

## **Las Auditorias de Mejora de Proyecto en la fase previa a la contratación: Un caso de estudio en el entorno de la Ingeniería de Organización Industrial.**

**J. Luis Roca<sup>1</sup>, Pedro J.García-Laencina<sup>1</sup>, C. De Nieves<sup>1</sup>, J.Roca-González<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Centro Universitario de la Defensa. C/ Coronel López Peña sn CP 30720 Santiago de la Ribera. jluis.roca@ cud.upct.es , pedroj.garcia@cud.upct.es <sup>2</sup> UPCT. CP. 30202 Cartagena. jroca.gonzalez@upct.es

**Palabras clave:** Auditoría, Mejora de Proyecto, Interpretación Gráfica, Ahorro.

### **1. Antecedentes.**

Dentro del nuevo marco normativo, respaldado por la ley 25/2009 “ley ómnibus”, donde las exigencias técnicas residen en competencias y no sólo en atribuciones, cabe destacar la función del Ingeniero de Organización Industrial como profesional capacitado para la gestión técnica del conocimiento y su presentación ante los impulsores del sector industrial. Estas necesidades se presentan no sólo en la fase tradicional de actuación, esto es, en la realidad de procesos, plantas industriales y empresas ya implantadas donde el Ingeniero de Organización Industrial podía acometer mejoras de innovación, ahorro y eficiencia en base a las correcciones del sistema implantado, sino también en las fases previas de proyecto donde la realidad exige entornos de trabajo multidisciplinares orientados a un mismo fin.

Cada vez más los promotores del sector industrial, y con especial hincapié en épocas de difícil situación económica, buscan implementar el máximo del ahorro antes de acometer la ejecución de un proyecto. Por otra parte la elaboración de un proyecto, tanto si es básico como de ejecución, conlleva el respaldo de un compromiso firmado entre el promotor y la empresa proyectista.

### **2. Situación Actual y Objetivos.**

El promotor cuando decide iniciar su idea empresarial selecciona un proveedor de asistencia técnica que sea capaz de proyectar la realidad buscada por él mismo. En el afán por buscar el equilibrio entre coste de encargo y obtención de máximos beneficios, el promotor suele elegir al proveedor de esta asistencia (empresa proyectista) descartando las ofertas de baja temeraria y las de precios exorbitados.

El problema reside en que una vez firmado el contrato es posible realizarse la siguiente pregunta ¿hasta qué punto está seguro el promotor de que la solución presentada es óptima? la respuesta requiere un paso previo a la realización y materialización del proyecto, esto es la Auditoria de Mejora de Proyecto realizada por un tercer protagonista ajeno a ambas partes.

El promotor espera recibir de este tercer protagonista (la empresa de auditora) una respuesta clara, fácilmente comprensible por él, y que por supuesto suponga un ahorro económico de la mayor cuantía posible. Es precisamente en este punto donde la Ingeniería de Organización Industrial aparece no solo en la identificación de valores de mejora, que puede corresponder a todo un grupo de trabajo multidisciplinar, sino también a la presentación de la información en las condiciones demandadas por el promotor para facilitarle la toma de esta importante decisión (Claridad, Facilidad de Comprensión, y Ahorro económico) e incluso, en ocasiones puede ser necesario desarrollar nuevas herramientas que faciliten la comprensión de aspectos más técnicos de la mejora.

El objetivo de esta comunicación es analizar un caso práctico a través de una auditoría real presentada y realizada por un grupo multidisciplinar de Ingeniería de Organización Industrial

### 3. Ejemplo de aplicación. El caso de estudio.

El caso de estudio consiste en la auditoría de proyectos de electrificación de dos unidades de actuación (nº1 y nº2) de un nuevo Polígono Industrial en desarrollo con objeto de revisar la validez técnica de las soluciones adoptadas, dando cumplimiento a la Legislación Reglamentaria vigente tanto nacional, como local o propia de la compañía suministradora.

El alcance del informe fue la auditoría de los Proyectos de Centro de Reparto, Centros de Transformación, Líneas subterráneas de Media Tensión, Proyecto de red subterránea de Baja Tensión y Proyecto de Alumbrado Público. Las características del suministro eléctrico de la unidad de actuación eran inicialmente:

**Tabla 1.** Datos Iniciales de Partida

Manzana	Superficie (m2)	Potencia (kw)	Manzana	Superf. (m2)	Potencia (kw)
1	8.420,31	1.052,54	13	8.000,00	1.000,00
2	8.000,00	1.000,00	14	8.000,00	1.000,00
3	8.000,00	1.000,00	15	6.812,30	851,54
4	8.000,00	1.000,00	D-1 a D7	--	140,00
5	8.000,00	1.000,00	Alumb. Ext.	35.473,56	54,72
11	8.000,00	1.000,00	Alumb. Ext.	33.609,04	50,41
12	8.000,00	1.000,00	Otros		50,00
<b>Potencia total (kw)</b>					<b>10.199,21</b>

La empresa proyectista contratada elaboró un proyecto inicial, denominado a partir de ahora “**Solución Inicial 1**”, donde predominaba el ahorro sobre otros factores, de forma que se elaboraron los proyectos correspondientes y se tramitaron directamente en los organismos públicos correspondiente, ayuntamiento, Comunidad Autónoma, etc. Todos estos intervinientes contestaron favorablemente excepto u la Compañía Suministradora de Energía Eléctrica, Iberdrola Distribución Eléctrica SAU.

Esta no conformidad, obligó al proyectista a elaborar otro proyecto pero con un margen de tiempo mucho menor para no perjudicar la programación del promotor. La nueva solución proyectada y denominada “**Solución Inicial 2**” se tramitó sin otro particular. Esta corrección afectó al proyecto de la siguiente manera:

- Encarecimiento del proyecto en unos 250.000 €y una demora de cuatro a seis meses en tramitación y gestión administrativa.

Como consecuencia de este perjuicio el promotor solicitó una auditoría externa de proyecto, cuyo resultado se analiza en esta comunicación.

#### 4. Metodología utilizada y Fórmulas empleadas.

Esta auditoría de mejora de proyecto, aplica un procedimiento de descomposición del problema [1], identificando las variables que intervienen en el problema y las restricciones técnicas que imponen los agentes intervinientes.

El problema se divide en los siguientes puntos de control:

- Datos entrada: Potencia Eléctrica a consumir en cada Parcela
- Variables: nº Centro de transformación (CT), metro lineal de Líneas Subterráneas de Media Tensión (LSMT), metro lineal de Líneas Subterráneas de Baja Tensión (LSBT) y metros lineales de zanjas bajo acera (Zanjas) y metros lineales de zanjas bajo Calzada (Cruces). Todos estos parámetros tienen un coste asociado que conforma el coste total del proyecto.
- Restricciones: Las líneas de Baja Tensión solo pueden transportar una potencia definida en función de la distancia del centro a la carga.

Estas restricciones quedan definidas en el manual técnico MT 2.51.01 (03-09) [3] de la compañía eléctrica suministradora, Iberdrola Distribución Eléctrica SAU, donde para la adecuada protección de los cables contra cortocircuitos exigen emplear fusibles de la clase gG. El siguiente cuadro resume la longitud de la línea que realmente queda protegida para distintos calibres del fusible a emplear.

**Tabla 2.** Restricciones de LSBT de Iberdrola Distribución Eléctrica SAU.

Sección y Tipo de Conductor	Intensidad nominal de fusible					
	100A	125A	160A	200A	250A	315A
RV 0,6/1 kV 4 x 50 Al	190	155	115			
RV 0,6/1 kV 3 x 95 + 1 x 50 Al	255	205	155	120		
RV 0,6/1 kV 3 x 150 + 1 x 95 Al	470	380	285	215	165	
<b>RV 0,6/1 kV 3 x 240 + 1 x 150 Al</b>	-	<b>605</b>	<b>455</b>	<b>345</b>	<b>260</b>	<b>195</b>
	Longitud Máxima en metros					

La compañía eléctrica suministradora para el tipo de instalación objeto de la auditoría solo autoriza utilizar conductor de 240mm<sup>2</sup> de sección, por lo que la máxima potencia que una línea de baja tensión sería la correspondiente a un calibre normalizado de 315 A, esto es 196,4 kW, y a una distancia de 195m.

- Objetivo: El objetivo del problema es aprovechar al máximo la Potencia que puede poner en servicio el centro de transformación diseñando y minimizar el coste económico posible (menor nº Centros, menor m.l. de LSBT y menor m.l. de zanjas y cruces)
- Fórmulas: se aplican las siguientes fórmulas.

$$C = \frac{\sum_i^j P_i}{P_{\max CT}} \quad [1]$$

$$P_{Cn} = \sum_i^j P_i^j \leq P_{\max CT} \quad [2]$$

$$P_{BT} = \sum P_i^j \leq P_{\max \text{ LSBT}} (196.4 \text{ kW}) \quad [3]$$

$$\text{Max} P_{Cn} : \text{Min} \sum (L_{\text{LSBT}}) \cdot \epsilon_L + n \cdot \epsilon_{CT} \quad [4]$$

C es el número teórico de centros de Transformación que hacen falta para dotar de suministro a todas las parcelas.  $P_i$  es la potencia de cada parcela en kW.

$P_{\max CT}$  es la potencia total (kW) computable del centro de transformación configurado y  $P_{Cn}$  es, para cada centro, la potencia real (kW) que suministra a las parcelas.

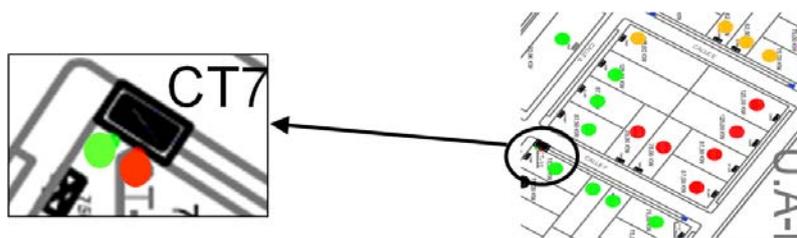
PBT es la potencia que transporta cada línea de baja tensión, la máxima potencia que puede suministrar cada una de las líneas de cada centro será menor que el valor que fija la compañía suministradora.

$L_{\text{LSBT}}$  son los metros lineales de las líneas subterráneas de baja tensión.  $\epsilon_L$  y  $\epsilon_{CT}$  son el valor en euros de los ml. de las líneas y de cada centro de transformación.

Las alternativas se diseñan dejando fijas las cajas generales de protección (CGP) de las parcelas y respetando no ubicar ningún centro de transformación ni en las entradas ni en las salidas de vehículos, zonas ajardinadas o en parcelas de poca fachada libre o acceso al vial colindante. El proceso se resume a continuación:

- 1) En primer lugar se selecciona se ubica el primer centro, después se asignan a ese CT parcelas hasta llegar al límite de la capacidad de potencia o al límite de la distancia de las líneas de baja tensión,
- 2) Para ubicar los siguientes centros se empiezan a asignar parcelas a dos líneas de BT (anillo1 del CT), cuando se llega al límite de la potencia de éstas, se prolonga la distancia hasta llegar al límite de la distancia. En este punto se ubica el siguiente Centro
- 3) Se repite el proceso hasta dotar de suministro a todas las parcelas.

Para obtener una representación gráfica que facilite su comprensión, se identifica mediante un código de colores las parcelas a las que da suministro eléctrico cada CT, en los casos en los que el centro tiene dos máquinas se asigna un color a cada una de ellas. En la figura siguiente se muestra en color verde todas las parcelas a las que da suministro la máquina 1 del CT7 y en rojo las parcelas a las que da suministro la máquina 2.



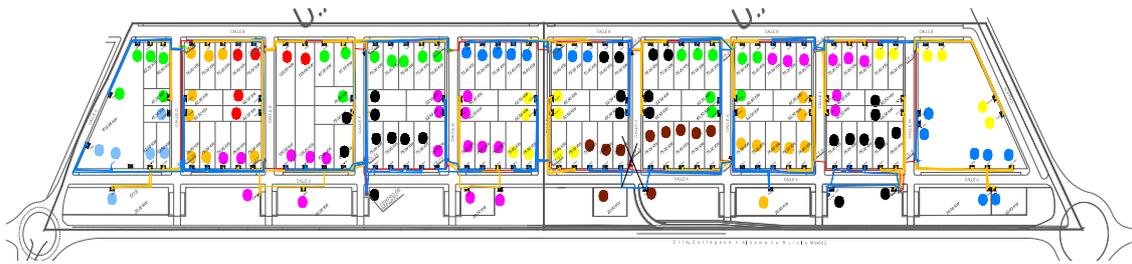
**Figura 1.** Ejemplo gráfico de representación de asignación de cargas a los CTs.

## 5. Presentación de Alternativas.

Se plantearon tres soluciones posibles, denominadas Opción 1, Opción 2 y Opción 3, y posteriormente se presentaron junto con su diseño gráfico para facilitar su interpretación. Las tres opciones presentan puntos de mejora que se centran no sólo en distintos caminos de trazado y asignación de cargas de las líneas subterráneas de baja tensión, sino también en las

soluciones comerciales que se pueden emplear al seleccionar distintos tipos de centros de transformación normalizados.

**La opción 1**, consiste en aplicar el proceso de diseño definido en el apartado anterior de forma que la potencia máxima por línea no supere los 196,4 kW utilizando el fusible de 315A para cada una. Se consigue así eliminar un CT gracias al rediseño de la Red de baja tensión. No obstante se requeriría del visto bueno de la compañía suministradora, y sobre todo de la autorización expresa, al disponer de 4 salidas de BT para cada centro compacto de 400 KVA (Según normativa en 2009 solo permitían para esta potencia usar 3 de las 4 salidas que tenía el centro).



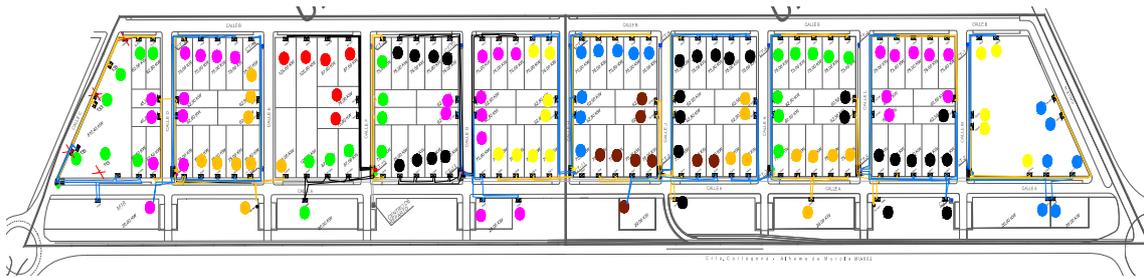
**Figura 2.** Sistema gráfico de representación de asignación de cargas a los CTs. Opción 1.

**La opción 2**, similar a la opción 1 pero variando la potencia que se puede emplear en algún Centro de Transformación, utilizando en vez de 400KVA uno de 630 KVA por ejemplo. Se requeriría de igual forma el visto bueno de la compañía suministradora, y sobre todo de la autorización expresa al disponer de 4 salidas de BT para cada centro compacto de 400 KVA (De igual forma y según normativa en 2009 solo permitían para esta potencia usar 3 de las 4 salidas que tenía el centro).



**Figura 3.** Sistema gráfico de representación de asignación de cargas a los CTs. Opción 2.

**La opción 3**, Esta opción contempla emplear otro tipo de Centro de Transformación, en concreto el tipo PFU-5 con capacidad para dos máquinas de transformación. Se emplearía ocho centros de (400+400kVA) y uno de (400KVA) Este centro no requeriría de ninguna autorización adicional a la elemental de la compañía suministradora



**Figura 4.** Sistema gráfico de representación de asignación de cargas a los CTs. Opción 3.

## 6. Medición y Valoración de Alternativas.

Como datos de partida y con objeto de homogenizar y validar resultados, se emplearon presupuestos aportados por contratistas de Obra al promotor, extrayendo de los mismos el importe económico de las partidas definidas en la presente valoración. En concreto se dividieron, las partidas según la siguiente clasificación,

- **CT.** Engloba esta partida la descripción del Centro de Transformación empleado, incluyendo toda la apartamentada, edificio prefabricado y máquinas de transformación, red de tierras interior y exterior, etc. (No se efectúa la medicación del centro de reparto por ser una partida igual en todas las mediciones y computar de igual forma en todas ellas).
- **LSBT m.l. 3x240+1x150mm<sup>2</sup>.** Esta partida describe los metros lineales máximos de Conductor de Baja tensión, calculados para la longitud de la red diseñada incluyendo ml adicionales para interconexión de CGPs y Cuadro de Bt de cada C.T.
- **Zanjas 4BT m.l. Zanja 4BT+2MT.** m.l de Zanja para cuatro líneas de baja tensión y zanja para 4 líneas de baja tensión y dos de media tensión.
- **Zanjas 2BT m.l. Zanja 2BT+2MT** m.l de Zanja para cuatro líneas de baja tensión y zanja para 4 líneas de baja tensión y dos de media tensión.
- **Cruces BT m.l. cruce 4BT.** Se consideran los cruces que afectan al alcance de cada centro de transformación para cada opción planteada.
- **LSMT. m.l. 3x240 HEPRZ1.** Contempla los metros lineales de conductor de línea subterránea de mediante tensión de forma que todos los centros queden anillados, incluidos el centro de reparto y en el entronque con la red existente.
- **Zanja 2MT Zanja 2 MT.** Computan en esta partida sólo los cruzamientos de calzada, por considerar que el resto de Zanjas está incluido en la medición de la red de baja tensión.
- **Cruces BT m.l. cruce 4BT.** Se consideran los cruces de calzada de 4 líneas de baja tensión de cada diseño.

**Tabla 3.** Presupuesto Solución Inicial 1.

<b>PARTIDA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UD</b>	<b>P/U (€)</b>	<b>SUMA (€)</b>
CT1	PFU-5 (630+400)	5	49.935,0	249.675,0
CT2	PFU-5 (630+250)	1	48.104,0	48.104,0
LSBT	m.l. 3x240+1x150mm2	11.872	19,3	228.661,5
Zanjas 4BT	m.l. Zanja 4BT+2MT	2.501	16,0	40.016,0
Zanjas 2BT	m.l. Zanja 2BT+2MT	1.072	14,0	15.008,0
Cruces BT	m.l. cruce 4BT	194	80,0	15.520,0
LSMT	m.l. 3x240 HEPRZ1	1.644	43,0	70.642,7
Zanja 2MT	Zanja 2 MT.	763	54,8	41.827,7
			<b>TOTAL</b>	<b>709.454,8</b>

**Tabla 4.** Presupuesto Solución Inicial 2.

<b>PARTIDA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UD</b>	<b>P/U (€)</b>	<b>SUMA (€)</b>
CT2	400 kvA M-G	19	27.625,9	524.892,1
LSBT	m.l. 3x240+1x150mm2	7.837	19,3	150.944,5
Zanjas 4BT	m.l. Zanja 4BT+2MT	2.204	56,6	124.680,3
Zanjas 2BT	m.l. Zanja 2BT+2MT	945	14,0	13.230,0
Cruces BT	m.l. cruce 4BT	448	80,0	35.840,0
LSMT	m.l. 3x240 HEPRZ1	2.280	43,0	97.971,6
Zanja 2MT	Zanja 2 MT.	60	54,8	3.289,2
			<b>TOTAL</b>	<b>950.847,7</b>

Para cada alternativa se efectuó la medición correspondiente y se valoraron los costes asociados. Las siguientes tablas muestran los resultados correspondientes a una de las alternativas.

**Tabla 5.** Ejemplo de Recopilación de Resultados para la Opción1

<b>PARTIDA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UD</b>	<b>P/U (€)</b>	<b>SUMA (€)</b>
<b>CT</b>	400 KVA M-G	18	27.625,9	497.265,7
<b>LSBT</b>	m.l. 3x240+1x150mm2	8.590	19,3	165.443,4
<b>Zanjas 4BT</b>	m.l. Zanja 4BT+2MT	2.470	16,0	39.513,6
<b>Zanjas 2BT</b>	m.l. Zanja 2BT+2MT	2.117	14,0	29.635,2
<b>Cruces BT</b>	m.l. cruce 4BT	351	80,0	28.080,0
<b>LSMT</b>	m.l. 3x240 HEPRZ1	2.400	43,0	103.128,0
<b>Zanja 2MT</b>	Zanja 2 MT.	95	54,8	5.206,0
			<b>TOTAL</b>	<b>868.271,9</b>

**Tabla 6.** Ejemplo de Recopilación de Resultados para la Opción2

<b>PARTIDA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UD</b>	<b>P/U (€)</b>	<b>SUMA (€)</b>
<b>CT1</b>	400 kVA M-G	16	27.625,9	442.014,4
<b>CT2</b>	630 kVA M-G	1	31.000,0	31.000,0
<b>LSBT</b>	m.l. 3x240+1x150mm2	<b>7.892</b>	19,3	151.999,9
<b>Zanjas 4BT</b>	m.l. Zanja 4BT+2MT	2.333	16,0	37.328,0
<b>Zanjas 2BT</b>	m.l. Zanja 2BT+2MT	2.000	14,0	28.000,0
<b>Cruces BT</b>	m.l. cruce 4BT	351	80,0	28.080,0
<b>LSMT</b>	m.l. 3x240 HEPRZ1	2.400	43,0	103.128,0
<b>Zanja 2MT</b>	Zanja 2 MT.	95	54,8	5.206,0
			<b>TOTAL</b>	<b>826.756,3</b>

**Tabla 7.** Ejemplo de Recopilación de Resultados para la Opción3

<b>PARTIDA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UD</b>	<b>P/U (€)</b>	<b>SUMA (€)</b>
CT1	PFU-5 (400+400)	8	47.368,0	378.944,0
CT2	PFU-5 (400)	1	26.500,0	26.500,0
LSBT	m.l. 3x240+1x150mm2	<b>12.975</b>	19,3	249.898,5
Zanjas 4BT	m.l. Zanja 4BT+2MT	2.332	16,0	37.318,4
Zanjas 2BT	m.l. Zanja 2BT+2MT	2.000	14,0	28.000,0
Cruces BT	m.l. cruce 4BT	351	80,0	28.080,0
LSMT	m.l. 3x240 HEPRZ1	2.114	43,0	90.838,6
Zanja 2MT	Zanja 2 MT.	95	54,8	5.207,9
			<b>TOTAL</b>	<b>844.787,4</b>

**Tabla 8.** Resumen de Presupuestos.

<b>RESUMEN PRESUPUESTOS</b>	<b>VALORACIÓN TOTAL. (€)</b>
OPCIÓN 1	868.271,9
OPCIÓN 2	826.756,3
OPCIÓN 3	844.787,4
SOLUCIÓN INICIAL 1 (NO VÁLIDA)	709.454,8
SOLUCIÓN INICIAL 2	950.847,7

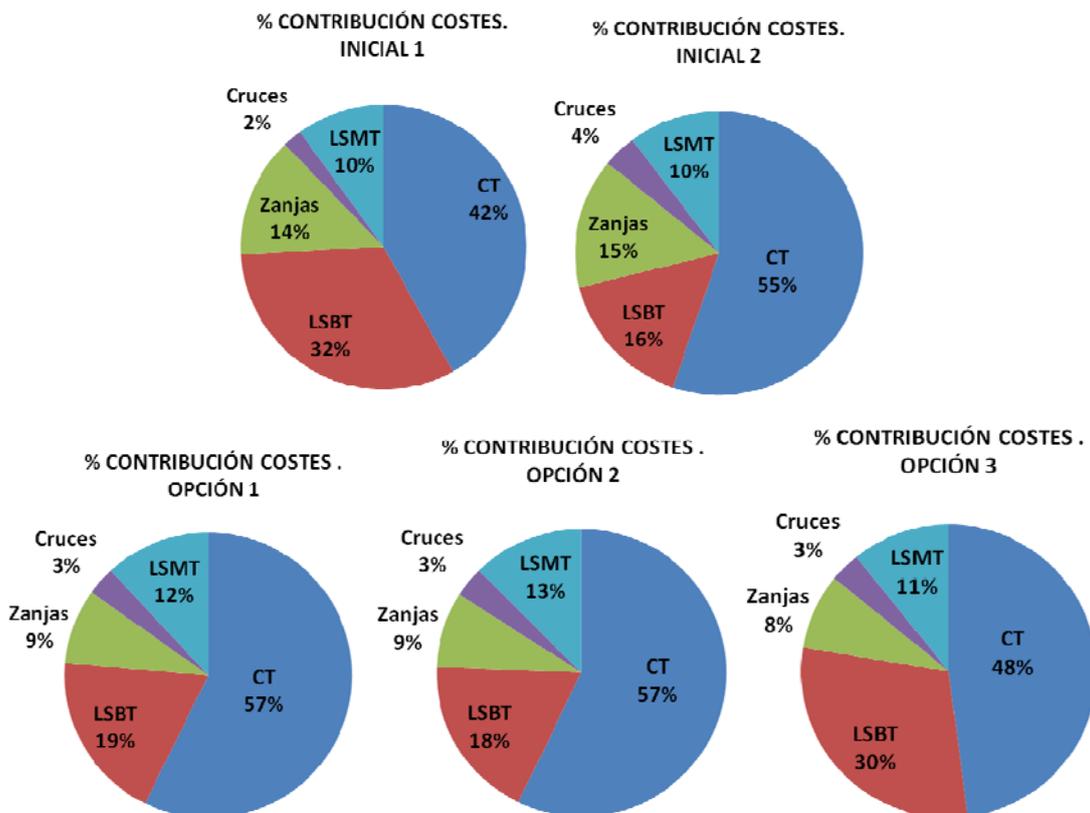
## 7. Resumen de resultados Obtenidos y Representación Gráfica.

– **La Opción 1** supondría un Ahorro de **82.575,8 €** Esta opción conlleva eliminar un CT, gracias a un rediseño de la Red de baja tensión de forma que la potencia máxima por línea no supere los 196,4 kW correspondiente al fusible de 315A a colocar para cada línea. Se requeriría del visto bueno de la compañía suministradora, y sobre todo de la autorización expresa, al disponer de 4 salidas de BT para cada centro compacto de 400 KVA (Según normativa solo permiten para esta potencia, 3 salidas).

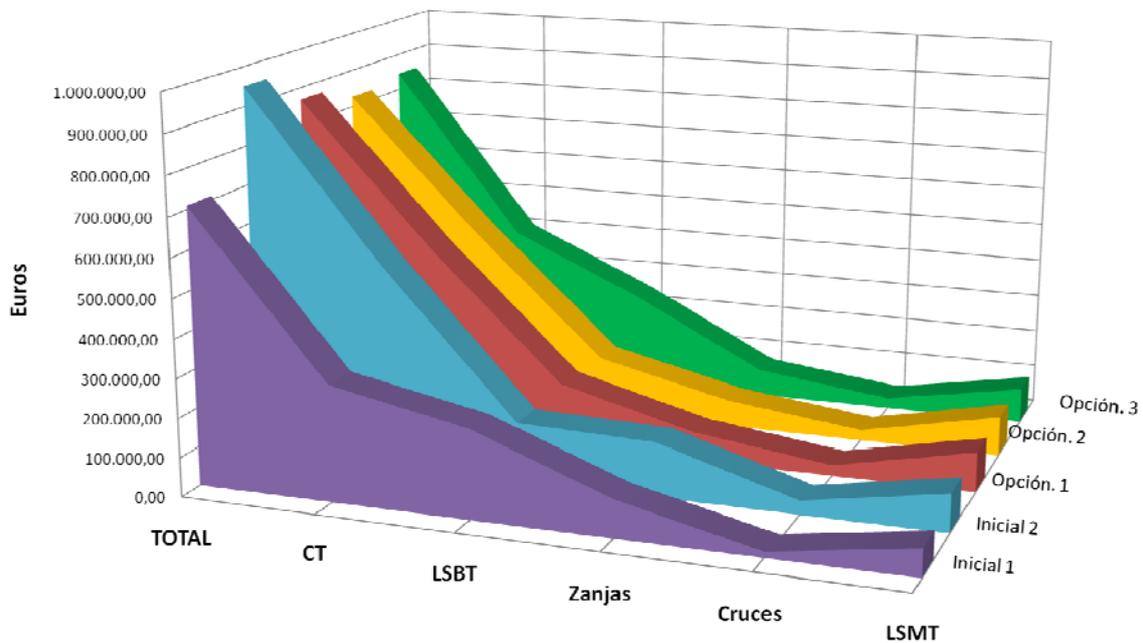
– **La Opción 2** supondría un Ahorro de **124.091,4 €** Esta opción contempla eliminar dos CT y cambiar una máquina de 400 KVA a otra de 630 KVA. Se requeriría de igual forma el visto bueno de la compañía suministradora, y sobre todo de la autorización expresa al disponer de 4 salidas de BT para cada centro compacto de 400 KVA (Según normativa solo permiten para esta potencia, 3 salidas)

– **La Opción 3** supondría un Ahorro de **106.060,4 €** Esta opción contempla emplear otro tipo de Centro de Transformación, en concreto PFU-5 con capacidad para dos máquinas de transformación. Se emplearía ocho centros de (400+400kVA) y uno de (400KVA). Este centro no requeriría de ninguna autorización adicional.

La contribución de costes de cada una de estas partidas, agrupando los costes de zanjas y conductores de baja tensión queda resumido en los siguientes gráficos:



**Figura 5.** Comparativa del reparto de costes % sobre el total de cada opción.



**Figura 6.** Comparativa del reparto de costes en Euros sobre el total de cada opción.

En cualquier caso se concluye que la opción más económica, por alcanzar un equilibrio entre el coste del número de centros de transformación y el coste con respecto al incremento de la red de baja tensión es la Opción 3, la cual aporta la máxima rapidez en la tramitación administrativa al ser una opción en consonancia con los requerimientos técnicos que favorecen una gestión directa por parte de los organismo involucrados.

El Ahorro final sobre el proyecto inicial sería de 106.060,4 Euros, cifra más que interesante, como para justificar junto con la contratación de cualquier proyecto, la contratación de una Auditoria Externas. Siendo esta última conclusión el objeto del campo de acción de la Ingeniera de Organización Industrial, donde se busca siempre la máxima eficiencia en cualquier actividad del Sector Industrial [2].

## Referencias

- [1]A.R. Ruskin, The project management audit: its role and conduct. Engineering Management International, volume 2, issue 4, July 1984, Pages 279-28.
- [2]J.R. Turner, The Handbook of Project-based Management: Leading Strategic Change in Organizations, McGraw-Hill (2009).
- [3] Iberdrola Distribución Eléctrica SAU, Proyecto Tipo de Redes Subterráneas de Baja Tensión". Manual Técnico MT. 2.51.01 (03-09) (2009).