116
Diferencias más extremas	Absoluta	.061
	Positiva	.043
	Negativa	-.061
Z de Kolmogorov-Smirnov		1.337
Sig. asintót. (bilateral)		.056

a. La distribución de contraste es la Normal.

b. Se han calculado a partir de los datos.

Donde la regla de decisión es:

Si **Sig. > 0,05**, entonces se acepta la  $H_0$ .

Para el caso **Sig.** es 0,056 por lo tanto se acepta  $H_0$  y se concluye que cumple el supuesto de normalidad.

## Anexo I 2. Supuesto de homocedasticidad

### Hipótesis Homogeneidad de Varianzas

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 \dots \dots \dots = \sigma_K^2$$

**H<sub>1</sub>: Al menos una varianza difiere**

**Contraste de Levene sobre la igualdad de las  
varianzas error<sup>a</sup>**

Variable dependiente: FACTOR DE POTENCIA

F	gl1	gl2	Sig.
1.447	7	472	.184

Contrasta la hipótesis nula de que la varianza error de la variable dependiente es igual a lo largo de todos los grupos.

Donde la regla de decisión es:

Si **Sig. > 0,05**, entonces se acepta la **H<sub>0</sub>**.

Para el caso **Sig.** es 0,184 por lo tanto se acepta **H<sub>0</sub>** y se concluye que cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas.

## Anexo J. Pruebas Post Hoc para clientes con carga eléctrica no balanceada

### Anexo J 1. Factor tipo de algoritmo

#### Comparaciones múltiples

FACTOR DE POTENCIA

DHS de Tukey

(I) TIPO DE ALGORITMO	(J) TIPO DE ALGORITMO	Diferencia de medias (I-J)	Error típ.	Sig.	Intervalo de confianza 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Algoritmo 1	Algoritmo 2	-2.7858446633E-2	.0027	.000	-.0349533840	-.0207635093
	Algoritmo 3	-2.4178104667E-2	.0027	.000	-.0312730420	-.0170831673
	Algoritmo IEEE	.0025248999	.0027	.796	-.0045700375	.0096198372
Algoritmo 2	Algoritmo 1	.0278584466*	.0027	.000	.0207635093	.0349533840
	Algoritmo 3	.0036803420	.0027	.540	-.0034145954	.0107752793
	Algoritmo IEEE	.0303833465*	.0027	.000	.0232884091	.0374782839
Algoritmo 3	Algoritmo 1	.0241781047*	.0027	.000	.0170831673	.0312730420
	Algoritmo 2	-.0036803420	.0027	.540	-.0107752793	.0034145954
	Algoritmo IEEE	.0267030045*	.0027	.000	.0196080672	.0337979419
Algoritmo IEEE	Algoritmo 1	-.0025248999	.0027	.796	-.0096198372	.0045700375
	Algoritmo 2	-3.0383346508E-2	.0027	.000	-.0374782839	-.0232884091
	Algoritmo 3	-2.6703004542E-2	.0027	.000	-.0337979419	-.0196080672

Basadas en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,000.

\*. La diferencia de medias es significativa al nivel ,05.

## Anexo J 2. Interacción tipo de algoritmo y tipo de consumo

### Comparaciones por pares

Variable dependiente: FACTOR DE POTENCIA

TIPO DE CONSUMO	(I)TIPO DE ALGORITMO	(J)TIPO DE ALGORITMO	Diferencia de medias (I-J)	Error típ.	Sig. <sup>a</sup>	Intervalo de confianza al 95 % para la diferencia <sup>a</sup>	
						Límite inferior	Límite superior
Bajo Consumo	Algoritmo 1	Algoritmo 2	-.056 <sup>*</sup>	.004	.000	-.066	-.046
		Algoritmo 3	-.049 <sup>*</sup>	.004	.000	-.060	-.039
		Algoritmo IEEE	.004	.004	1.000	-.006	.015
	Algoritmo 2	Algoritmo 1	.056 <sup>*</sup>	.004	.000	.046	.066
		Algoritmo 3	.007	.004	.526	-.004	.017
		Algoritmo IEEE	.060 <sup>*</sup>	.004	.000	.050	.071
	Algoritmo 3	Algoritmo 1	.049 <sup>*</sup>	.004	.000	.039	.060
		Algoritmo 2	-.007	.004	.526	-.017	.004
		Algoritmo IEEE	.054 <sup>*</sup>	.004	.000	.043	.064
	Algoritmo IEEE	Algoritmo 1	-.004	.004	1.000	-.015	.006
		Algoritmo 2	-.060 <sup>*</sup>	.004	.000	-.071	-.050
		Algoritmo 3	-.054 <sup>*</sup>	.004	.000	-.064	-.043
Alto Consumo	Algoritmo 1	Algoritmo 2	.000	.004	1.000	-.010	.011

	Algoritmo 3	.001	.004	1.000	-.009	.011
	Algoritmo IEEE	.001	.004	1.000	-.010	.011
Algoritmo 2	Algoritmo 1	.000	.004	1.000	-.011	.010
	Algoritmo 3	.001	.004	1.000	-.010	.011
	Algoritmo IEEE	.000	.004	1.000	-.010	.011
Algoritmo 3	Algoritmo 1	.000	.004	1.000	-.011	.009
	Algoritmo 2	.000	.004	1.000	-.011	.010
	Algoritmo IEEE	.000	.004	1.000	-.011	.010
Algoritmo IEEE	Algoritmo 1	.000	.004	1.000	-.011	.010
	Algoritmo 2	.000	.004	1.000	-.011	.010
	Algoritmo 3	.000	.004	1.000	-.010	.011

Basadas en las medias marginales estimadas.

\*. La diferencia de medias es significativa al nivel ,05.

a. Ajuste para comparaciones múltiples: Bonferroni.

## Anexo K. Criterio de facturación de potencia reactiva

El criterio para facturación por concepto de energía reactiva, se puede interpretar de una manera más sencilla expresándolo en función del factor de potencia  $\langle fp_i \rangle$  de la siguiente manera:

Siendo  $P^2 + Q^2 = S^2$  y se debe facturar Reactiva cuando  $Q > P/2$  tenemos:

$$P^2 + \frac{P^2}{4} = S^2$$

$$P^2 \left[ 1 + \frac{1}{4} \right] = S^2$$

$$\frac{5}{4} * P^2 = S^2$$

$$\frac{P^2}{S^2} = 4/5$$

$$fp = \frac{P}{S} = \sqrt{4/5} = 0,89 \approx 0,9$$

Por lo tanto se aplica facturación por concepto de reactiva cuando el equipo de medida estima que  $fp_i < 0,89$ .

## Anexo L. Características y destacados de PowerXplorer PX5

- Ocho canales, 4 de tensión y 4 de corriente
- Intuitiva pantalla táctil a color
- Peso ligero – alrededor de 4 libras, 2 kg – con protector de goma resistente
- AC / DC aplicaciones
- Muestras a 256 muestras / ciclo
- Independiente del voltaje y corriente de disparo, disparo cruzado
- De alta velocidad de muestreo y captura de datos (1 microsegundo / canal)
- Osciloscopio de alta velocidad como la detección de transitorios (como Dranetz 658-8800-IMC y similares)
- Caracterización de eventos detallado de las variaciones RMS y transitorios
- THD / armónico del espectro y tres veces al día / interarmónicos espectro de la 63
- Captura IEEE 1459 los parámetros de los sistemas de energía no sinusoidales y avanzado
- Remotos de comunicación RS-232, Ethernet o USB
- La batería o el modo AC
- Construido en la batería del SAI con cargador externo
- Disponible con hasta 4GB de memoria Compact Flash
- Idiomas disponibles – Inglés, francés, italiano, alemán, español, sueco, polaco, tailandés, coreano, finlandés, japonés, chino (tradicional y simplificado)
- DRAN-VIEW activado (Windows 2000, XP, Vista, 7)
- Cumple con IEEE 1159, IEEE 519, IEEE 1453
- Cumple con la norma IEC 61000-4-30 Clase A y EN50160
- Medidas de parpadeo según IEC 61000-4-15; medidas armónicas eléctrica de acuerdo con IEC 61000-4-7

## Anexo M. Especificaciones de medida. PQM-701

- Mediciones de acuerdo a la norma EN 50160
- Voltaje L1, L2, L3, N-PE (cinco entradas, recoge la norma EN 61000-4-30, clase A)
  - Los valores promedio, mínimo, máximo e instantáneo, el rango de 690 V, capacidad de trabajar con transformadores de tensión.
- Corriente L1, L2, L3, N (cuatro entradas)
  - Los valores promedio, mínimo, máximo e instantáneo, la medición de corriente con rango de 3kA (depende de la pinza se utilice), capacidad de trabajar con transformadores de corriente.
- Factor de cresta de tensión y corriente
- Frecuencia de 40Hz a 70Hz (compila con la norma EN 61000-4-30, clase A),
- Activa, reactiva, el poder de distorsión, aparente, incluyendo el tipo de potencia reactiva (capacitiva, inductiva),
- Estimación de Potencias:
  - Método Budeanu.
  - IEEE 1459.
- Activa, energía reactiva y aparente,
- El factor de potencia,  $\cos$ ,  $\text{tg}\varphi$ ,
- El factor K (sobrecarga del transformador causada por los armónicos),
- Hasta 50 para los armónicos de voltaje y corriente (compila con EN 61000-4-7, clase I),
- Distorsión armónica total (THD) de tensión y corriente
- A corto plazo ( $P_{ST}$ ) y largo plazo ( $P_{LT}$ ) parpadeo (compila con la norma EN 61000-4-15, clase A),
- Desbalance de voltaje (compila con la norma EN 61000-4-30, clase A) y la corriente

- Huecos de tensión, sobretensiones y oscilogramas interrupción incluyendo el registro (EN 61000-4-30, clase A)
- Registro de eventos de corriente incluyendo oscilogramas Registros de corriente y tensión después de cada periodo.
- Todas estas funciones permiten un análisis exhaustivo de los fenómenos en el sistema de prueba de red eléctrica.

## Anexo N. Propuestas gestión integral de residuos medidores de energía eléctrica

### Anexo N 1. Propuesta Gaia-Vitare



**Señores:**

**ENELCOL**

**Atn. Sr. Manuel Urbano Cala Flórez**  
**Jefe de Unidad ADE Centro**

**Ref.: PROPUESTA TECNICO ECONOMICA N° 1098 PARA EL MANEJO DE RAEE´s RESIDUOS DE APARATOS ELECTRICOS Y ELECTRONICOS – ENELCOL**

**Respetados Señores:**

La compañía GAIA VITARE LTDA, empresa de consultoría e ingeniería ambiental, líderes en Colombia en el manejo integral de RAEE´s Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos, con más de 7 años de experiencia presta el servicio de recolección, transporte, destrucción, tratamiento, aprovechamiento y disposición final de RAEE´s.

La compañía cuenta con licencia ambiental otorgada por la Secretaria Distrital de Ambiente a través de la resolución No 1634 de noviembre 4 de 2004.

De acuerdo a su interés por llevar a cabo un manejo integral adecuado y seguro de los Residuos

**(RAEE´s)**, cumpliendo con la normatividad ambiental aplicable; nos permitimos presentar a su consideración la siguiente propuesta técnica y económica del servicio prestado por GAIA VITARE LTDA.

**Cordialmente:**



**AURA MILENA MELO**

**Gerencia Comercial y SAC Servicio al Cliente**

**Gaia Vitare Ltda.**

**Servicio de manejo integral de RAEE´s**

## **Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos**

Con el propósito de garantizar el desarrollo del servicio para el manejo integral de RAEE's Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos, se presenta a continuación la metodología de los servicios a prestar por GAIA VITARE LTDA:

### **1. LICENCIA AMBIENTAL Y CUMPLIMIENTO DE LA LEGISLACION APLICABLE:**

Gaia Vitare Ltda. cuenta con la Licencia Ambiental otorgada por la Secretaría de Ambiente de Bogotá, mediante resolución N° 1634, para los procesos de almacenamiento, transporte, manejo, tratamiento y disposición final de residuos sólidos Eléctricos, Electrónicos y de Telecomunicaciones (RAEE).

Igualmente se da cumpliendo con el decreto 4741 del 30 de Diciembre de 2005, por el cual se reglamenta la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral. (RESPEL Residuos Peligrosos), emitido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Para el Transporte, Gaia Vitare Ltda., cumple con los requisitos del decreto 1609 de julio 31 de

2002, sobre el transporte de mercancía peligrosa por carretera emitido por Ministerio de Transporte.

### **2. RESIDUOS QUE MANEJA GAIA VITARE LTDA.**

La Licencia Ambiental otorgada por la secretaría Ambiental de Bogotá a Gaia Vitare Ltda., abarca la gestión de todos los residuos de aparatos Eléctricos, Electrónicos y de Telecomunicaciones. Esto significa que Gaia Vitare Ltda., cuenta con la licencia para la Gestión de todas las Categorías de los RAEE que son:

- ✓ Electrodomésticos grandes. (Línea Blanca como Aires Acondicionados, Neveras, Lavadoras, entre otros.)
- ✓ Electrodomésticos pequeños. (Como hornos microondas, aspiradoras, licuadoras, cafeteras, entre otros)
- ✓ Aparatos de tecnología informática y telecomunicación. (Como equipos de cómputo, impresoras y sus consumibles tóner y cartuchos, celulares, aparatos de oficina, entre otros)
- ✓ Aparatos de Audio y video. (Línea Marrón)
- ✓ Maquinaria Industrial.

- ✓ Herramientas Eléctricas y electrónicas.
- ✓ Juguetes eléctricos.
- ✓ Equipos médicos (con previa verificación de hoja de seguridad).
- ✓ Instrumentos y equipos de medición y control
- ✓ Máquinas automáticas dispensadoras. (Cajeros Automáticos, Dispensadoras de Gaseosas, entre otros)
- ✓ Pilas y Baterías en sus diferentes composiciones químicas.
- ✓ Lámparas y luminarias.

### **3. RESIDUOS QUE NO RECIBE NI MANEJA GAIA VITARE LTDA.**

- ✓ Equipos electrónicos con fuentes radioactivos (como detectores de humo de tecnología iónica, equipos de medición y control de calidad, y en general, equipos con el contenido de Cesio).
- ✓ Equipos eléctricos como Pararrayos iónicos.
- ✓ Equipos médicos con fuentes radiactivas y/o contaminados con fluidos corporales.

## **4. DESARROLLO TECNICO**

### **4.1. RECOLECCION**

GAIA VITARE LTDA realiza el cargue de los residuos en el lugar de recolección. Igualmente llevará el registro de pesaje de los residuos para cada recolección. Para cantidades mayores a 500

Kg. el pesaje es realizado en básculas camioneras que cuentan con el certificado de calibración. Para recolecciones menores a 500 Kg. el pesaje de los residuos se realiza en la báscula digital calibrada, con que cuenta Gaia Vitare Ltda. y que se lleva el día de la recolección.

El día de la recolección de los residuos se hará entrega del comprobante de recolección, registrando la clase de residuo y las cantidades en peso y volumen; el cual queda al final del proceso firmado por ambas partes.

### **4.2. TRANSPORTE**

Se incluirá el servicio de transporte de las diferentes instalaciones en Bogotá indicadas por el Cliente, hacia la planta de GAIA VITARE LTDA en Bogotá.

Gaia Vitare Ltda. cuenta con servicio propio de transporte. El cual cumple con los requerimientos exigidos por el decreto Número 1609 de 2002 emitido por el

Ministerio de Transporte, relacionado con el transporte de residuos peligrosos y especiales.

#### **4.3. DESTRUCCION**

Para todos los RAEE's Gaia Vitare Ltda. realiza la destrucción e inhabilitación, con el fin de que el aparato o sus partes y componentes no vuelvan a ser reutilizados ni re manufacturados. Así evitando que estos residuos sean comercializados en los mercados negros de partes. Igualmente realiza el retiro cuidadoso de las etiquetas, logos, marcas e identificaciones del cliente. Por lo anterior Gaia Vitare Ltda. Certifica la destrucción de todo el material, garantizando una mayor seguridad y confiabilidad en la imagen corporativa del cliente.

#### **4.4. TRATAMIENTO, APROVECHAMIENTO Y DISPOSICION FINAL**

El proceso de tratamiento, aprovechamiento y disposición final de cada uno de los Aparatos o partes y componentes en des uso, comprenden todas las operaciones efectuadas para descontaminar, desmontar, desensamblar, triturar y disponer los RAEE's Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos. El tratamiento de los RAEE incluye, la extracción de todos los componentes con contenido de sustancias peligrosas y su posterior tratamiento y disposición final selectiva. Lo cual se realiza en la planta de Gaia Vitare Ltda., en Bogotá.

Para efectos de la disposición final de los residuos peligrosos que no pudieran ser dispuestos en la planta, luego de que el material está destruido y pre acondicionado contrata a terceros, dentro o fuera del territorio nacional. En el caso de la disposición final de los residuos peligrosos fuera del territorio nacional, se desarrollan las labores de logística y transporte al exterior. Estos componentes con sustancias peligrosas, considerados como residuos peligrosos se definen de acuerdo a los términos establecidos en el Decreto 4741 de 2005 y Convenio de Basilea- Ley 253 de 1995 que aprueba en Colombia el Convenio de Basilea.

Para efectos del aprovechamiento, realiza el reciclaje de los residuos, obtenidos durante el tratamiento, cuyas características les permitirán ser utilizados como materia prima para procesos diferentes a la fabricación o ensamble de Aparatos Eléctricos y Electrónicos.

#### **4.5. ENTREGA DE CERTIFICACIONES**

GAIA VITARE LTDA hace entrega al cliente la respectiva ACTA DE DESTRUCCIÓN Y MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS. Dicha acta es el soporte

Legal que certifica el manejo adecuado de los residuos y es avalada ante las autoridades ambientales.

## 5. VALOR DE LA PROPUESTA

El costo por el servicio de manejo, recolección, transporte, tratamiento, aprovechamiento y disposición final de los RAEE´s residuos de aparatos eléctricos y electrónicos se determina de acuerdo a la cantidad en Kilogramos (Kg), y la clase de residuos. A continuación se presentan las tarifas:

Residuo	Rango peso	Costo	Condiciones
RAEE´s Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos	Menos de 176 Kg	Tarifa única \$300.000	El precio aplica para recolección
	177 kg – 500 kg	\$ 1.700 / Kg	
	501 kg – 1.000 kg	\$ 1.600 / Kg	
<b>Observaciones: Para recolección en otras ciudades se cargara el costo del flete a la factura</b>			

A los precios anteriores se les adicionará el IVA del 16%.

### ACLARACIONES:

- ✓ El peso estimado será verificado el día de la recolección por los empleados de GAIA VITARE LTDA en presencia del personal de la empresa que solicita el servicio, con la bascula de la compañía y/ó bascula camionera debidamente calibradas.
- ✓ Para recolecciones a nivel nacional el valor del flete corre por cuenta del cliente y será cargado a la factura.

- ✓ Los precios establecidos en esta propuesta corresponden a los residuos descritos en el formato GAIA – SAC – FT - 28 de información diligenciada por el cliente.
- ✓ El precio para manejo de RAEE's **no incluye** residuos con contenidos de PCB's, mercurio, refrigerantes, equipos médicos, pilas y baterías, lámparas, tóner y dotación para incineración.
- ✓ La empresa se reserva el derecho de reajustar los costos aquí planteados en cualquier momento, para lo cual informará dicho ajuste.

#### **FORMA DE PAGO:**

GAIA VITARE LTDA., facturará dentro de los cinco días siguientes de prestado el servicio de recolección y transporte de los residuos. Esta factura deberá ser cancelada de **Contado**.

#### **6. CONDICIONES DEL SERVICIO**

- ✓ Los residuos deben estar debidamente empacados, embalados y clasificados; especialmente los residuos como Tóner, Pilas y Baterías y Lámparas (estas últimas evitando que se rompan durante el transporte)
- ✓ El cliente que requiera su facturación soportada en la báscula de sus instalaciones deberá suministrar a Gaia Vitare Ltda. la calibración de báscula correspondiente con el sello de aprobación de la Superintendencia de Industria y Comercio, de lo contrario se factura el servicio con la báscula indicada por Gaia Vitare Ltda.
- ✓ Gaia Vitare Ltda confirmará al cliente a más tardar el día anterior la realización de la recolección de los residuos. En caso de una cancelación del servicio el mismo día del cargue, se cobrará el Stand By del vehículo por un valor de \$100.000, \$ 150.000 o \$ 300.000, dependiendo del tipo de vehículo asignado.

## **7. COMPROMISOS Y CONFIDENCIALIDAD:**

Al momento de contratar nuestros servicios GAIA VITARE LTDA se compromete a no vender, ni entregar a ningún reciclador o empresa los componentes electrónicos y electrónicos en buen o aceptable estado y sin haberles realizado previamente el correspondiente pre acondicionamiento y tratamiento. Permitiendo de esta manera al cliente una mayor seguridad y confiabilidad, evitando que estos residuos vuelvan a ser comercializados en el mercado negro de partes.

GAIA VITARE LTDA y CLIENTE se comprometen a mantener la debida reserva sobre toda la información suministrada en este documento, así mismo sobre toda la información de índole técnica o comercial entregada durante el transcurso de la relación comercial y no debe ser suministrada a terceros sin el consentimiento expreso de las dos partes en forma escrita.

## Anexo N 2. Propuesta Belmont Trading Company



Señores

**ENELCOL**

Ciudad

Ref: **Belmont Trading Colombia S.A.- Oferta comercial para la disposición de material de medidores digitales**

Estimados Señores:

Gracias por la oportunidad de presentarles una oferta para la disposición de material de redes de telecomunicaciones en desuso en adelante los equipos, de propiedad de **ENELCOL** (en adelante ENELCOL), y que se encuentran en la ciudad de Bucaramanga, Colombia,

Belmont Trading Colombia S.A.S (en adelante Belmont) ofrece disponer la cantidad mínima de 1000 unidades de Medidores digitales de propiedad de ENELCOL, en las siguientes condiciones:

1. Belmont suministrará el servicio de transporte por parte de una compañía autorizada, para movilizar los equipos en la ciudad de Bucaramanga hasta la bodega de Belmont ubicada en Cota.

2. Belmont será la encargada de efectuar la exportación los equipos completos, desde Colombia hacia Chicago, donde se realizará la disposición de los equipos en nuestra refinería Sipi Metals.

3. ENELCOL proveerá toda la documentación necesaria que tenga disponible, para soportar a Belmont en el proceso de exportación de los residuos.
4. Belmont emitirá un certificado de destrucción noventa (90) días siguientes a la exportación de los equipos, donde se garantiza la adecuada disposición de los mismos.
5. El costo de transporte de los equipos desde la Ciudad de Bucaramanga hasta las bodegas de Belmont ubicadas en COTA- Cundinamarca, será de mil quinientos pesos colombianos por unidad.
6. Belmont procederá a facturar los costos de la disposición de los equipos a ENELCOL y a radicar la factura en sus oficinas, dentro de los cinco días (5) siguientes a la fecha de la recolección de los equipos.
7. El plazo que ENELCOL tendrá para aceptar la presente oferta mercantil mediante la expedición de la correspondiente carta de aceptación, será de diez (10) días contados a partir de la fecha de la presente.

# BELMONT

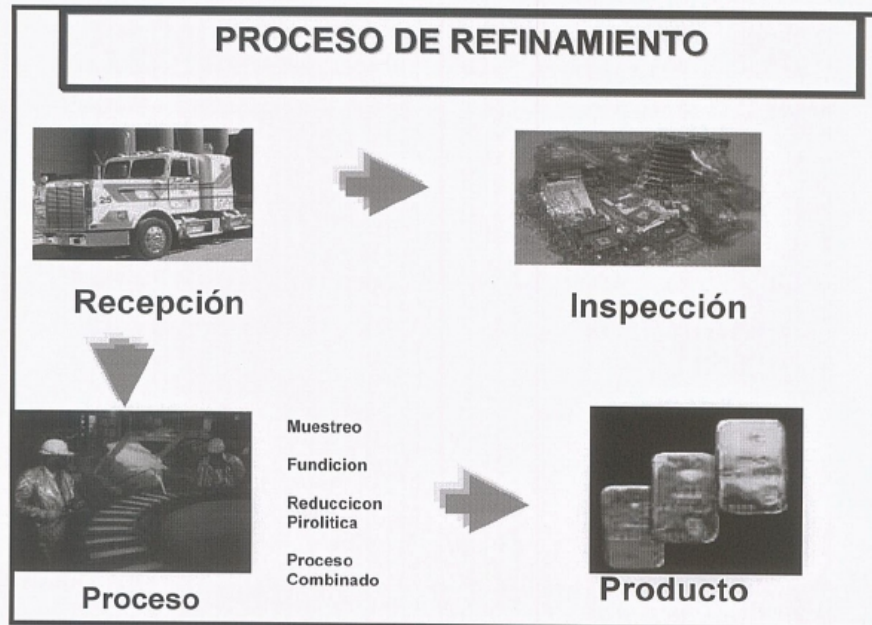
TRADING COMPANY

## 8. PROCESO DE RECOLECCION Y RECUPERACION DE MATERIAL



# BELMONT

TRADING COMPANY



Agradecemos la oportunidad y quedamos a la espera de sus noticias.

Cordialmente,

Mario L Castilla S.

Gerente General

Belmont Trading Colombia S.A.S.

Autopista Medellín Km. 3.5 Costado Sur. Modulo 5 Bodega 56. Terminal Terrestre de Bogota.  
Cota-Colombia.

4

### Anexo N 3. Propuesta C.I. Recycables S.A.



**C.I. Recycables S.A.**



Señores

ENELCOL

La ciudad

Asunto: Propuesta Manejo Excedentes Industriales incluyendo Residuos Eléctricos y Electrónicos,  
Metales Ferrosos y No Ferrosos y otros.

Cordial saludo.

Teniendo en cuenta el interés de dar el manejo óptimo de los excedentes industriales generados durante su operación, le hacemos entrega de la siguiente propuesta de servicio.

Atentamente,



JUAN FERNANDO JARAMILLO  
C.I. RECYCABLES S.A.  
Tel: (57) 5 - 657 1273  
Fax: (57) 5 - 657 0723  
E-mail: [cirecycables@une.net.co](mailto:cirecycables@une.net.co)  
[www.recycables.com.co](http://www.recycables.com.co)

PROPUESTA PARA MANEJO INTEGRAL DE EXCEDENTES Y RESIDUOS INDUSTRIALES

El objeto de la presente es dar a conocer la información preliminar sobre nuestra compañía a fin de llevar a cabo una alianza estratégica entre nuestras empresas permitiéndonos de esta manera llevar a cabo el manejo óptimo de los excedentes industriales generados a través de su operación.

## 1. INFORMACION BASICA

C.I. Recycables S.A. es una empresa ubicada en la ciudad de Cartagena creada en el año 2003 que brinda a sus clientes el servicio de manejo óptimo de los excedentes industriales generados durante la operación diaria.

Dentro de los servicios ofrecidos se encuentran la recolección, clasificación, comercialización, preparación y manejo ambiental de los diferentes materiales recibidos en nuestras instalaciones.

Contamos con puntos de acopio a nivel nacional en las principales ciudades del país (Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla, Cartagena, Bucaramanga, etc.) lo cual facilita la cobertura a nivel nacional y por lo cual estamos en capacidad de dar el mejor manejo a los diferentes materiales recibidos. (ver página web para conocer las direcciones de los puntos de acopio)

## 2. PORTAFOLIO DE SERVICIOS

Dentro de los materiales a los cuales les hacemos un manejo integral que incluye: procesamiento, clasificación y disposición encontramos todos los **Metales Ferrosos y no Ferrosos** (por ej: Cobre, Bronce, Aluminio, Acero Inoxidable, Hierro, Plomo) hasta materiales más complejos y que requieren de un manejo especial y licencias especiales para su procesamiento y comercialización tales como los **cables de cobre y aluminio y los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos - RAEEs**.

A continuación se detallan los productos y servicios ofrecidos:

Comercialización, procesamiento y manejo integral de RAEEs:

- Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, tarjetas electrónicas, etc. (incluye computadores, equipos celulares y radios de comunicación así como sus accesorios, hornos microondas, plantas telefónicas, etc.)
- Baterías Recargables (Ni-Cd, Litio, etc)

- Baterías No Recargables
- Baterías de Plomo-Acido
- Luminarias

Destrucción de información (Discos Duros, Cds, etc), logos, publicidad, dotación personal y emblemas

Comercialización, procesamiento y manejo adecuado de:

- Cables de Cobre o Aluminio
- Equipos y Maquinaria en desuso
- Cobre
- Aluminio
- Bronce
- Hierro
- Plomo
- Acero Inoxidable
- Plásticos
- Radiografías y Acetatos Litográficos

Procesamiento y gestión ambiental de los diferentes materiales recibidos en nuestras instalaciones.

Disposición final de residuos especiales

Certificados de disposición final, destrucción y/o eliminación

### **3. INFRAESTRUCTURA**

- Planta Principal ubicada en Cartagena permitiéndonos un fácil acceso a los mercados internacionales
- Puntos de Acopio en la principales ciudades del país (Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla y Bucaramanga)
- 7.000 metros cuadrados de Patio para Almacenamiento, Procesamiento y Manejo de Materiales

- 1.000 metros cuadrados de bodega cubierta para procesamiento de materiales
- Planta Procesadora de Cables de última tecnología
- Planta Procesadora de Chatarra Electrónica
- Equipos para manipulación de carga
- Equipos Analizadores de Metales
- Detectores de Radioactividad
- Sistema de Monitoreo de Operaciones

#### **4. LICENCIAS Y CERTIFICACIONES**

C.I. Recycables S.A. cuenta con la aprobación tanto del Plan de Manejo Ambiental como de la Licencia Ambiental a través de las Resoluciones 304 del 20 agosto 2008 y 548 del 15 de julio de 2009 respectivamente emitidas por el Establecimiento Publico Ambiental – EPA, autoridad ambiental encargada de Cartagena, las cuales avalan el manejo, procesamiento y comercialización de los materiales arriba mencionados además de lo anterior contamos con una planta de procesamiento con moderna tecnología que nos permite llevar a cabo un mejor aprovechamiento de los materiales entregados por nuestros proveedores.

Contamos además con las Certificaciones ISO 9001 - 2000 e ISO 14001 - 2004, elementos que garantizan a nuestros clientes un correcto manejo de sus materiales y una optima trazabilidad y calidad en el proceso.

#### **5. EXPERIENCIA – CLIENTES**

Entre los clientes que manejamos dentro de nuestro portafolio y a quienes hemos prestado este servicio de manejo de sus excedentes encontramos empresas tales como:

- Empresa de Teléfonos de Bogotá – ETB
- Seguros Bolívar
- Cerro Matoso
- Telmex Colombia
- Nortel
- Cisco Systems,
- Ericsson,
- EMCALI,
- Banco de la República,
- Isa - Internexa,
- Tenaris Tubocaribe
- EMGESA, etc.

- COTECMAR
  - AGA FANO S.A.
  - ABOCOL
  - Computadores para Educar
  - Acerías Paz del Río
- Amplia experiencia en la comercialización, clasificación y exportación de chatarra de cables, aceros y demás materiales ferrosos y no ferrosos.
  - Vasta experiencia en la clasificación, desagregación y procesamiento de chatarra electrónica así como en la destrucción de equipos eléctricos y electrónicos y disposición final y adecuada de materiales.
  - Total Exactitud y transparencia en los procesos de clasificación detallada de los materiales recibidos lo cual garantiza una mayor recuperación económica para nuestros proveedores de materiales.
  - Garantía de uso de tecnología limpia y control ambiental en todos nuestros procesos.

## 6. PROPUESTA COMERCIAL

Por medio de la presente, y de acuerdo a su invitación nos permitimos presentar la siguiente oferta para la compra de los medidores digitales de acuerdo a la información enviada por la Electrificadora..

**Valor por Unidad de Medidor Digital:**

**\$ 1000 / Unidad**

**Nota: Todo el proceso de desagregación y el flete de este material será por cuenta de C.I Recycables S.A.**

### • MODALIDAD DE LIQUIDACION DE LOS MATERIALES ELECTRICOS Y ELECTRONICOS

Para el manejo de los Residuos Eléctricos y Electrónicos generados y por la naturaleza de Residuos Peligrosos que estos elementos manejan ofrecemos el siguiente esquema de trabajo el cual igualmente puede ser utilizado para el manejo de lotes de material mixto (residuos electrónicos o cables) en donde la determinación de los resultados requiere un análisis de composición más específico:

Una vez recibidos los materiales en nuestras instalaciones o cualquiera de los puntos de acopio, se hace una entrada con un peso global determinado, posteriormente los materiales son trasladados a nuestra planta donde se hace una clasificación de los mismos y se lleva a cabo un proceso de desagregación de estos, lo cual nos permite una clasificación definitiva de todos los elementos resultantes de este lote.

Una vez realizada la clasificación se valorizan los materiales de acuerdo a los precios de mercado en ese momento bien sea para su aprovechamiento lo cual implica un valor a favor del proveedor o un cobro en el caso de los residuos peligrosos que requieren una disposición especial. De este valor resultante se descuenta el valor de la logística de movilización de la

mercancía y del proceso de desagregación y clasificación. A continuación se muestra el formato usado para este fin.

### Formato de Liquidación de Materiales

DESCRIPCION	TIPO DE MANEJO	UNIDAD	Vir / UNIDAD
<b>Material Aprovechable</b>			
Cobre	Recuperación de metales	( ) Kg	\$9.000
Aluminio	Recuperación de metales	( ) Kg	\$1.500
Hierro	Recuperación de metales	( ) Kg	\$300
Bronce	Recuperación de metales	( ) Kg	\$6.000
Acero Inoxidable	Recuperación de metales	( ) Kg	\$2.000
Tarjetas Electrónicas No. 1	Recuperación de metales- disposición final	( ) Kg	\$7.000
Tarjetas Electrónicas No. 2	Recuperación de metales- disposición final	( ) Kg	\$5.500
Tarjetas Electrónicas No. 3	Recuperación de metales- disposición final	( ) Kg	\$1.000
Radiografías	Recuperación de metales	( ) Kg	\$3.500
<b>Sub-Total Materiales Aprovechables</b>		( ) Kg	(\$ )
<b>Materiales para Disposición Sin</b>			
Plásticos	Recuperación - disposición final	( ) Kg	(\$0)
Tarjetas Electrónicas No. 4	Recuperación de metales- disposición final	( ) Kg	(\$0)
Cartón y/o papel	Disposición final	( ) Kg	(\$0)
<b>Sub-Total Materiales para Disposición Sin Costo</b>		( ) Kg	(\$0)

<b>Residuos Peligrosos y Desechos</b>			
Tintas y Tonner de impresoras	Disposición final	( ) Kg	-\$1.000
Baterías Recargables y No Recargables.	Disposición final	( ) Kg	-\$1.000
Vidrio plomo y pantalla LCD proveniente de Monitores y TV	Disposición final	( ) Kg	-\$1.000
Tubos fluorescentes	Disposición final	( ) Kg	-\$3.500
Desechos No Peligrosos	Disposición final	( ) Kg	-\$500
<b>Sub-Total Manejo Residuos Peligrosos y Desechos</b>		( ) Kg	(\$ )
<b>Otros</b>			
Mano de Obra por Desagregación Inicial de Equipos		( ) Kg	(\$ )
Recolección y transporte de RAEEs y otros materiales		Viaje	A convenir

Los precios arriba establecidos tienen una validez de 15 días a partir de la fecha de entrega de esta propuesta.

Agradecemos su amable atención y quedamos atentos a sus prontas noticias y comentarios

Para mayor información nuestra puede ser consultada en nuestra página web:  
[www.recycables.com.co](http://www.recycables.com.co)



JUAN FERNANDO JARAMILLO  
C.I. RECYCABLES S.A.  
Tel: (57) 5 - 657 1273  
Fax: (57) 5 - 657 0723  
E-mail: [cirecycables@une.net.co](mailto:cirecycables@une.net.co)  
[www.recycables.com.co](http://www.recycables.com.co)

## Anexo N 4. Propuesta Ecycling

Ingeniera

SORANY NIÑO GORDILLO Ingeniera Industrial

ENELCOL

**REFERENCIA: SP11-1180 – PROPUESTA DE SERVICIO DISPOSICIÓN DE MEDIDORES ELÉCTRICOS.**

Respetada Ingeniera NIÑO GORDILLO:

Atendiendo la solicitud de ENELCOL S.A. E.S.P. con relación a la contratación externa de servicios de disposición final de equipos electrónicos, me permito presentar formalmente la propuesta de eCycling S.A.S.

De antemano agradezco su interés en nuestras soluciones, eCycling está en capacidad de brindar un servicio oportuno y transparente, que permita a su organización reducir al mínimo los riesgos financieros, legales y ambientales derivados del proceso de gestión de activos de tecnología al final de su vida útil.

En caso de presentarse cualquier inquietud o de requerir información adicional, no dude en ponerse nuevamente en contacto. Estaré atento a sus comentarios.

Cordialmente,



**eCycling**  
Gestión Integral de Activos Electrónicos



ESTEBAN JIMÉNEZ ROLDÁN

Gerente General

ECYCLING S.A.S.

**eCycling®** [*i.sáiklin*] es una organización especializada en la Disposición de Activos de Tecnología y el Reciclaje de Residuos Electrónicos. Ofrece un completo portafolio de servicios de administración, recuperación, control de cambios en inventarios de hardware y destrucción certificada de activos electrónicos a nivel corporativo, garantizando el cierre del ciclo de vida útil de los equipos de tecnología en cumplimiento de estándares internacionales de protección ambiental y seguridad de la información.

Entre las estrategias implementadas por **eCycling**, se incluye la realización de inventarios de equipos en desuso/obsoletos, remoción de exceso de inventarios, selección de equipos según sus posibilidades de aprovechamiento, esto es, *recomercialización, donación, destrucción*; borrado seguro de información confidencial, destrucción de medios de almacenamiento de datos, reciclaje ambientalmente responsable de activos, rastreo y certificación del destino final de componentes y materiales, entre otros.

Nuestra línea de tratamiento y reciclaje certificado de residuos electrónicos, provee una solución integral para la disposición de equipos obsoletos, logrando el máximo nivel de recuperación y aprovechamiento de los materiales contenidos en los equipos, los cuales incluyen elementos tóxicos catalogados a nivel nacional e internacional como residuos peligrosos, que no pueden manejarse como una basura cualquiera.

**eCycling** cuenta con Licencia Ambiental específica aprobada por el *Área Metropolitana del Valle de Aburrá* mediante Resolución 1735 de 2010, para su planta de operación en el municipio de Medellín. Contamos con la infraestructura, el conocimiento y las autorizaciones específicas para la realización de procesos de tratamiento y disposición de residuos electrónicos en forma segura y transparente. Nuestro objetivo es promover el uso sostenible de la tecnología, al tiempo que minimizamos los riesgos legales, financieros y ambientales que se derivan de la tenencia y retiro de dispositivos electrónicos en las organizaciones.

Para conocer más acerca de eCycling, nuestras áreas de trabajo y toda la información relevante acerca de la disposición de activos de tecnología y el manejo seguro de residuos electrónicos, no deje de visitar: [www.ecyclingcolombia.com](http://www.ecyclingcolombia.com)

Luego de revisar la información suministrada por ENELCOL en relación con los dispositivos a disponer y la composición de los mismos, es importante tener en cuenta las siguientes consideraciones:

Los dispositivos electrónicos en general, una vez llegan al final de su vida útil son catalogados por la normativa colombiana e internacional como residuos potencialmente peligrosos, debido a la presencia de componentes de carácter tóxico que pueden llegar a generar un impacto ambiental y sanitario muy negativo ante alternativas tradicionales como la disposición en rellenos sanitarios y la incineración.

Es claro que durante su vida útil los equipos no son peligrosos y no todos los materiales que los componen son de carácter tóxico. Para el caso particular de los medidores eléctricos que desea disponer la ENELCOL alrededor del 40% en peso es de carácter peligroso, en este caso identificados según el Decreto 4741 de 2005 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, incluyendo circuitos electrónicos, termoplásticos, baterías, entre otros.

Así mismo y según el Decreto 2820 de 2010 del mismo Ministerio, se establece que las instalaciones cuyo objeto sea el almacenamiento, tratamiento y aprovechamiento y/o disposición final de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos requieren contar con Licencia Ambiental específica otorgada por las Corporaciones Autónomas Regionales con jurisdicción en la zona de ubicación.

El tratamiento de componentes de carácter peligroso y la realización de un proceso formal en cumplimiento de la normativa ambiental para la disposición de estos equipos, asocia unos costos debido al manejo específico que requieren, y a que los ingresos por recuperación de materia prima recuperable no compensan la totalidad de dichos costos.

eCycling ha diseñado la siguiente propuesta de servicio de gestión integral de residuos electrónicos, en aras de proveer a ENELCOL una alternativa segura, integral y costo-eficiente para la disposición de sus medidores eléctricos en retiro. Mediante las alternativas de valorización de residuos desarrolladas por eCycling se logra recuperar en forma segura alrededor del 95% en peso de un equipo, evitando que componentes peligrosas terminen dispuestas en rellenos sanitarios o sometidas a tratamientos informales.

El servicio de Gestión Integral de Residuos Electrónicos ofrecido por **eCycling** incluye:

1. Recolección de los medidores en el sitio de almacenamiento designado por ENELCOL en Bucaramanga, y su traslado hasta las instalaciones de **eCycling** en Medellín.

**NOTA:** **eCycling** trabaja en alianza con operadores logísticos especializados que nos permiten ofrecer una gran flexibilidad en la programación de recogida, plena trazabilidad de los activos durante el transporte, y tiempos de respuesta ágiles. Coordinamos el proceso completo para garantizar el retiro de activos; no obstante y en caso que ENELCOL lo prefiera, podrá asumir el envío de los equipos y entregarlos directamente en nuestras instalaciones, garantizando unas condiciones mínimas de seguridad. En este último caso, sólo se factura el costo del tratamiento certificado.

2. Reporte de Trazabilidad de Activos de Tecnología: una vez los equipos llegan a las instalaciones de eCycling, generamos un reporte inicial con la homologación de inventarios cantidades correspondientes en número de unidades y/o peso recibidas en planta, según el estado de los equipos y sus partes, así como detalles de la operación logística, como un primer seguimiento a la cadena de custodia.

3. Certificado de disposición final de residuos electrónicos: reporte de las cantidades de material recuperado mediante reciclaje, su destino final, confirmación de que los inventarios de activos electrónicos han sido destruidos y dispuestos en forma segura, ambientalmente sostenible y en cumplimiento de la normativa vigente.

4. Por solicitud del(los) interesado(s) puede proveerse registro fotográfico del proceso

La siguiente tabla indica el manejo específico dado a cada una de las corrientes de material contenidas en los medidores eléctricos.

MATERIAL	CLASIFICACIÓN	DESTINO
Circuito impresos	Peligroso (Dec. 4741 de 2005)	Tratamiento mecánico/eléctrico/magnético para la separación controlada de la fracción plástica-cerámica y la fracción metálica presente en los circuitos. Proceso que no genera subproductos y permite recuperar dos corrientes de material (bronce y agregado para construcción). Desarrollo propio de eCycling aprobado por la autoridad ambiental.
ABS (*con presencia de retardantes)	*Peligroso (Dec. 4741 de 2005)	Se verifica si hay mezcla con otros plásticos. El ABS puro puede reintroducirse en la industria eléctrica luego de ser procesado mecánicamente. No obstante en este tipo de dispositivos suele presentarse mezcla con otros polímeros y presencia de retardantes. Dos alternativas: elaboración de aglomerados plásticos y/o mezcla para construcción (ambos son desarrollos propios de eCycling con empresas aliadas y seguimiento de la autoridad).
Cableado (con aislante de PVC y organoclorados)	Peligroso (Dec. 4741 de 2005)	Separación de la fracción aislante y la metálica. Proceso mecánico, eléctrico sin generación de subproductos (similar al utilizado para circuitos).
Batería Litio	Peligroso (Dec. 4741 de 2005)	Se separan de cada medidor. Se tienen dos opciones: retorno a fabricantes (Res. 1297 de 2010) o encapsulamiento y disposición en celdas de seguridad.
DISPLAY	No definido	Se separa, se procesa mecánicamente. Debido a su pequeña cantidad puede manejarse en mezcla junto con vidrio de pantallas de TRC que también procesa eCycling para una aplicación cerámica (desarrollo eCycling con seguimiento de la autoridad).
Políester	Potencial peligroso en mezcla con otros componentes	Se verifica si hay mezcla con otros plásticos. Aplicación similar al ABS
Metal ferroso	No peligroso	Separación y embalaje para envío a siderurgia. Bobinas
	No peligroso	Separación y embalaje para envío a siderurgia. Aluminio
	No peligroso	Separación y embalaje para envío a siderurgia.
Siliconas/cauchos	No se liberan	Residuo no aprovechable de carácter no peligroso. Se dispone en un relleno sanitario.

Se ha definido un costo por el servicio de disposición final, el cual tiene en cuenta tanto los ingresos por recuperación de materias primas comercializables, como el tratamiento de aquellas componentes que no son de interés comercial pero sí ambiental, mano de obra, entre otros.

El costo se ha definido en función del peso de los dispositivos, esto es, una tarifa por kilogramo, a lo que se suman los costos del transporte desde Bucaramanga a Medellín, según se indica en la siguiente tabla.

ITEM	No. Unidades	Peso Uni (Kg)	Peso total (Kg)	Tarifa (\$/Kg)	Costo Total
Medidor eléctrico	1.000	1,70	1.700	\$ 1.100	\$ 1.870.000
Costo transporte Bucaramanga a Medellín					\$ 950.000

Total	\$ 2.820.000
IVA	\$ 451.200
Costo total	\$ 3.271.200

\* No incluye personal o maquinaria de apoyo para el cargue en el sitio, en caso de que sea solicitado puede suministrarse un cotero para apoyar el cargue, el cual tendrá un costo adicional.

La aprobación de la presente propuesta de servicio debe considerar los siguientes puntos:

1. ENELCOL debe entregar a eCycling los equipos electrónicos empacados para su manipulación adecuada en las operaciones de cargue, transporte y descargue, así como para el acopio en planta. Como opciones de empaque pueden considerarse:

Cajas de cartón cerradas, guacales, contenedores plásticos, apilamiento con película adhesiva sobre estiba u otros similares. Es indispensable aprovechar al máximo el espacio en las cajas o contenedores, llenando de manera segura con los dispositivos dados de baja, a fin de evitar por ejemplo rotura, liberación de partes, exposición de elementos cortopunzantes, etc.

Este procedimiento es de obligatorio cumplimiento debido a la condición que tienen los residuos electrónicos como residuos con componentes potencialmente peligrosos, por lo que deben manejarse en unas condiciones mínimas de seguridad. Aparte, el proceso de cadena de custodia implica hacer seguimiento a las unidades cargadas y recibidas para su manejo posterior en forma independiente.

2. eCycling coordina el proceso de recolección e informa a ENELCOL los datos del operador logístico que llegará a sus instalaciones, así como la programación de recogida.

3. Luego de recibidos y de realizar la verificación de inventarios correspondiente, los equipos son almacenados durante 1 semana en las mismas condiciones en que se reciben, en caso de presentarse objeciones en la homologación de inventarios o cualquier requerimiento por parte de ENELCOL.

4. Una vez la totalidad de los equipos electrónicos sea procesada y se cancele el pago de la factura correspondiente, se expide el Certificado de Disposición Final de Residuos Electrónicos. ENELCOL podrá realizar seguimiento en todo momento al proceso y solicitar información respecto a la cadena de custodia. Considerando el plazo de pago que se indica más adelante, el tiempo previsto para cerrar el ciclo es de un mes.

FORMA DE PAGO: 30 días calendario posterior a la recepción de factura.

eCycling S.A.S. agradece a ENELCOL el tener en cuenta nuestros servicios como parte de su proceso de selección de proveedores. Destinaremos todos nuestros recursos para responder plenamente a sus necesidades.



**ECORECICLA LTDA**

**PROPUESTA**

**IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA DE RECICLAJE EN  
LA ELECTRIFICADORA DE SANTANDER**

**PROPONENTE  
ECORECICLA LTDA**

**OBJETIVO GENERAL**

Implementar un programa de residuos sólidos reciclables en la  
ELECTRIFICADORA DE SANTANDER

---

Carrera 15 N° 23 – 36  
Teléfono: 6523131 Telefax 6424016  
Bucaramanga - Colombia



## **ECORECICLA LTDA**

### **1. QUIENES SOMOS**

Nuestra empresa se caracteriza por ser una organización que participa de soluciones ambientales en cuanto a la Gestión Integral de los Residuos Reciclables.

Queremos en esta oportunidad dar a conocer nuestro servicio GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS RECICLABLES generados por las IPS y la Industria.

ECORECICLA se proyecta como una empresa innovadora y dedicada al desarrollo de tecnologías, procesos y aplicaciones de la Gestión Integral de los Residuos Reciclables.

### **2. ALGUNOS CLIENTES ACTUALES**

Actualmente nuestros clientes entre otros son empresas como:

En Bucaramanga:

- DANA – TRANSEJES
- DESCONT S.A. E.S.P.
- FOSCAL
- FUNDACION CARDIO VASCULAR DE COLOMBIA
- HOSPITAL DE FLORIDABLANCA
- SERVICLINICOS DROMEDICA
- HOSPITAL UNIVERSITARIO DE SANTANDER
- HOSPITAL UNIVERSITARIO LOS COMUNEROS
- HOSPITAL DE PIEDECUESTA
- ESPUMAS SANTANDER
- COMFENALCO
- LUBRIGRAS
- C.D.M.B.
- A.M.B
- SALUDCOOP REGIONAL SANTANDER



**ECORECICLA LTDA**

En Boyacá:

- E.S.E. HOSPITAL SAN RAFAEL DE TUNJA
- SALUDCOOP - REGIONAL BOYACÁ
- CLÍNICA TUNDAMA
- CLINICA CANCEROLOGICA
- CLÍNICA BOYACÁ

### **3. SERVICIOS**

#### **▪ Servicio de Asesoría y Capacitación en el manejo integral de los residuos reciclables**

- Ecorecicla le ofrece el Programa de **MEJORAMIENTO CONTINUO 2011** el que busca evaluar a través de auditorías que realiza un Ing. Ambiental de la empresa en el correcto manejo de los residuos generados en la empresa.
- Periódicamente, la empresa ofrece conferencias para la asesoría y capacitación de todo el personal de la institución que se encuentre relacionado en el correcto manejo y control de residuos sólidos reciclables. Estos servicios no le generan ningún costo a la empresa, son valores agregados que Ecorecicla Ltda le ofrece a sus clientes.

#### **▪ Gestión Integral de los Residuos**

Recolección, manipulación, transporte, almacenamiento, segregación, transformación o reutilización del residuo para finalmente reincorporarse a la cadena productiva

#### **RECOLECCION Y MANIPULACIÓN DE LOS RESIDUOS GENERADOS EN LA INSTITUCION**

ECORECICLA ofrece la recolección de los residuos reciclables a disponer en el sitio acordado previamente con la institución.

La recolección se realiza con personal conocedor y capacitado en el manejo de los residuos, con la dotación y elementos de protección adecuados.



## **ECORECICLA LTDA**

### **TRANSPORTE**

ECORECICLA le ofrece para la prestación de sus servicios una frecuencia de recolección, previamente acordada con la institución en los días requeridos por ustedes.

### **ALMACENAMIENTO, SEGREGACION, TRANSFORMACION Y REINCORPORACIÓN A LA CADENA PRODUCTIVA**

ECORECICLA a través de su convenio de reciclaje almacena, transforma los residuos y posteriormente son incorporados a la cadena productiva, ayudando así a proteger la salud y el medio ambiente.

## **4. FORMA DE PAGO**

ECORECICLA LTDA les cancela un valor a sus clientes por los residuos reciclables entregados por ustedes, estos valores están descritos en el ítem de ofrecimiento económico que se encuentra a continuación.

La institución debe diligenciar una factura o Cuenta de Cobro por mes, a ECORECICLA LTDA, según la cantidad de residuos que se hayan recogido, este registro se lleva con el manifiesto de recolección que se le deja a la institución cada vez que los operarios de nuestra empresa efectúan una recolección.

En el contrato que se firma entre la institución y ECORECICLA LTDA, se establece que el tiempo en el cual se efectúa el desembolso del dinero son 30 días a partir del recibo de la factura o cuenta de cobro.



**ECORECICLA LTDA**

**5. OFRECIMIENTO ECONÓMICO**

ITEM	MATERIAL RECICLABLE	PROCESOS	UNIDAD	VALOR UNITARIO
1	ALUMINIO	FUNDICION	KG	\$800=
2	CHATARRA	FUNDICION	KG	\$80=
3	POLIESTIRENO	TRITURADO	KG	\$60=
4	ABS	TRITURADO	KG	\$60=

Cabe anotar que EcoRecicla emitirá la certificación de disposición final de los residuos.

La propuesta económica tendrá una validez de 30 días

Agradecemos de antemano la oportunidad que nos brinda para darle a conocer nuestra línea de servicio, para el manejo de material reciclable, esperamos contar con su organización como uno de nuestros mejores clientes.

Cordialmente,



**DANIEL HERNANDEZ QUINTANILLA**  
Gerente

Señores  
**ELECTRIFICADORA DE SANTANDER**  
Bucaramanga

**REF: Cotización Gestión Integral de  
Residuos especiales industriales**

Reciba un cordial saludo.

Dando trámite a su atenta solicitud, cordialmente nos permitimos manifestar nuestra disponibilidad e interés para realizar la Gestión Integral de los Residuos Especiales generados como consecuencia de su actividad.

## **1. NUESTRA EMPRESA**

**DESCONT S.A E.S.P.** somos una empresa de servicios público domiciliario de aseo especial y/o peligroso. Contamos con la **CERTIFICACION ISO 9001:2008**, se caracteriza por ser una organización partícipe de soluciones ambientales en cuanto a la Gestión Integral de Residuos Especiales y Peligrosos. Actualmente, se proyecta como una empresa innovadora y dedicada a la investigación y desarrollo de tecnologías, procesos y aplicaciones en la Gestión Integral de este tipo de residuos, buscando permanentemente el desarrollo del sector en Colombia con un amplio y profundo sentido de la responsabilidad ética, social, ecológica y comercial.

**DESCONT S.A E.S.P.** cuenta con **Licencias Ambientales** de la Corporación Autónoma para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga- CDMB- (Representante del Ministerio del Medio Ambiente en Bucaramanga) con **Número 084/97** emitida mediante resolución 0426 del 21 de Mayo de 1999, resolución 0667 del 3 de Agosto de 2004 y resolución 0134 del 2 de Febrero de 2005. Ellas permiten realizar las actividades de la Gestión Integral de Residuos Especiales y Peligrosos sin interferir con el ecosistema ni con las actividades humanas.



Estas Licencias son **requisito fundamental** para llevar a cabo cada una de las actividades que involucra la Gestión Integral de Residuos Especiales y Peligrosos: recolección, transporte, almacenamiento, tratamiento y disposición final. De esta forma, operamos a nivel nacional contando con todos los permisos y Licencias Ambientales y Legales vigentes exigidos por la Autoridad Ambiental.

## **2. POLIZA DE RESPONSABILIDAD CIVIL EXTRA CONTRACTUAL**

DESCONT S.A. E.S.P. cuenta con una póliza de responsabilidad civil extracontractual que ampara en caso que se presente algún evento durante el transporte, perjuicios producidos por daños personales, daños materiales, por contaminación (daños al ambiente, a los recursos naturales, animales cultivos, bosques, aguas, entre otros) y cualquier otro daño que pudiera generarse por la mercancía peligrosa en caso de accidente.

## **3. TRATAMIENTO Y DISPOSICION FINAL DE LOS RESIDUOS**

DESCONT S.A. E.S.P. gustosamente está en capacidad de recolectar, transportar y tratar sus residuos industriales. La disposición final de estos se realizará en diferentes sitios ambientalmente autorizados bajo estrictas normas de Higiene y Seguridad Industrial sometiéndolos a diferentes tipos de tratamiento como se indica en el cuadro a continuación, cumpliendo así con las exigencias legales impuestas por el Ministerio del Medio Ambiente.

## **4. SUMINISTRO DE INSUMOS**

DESCONT está en capacidad de proveer material e insumos que requiera la Institución para un correcto almacenamiento y manipulación de los residuos generados por su institución. Por ejemplo tambores o recipientes de almacenamiento temporal de diferentes tamaños y sistemas, bolsas de diferentes colores cumpliendo con la reglamentación cromática, guardianes o contenedores en diferentes tamaños de acuerdo a la necesidad del servicio; ya que somos distribuidores exclusivos de muchos de estos insumos.

Igualmente nuestra organización lo puede asesorar sobre el uso adecuado de la clasificación cromática internacional y nacional

## 5. PRECIO

A continuación se relacionan los precios para la gestión integral (recolección, transporte y disposición final) de los residuos especiales industriales generados en su institución y los cuales serán recolectados en la sede de Bucaramanga.

TIPO DE RESIDUO	TRATAMIENTO	PRECIO /Kg
Desecho especial	Incineración	\$2.300 kg
Tarjeta de circuito	Incineración	\$2.300 kg
Bobina	Encapsulamiento	\$2.300 kg
Batería	Encapsulamiento	\$2.300 kg
Display	Incineración	\$2.300 kg

## 6. FORMA DE PAGO

Quince (15) días fecha de factura.

## 7. RECOMENDACIONES

Con el fin de minimizar los riesgos, garantizar la seguridad, proteger la vida y el medio ambiente, de acuerdo con las definiciones y clasificaciones establecidas en la Norma Técnica Colombiana NTC 1692 "Transporte de mercancías peligrosas. Clasificación, etiquetado y rotulado", segunda actualización; indicamos a continuación una serie de requisitos técnicos y de seguridad para el manejo y transporte de mercancías.

Igualmente, manifestamos que con ello damos mayor cumplimiento a las exigencias legales impuestas por el **MINISTERIO DE TRANSPORTE**, según el **Decreto 1609 Julio 31 de 2002**, y el cual aplica a todos los actores que intervienen en la cadena del transporte. Es decir, el remitente y/o dueño de la mercancía, destinatario (personas que utilizan la infraestructura del transporte de acuerdo con lo establecido en el artículo 9° de la Ley 105 de 1993), empresa transportadora, conductor del vehículo y propietario o tenedor del vehículo de transporte de carga.

Por consiguiente,

- Nuestros conductores y ayudantes no pueden realizar labores de empaque o re-embalado de residuos y están autorizados para evaluar las condiciones de la carga y rechazar la recolección y transporte de materiales que no cumplan con lo estipulado.
- Entregar para el transporte, la carga debidamente embalada y envasada.
- Almacenar en contenedores compatibles y adecuados para cada tipo de residuo, evitando fugas y utilizando hasta el 80% de su capacidad.
- Para agilizar la gestión de residuos, evitar demoras y mezclas inadecuadas, recomendamos identificar adecuadamente los contenedores para residuos industriales y peligrosos en general. **La etiqueta debe llevar nombre del residuo, nombre de la empresa generadora, dirección, teléfono, persona responsable.**
- Evitar la combinación de los diferentes tipos de residuos. Esto facilita y agiliza su tratamiento y disposición final. No se debe mezclar metales con fibras, plástico, cartón, vidrio, etc.
- Tubos fluorescentes/bombillas con contenido de mercurio, en lo posible deben estar empacadas en su empaque original (generalmente es de cartón, que se ajusta al tamaño del tubo fluorescente/bombilla de mercurio). De no ser posible, se deben entregar en cajas de cartón o recipientes adecuados al tamaño del tubo fluorescente/bombilla de mercurio, buscando siempre reducir la probabilidad de rompimiento de éstos. En caso de entrega de tubos rotos estos deben entregarse por separado en un recipiente cerrado (puede ser caneca plástica de 55 Gal con tapa). Las cajas deben etiquetarse adecuadamente.
- Baterías/pilas de Cd-Ni, deben entregarse enteras, sin rompimiento de recubrimiento externo. En el caso de que contengan líquidos, deben entregarse sin fugas ni derrames. Si poseen fugas, deben entregarse en un embalaje tal que impida el derrame del líquido al exterior. En el caso de pilas deben entregarse en un embalaje adecuado (cajas de madera o recipientes/canecas plásticas)

## **8. SERVICIO DE ASESORÍAS Y CAPACITACIÓN**

La empresa ofrece conferencias para la asesoría y capacitación de todo el personal de la institución en el correcto manejo de residuos especiales. Este servicio está incluido en el valor de la Gestión Integral.

## **9. CERTIFICACION**

DESCONT S.A. E.S.P. emitirá, si se requiere, una certificación por la gestión integral de los residuos industriales. Las actas de tratamiento y disposición final se entregarán en un término de tres meses.

## **10. CUBRIMIENTO**

Nos encontramos en capacidad de prestar los servicios en las diferentes empresas y regiones a nivel nacional donde Uds. lo requieran.

## **11. VALIDEZ DE LA COTIZACION**

La propuesta económica anterior tiene una validez de 30 días.

## **12. INFORMACION ADICIONAL.**

Una vez se defina o apruebe como válida la propuesta, enviar vía correo, fax o e-mail la orden de servicio relacionando las cantidades de todos los residuos a recolectar y transportar. Igualmente, la dinámica de la prestación del servicio se realizará en acuerdo mutuo.

Cordialmente,



**Johana Suarez**  
**Dpto. de Residuos Industriales**  
**DESCONT S.A. E.S.P.**

**Anexo O. Ahorro en infraestructura**

<b>INGRESOS</b>	
<b>Cambio de Algoritmo 2 a 1 - Conexión Nivel de Tensión 2 - Carga Balanceada.</b>	
<b>Detalle de Ingresos</b>	<b>Valor/Año</b>
Ahorro en Infraestructura	\$ 2.441.986,62
<b>Cambio de Algoritmo 2 a 1 - Conexión Nivel de Tensión 2 - Carga No Balanceada.</b>	
<b>Detalle de Ingresos</b>	<b>Valor/Año</b>
Ahorro en Infraestructura	\$ 2.600.436,13
<b>Cambio de Algoritmo 3 a 1 - Conexión Nivel de Tensión 2 - Carga No Balanceada.</b>	
<b>Detalle de Ingresos</b>	<b>Valor/Año</b>
Ahorro en Infraestructura	\$ 32.561.374,96
<b>TOTAL INGRESOS</b>	<b><u>\$ 37.603.797,71</u></b>