

**ANÁLISIS TÉCNICO Y FINANCIERO PARA EL MEJORAMIENTO DEL
INDICADOR THDV Y LA REDUCCIÓN DE REACTIVOS DEL CLIENTE ITALCOL
PERTENECIENTE A LA LÍNEA CODIESEL DE 34.5KV DE LA SUBESTACIÓN
REAL DE MINAS DE ESSA**

**JHON ALEXIS ANGARITA DONADO
GILBER GABRIEL PACHECO LLAIN
SERGIO FERNANDO PEREZ QUITIAN**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE RECURSOS ENERGETICOS
BUCARAMANGA**

2013

**ANÁLISIS TÉCNICO Y FINANCIERO PARA EL MEJORAMIENTO DEL
INDICADOR THDV Y LA REDUCCIÓN DE REACTIVOS DEL CLIENTE ITALCOL
PERTENECIENTE A LA LÍNEA CODIESEL DE 34.5KV DE LA SUBESTACIÓN
REAL DE MINAS DE ESSA**

**JHON ALEXIS ANGARITA DONADO
GILBER GABRIEL PACHECO LLAIN
SERGIO FERNANDO PEREZ QUITIAN**

Monografía para optar al título de
ESPECIALISTA EN GERENCIA DE RECURSOS ENERGÉTICOS

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE RECURSOS ENERGETICOS
BUCARAMANGA**

2013

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	7
1. DIAGNÓSTICO ACTUAL DEL SISTEMA ELÉCTRICO	8
1.1 ANTECEDENTES	8
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	9
1.3 ANÁLISIS DE MEDIDAS	9
2. ANÁLISIS DE LA SOLUCIÓN TÉCNICA	24
2.1 MARCO TEÓRICO DE LAS PROPUESTAS DE SOLUCIÓN	24
2.2 PROPUESTAS DE SOLUCIÓN	29
2.3 BENEFICIOS Y RIESGOS	36
3. ANÁLISIS FINANCIERO DE LAS PROPUESTAS DE SOLUCIÓN	38
3.1 SISTEMA DE COMPENSACIÓN DE REACTIVOS (PROPUESTA 1)	38
3.1.1 Análisis Financiero Propuesta 1	38
3.1.2 Valor Presente Neto en Función de La Tasa de Interés de Oportunidad (WACC)	42
3.2 COMPENSACIÓN DE REACTIVA Y FILTRO DE ARMÓNICOS (PROPUESTA 2)	43
3.2.1 Análisis Financiero Propuesta 2	43
3.2.2 Valor Presente Neto en Función de la Tasa de Interés de Oportunidad (WACC)	47
4. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LAS PROPUESTAS DE SOLUCIÓN	49
4.1 ANÁLISIS DE SENSIBILIDADES PROPUESTA 1	49
4.2 ANALISIS DE SENSIBILIDADES PROPUESTA 2	51

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	53
BIBLIOGRAFIA	56

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Plano de planta del proyecto ITALCOL	8
Figura 2. Diagrama Unifilar del Sistema Eléctrico Actual ITALCOL	9
Figura 3. Corriente armónica	20
Figura 4. Potencia activa y reactiva	21
Figura 5. Factor de potencia	21
Figura 6. Distorsión total armónica de tensión	22
Figura 7. Distorsión total armónica de corriente	22
Figura 8. Triángulo de potencias	26
Figura 9. Esquema de Conexión del propuesta 1	31
Figura 10. Equipo de compensación reactiva	33
Figura 11. Esquema de Conexión del propuesta 2	34
Figura 12. Equipo de filtro activo de armónicos	34
Figura 13. Valor Presente Neto en función de la tasa de interés de oportunidad propuesta 1	42
Figura 14. Valor Presente Neto en función de la tasa de interés de oportunidad propuesta 2	47
Figura 15. Sensibilidades del Valor Presente Neto propuesta 1	49
Figura 16. Sensibilidades del Valor Presente Neto propuesta 2	51

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Consumo de energía activa Julio de 2012	11
Tabla 2. Consumo de energía reactiva Julio de 2012	12
Tabla 3. Consumo de energía reactiva penalizada Julio de 2012	13
Tabla 4. Consumos de energías Q penalizada promedio	14
Tabla 5. Costos de distribución D nivel de medida III	15
Tabla 6. Valor a pagar a ESSA por consumo penalizado de energía reactiva	15
Tabla 7. Análisis de armónicos	17
Tabla 8. Límites de distorsión de corriente	19
Tabla 9. Ingresos por reducción de corriente armónica	23
Tabla 10. Límites de THDv de tensión según la Norma IEEE 519	28
Tabla 11. Límites para las corrientes armónicas para tensiones de 120 V a 69 kV	29
Tabla 12. Máxima potencia reactiva	31
Tabla 13. Máxima potencia reactiva promedio	32
Tabla 14. Especificaciones filtro ACCUSIN	35
Tabla 15. Valor de la inversión Propuesta 1	39
Tabla 16. Costo de operación y mantenimiento Propuesta 1	40
Tabla 17. Flujo de caja Propuesta 1	41
Tabla 18. Valor de la inversión Propuesta 2	44
Tabla 19. Costo de operación y mantenimiento Propuesta 2	45
Tabla 20. Flujo de caja Propuesta 2	46

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo escrito se refiere al tema de la calidad del suministro de energía eléctrica en la empresa ITALCOL de Bucaramanga Santander, en el cual se definen dos problemas uno de presencia de armónicos en la onda de potencia eléctrica y otro de presencia de reactivos. Lo anterior ocasionando pérdidas económicas para dicha empresa.

Por lo anterior los autores buscan mediante el análisis de variables financieras, la escogencia de una de solución de orden técnico para cada propuesta, respaldada desde un principio por la recolección y análisis de datos históricos relacionados al consumo de energía activa, reactiva y reactiva penalizada, factor de potencia, corrientes armónicas, costos de distribución de energía y estimativos de pérdidas por penalizaciones de reactiva o por consumos de armónicos, hasta llegar al punto en el que mediante valoraciones de beneficios, riesgos, inversión, financiación y el cálculo de VPN, TIR, sensibilidades y análisis de CAE se pueda tomar la decisión más acertada y recomendable sobre qué propuesta ejecutar.

Vale la pena aclarar que, el planteamiento y posterior solución dado al problema por los autores, no implica la implementación de la misma, ya que las obras de infraestructura eléctrica requeridas serán discrecionalidad de la empresa de análisis.

1. DIAGNÓSTICO ACTUAL DEL SISTEMA ELÉCTRICO

1.1 ANTECEDENTES

Para incrementar la sostenibilidad y crecimiento de la empresa ITALCOL se ha venido aumentando la capacidad en sus diferentes plantas de procesadoras de alimentos concentrados.

Esta empresa tiene presencia en Bucaramanga en la zona de la vía a Girón.

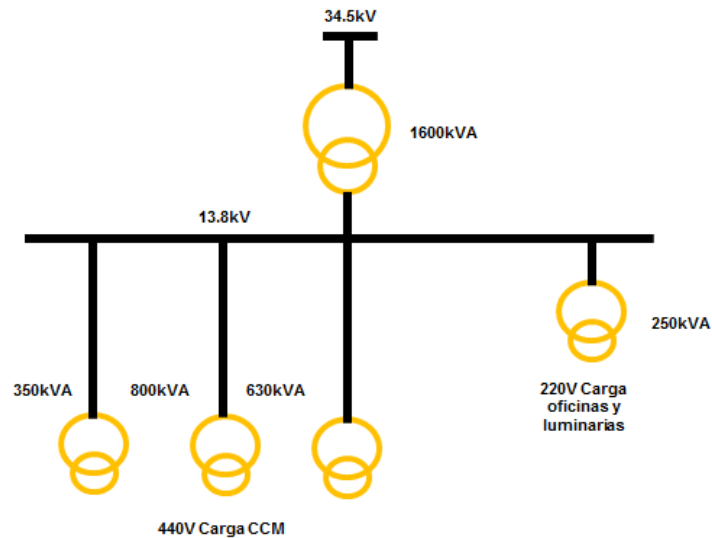
Figura 1. Plano de planta del proyecto ITALCOL



Fuente: Google Earth

El sistema consta de 5 transformadores como se muestra en la Figura 2.

Figura 2. Diagrama Unifilar del Sistema Eléctrico Actual ITALCOL



Fuente: ITALCOL

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El sistema de eléctrico de ITALCOL es de gran importancia para el aumento de la capacidad de producción así como el aseguramiento de la operación.

La energía que alimenta el sistema debe garantizar continuidad y confiabilidad, por lo tanto se debe contar con propuestas de mejoramiento de armónicos y de reducción de reactivos.

1.3 ANÁLISIS DE MEDIDAS

Durante el año 2012 por consumo de energía eléctrica de ITALCOL, facturado por Electrificadora de Santander (ESSA E.S.P), se evidenció una penalización por el consumo de energía reactiva.

A través de la Comercializadora de ITALCOL se hizo certera esta evidencia, cuando se obtuvieron las curvas de consumo mensual de energía activa, reactiva y reactiva penalizada en los meses de Mayo a Julio de 2012, durante las 24 horas del día de la planta de producción, las cuales muestran cómo el consumo de energía reactiva supera el 50% del consumo de energía activa durante los periodos de operación del sistema. Se muestra en la s Tablas 1, 2 y 3 el consumo de energía activa, reactiva y reactiva penalizada del mes de Julio de 2012, para los otros meses no se mostraran las tablas pero sus promedios si hacen parte de la Tabla 4.

Tabla 1. Consumo de energía activa Julio de 2012

		CLIENTE: ITALCOL GIRON														ENERGIA ACTIVA: 411 421.68 kWh/Mes										
		CODIGO: Frr03303														MAXIMO 1212.66		MINIMO 0.00								
		FECHA DE INGRESO:																								
		REAL																								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	TOTAL
1		52.74	52.20	52.20	52.38	52.20	49.50	35.10	37.08	63.90	64.98	66.06	55.08	41.40	52.02	33.66	35.46	34.02	37.80	49.32	49.32	50.04	51.84	52.56	51.30	1172.16
2		51.12	51.48	51.66	48.06	48.60	69.66	226.44	396.00	656.82	888.12	1011.24	1010.16	795.06	787.86	754.56	781.38	769.86	870.84	646.92	790.92	824.94	638.28	68.22	52.74	12290.94
3		52.38	82.80	52.74	50.94	50.76	58.50	565.56	760.86	1045.44	758.52	893.88	946.98	862.38	723.60	593.46	850.68	934.56	962.64	879.48	1009.80	839.16	713.34	233.28	128.16	14049.90
4		258.48	317.16	375.84	292.76	342.72	221.04	581.94	1009.80	1095.30	966.60	1092.06	1116.00	1003.32	1174.14	1053.90	1077.12	1115.46	1057.50	906.66	959.58	702.90	454.14	359.10	368.64	18002.16
5		280.80	206.28	201.06	213.84	268.38	308.70	533.52	629.64	801.54	753.66	900.00	898.74	840.60	819.54	917.64	919.08	901.26	1020.24	883.98	760.50	747.54	644.22	849.78	865.44	16165.98
6		814.32	711.36	245.34	288.72	334.80	338.58	802.62	894.60	1048.14	956.52	981.18	1006.02	1128.14	1109.88	929.88	1061.64	1059.48	1041.12	950.04	956.52	903.78	720.18	251.28	287.82	18831.96
7		225.00	204.12	261.72	314.28	312.66	326.16	738.36	881.28	952.38	1053.90	937.26	806.04	733.14	741.78	892.98	852.66	889.74	670.14	642.96	630.76	683.64	409.50	53.46	51.12	14315.04
8		50.40	50.40	51.12	51.12	51.12	50.04	43.92	40.86	44.82	44.82	45.36	46.08	39.96	38.16	35.46	35.82	44.64	45.90	48.42	49.50	52.56	72.72	241.92	276.12	1551.24
9		235.98	169.20	321.48	253.44	98.82	100.62	421.92	590.04	774.54	778.14	967.14	1064.52	995.76	964.80	1094.58	1147.68	1102.32	809.82	523.44	706.86	1060.74	902.34	477.54	431.10	15992.82
10		291.78	223.56	278.46	364.68	289.26	124.02	370.26	588.24	847.26	856.80	937.08	961.20	776.70	596.16	827.10	890.64	1007.64	1009.08	1031.58	997.74	1062.00	709.02	396.18	219.96	15656.40
11		172.44	349.02	357.12	354.24	353.34	352.80	683.28	848.88	906.12	716.04	847.62	596.34	872.46	1072.98	1037.88	979.92	894.96	1000.86	1044.90	1000.62	333.22	514.62	440.82	434.88	16695.36
12		440.64	432.00	363.06	298.62	198.18	266.04	705.60	885.60	1053.36	907.02	824.40	927.90	1094.94	1163.70	1166.04	1019.52	937.98	945.72	749.52	752.04	693.36	386.10	317.16	357.30	16885.80
13		355.50	356.04	401.04	359.64	304.74	220.32	499.32	917.10	1039.14	822.24	1061.64	1091.88	1005.48	1192.14	1075.68	1079.46	1113.12	1212.66	1055.70	901.08	772.74	741.06	425.70	499.68	19503.10
14		462.24	403.74	351.18	356.76	338.94	335.16	695.88	838.98	820.98	630.18	941.22	1012.68	1080.00	917.10	935.46	974.70	860.76	710.46	582.66	545.22	290.88	163.98	57.42	53.28	14359.86
15		51.84	52.38	52.92	52.92	52.92	52.56	37.98	62.82	43.38	52.38	38.16	39.42	40.14	35.82	34.74	34.74	33.84	38.52	48.96	50.94	49.86	58.68	311.40	342.36	1669.68
16		762.66	802.44	867.78	910.62	891.36	909.54	810.36	702.72	688.14	488.28	529.56	615.06	669.96	678.42	867.42	929.52	1055.34	990.18	829.80	682.74	973.98	934.74	772.74	619.56	18952.92
17		709.56	728.28	518.58	367.74	419.22	367.02	458.28	903.06	922.32	939.24	1015.02	965.34	883.26	874.26	897.66	841.50	852.12	996.66	971.28	987.30	1051.38	995.76	1022.22	867.24	19554.30
18		572.22	577.26	472.32	229.50	209.16	248.58	628.38	821.88	806.22	660.60	748.98	972.72	1061.82	1018.08	968.04	980.64	1122.30	1123.56	936.90	908.82	997.74	823.58	426.78	191.88	17607.96
19		271.26	335.52	360.54	357.12	361.80	360.18	760.86	927.36	837.00	631.62	759.24	817.20	988.74	1101.24	586.08	385.38	734.76	901.08	912.42	970.20	902.16	826.92	796.14	734.94	16619.76
20		774.36	554.22	94.50	93.60	92.70	77.58	36.00	44.46	64.80	65.34	66.60	67.32	48.24	35.28	33.12	32.22	31.50	37.08	46.98	47.70	47.88	47.34	48.24	48.06	2535.12
21		48.42	48.24	47.88	48.24	63.36	90.00	83.52	222.30	360.00	345.96	565.20	995.76	943.92	943.38	863.10	949.32	984.60	918.00	928.98	845.28	739.98	658.62	58.32	47.52	11799.90
22		48.42	48.96	47.70	47.52	47.70	45.18	31.86	44.28	63.18	63.54	64.26	65.34	65.70	65.52	62.28	34.02	34.02	39.24	48.96	50.04	67.68	86.22	547.02	827.46	2546.10
23		800.28	815.58	946.80	884.16	849.78	820.44	735.12	745.20	748.08	745.02	974.16	922.76	799.74	774.72	678.96	778.14	986.76	754.74	781.56	802.80	829.62	814.68	848.88	820.98	19668.96
24		897.12	972.90	448.74	445.86	449.28	412.20	577.98	727.20	819.00	832.50	1085.76	1080.00	1062.90	1036.26	1025.82	1057.32	1089.54	917.46	971.10	965.16	910.44	971.82	787.14	718.38	20261.88
25		712.44	596.52	378.36	423.54	444.42	436.68	873.54	959.04	1038.60	906.66	894.06	715.50	910.62	985.50	917.28	941.94	797.94	734.76	712.80	972.72	960.84	934.74	668.34	459.90	18376.74
26		442.98	317.34	238.50	283.68	340.56	214.92	603.36	785.34	967.86	976.14	1101.06	903.42	1068.12	1151.64	1076.76	1043.46	1042.02	958.32	938.34	1019.16	984.78	956.52	771.66	512.10	18698.04
27		471.60	327.78	213.30	108.00	177.12	223.74	633.78	632.70	889.38	911.16	971.46	965.88	946.08	946.80	990.72	1034.82	889.82	917.46	969.48	1060.02	1013.22	1000.80	713.16	947.34	18055.62
28		808.92	370.98	350.82	375.84	368.10	304.38	428.22	678.24	968.04	964.08	937.80	938.34	1007.82	928.26	977.40	939.78	929.70	819.54	752.40	691.74	490.32	347.04	158.76	216.36	15752.88
29		330.48	334.44	349.20	337.86	284.94	317.52	180.54	174.96	174.96	216.54	283.86	242.10	207.18	253.08	307.80	322.38	323.28	327.96	339.12	341.10	340.02	233.64	289.62	658.26	7170.84
30		845.82	696.60	821.16	831.96	881.28	860.22	860.04	990.00	891.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7678.26
31																										0.00
TOT		12292.20	11188.80	9573.12	9197.64	8978.22	8561.88	14642.54	18740.52	21421.88	18966.60	21541.32	21855.78	21982.58	22182.12	21635.46	22010.94	22673.34	21899.34	20184.66	20556.18	19877.40	16912.44	12444.84	12089.88	
PROMEDIO POR TIPO DE DÍA																										
OR		508.13	478.59	397.84	375.63	367.88	346.09	607.09	768.19	864.17	732.11	832.55	832.24	851.46	870.96	836.90	852.53	888.44	871.05	804.80	823.07	814.37	709.60	530.31	475.67	
SA		386.15	256.77	252.90	273.78	270.77	263.93	486.50	655.20	775.35	748.53	845.37	938.21	941.22	882.63	917.24	929.12	916.20	779.54	726.75	690.75	551.21	394.79	81.99	92.07	
DO		106.78	107.68	110.62	108.36	97.78	102.96	65.88	72.00	78.05	88.45	99.54	89.60	78.88	88.92	94.79	92.48	93.96	97.88	106.96	108.18	112.03	100.62	288.50	431.10	
FE		51.12	51.48	51.66	48.06	48.60	69.66	226.44	396.00	656.82	888.12	1011.24	1010.16	795.06	787.86	754.56	781.38	769.86	870.84	646.92	790.92	824.94	638.28	68.22	52.74	

Fuente: Comercializadora ITALCOL

Tabla 2. Consumo de energía reactiva Julio de 2012

		CLIENTE: ITALCOL GIRON																											
		CODIGO: Frr03303		ENERGIA REACTIVA: 156 884.94		KVarh/Mes																							
		FECHA INSCRIPCION: 0 de enero de 1900		MAXIMO 764.64		MINIMO 0.00																							
		HORA																											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	TOTAL			
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	0.54	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90		
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	55.26	119.52	189.54	408.24	550.62	577.26	315.36	314.64	316.62	327.96	270.54	275.76	168.48	211.68	223.20	134.10	0.36	0.00	4459.14			
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	189.36	295.74	516.96	273.42	368.82	492.84	359.46	230.22	165.78	302.58	352.26	388.62	349.02	446.94	330.84	209.88	2.16	0.72	5275.62			
4	26.46	54.18	90.36	94.50	81.00	30.42	200.16	487.44	643.68	473.22	562.14	588.78	484.02	633.78	595.98	568.08	528.66	506.52	344.70	374.40	209.34	129.42	16.74	11.16	7735.14				
5	3.96	1.08	0.00	3.96	2.88	13.32	148.68	159.30	290.16	254.16	382.50	336.42	280.62	286.38	335.34	342.18	356.76	477.36	355.68	264.24	276.48	184.86	342.72	360.18	5959.22				
6	298.44	241.38	4.14	24.48	49.86	53.46	287.28	352.98	480.42	446.22	510.12	510.12	617.94	558.90	426.42	501.30	519.84	470.16	396.00	407.52	371.88	197.82	28.26	41.22	7796.16				
7	11.88	5.76	9.90	37.80	36.18	43.20	262.44	351.54	375.12	492.30	425.70	271.62	196.56	268.20	322.20	291.78	319.86	137.34	152.46	151.92	95.22	0.00	0.00	0.00	4455.00				
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	117.36			
9	38.70	5.22	71.28	18.90	0.00	0.18	112.50	161.82	261.36	219.60	489.24	634.86	532.44	446.22	643.50	711.72	628.82	322.38	110.88	297.00	536.76	390.06	107.82	60.48	6302.74				
10	27.72	7.74	53.46	82.62	34.38	0.54	69.66	165.60	324.18	341.64	512.54	508.32	279.36	163.98	392.58	364.86	416.16	452.52	495.18	429.66	482.76	216.54	36.18	15.84	5875.02				
11	16.02	66.06	73.80	75.96	67.86	59.94	212.76	292.86	367.56	258.84	298.80	161.10	342.90	522.18	476.64	423.80	387.00	487.62	516.60	443.34	310.86	133.38	117.72	61.56	6185.16				
12	57.06	51.30	69.12	46.80	1.26	34.02	237.42	357.84	468.36	373.86	301.86	367.02	558.00	641.16	641.16	527.04	473.94	383.04	206.82	245.16	207.54	56.34	51.12	74.52	6431.76				
13	75.78	72.54	103.32	76.32	44.28	7.92	129.06	351.72	438.12	295.74	491.04	584.64	425.52	683.82	561.06	510.84	540.72	634.50	458.46	332.64	257.76	228.60	100.26	132.48	7537.14				
14	124.02	79.20	90.00	96.48	82.26	75.96	255.78	298.26	258.84	202.14	513.36	570.60	546.12	385.92	405.54	418.68	329.22	241.38	133.56	96.48	18.72	0.54	0.00	0.00	5223.06				
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.26	0.36	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.00	193.68			
16	297.36	311.76	342.18	366.84	331.02	329.40	248.22	243.18	205.38	108.18	139.14	167.58	199.62	243.90	361.80	396.28	514.62	455.58	290.88	205.56	421.56	386.28	230.40	136.08	6922.80				
17	192.42	210.60	103.86	79.38	84.78	99.54	127.44	315.90	342.72	264.14	428.04	495.90	435.42	430.56	339.48	440.46	392.32	456.84	422.82	476.64	533.52	603.18	480.96	308.52	8155.44				
18	200.34	219.96	107.82	28.08	18.72	43.74	196.56	285.30	268.38	177.30	222.12	397.08	447.84	555.66	520.74	405.00	634.32	764.64	461.52	362.16	528.84	544.68	127.98	6.30	7525.08				
19	29.16	56.70	70.92	65.88	70.56	72.72	258.48	335.88	298.62	180.00	230.22	280.26	416.16	684.90	397.98	224.10	411.30	483.66	466.74	539.82	478.98	409.50	392.40	310.86	7165.80				
20	333.54	224.46	0.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	558.72			
21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36	36.72	83.52	69.30	239.22	685.26	658.08	605.34	490.86	573.12	606.42	537.66	513.00	484.92	378.00	332.46	0.00	0.00	0.00	6294.24			
22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	641.52			
23	235.62	302.94	439.20	330.48	284.58	262.98	270.36	267.30	271.08	246.78	497.88	440.64	269.46	259.56	196.02	273.42	502.02	392.58	247.32	259.38	287.46	244.44	273.78	310.68	7365.96				
24	401.04	431.64	415.88	44.46	48.60	34.20	180.54	220.86	271.44	256.50	509.22	719.10	739.98	616.14	479.34	592.20	567.90	401.76	440.64	448.74	415.62	460.26	245.70	205.20	8772.66				
25	205.74	155.16	31.50	54.00	69.12	50.58	396.64	376.20	416.88	324.90	339.66	202.68	360.00	504.54	516.06	448.56	295.48	250.92	229.86	368.10	383.76	426.42	225.00	84.96	6696.72				
26	72.00	13.14	5.76	15.30	48.96	18.36	194.58	250.02	425.88	477.90	569.16	368.46	521.64	628.02	537.66	534.42	632.74	409.50	417.78	467.28	453.96	415.62	274.14	105.12	7907.40				
27	78.12	29.70	0.00	0.18	10.62	19.44	230.22	179.82	329.40	315.36	379.44	438.20	370.80	375.12	426.86	528.48	406.98	345.96	364.86	447.84	405.00	389.88	185.04	321.48	6588.90				
28	225.90	31.14	15.84	14.76	23.94	16.74	76.32	213.12	362.88	405.54	364.14	376.56	403.38	366.30	382.32	353.70	374.04	283.86	283.62	283.08	92.88	32.94	0.18	14.58	4937.76				
29	39.24	42.66	64.62	43.92	21.24	36.90	18.90	5.58	4.32	23.94	44.64	30.60	9.72	11.70	37.26	46.80	47.88	45.90	46.44	45.90	60.84	35.46	82.98	168.84	1016.28				
30	331.92	244.44	258.84	266.22	311.04	305.46	334.26	393.30	343.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2788.56			
31																										0.00			
TOT	3322.44	2858.76	2048.22	1867.32	1723.14	1609.02	4683.24	6519.06	8238.24	6989.76	9361.62	10206.54	9770.58	10417.14	9979.20	10107.36	10549.80	9606.06	7843.32	8104.50	7818.48	6257.88	3771.90	3231.36					
PROMEDIO POR TIPO DE DÍA																													
OR	146.07	135.00	93.39	83.72	77.98	71.81	200.71	274.65	348.18	269.39	361.20	384.71	382.06	423.25	401.22	404.77	430.09	404.21	328.79	340.82	344.65	281.36	161.92	127.37					
SA	90.45	29.03	28.94	37.26	35.60	33.98	148.73	224.91	270.09	292.32	385.61	476.01	451.04	406.44	400.23	409.32	407.39	300.06	263.16	257.63	160.28	115.29	0.05	3.65					
DO	7.85	8.53	12.92	8.78	4.25	7.38	1.37	0.94	4.90	8.93	6.23	1.98	2.34	7.45	9.36	9.58	9.18	9.29	9.18	12.17	7.09	106.60	133.88						
FE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	55.26	119.52	189.54	408.24	550.62	577.26	315.36	314.64	316.62	327.96	270.54	275.76	168.48	211.68	223.20	134.10	0.36	0.00					

Fuente: Comercializadora ITALCOL

Tabla 3. Consumo de energía reactiva penalizada Julio de 2012

		CLIENTE:	ITALCOL GIRON																								
		CODIGO:	Fr03303																	ENERGIA REACTIVA PENALIZADA:	4 467.51	KVarh/Mes					
																			MAXIMO	208.53	MINIMO	0.00					
		HORA																								TOTAL	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	TOTAL	
JULIO 2012	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	45.00	72.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	117.18
	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.35
	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	96.03	16.11	30.78	0.00	46.71	69.03	29.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	288.18
	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.53	7.11	48.87	3.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	79.47
	7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	102.60	34.56	0.00	96.21	137.88	87.66	0.00	0.00	0.00	6.39	0.00	0.00	465.30
	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	45.00	27.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	72.72
	11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.53	59.31	59.14	17.28	4.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	150.21
	13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	38.70	0.00	87.75	23.22	0.00	0.00	28.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	177.84
	14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	42.75	64.26	6.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	113.13
	15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.23	0.00	0.00	0.00	19.71	0.00	0.00	0.00	0.00	7.83	105.30	0.00	0.00	146.07
	18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	46.62	36.72	0.00	73.17	202.86	0.00	0.00	29.97	82.89	0.00	0.00	0.00	472.23
	19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	134.28	104.94	31.41	43.92	33.12	10.53	54.72	27.90	0.00	0.00	0.00	0.00	440.82
	20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	187.38	186.12	133.65	59.31	98.46	114.12	78.66	48.51	62.28	8.01	3.15	0.00	0.00	979.65
	22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.87	0.00	12.87
	23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.64	15.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34.65
	24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	179.10	208.53	98.01	0.00	63.54	23.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	572.31
	25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.79	57.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	69.21
	26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.63	0.00	0.00	0.00	52.20	0.00	12.69	161.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	245.25
	27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.07
	28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	96.03	0.00	197.82	742.41	494.73	674.28	504.99	421.56	517.32	358.02	59.04	117.00	80.10	191.34	12.87	0.00		
PROMEDIO POR TIPO DE DÍA																											
OR	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.57	0.00	5.24	19.93	14.40	25.74	21.22	15.39	19.20	13.30	0.50	2.61	3.43	8.96	0.00	0.00		
SA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.69	62.91	48.06	33.41	14.83	24.62	28.53	19.67	12.13	15.57	2.00	0.79	0.00	0.00		
DO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.57	0.00		
FE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	45.00	72.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		

Fuente: Comercializadora ITALCOL

Tabla 4. Consumos de energías Q penalizada promedio

FECHA CONSUMO	REACTIVA PENALIZADA PROM. kVArh
mar-12	3.4
abr-12	4.2
may-12	3.8
jun-12	11.3
jul-12	6.2
ago-12	7.9
sep-12	7.1
oct-12	8.8
nov-12	33.8
dic-12	20.3
ene-13	6.7
feb-13	7.5
Promedio	10.1

Fuente: Comercializadora ITALCOL

En la Tabla 5. observamos el costo del componente D (distribución) el cual se afecta por la penalización por consumo excesivo de reactiva.

Los costos mostrados son aplicados en el nivel III (34.5 kV) de medida, desde el mes de Enero de 2012 hasta Agosto de 2012. Los costos en el sector comercial /industrial, residencial y del componente D se promedian para un lapso de 8 meses.

Tabla 5. Costos de distribución D nivel de medida III

MES	NIVEL DE MEDIDA	Costo Distribución D
		\$/kWh
ene-12	III	40.0921
feb-12	III	39.5588
mar-12	III	39.9985
abr-12	III	40.2482
may-12	III	40.5913
jun-12	III	41.0431
jul-12	III	41.3099
ago-12	III	40.4594
Promedios		40.4127

Fuente: TARIFAS ESSA E.S.P.

La tarifa de energía activa para el nivel de medida III es de 232 \$/kWh; dato consultado a la comercializadora de ITALCOL en el mes de junio del 2013.

En la Tabla 6 se observa el valor a pagar mensual por consumo penalizado de reactiva el cual asciende a \$256.054 en el periodo de Mayo a Julio de 2012 y el valor estimado a pagar por penalización anual ascendería a la suma de \$3.072.658.

Tabla 6. Valor a pagar a ESSA por consumo penalizado de energía reactiva

INGRESOS POR CALIDAD DEL SERVICIO	
PENALIZACIÓN PROM. HORARIA (kWh)	10.1
COSTO COMP. DE DISTRIBUCIÓN D PROM. (\$/kWh) N3	\$ 40.4127
AHORRO POR NO CONSUMO DE REACTIVA HORARIO	\$ 408
AHORRO POR NO CONSUMO DE REACTIVA DIARIO	\$ 9 796
AHORRO POR NO CONSUMO DE REACTIVA MENSUAL	\$ 293 881.15
AHORRO POR NO CONSUMO DE REACTIVA ANUAL	\$ 3 526 574

Fuente: Autores

Al incrementarse el consumo de energía reactiva, se incrementa la corriente en la instalación, y por lo tanto hay mayores pérdidas de energía en los conductores, transformadores, etc. También, este incremento ocasiona caídas de tensión superiores a las admitidas por los equipos y en consecuencia podrían presentarse sobrecargas, sobrecalentamientos, daños y por consiguiente paradas improductivas en los equipos.

De esta forma, al corregir el Factor de Potencia de la carga mediante la instalación de bancos de condensadores variables, la Potencia Aparente (S) del sistema se reduce debido a la disminución de la Potencia Reactiva (Q) de la misma. Este descenso de Potencia provoca reducción en la corriente de línea demandada por la carga y por ende la optimización del nivel de las pérdidas de línea y del cobre de la instalación ($P_p = I^2R$).

Además la presencia de armónicos en el sistema produce pérdidas por las corrientes armónicas (I_h).

El cálculo de la distorsión de demanda total TDD se realiza teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$TDD = THDI(I_1/I_{max})$$

Donde,

TDD: Distorsión de demanda total

I_1 : Corriente fundamental

I_{max} : Corriente máxima

THDI: Distorsión armónica total de corriente

A continuación se muestra el análisis de armónicos realizado con los datos obtenidos por el equipo Fluke 435 en el transformador de 630 kVA de ITALCOL, en el periodo del 2 al 8 de julio de 2012, el cual se resume en la siguiente tabla:

Tabla 7. Análisis de armónicos

Análisis en Tensión	
THDV	
Percentil 95%	9.34
Armónico 3 de Tensión	
Percentil 95%	0.68
Armónico 5 de Tensión	
Percentil 95%	7.84
Análisis en Corriente	
I max (A)	741
Isc (A)	9000
Isc/I max	12.14
TDD	
Percentil 95%	6.81

Fuente: Autores

La corriente de corto circuito (Isc) se obtiene de la barra de BT (440 V) considerando barraje infinito en el lado de MT (34.5 kV); para lo cual se utiliza la siguiente ecuación:

$$Isc = Scoci / (1.73 * VI); Scoci = Strafo / \mu z$$

Donde,

Isc: Corriente de corto circuito

Scoci: Potencia aparente de corto circuito

VI: Voltaje de línea

Strafo: Potencia aparente del transformador

μz : Impedancia de corto circuito del transformador

La corriente máxima (I_{max}) es obtenida de los datos de corriente del periodo de análisis.

En el análisis de calidad de la potencia se observa deficiencia de la distorsión total armónica de tensión THDV el cual se encuentra superando el límite de 5% según la resolución CREG 024 del 2005. Además se observa que el armónico 5 es el predominante.

De acuerdo a la tabla 8 extraída del estándar IEEE 519 del 2005 se observa que el valor de distorsión de demanda total TDD se encuentra superando el límite de 5% evidenciando una vez más deficiencia en el sistema debido a la alta presencia de armónicos.

Tabla 8. Límites de distorsión de corriente

Table 5-3 – Current Distortion Limits for General Distribution Systems
(120 V Through 69 kV)

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

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

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

*All power generation equipment is limited to these values of current distortion, regardless of actual I_{sc}/I_L .

where

I_{sc} = maximum short-circuit current at PCC.
 I_L = maximum demand load current (fundamental frequency component) at PCC under normal load operating conditions

Fuente: IEEE

El cálculo de la corriente armónica se realizó mediante la información que obtuvimos con el equipo Fluke 435 a través de la siguiente ecuación:

$$I_h = I_{rms} / ((1/THDI)^2 + 1)^{1/2}$$

Donde,

Ih: Corriente armónica

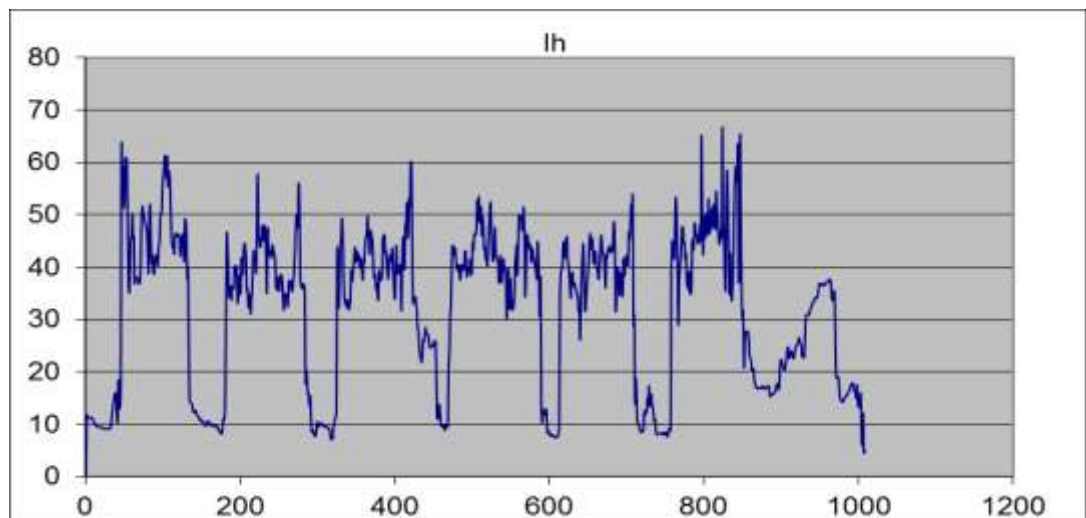
Irms: Corriente eficaz

THDI: Distorsión armónica total de corriente

Esta corriente armónica es calculada con los datos medidos cada 10 minutos de Irms y THDI según el estándar IEC 61000-4-30 clase A.

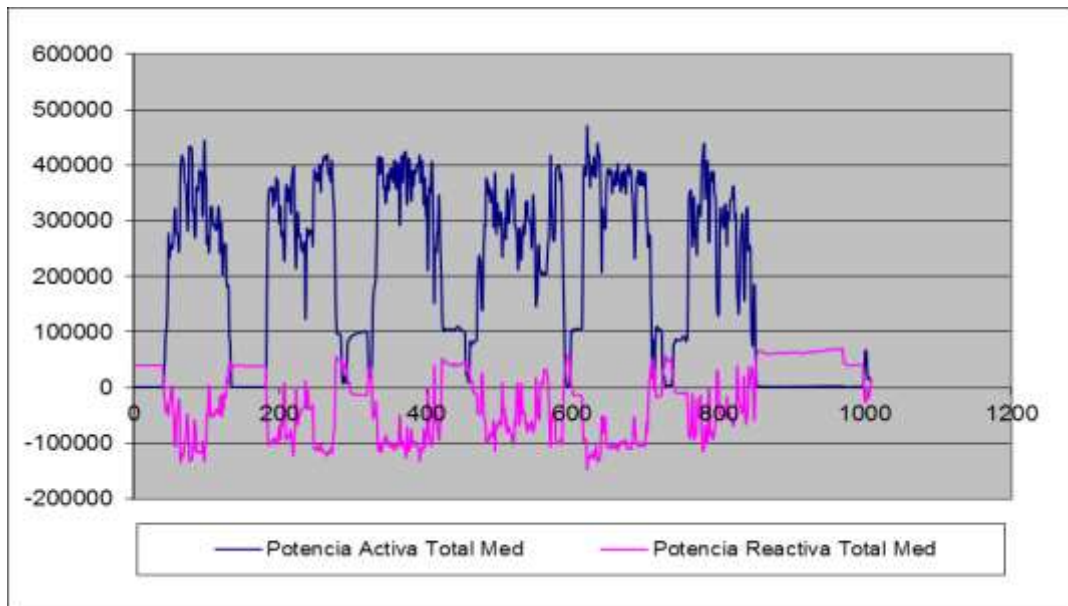
Las siguientes gráficas muestran la presencia de armónicos detectados por el equipo Fluke 435 en el transformador de 630 kVA de ITALCOL en el periodo del 2 al 8 de julio del 2012, 1008 registros:

Figura 3. Corriente armónica



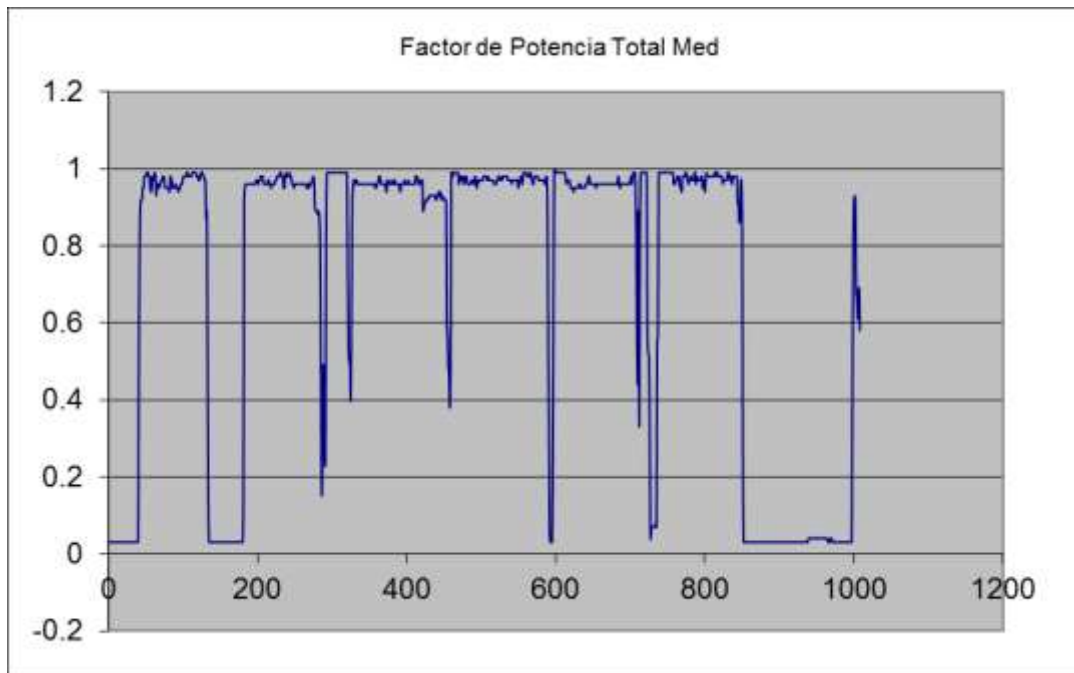
Fuente: Autores

Figura 4. Potencia activa y reactiva



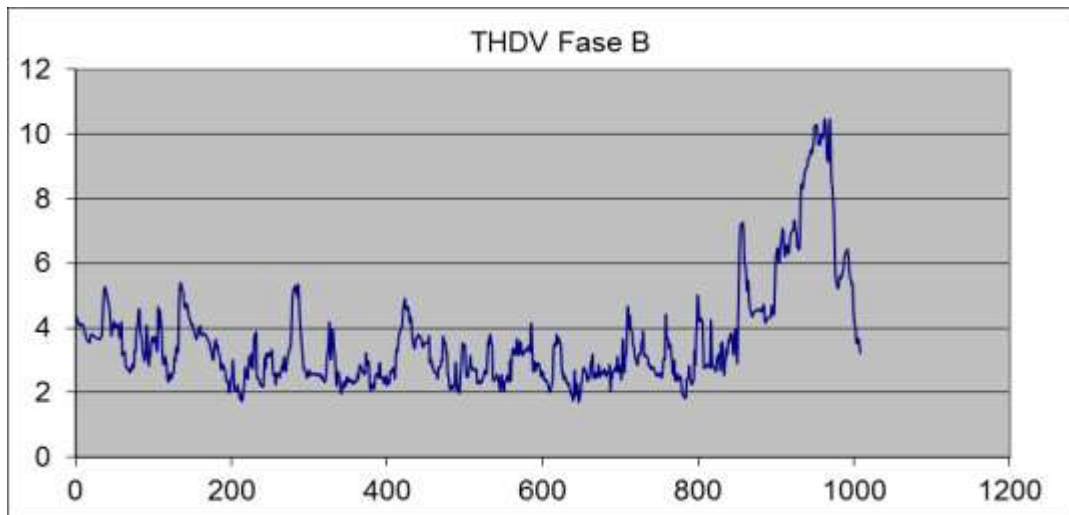
Fuente: Autores

Figura 5. Factor de potencia



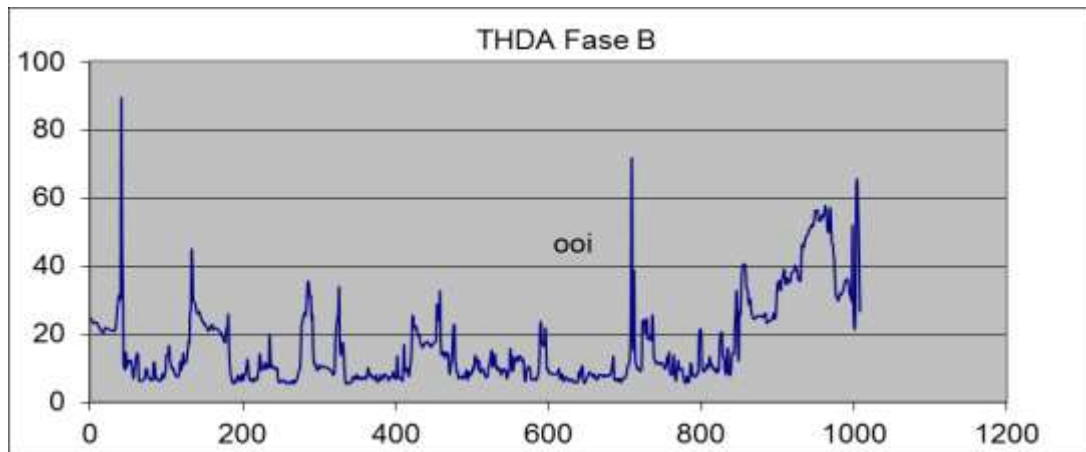
Fuente: Autores

Figura 6. Distorsión total armónica de tensión



Fuente: Autores

Figura 7. Distorsión total armónica de corriente



Fuente: Autores

El valor estimado del ahorro por corregir la corriente armónica se obtienen de acuerdo al valor de la energía disipada por la corriente armónica según los datos del equipo FLUKE 435 en el periodo de análisis, por tanto tenemos la siguiente tabla:

Tabla 9. Ingresos por reducción de corriente armónica

INGRESOS POR REDUCCIÓN DE CORRIENTE ARMÓNICA	
ESTIMADO DE REDUCCIÓN MENSUAL (kWh)	12425.53
TARIFA (\$/kWh) N3	\$ 232
AHORRO POR NO CONSUMO DE ARMÓNICOS MENSUAL	\$ 2.882.723
AHORRO POR NO CONSUMO DE ARMÓNICOS ANUAL	\$ 34.592.675,52

Fuente: Autores

El valor del estimado de reducción mensual de 12425,53 kWh se obtiene através del cálculo de la sumatoria de la energía disipada por la corriente armónica cada 10 minutos de acuerdo a la ecuación:

$$E_h = 1.73 \cdot I_h \cdot V_l \cdot \cos \phi$$

Donde,

I_h : Corriente armónica

V_l : Tensión de línea

$\cos \phi$: Factor de potencia

2. ANÁLISIS DE LA SOLUCIÓN TÉCNICA

2.1 MARCO TEÓRICO DE LAS PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

Cuando se tienen únicamente cargas resistivas en un sistema eléctrico, la corriente se encuentra en fase con la tensión aplicada, por lo tanto, toda la energía se convierte en trabajo efectivo, a este tipo de potencia con la que se produce este trabajo se conoce como potencia activa; pero cuando la carga es de tipo reactivo inductivo, no toda la energía se convierte en trabajo ya que una parte se almacena en forma de campo magnético oscilando de manera permanente entre la fuente y la carga, a esta potencia se le conoce con el nombre de potencia reactiva ó no activa y cumple un papel indispensable en la magnetización de este tipo de cargas.

Por otro lado, es conocido que en instalaciones eléctricas que involucran cargas no lineales, se presentan corrientes armónicas generadas por las mismas, éstas corrientes se encuentra ligadas a la operación de equipos como PCs, PLC, lámparas fluorescentes, hornos de arco, equipos de soldadura etc., y fluyen a través del sistema generando pérdidas de potencia, distorsión de la onda de tensión y corriente, disminución del factor de potencia, entre otros problemas.

Para hacer una aproximación a las pérdidas de los sistemas de potencia por contenido armónico se muestra a continuación la definición de corriente RMS en función del contenido en frecuencia:

$$I_{RMS} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2}$$

Así la corriente RMS total es igual a la raíz de la suma de los cuadrados de los valores RMS de cada componente de corriente. Si en la anterior fórmula extraemos de la sumatoria la componente fundamental, se obtiene:

$$I_{RMS} = \sqrt{I_1^2 + \sum_{n=2}^{\infty} I_n^2} = \sqrt{I_1^2 + I_H^2}$$

De esta manera, la corriente total de la demanda de un sistema crece cuadráticamente con la cantidad de corriente armónica en el sistema. Despejando la corriente armónica tendremos la siguiente expresión:

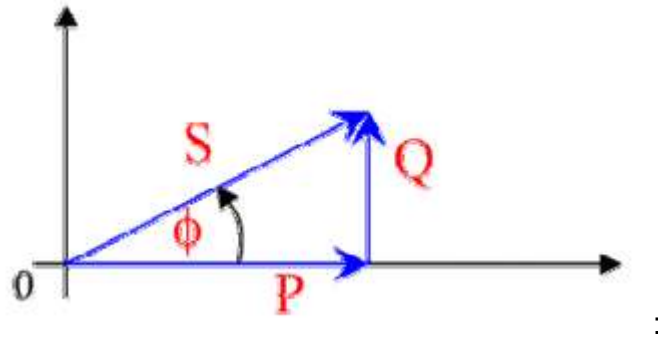
$$I_h = I_{rms} / ((1/THDI)^2 + 1)^{1/2}$$

Factor de Potencia

El llamado triángulo de potencias (Figura 8) es la mejor forma de ver y comprender de forma gráfica qué es el factor de potencia o coseno de "fi" ($\cos \phi$) y su estrecha relación con los restantes tipos de potencia presentes en un circuito eléctrico de corriente alterna de tipo senoidal. Se define como la relación entre la potencia activa y la potencia aparente.

$$FP = P/S = \cos \phi$$

Figura 8. Triángulo de potencias



En donde ϕ es el desfase entre la onda de tensión y la de corriente, este es introducido por la carga, si la carga es inductiva el ángulo ϕ es negativo, en cambio si ϕ es positivo la carga es capacitiva.

Distorsión Armónica Total (THD)

Los armónicos en los sistemas de potencia eléctrica se combinan con la frecuencia fundamental para crear la distorsión.

El nivel de distorsión está directamente relacionado a las frecuencias y amplitudes de las corrientes armónicas. La contribución de todas las frecuencias armónicas de corrientes a la frecuencia fundamental es conocida como “Total harmonic Distortion” (THD) en español: Distorsión Armónica Total. El THD es expresado como un porcentaje de la corriente fundamental, todos los valores de THD sobre 10% son motivo de preocupación. El THD es calculado como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de todos los armónicos dividido por la señal fundamental. Este cálculo da el valor de distorsión como porcentaje de la fundamental. Matemáticamente, el %THD es la relación de la suma de la raíz media de los cuadrados (RMS) del contenido de armónicos con el valor cuadrático

medio (RMS) de la señal fundamental y expresada en porcentaje como se muestra en las siguientes ecuaciones:

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h \neq 1} V_h^2}}{V_1} \cdot 100\%$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h \neq 1} I_h^2}}{I_1} \cdot 100\%$$

Distorsión armónica total de corriente, THDI

Indicador, expresado en porcentaje, del contenido de componentes armónicos en la onda de corriente respecto a la onda de tensión estándar.

Método de medida:

- Clase A (IEC 61000-4-30 de 2008, numeral A.2.5 del Anexo A)
- Intervalo de agregación 10 min

Distorsión armónica total de tensión – THDV

Es un indicador, expresado en porcentaje, del contenido de componentes armónicos en la onda tensión respecto de la onda de tensión estándar.

Método de medida:

- Clase A (IEC 61000-4-30 de 2008, numeral 5.8)
- Intervalo de agregación 10 mins
- Medido en cada fase

Distorsión total de demanda, TDD

Indicador que refleja la importancia de las distorsiones armónicas de corriente respecto a la carga máxima del sistema medido. Se calcula a partir del THDi y los valores de la Magnitud de corriente fundamental (I1) y la corriente de carga de demanda máxima (IL) en el punto de conexión.

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_L}$$

Los límites de distorsión de tensión recomendados por la Norma IEEE 519 son los que se muestran en las tabla 10 y 11.

Tabla 10. Límites de THDv de tensión según la Norma IEEE 519

Tensión nominal	Distorsión Individual de Tensión (%)	THDV Máximo (%)
$V \leq 69\text{kV}$	3.0	5.0
$69\text{kV} < V \leq 161\text{kV}$	1.5	2.5
$V > 161\text{kV}$	1.0	1.5

Fuente: IEEE

Tabla 11. Límites para las corrientes armónicas para tensiones de 120 V a 69 kV

Máxima corriente armónica en porcentaje de la fundamental						
Orden del armónico (impares)						
Isc/IL	< 11	11≤n<17	17≤n<23	23≤n<35	35≤n	TDD
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5
20 – 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8
50 – 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100 - 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Fuente: IEEE

La ISC es la corriente de cortocircuito en el PCC (Punto de conexión común), e IL es la corriente de carga a la frecuencia fundamental en el mismo (ambas dadas en amperios).

2.2 PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

El problema actual tanto de la operación como la alimentación de la planta de producción de ITALCOL se puede resumir así:

Calidad:

- Bajo factor de potencia
- Calidad de onda

Se considera necesario por lo tanto formular y evaluar la realización del proyecto de diseño, adquisición e instalación de un sistema de compensación que atenúe el impacto de la potencia reactiva y otro basado en la reducción de el alto porcentaje de distorsión armónica generados por los motores principales de la planta de producción de ITALCOL, el cual ayudará a evitar pagos excesivos por consumo

por penalización y dará un óptimo funcionamiento a los equipo, por lo tanto una mayor vida útil de los mismos y de la instalación.

La compañía tiene como propósitos:

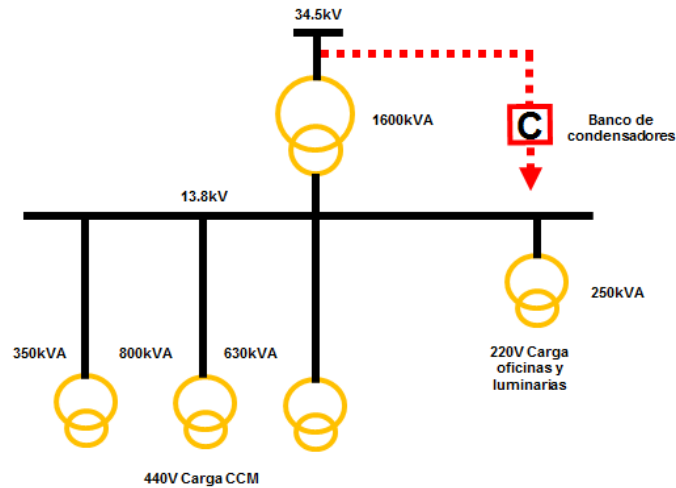
- Disminución gastos por pagos de consumo de energía eléctrica con penalización, disminución de pérdidas por deterioro de la instalación y los equipos y disminución de costos de operación (mejores rendimientos).
- Incrementar a confiabilidad del sistema eléctrico.

Basado en estas directrices y aprovechando los conocimientos adquiridos en la Especialización de Gerencia de Recursos Energéticos, se analizará de manera independiente la posible solución al problema de calidad del servicio; a todas ellas se les hallará sus respectivos valores de VPN, TIR, cálculo de sensibilidades y análisis de CAE el cual nos servirá para realizar la valoración financiera de los proyectos y poder tomar la decisión más acertada.

Conforme a lo anterior, existirán dos problemas a solucionar; el primer problema compensación, mientras que el segundo problema calidad y compensación.

Propuesta 1. Adquisición e instalación de un sistema de compensación de reactivos, como el que se muestra en la Figura 9.

Figura 9. Esquema de Conexión del propuesta 1



Fuente: Autores

La escogencia de este banco de condensadores se hace teniendo en cuenta el valor máximo de la potencia reactiva registrada en el periodo de mayo, junio y julio del 2012 de 866.7 kVAr tal como se observa en la tabla 12.

Tabla 12. Máxima potencia reactiva

Período	Máxima Reactiva Eficaz kVAr
may-12	826.0
jun-12	866.7
jul-12	764.6
Máxima Q	866.7

Fuente: Comercializadora ITALCOL

Además la tabla 13 muestra el consumo de potencia reactiva promedio horario de los meses de marzo del 2012 a febrero del 2013, en donde se refleja que el mes de noviembre del 2012 pudo haber varios picos de reactiva.

Tabla 13. Máxima potencia reactiva promedio

FECHA CONSUMO	POTENCIA REACTIVA PROM. kVArh
mar-12	281.8
abr-12	223.4
may-12	236.8
jun-12	235.5
jul-12	232.1
ago-12	257.4
sep-12	251.6
oct-12	300.0
nov-12	336.2
dic-12	302.6
ene-13	250.3
feb-13	227.1

Fuente: ESSA

Por tal razón la unidad constructiva que técnicamente cubre la necesidad es la N3CR1 compensación reactiva-capacidad final mayor de 1.2 a 2.4 MVA nivel 3 de acuerdo a la Resolución CREG 097 de 2008. Además se considera que como el transformador principal 34500/13800 V tiene una potencia nominal de 1.6 MVA se debe cubrir un mayor rango de reactiva en caso de expansión y aumento.

Comercialmente con el fabricante ARTECHE se tiene la siguiente solución que aplica a nuestra necesidad: Bancos de capacitores tipo poste, estos equipos solucionan la necesidad de regular el voltaje y de corregir el factor de potencia en la gran mayoría de las redes de distribución, los cuales pueden ser suministrados por INELAP en varias versiones, desde únicamente las celdas montadas en una estructura de acero galvanizado por inmersión en caliente, hasta el sistema más completo que puede integrar a las celdas con su estructura, los desconectores en aceite o en vacío, el control automático, los TC's y TP's, así como los

cortacircuitos fusible para la adecuada protección de todo el equipo. Su aplicación también puede cubrir necesidades en la industria para la corrección del Factor de Potencia. Son fabricados en capacidades de 150 a 3600 KVAR y en voltajes de 2,4 a 34,5 kilovolts.

Figura 10. Equipo de compensación reactiva



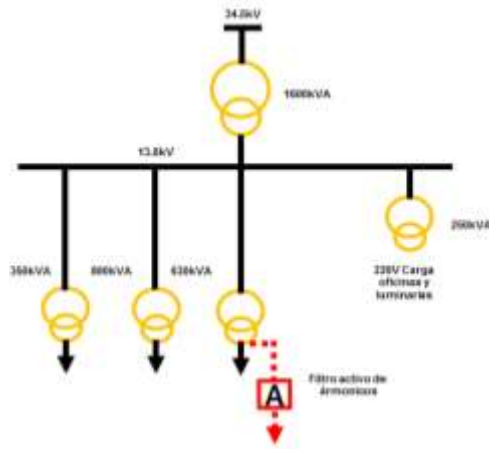
Fuente: Artech

El anterior equipo de compensación reactiva marca ARTECHE tiene un costo aproximado de \$40.463.127 y uno de los proveedores en Colombia es la firma ACJ High Voltage.

Se concluye que el menor costo de adquisición del banco de capacitores se tiene a través del precio referencia indicado en la tabla 15.

Propuesta 2. Adquisición e instalación de un sistema de compensación con filtro de armónicos como el que se muestra en la Figura 11.

Figura 11. Esquema de Conexión del propuesta 2



Fuente: Autores

La escogencia de este filtro activo de armónicos se hace teniendo en cuenta los equipos comercialmente disponibles y considerando la corriente máxima armónica del periodo de análisis que es 60.8 A. Por lo anterior se escoge un filtro marca SCHNEIDER ELECTRIC referencia ACCUSIN de 100 A.

Figura 12. Equipo de filtro activo de armónicos



Fuente: Schneider

En la tabla 14 se pueden observar las especificaciones técnicas del filtro activo de armónicos.

Tabla 14. Especificaciones filtro ACCUSIN

Filtro AccuSine

Capacidad de salida estándar RMS	50A, 100A, 300A
Voltaje nominal	208-480V +/- 10% detección automática
Otros Voltajes	Con transformador
Frecuencia nominal	50/60 Hz +/- 3 Hz detección automática
Número de Fases	3F3H / 3F4H
Electrónica de Potencia	IGBT
Topología	Interfase analógico / digital
Operación con Carga Monofásica	Si
Transformadores de corriente	500 / 5, 1000 / 5, 3000 / 5, 5000 / 5 (400Hz)
Número de CTs requeridos	2 o 3
Compensación de espectro	2do a 50vo armónico
Relación de atenuación	> 10:1
Paralelo de varias unidades	Si, hasta 10 por serie de CTs (cualquier combinación de tamaño)
Ubicación TC	Fuente o carga
Corrección de reactivos	Si
Tiempo de respuesta	100 microsegundos para los cambios de paso de carga, 1 ciclo de respuesta completa
Sobrecarga	Limitada a la de potencia nominal, funcionamiento continuo
Inyección dinámica de corriente instantánea	Hasta 2.25 veces la corriente nominal
Pantalla	Gráfica de 3.8" pantalla QVGA
Idiomas	Inglés, con capacidad de otro idioma
Control	Magells XBT terminal gráfico de pantalla táctil
Parámetros de visualización	<ul style="list-style-type: none"> Tensión AC de la línea, tensión de bus DC, factor de potencia de carga de salida Carga de corriente armónica, carga reactiva de corriente, corriente armónica de salida, corriente de carga corregida Varios códigos de error, puntos de inicio de los parámetros establecidos, pantalla de control de parada
Capacidad de comunicación	Modbus, Modbus TCP / IP
Pérdidas de calor	2150W para 50A, 3700W para 100A, 10,000 W para 300A
Nivel de ruido (ISO 3746)	<80 dB a un metro de la superficie de la unidad.
Color	RAL7032
Temperatura de funcionamiento	0 ° a 40 ° C continuo
Humedad relativa	0 -95% sin condensación
Calificación sísmica	ASCE7 y CIB
Altitud de funcionamiento	<1000m, (otros factores aplican para mayores altitudes @ 10% por cada 1000m)
Protección	NEMA 12, IP30
Opcional: Certificación CE EMC	IEC/EN60439-1, EN61000-6-4 clase A, EN61000-6-2

Fuente: Schneider

El anterior equipo filtro activo de armónicos referencia ACCUSIN tiene un costo promedio de \$ 69'600.000 según precio suministrado por el posible proveedor en Colombia la firma Schneider Electric.

2.3 BENEFICIOS Y RIESGOS

BENEFICIOS

Basado en las graficas (ver figuras 3, 4, 5, 6 y 7) arrojadas por el analizador de redes instalado en el transformador de 630kVA por el lado de 440V, es claro que la adquisición y montaje de un sistema de compensación de reactivos y filtro de armónicos es totalmente necesario para la corrección del factor de potencia y la disminución de armónicos.

En el diseño del filtro de armónicos, se debe considerar el adecuado dimensionamiento del banco de condensadores ya que por efecto de resonancia, el problema puede ser agravado.

La instalación debe cumplir con la normatividad en cuanto a Distorsión armónica (THD) y Factor de potencia (0,9).

RIESGOS

Los factores de riesgo que afectan directamente la implementación de las soluciones planteadas y que serán los empleados para el análisis de sensibilidades son:

- Los gastos AOM.
- Las tarifas de energía eléctrica.
- Los costos de inversión.

- El porcentaje de interés del apalancamiento.
- El valor de salvamento que se considere según el activo analizado.

3. ANÁLISIS FINANCIERO DE LAS PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

3.1 SISTEMA DE COMPENSACIÓN DE REACTIVOS (PROPUESTA 1)

Para esta propuesta se ha diseñado una matriz en Excel (Tabla 17), la cual hace referencia a los criterios tenidos en cuenta como inversión, los ingresos, los costos de operación y mantenimiento, los impuestos, etc.

VALOR DE PROPUESTA 1

La adquisición e instalación de un sistema de compensación de reactivos tiene un valor estimado de COP \$19.526.090. Este costo obedece

3.1.1 Análisis Financiero Propuesta 1

El horizonte de estudio es de 30 años considerando la vida útil del equipo, el ingreso más relevante es el ahorro por no pago de energía reactiva penalizada. Los egresos más relevantes son la adquisición y montaje de los equipos y los costos de operación y mantenimiento del sistema de compensación.

Se calculó el VPN con una tasa de oportunidad (WACC) del 13%, el cual dio como resultado un valor no beneficioso de COP (\$3.121.303), con una TIR del proyecto la cual es de 10.67%.

INVERSIÓN

Tabla 15. Valor de la inversión Propuesta 1

INVERSIÓN	
ADQUISICIÓN	\$ 16 979 209
DISEÑO (5%)	\$ 848 960
MONTAJE (10%)	\$ 1 697 921
TOTAL	\$ 19 526 090

Fuente: Autores

El costo de adquisición mencionado en la tabla 15, se calcula teniendo en cuenta la Q máxima de 866.7 kVAr por el valor unitario \$/kVAr, según la unidad constructiva N3CR1 referenciando precios al IPP del 2012.

INGRESO POR CALIDAD DEL SERVICIO

El costo de distribución promedio D (\$/kWh) en el nivel III, es de \$40,4127 como se observa en la Tabla 5, y la penalización promedio hora por consumo excesivo de energía reactiva (kVARh) es de 10,1, el cual es un promedio de los valores de la columna de penalización de la Tabla 4.

Ahora, el Ahorro por no cobro de energía reactiva penalizada anual resulta del producto de los dos valores anteriores por los 12 meses del año, los 30 días del mes y las 24 horas del día, el cual da un valor \$3.526.574 anuales el cual consideraremos que no variara en el tiempo.

COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Tabla 16. Costo de operación y mantenimiento Propuesta 1

COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	
ADQUISICIÓN BANCO DE CONDENSADORES	\$ 16 979 209
MTTO EQUIPOS Y REPUESTOS (0.5% de la adquisición)	\$ 84 896

Fuente: Autores

Se considera el costo de mantenimiento de los equipos y repuestos para la propuesta 1 como el 0.5% por ciento del valor total de adquisición.

FLUJO DE CAJA PROPUESTA 1

Tabla 17. Flujo de caja Propuesta 1

FLUJO DE CAJA PROBLEMA 1: SOLUCIÓN COMPENSACIÓN REACTIVA. VALORES CONSTANTES AÑO 2012							
Detalle	Años						
	0	1	2	3	4	5	30
Inversión Total (2)	\$ (19.526.090)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Total Banco automático de condensadores 800 KVAR (1+4+5)	\$ (19.526.090)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Diseño (4X5%)	\$ (848.960,43)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Adquisición (4)	\$ (16.979.209)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Montaje (4X10%)	\$ (1.697.920,86)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Ingresos por calidad del servicio (7)	\$ -	\$ 3.526.574	\$ 3.526.574	\$ 3.526.574	\$ 3.526.574	\$ 3.526.574	\$ 3.526.574
Ahorro por no cobro de energía reactiva penalizada anual (Calidad)	\$ -	\$ 3.526.574	\$ 3.526.574	\$ 3.526.574	\$ 3.526.574	\$ 3.526.574	\$ 3.526.574
Costos de operación y mantenimiento (9)	\$ -	\$ (84.896)	\$ (84.896)	\$ (84.896)	\$ (84.896)	\$ (84.896)	\$ (84.896)
Mantenimiento equipos y repuestos (4X0.5%)	\$ -	\$ (84.896)	\$ (84.896)	\$ (84.896)	\$ (84.896)	\$ (84.896)	\$ (84.896)
Depreciación (Metodo linea recta) (4/30 años)	\$ -	\$ (565.974)	\$ (565.974)	\$ (565.974)	\$ (565.974)	\$ (565.974)	\$ (565.974)
Utilidad antes de impuesto (UAI) (1+6+8+10)	\$ (19.526.090)	\$ 2.875.704	\$ 2.875.704	\$ 2.875.704	\$ 2.875.704	\$ 2.875.704	\$ 2.875.704
Impuesto de Renta (33%) (11X33%)	\$ -	\$ (948.982)	\$ (948.982)	\$ (948.982)	\$ (948.982)	\$ (948.982)	\$ (948.982)
Util desp de depr e Impu FLUJO NETO (11+12-10)	\$ (19.526.090)	\$ 2.492.695	\$ 2.492.695	\$ 2.492.695	\$ 2.492.695	\$ 2.492.695	\$ 2.492.695

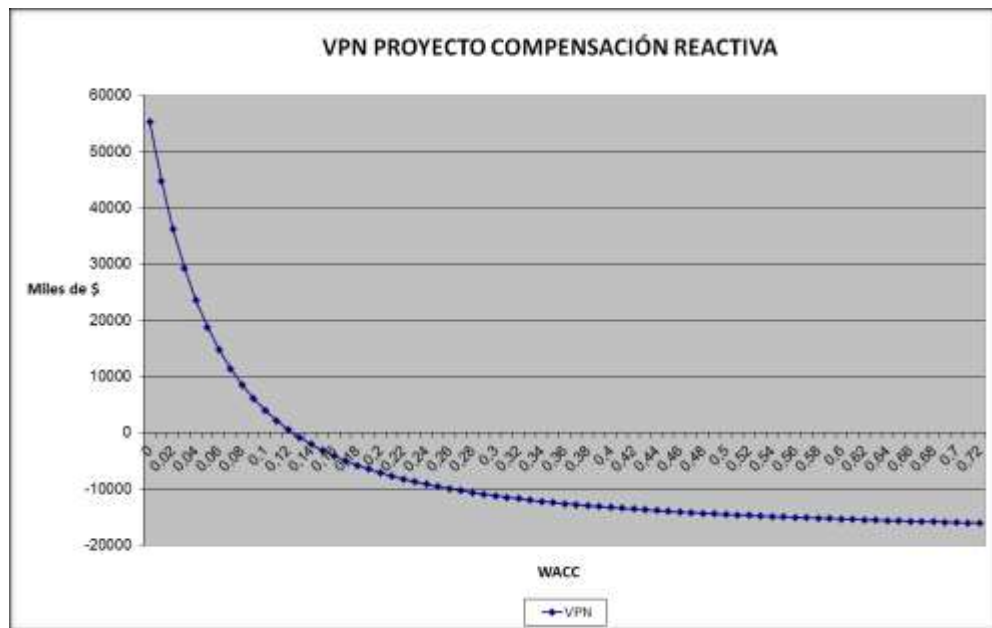
Antes de impuestos		Final - Después de depreciación e impuesto	
TIR	14,47%	TIR	12,38%
VPN (13%)	\$ 2.029.192	VPN (13%)	\$ (841.709)
VPN (0%)	\$ 66.745.036	VPN (0%)	\$ 55.254.773

Fuente: Autores

En el flujo de caja de la propuesta 1 con las consideraciones de inversión, ingresos generados por calidad de servicio, costos de operación y mantenimiento y depreciación se obtiene la utilidad de la inversión en el ciclo de vida del proyecto y nos arroja una TIR de 12,38% con un Valor Presente Neto negativo de COP \$841.790 con un WACC del 13%.

3.1.2 Valor Presente Neto en Función de La Tasa de Interés de Oportunidad (WACC)

Figura 13. Valor Presente Neto en función de la tasa de interés de oportunidad propuesta 1



Fuente: Autores

En la figura 13 se observa la relación entre la tasa de interés de oportunidad (WACC) y el valor presente neto (VPN) del proyecto. La TIR (Tasa de Interés de Retorno) es el punto donde la curva corta el eje de las abscisas, es decir, el punto donde el VPN es igual a cero (el proyecto no genera ganancias ni pérdidas), para valores de WACC mayores a la TIR del proyecto genera pérdidas, mientras que

para valores de WACC menores a la TIR el proyecto genera ganancias y se hace atractivo invertir en el.

3.2 COMPENSACIÓN DE REACTIVA Y FILTRO DE ARMÓNICOS (PROPUESTA 2)

Para esta propuesta se ha diseñado una matriz en Excel (Tabla 20), la cual hace referencia a los criterios tenidos en cuenta como la inversión, los ingresos, los costos de operación y mantenimiento, los impuestos, etc.

VALOR DE PROPUESTA 2

La adquisición e instalación de un sistema de compensación de reactivos y de filtro de armónicos tiene un valor estimado de COP \$97.440.000.

3.2.1 Análisis Financiero Propuesta 2

El horizonte de estudio es de 30 años considerando la vida útil del equipo, el ingreso más relevante es el ahorro por no pago de energía reactiva penalizada y el ahorro por no presencia de corriente armónica.

Para el análisis de la propuesta 2 se asume que la presencia de reactivos penalizados es la misma que el propuesta 1.

Los egresos más relevantes son la adquisición, el montaje cuyo costo es del 30% del valor de la adquisición de los equipos, costos de operación y mantenimiento del sistema de compensación. El alto costo del montaje obedece a la mano de obra calificada que se requiere para la implementación de este sistema, al igual que los requerimientos de equipos y herramienta especializada, materiales adicionales, transporte y anclaje del gabinete.

INVERSIÓN

Tabla 18. Valor de la inversión Propuesta 2

INVERSIÓN	
ADQUISICIÓN	\$ 69 600 000
DISEÑO (10%)	\$ 6 960 000
MONTAJE (30%)	\$ 20 880 000
TOTAL	\$ 97 440 000

Fuente: Autores

INGRESO POR CALIDAD DEL SERVICIO

El costo de distribución promedio D (\$/kWh) en el nivel III, es de \$40,4127 como se observa en la Tabla 6, y la penalización promedio hora por consumo excesivo de energía reactiva (kVARh) es de 10.1, el cual es un promedio de los valores de la columna de penalización de la Tabla 4.

Ahora, el Ahorro por no cobro de energía reactiva penalizada anual resulta del producto de los dos valores anteriores por los 12 meses del año, los 30 días del mes y las 24 horas del día, el cual da un valor \$3.526.574 anuales el cual consideraremos que no variara en el tiempo.

La reducción mensual de energía por eliminación de corrientes armónicas corresponde a 12425.53 kWh, dato extraído del cálculo de energía por corriente armónica I_h según la información del equipo Fluke 435. Además tenemos en cuenta la tarifa de energía activa promedio de nivel III \$232 por lo que obtenemos como se muestra en la tabla 9 un ahorro por el no consumo de armónicos anual \$34.592.675.

COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Tabla 19. Costo de operación y mantenimiento Propuesta 2

COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	
ADQUISICIÓN EQUIPO FILTRO DE ACTIVOS	\$ 69 600 000
MTTO EQUIPOS Y REPUESTOS (1% del valor de adquisición)	\$ 696 000

Fuente: Autores

Se considera el costo de mantenimiento de los equipos y repuestos para la propuesta 2 como el uno (1%) por ciento del valor total de adquisición.

FLUJO DE CAJA PROPUESTA 2

Tabla 20. Flujo de caja Propuesta 2

FLUJO DE CAJA PROBLEMA 2: SOLUCIÓN COMPENSACIÓN REACTIVA Y ARMÓNICOS. VALORES CONSTANTES AÑO 2012

Detalle	Años						
	0	1	2	3	4	5	30
Inversión Total (2)	\$ (97.440.000)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Total equipo filtro activo de armónicos (3+4+5)	\$ (97.440.000)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Diseño (4X10%)	\$ (6.960.000)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Adquisición	\$ (69.600.000)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Montaje (4X30%)	\$ (20.880.000)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Ingresos por calidad de la potencia		\$ 34.592.676	\$ 34.592.676	\$ 34.592.676	\$ 34.592.676	\$ 34.592.676	\$ 34.592.676
Ahorro por no consumo de Ih	\$ -	\$ 34.592.676	\$ 34.592.676	\$ 34.592.676	\$ 34.592.676	\$ 34.592.676	\$ 34.592.676
Ingresos por calidad del servicio (7)	\$ -	\$ 3.526.573,85	\$ 3.526.573,85	\$ 3.526.573,85	\$ 3.526.573,85	\$ 3.526.573,85	\$ 3.526.573,85
Ahorro por no cobro de energía reactiva penalizada anual (Calidad)	\$ -	\$ 3.526.574	\$ 3.526.574	\$ 3.526.574	\$ 3.526.574	\$ 3.526.574	\$ 3.526.574
Penalización promedio horaria (KVAR/H) por consumo excesivo de energía reactiva		72,05	72,05	72,05	72,05	72,05	72,05
Costos de operación y mantenimiento (9)	\$ -	\$ (696.000)	\$ (696.000)	\$ (696.000)	\$ (696.000)	\$ (696.000)	\$ (696.000)
Mantenimiento equipos y repuestos (4X1%)	\$ -	\$ (696.000)	\$ (696.000)	\$ (696.000)	\$ (696.000)	\$ (696.000)	\$ (696.000)
Depreciación (Metodo linea recta) (4/10 años)	\$ -	\$ (2.320.000)	\$ (2.320.000)	\$ (2.320.000)	\$ (2.320.000)	\$ (2.320.000)	\$ (2.320.000)
Utilidad antes de impuesto (UAI) (1+6+8+10)	\$ (97.440.000)	\$ 35.103.249	\$ 35.103.249	\$ 35.103.249	\$ 35.103.249	\$ 35.103.249	\$ 35.103.249
Impuesto de Renta (33%) (11X33%)	\$ -	\$ (11.584.072)	\$ (11.584.072)	\$ (11.584.072)	\$ (11.584.072)	\$ (11.584.072)	\$ (11.584.072)
Util desp de depr e Impu FLUJO NETO (11+12-10)	\$ (97.440.000)	\$ 25.839.177	\$ 25.839.177	\$ 25.839.177	\$ 25.839.177	\$ 25.839.177	\$ 25.839.177

Antes de impuestos	
TIR	36,02%
VPN (13%)	\$ 165.681.792
VPN (0%)	\$ 955.657.481

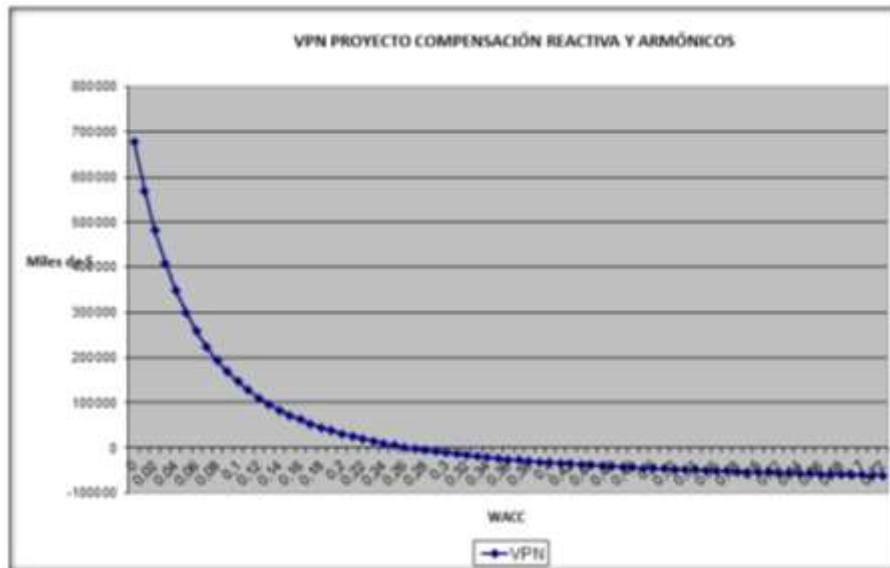
Final - Despues de depreciacion e impuestos	
TIR	26,50%
VPN (13%)	\$ 96.241.517
VPN (0%)	\$ 677.735.312

Fuente: Autores

En el flujo de caja de la propuesta 2 con las consideraciones iniciales de inversión, ingresos generados por calidad de servicio, costos de operación y mantenimiento y depreciación se obtiene la utilidad de la inversión en el ciclo de vida del proyecto y nos arroja una TIR de 26,5% con un Valor Presente Neto negativo de COP \$96'241.517 con un WACC del 13%.

3.2.2 Valor Presente Neto en Función de la Tasa de Interés de Oportunidad (WACC)

Figura 14. Valor Presente Neto en función de la tasa de interés de oportunidad propuesta 2



Fuente: Autores

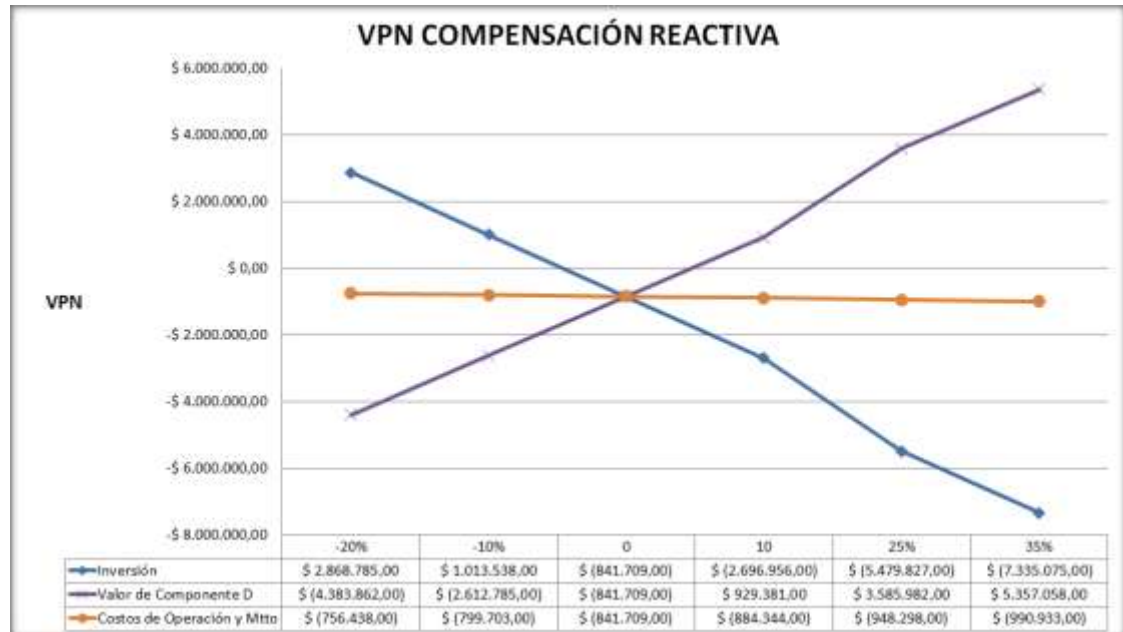
En la figura 14 se observa la relación entre la tasa de interés de oportunidad (WACC) y el valor presente neto (VPN) del proyecto. La TIR (Tasa de Interés de Retorno) es el punto donde la curva corta el eje de las abscisas, es decir, el punto donde el VPN es igual a cero (el proyecto no genera ganancias ni pérdidas), para valores de WACC mayores a la TIR del proyecto este genera pérdidas, mientras

que para valores de WACC menores a la TIR el proyecto genera ganancias y se hace atractivo invertir en el.

4. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LAS PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

4.1 ANÁLISIS DE SENSIBILIDADES PROPUESTA 1

Figura 151. Sensibilidades del Valor Presente Neto propuesta 1



Fuente: Autores

En la figura 15 se observan las sensibilidades con los datos calculados de Valor Presente y Neto y su comportamiento, para estos estudios normalmente se establecen variaciones en el orden de +10% a -10%, en el análisis para la propuesta 1 se consideran variaciones entre el -20% y el 35% para la inversión, el componente D de la Tarifa de energía, y los costos de operación y mantenimiento identificando en este rango más amplio las oportunidades para la favorabilidad del proyecto.

Las variaciones en el estudio de sensibilidad en el intervalo de -20% a 35% son consideradas para efectos de oportunidades en la búsqueda de proveedores en el exterior que ofrezcan un menor valor y cambios en el precio del dólar que

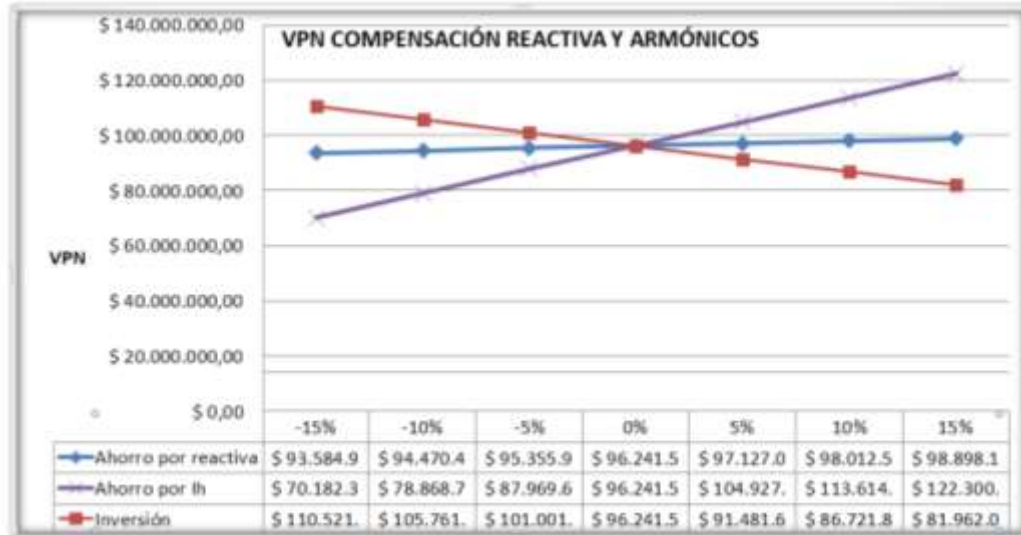
favorezcan o afecten el valor actual de la inversión. El costo D de la tarifa puede variar en diferentes escenarios por reformas introducidas en el modelo que afecten el cálculo en aumento o disminución la tarifa y tecnologías que ofrezcan sistemas con mayor eficiencia. Los costos de operación y mantenimiento pueden verse afectados por fallas en el sistema eléctrico ocasionadas por fenómenos naturales, modos de falla asociados en los equipos que aumenten el valor del ejercicio o controlado y optimizado por estrategias y metodologías que mejoren la confiabilidad de los equipos reduciendo tiempos entre fallas representados en menores costos OAM.

Las variables más sensibles son el valor de la inversión y el componente D de la tarifa. Para la variable inversión se generan grandes cambios en el valor de VPN, para disminuciones de 10% se logra obtener un VPN positivo. La variable del componente D de la tarifa se acerca a un valor de VPN positivo en la media en que aumenta su valor, indicando para incrementos del 10% un VPN positivo.

La variación del AOM no es significativa para los beneficios del proyecto, el comportamiento tiende a ser estable en diferentes escenarios de los costos asociados a la operación y mantenimiento de los equipos.

4.2 ANALISIS DE SENSIBILIDADES PROPUESTA 2

Figura 162. Sensibilidades del Valor Presente Neto propuesta 2



Fuente: Autores

En la gráfica se observan las sensibilidades, con variación entre el -15% y el 15% para el ahorro por reactiva penalizada, el ahorro por corriente armónica lh y para la inversión.

Las variaciones en el estudio de sensibilidad está en intervalos de 5% para las variables inversión, ahorros por reactiva e lh. Para la inversión podríamos disminuir el valor de adquisición con búsqueda de acuerdos con proveedores y fabricantes de estos equipos en el exterior estimando hasta un 15% e descuento obteniendo un VPN de \$110'521.022, para los ahorros por reactiva e lh se estiman bajo cambios en la regulación que indican aumentos en el valor de la tarifa, en las sensibilidades se consideraron las variaciones con el fin de conocer el comportamiento del VPN de acuerdo a estos cambios en las variables.

La variable inversión arroja un comportamiento ascendente en la medida en que disminuye el valor de la inversión.

En el análisis de sensibilidades de las variables de ahorro por reactiva e lh el comportamiento es ascendente al incrementar el valor.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El presente proyecto brinda una metodología para el análisis técnico y financiero de sistemas eléctricos en donde se presentan perturbaciones eléctricas; las cuales son perjudiciales por el incremento de consumo de energía debido a corrientes armónicas y a presencia de reactivos.
- Este proyecto no contempla el daño de equipos eléctricos debido a las perturbaciones de la onda de potencia; razón por la cual si se cuantificará podría cambiar favorablemente la viabilidad financiera de las soluciones estudiadas.
- El valor del componente D (Distribución) de la formula tarifaria de la energía eléctrica es una variable importante para la valoración del proyecto ya que de su valor (que es regulado) dependen los costos que se ahorrará la organización por la no penalización del alto consumo de energía reactiva.
- En todo proyecto eléctrico que se contemple la instalación de filtros L-C para contrarrestar los efectos inductivos y suprimir armónicos, se debe tener en cuenta el efecto de resonancia eléctrica el cual provoca el aumento de las corrientes y los voltajes debido a la alta impedancia que se presenta en el sistema. Este efecto produce calentamiento inherente a las corrientes armónicas, la operación errónea de fusibles y el posible daño o envejecimiento prematuro del equipo.
- El análisis técnico y financiero realizado brinda una herramienta de decisión para la firma ITALCOL en cuanto a los procesos de mejora y modernización de las instalaciones eléctricas; por lo tanto y según los resultados recomendamos la implementación de la propuesta 2.

- La propuesta 1 tiene como fortaleza la facilidad de implementación y bajo costo de los equipos de compensación; sin embargo tiene como debilidad no resolver el problema de presencia de armónicos y no ser viable financieramente.
- La propuesta 2 tiene como fortaleza el ahorro por presencia de armónicos logrando la viabilidad financiera; sin embargo tiene como debilidad el alto costo y dificultad de instalación de los equipos de compensación de armónicos.

Propuesta 1 (Calidad del servicio presencia de reactiva)

- Teniendo en cuenta el análisis financiero realizado, la propuesta de solución del propuesta 1 resuelve el inconveniente de compensación pero no de armónicos al mejorar el factor de potencia y reducir el nivel de reactiva penalizada, sin embargo financieramente no se logra recuperar la inversión a la tasa de oportunidad del inversionista. (En este análisis del 13%).
- El costo de la adquisición e instalación del banco de condensadores que soluciona la propuesta de calidad del servicio en la instalación, es la variable más sensible la cual afecta positiva o negativamente los beneficios financieros del proyecto (VPN). Siendo en este caso un alto costo comparado con el beneficio de la reducción de reactiva penalizada.
- El proyecto puede ser viable financieramente si la inversión disminuye en un 20%.
- La disminución de costos por pagos de consumo de energía eléctrica con penalización ascenderá aproximadamente a los \$3.072.658 anuales gracias a la implementación del sistema de compensación de energía reactiva.

Propuesta 2 (Calidad del servicio presencia de reactiva y armónicos)

- Teniendo en cuenta el análisis financiero realizado, la propuesta de solución del propuesta 2 resuelve el inconveniente de compensación y de armónicos al mejorar el factor de potencia, reducir el nivel de reactiva penalizada y reducir la presencia de armónicos logrando financieramente recuperar la inversión a la tasa de oportunidad del inversionista. (En este análisis del 13%).
- El costo de la adquisición e instalación del filtro activo que soluciona el propuesta 2 en la instalación, es la variable más sensible la cual afecta positiva o negativamente los beneficios financieros del proyecto (VPN). Siendo estos equipos de alto costo, al compararlo con el beneficio de la reducción de reactiva penalizada y armónicos se recupera la inversión.
- La disminución de costos por pagos de consumo de energía eléctrica con penalización de reactiva y de costos por presencia de armónicos ascenderá aproximadamente a los \$38.119.249 anuales gracias a la implementación del sistema de compensación de energía reactiva y armónica.

BIBLIOGRAFIA

1. Amorocho, Enrique, *Gestión y Evaluación de Proyectos de Inversión – Apuntes de Clase*, Especialización en Gerencia de Recursos Energéticos, Marzo de 2010.
2. Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). Resolución 024 de 2005. (Por la cual se modifican las normas de calidad de la potencia eléctrica aplicables a los servicios de Distribución de Energía Eléctrica). Ministerio de Minas y Energía.
3. Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). Resolución 097 de 2008. (Por lo cual se aprueban los principios generales y la metodología para el establecimiento de los cargos por uso de los Sistemas de Transmisión Regional y Distribución Local). Ministerio de Minas y Energía.
4. Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE Std 519 de 1992. (Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems).
5. Jiménez, Giovanni, *Armónicos: Cálculo de la potencia reactiva para la implementación de bancos de condensadores en cargas aisladas*, Febrero de 2008.
6. Revista Mundo Eléctrico. Edición No. 87, El papel de la calidad de energía eléctrica en los sistemas de gestión de energía.