ACTIVIDAD 5. ESTABLECER CIRCUITOS RAMALES, PROTECCIONES Y COORDINACIÓN

DURACION DE LA ACTIVIDAD: 2 Sesiones

Materiales de formación devolutivos: (Equipos/Herramientas)			Materiales de formación(consumibles)			Ambientes de aprendizaje
Descripción	**Cant.**		**Descripción**	**Cant.**		
- Computador	Und	1	Materiales: video Beam – marcadores borrables			Ambiente 1: Electricidad básica



En el diseño de instalaciones eléctricas, una de las tareas más importantes, repetitivas y decisivas es el cálculo y selección de conductores que suministrarán energía eléctrica las cargas conectadas a la misma. De la precisión con la que se realice el cálculo y la selección de los conductores depende, en buena medida, la seguridad y el buen funcionamiento de la instalación, así como el costo de la inversión inicial y de los gastos de operación y mantenimiento.

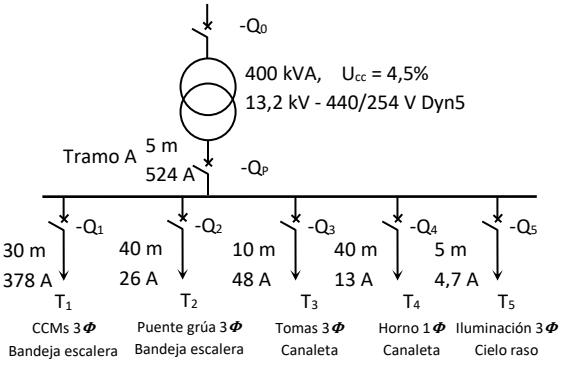
Esta actividad lo llevará a analizar a grandes rasgos los principales criterios que deben tenerse en cuenta al calcular y seleccionar conductores para instalaciones eléctricas de baja tensión. Se tratarán aspectos como la determinación de la ampacidad, el cálculo de las caída de tensión y las corrientes de corto circuito. Se incluye el manejo de tablas y fórmulas y conceptos de diseño.

Tratemos de cuestionarnos sobre las siguientes preguntas y reflexionemos si conocemos su respuesta:

¿Cómo se determina la sección de los conductores que se van a utilizar en bandejas y canaletas?

¿Cómo se determina la caída de tensión en los conductores y las corrientes de cortocircuito en los circuitos ramales?

Necesitamos ahora calcular los conductores que llevarán las corrientes básicas para cada uno de los circuitos y la corriente del alimentador principal o acometida. Para ello partimos de que usted ya tiene los cálculos de demanda de la instalación, el transformador ya está escogido para suplir las necesidades y las corrientes de cada circuito están ya determinadas. Tenemos entonces los siguientes datos que vienen desde el problema planteado con la planta de tratamiento de agua:



Actividades de apropiación del conocimiento.

1. DETERMINAR LA SECCION DE LOS CONDUCTORES

Para obtener la sección de los **conductores de las fases**, debemos tener en cuenta la norma colombiana **NTC 2050,** básicamente la **artículo 210** comienza hablando de los circuitos ramales y menciona que para los siguientes casos particulares se debe consultar un capítulo en especial de acuerdo al tipo de carga:

	Sección	Artículo
Anuncios eléctricos e iluminación de contorno		600-6
Ascensores, montacargas, escaleras y pasillos móviles; ascensores y elevadores para sillas de ruedas		620-61
Casas móviles, casas prefabricadas y estacionamientos para casas móviles	550	
Circuitos de Clase 1, Clase 2 y Clase 3 de control remoto, de señalización y de potencia limitada	725	
Circuitos y equipos que funcionan a menos de 50 V	720	
Computadores/equipos de procesamiento de datos		645-5
Conductos de barras		364-9
Cuadros de distribución y paneles de distribución		384-32
Distribución de potencia en lazo cerrado y programada	780	
Equipo de aire acondicionado y refrigeración		440-6
		440-31
		440-32
Equipo de calefacción central, excepto equipo de calefacción eléctrica fija de ambiente		422-7
Equipo de calefacción eléctrica fija de ambiente		424-3
Equipo de calefacción industrial por lámparas de infrarrojos		422-15
		424-3
Equipo de calefacción por inducción y pérdidas en el dieléctrico	665	
Equipo eléctrico exterior fijo de deshielo y fusión de la nieve		426-6
Equipos de grabación de sonido y similares		640-6
Equipos de rayos X		660-2
		517-73
Estudios de cine y de televisión y lugares similares	530	
Grúas y elevadores		610-42
Motores, circuitos de motores y controladores	430	
Órganos eléctricos de tubos		650-6
Puertos y embarcaderos		555-4
Sistemas de alarma contra incendios	760	
Soldadores eléctricos	630	
Teatros, zonas de espectadores en estudios cinematográficos y de televisión y lugares similares		520-41 520-52
		520-62
Vehículos recreativos y parques de vehículos recreativos	551	

En instalaciones industriales, los conductores muchas veces van sobre bandejas, canaletas o cielos rasos. La NTC se queda corta a veces en determinar los factores que impactan la selección de conductores, por lo que debemos en estos casos recurrir a normas de uso internacional, en este caso la IEC agrupa las normas de uso internacional.

En general, es común determinar un coeficiente ***K*** que afecta la capacidad de corriente del conductor y que tiene influencia de las diferentes condiciones de instalación. El coeficiente ***K*** se obtiene multiplicando los diferentes factores de corrección que intervienen:

$K = k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_4 \times k_5$ Refiérase al glosario para más detalles de los factores.

El conductor a escoger debe corregirse de acuerdo al factor ***K***. De modo que ahora el conductor debe estar dimensionado por encima de la simple corriente de la carga (corriente básica I_B), de ese modo, si la ampacidad de un conductor es I_Z , la ampacidad corregida del conductor debido a los factores K es $I_{Z'}$:

$$I_{conductor\ corregida} = I_{Z'} = I_Z \cdot K$$

El conductor a escoger debe tener una capacidad de corriente ($I_{Z'}$) suficiente para soportar dicha corrección, por lo que:

$$I_{Z'} \geq I_B$$

La corriente I_Z sale de las tablas de los fabricantes de acuerdo al calibre y al recubrimiento aislante.

Las tablas que se muestran a continuación son las que se contemplan en Colombia y corresponden a los factores k_1 y k_4. Sin embargo, estas tablas no consideran ciertas situaciones particulares de la instalación los conductores.

FACTORES DE CORRECCIÓN PARA TEMPERATURA AMBIENTE DIFERENTE A 30°C

TEMPERATURA AMBIENTE °C	TW	THW	THWN/THWN y THWN-2
21-25	1.08	1.05	1.04
26-30	1.00	1.00	1.00
31-35	0.91	0.94	0.96
36-40	0.82	0.88	0.91
41-45	0.71	0.82	0.87
46-50	0.58	0.75	0.82

Para temperatura ambiente diferente de 30°C, multiplicar las capacidades de corriente por el factor correspondiente.

FACTORES DE AJUSTE PARA MAS DE TRES CONDUCTORES PORTADORES DE CORRIENTE

CANTIDAD DE CONDUCTORES TRANSPORTANDO CORRIENTE	FACTOR
4-6	0.80
7-9	0.70
10-20	0.50
21-30	0.45
31-40	0.40
41 y más	0.35

Cuando el número de conductores portadores de corriente en un cable o canalización, pase de tres, la capacidad de corriente se debe reducir como se indica.

Por lo que, en caso de ser necesario, los factores k_1 a k_5 se pueden encontrar en el documento que se encuentra en la carpeta de «Material de Apoyo» llamado «Guia_Instalaciones_Electricas_2010 Schneider.pdf» en la página 234.

Para tener en cuenta: k_5 sólo se usa para escoger el cable de neutro, por lo que para escoger las fases $k_5 = 1$.



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CLIENTE

La acometida principal en el **tramo A** tiene las siguientes condiciones establecidas por el departamento de ingeniería:

- ⇨ Deben ser cables unipolares (3 fases + neutro) en cobre mono conductor tipo USE-2 (aislante XLPE). Se pueden usar varios cables por fase.
- ⇨ Sección máxima autorizada 260 mm² a usar por cable para tener una buena manipulación.
- ⇨ Los cables no están enterrados y van montados en bandeja portacable perforada.
- ⇨ Temperatura ambiente es de 40°C
- ⇨ Contenido de armónicos que se cree hay en la empresa son de tercer orden de corriente de fase = 16%.

Teniendo en cuenta las especificaciones técnicas impuestas por el cliente y por el departamento de ingeniería y utilizando la documentación técnica DT1 «THWN» y DT2 « XLPE BT THWN encauchetado»:

- ✓ Determinar el factor ***K*** y luego la sección mínima (***S***) y por tanto el calibre AWG **de los conductores de fase** (el neutro y la tierra lo haremos luego) para el cable de alimentación A (conexión secundario transformador/Tablero eléctrico B.T),



✓ Determinar el factor ***K*** y luego el calibre de los cables de alimentación de las diferentes cargas definidas (T_1 a T_5).



<u>Para obtener la sección de los conductores del neutro</u>, al margen del requisito de capacidad de corriente, dependen del tipo de sistema de puesta a tierra (TT, TN o IT), de las corrientes armónicas generadas por las diferentes cargas y del método de protección de la instalación.

No obstante, cuando circulan corrientes de armónicos, la intensidad que circula por el neutro puede ser elevada e incluso superior a las corrientes de fase. Esto se debe al hecho de que las corrientes de armónicos de tercer orden h_3 de las tres fases no se anulan entre sí y se suman al conductor neutro. Esto afecta naturalmente a la capacidad de conducción de corriente del cable y se aplicará el factor de corrección indicado aquí como k_5. Para casos con armónicos superiores de h_3 al 33% El efecto térmico de las corrientes de armónicos en los conductores de fase también debe tenerse en cuenta. La siguiente tabla muestra la sugerencia hecha por la IEC.

Contenido de armónicos de tercer orden de corriente de fase %	Factor de corrección	
	La elección de la sección se basa en la corriente de fase	La elección de la sección se basa en la intensidad que circula por el neutro
0 - 15	1,0	
15 - 33	0,86	
33 - 45		0,86
> 45		1,0

Para nosotros en Colombia, debemos tener en cuenta el **título 12 del RETIE** que menciona:
"En sistemas trifásicos de instalaciones de uso final con cargas no lineales, el conductor de neutro, debe ser dimensionado con por lo menos el 173% de la capacidad de corriente de la carga de diseño de las fases, para evitar sobrecargarlo."

<u>Para obtener la sección de los conductores de la tierra</u>, en Colombia la tabla 250-122 NTC2050 que determina la sección mínima de los conductores de tierra de equipos para canalizaciones cumpliendo el título 12 del RETIE

Capacidad del dispositivo de protección de sobrecorriente (A)	Tamaño	
	Alambre de cobre Nº	Alambre de Aluminio Nº
15	14 AWG	12 AWG
20	12 AWG	10 AWG
30	10	8
40	10	8
60	10	8
100	8	6
200	6	4
300	4	2
400	3	1
500	2	1/0
600	1	2/0
800	0	3/0
1000	2/0	4/0
1200	3/0	250 kcmil
1600	4/0	350 kcmil
2000	250 kcmil	400 “ “
2500	350 kcmil	600 “ “
3000	400 “ “	600 “ “
4000	500 “ “	800 “ “
5000	700 “ “	1200 “ “
6000	800 “ “	1200 “ “

Los conductores de conexión a tierra interconectan todos los elementos conductores expuestos y externos de una instalación para crear una conexión equipotencial. Estos conductores conducen la corriente de defecto en caso de problema de aislamiento. Los conductores PE están conectados al terminal con conexión a la tierra principal de la instalación. El terminal de conexión a tierra principal está conectado al electrodo de puesta a tierra. Los conductores PE deben estar aislados y ser de color amarillo y verde y protegidos contra daños mecánicos y químicos.

Según las especificaciones técnicas del cliente determinar la sección normalizada mínima (***S***) **del conductor neutro** y el calibre AWG para cada cable del sistema de distribución asumiendo la protección de sobrecorriente que se va a usar.



- ✓ Determinar, por de acuerdo a las tablas, la sección normalizada mínima (***S***) y el calibre AWG **del conductor de puesta a tierra PE** para cada cable del sistema de distribución.



- ✓ A partir de la documentación técnica internacional IEC en los **documentos técnicos DT3 « Situación neutro»…** Determinar la situación del neutro para el dispositivo de protección (cortado y/o aislado, protegido) para cada circuito.

- ✓ ¿Qué se debe verificar para los circuitos que utilizan para el conductor neutro una sección inferior conforme a la del conductor de fase?

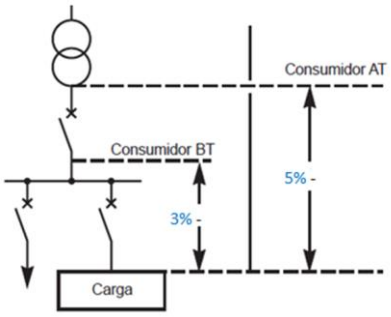


- ✓ Con base al estudio realizado... Establecer, en el documento respuesta 1, el listado de cables para la instalación según el modelo siguiente. Se dejará el informe para cada circuito, la corriente admisible Iz y la situación del neutro conforme al dispositivo de protección. A continuación un ejemplo.

Conductores activos		Conductor neutro		Sección conductor PE (mm²)	Longitud (m)	Tipo (Cobre o Aluminio)	Función (Carga asociada)	Procedencia (Transformador B.T o T.G.B.T)	Destino (T.G.B.T o CARGA)
N°	Sección (mm²)	N°	Sección (mm²)						
1	14AWG	1	14AWG	14AWG	25m	Cu	Alim. T.G.B.T	Transformador	T.G.B.T
	2.08		2.08	2.08			Tierra		

2. LA CAÍDA DE TENSIÓN EN LOS CONDUCTORES

La impedancia de un cable es muy baja pero no se puede descartar: cuando se encuentra atravesada por una corriente se produce una caída de tensión entre el origen y su extremidad. El funcionamiento correcto de una carga se encuentra condicionado por el valor de la tensión presente a sus bornes. Es entonces necesario limitar las caídas de tensión en línea con una sección correctamente dimensionada para los conductores de los cables de alimentación. La determinación de las caídas de tensión en línea es un punto importante para verificar. En la **NTC 2050 sección 210** se establecen los porcentajes admitidos de caída tensión en circuitos ramales.



Tenga en cuenta que las fórmulas para la caída de tensión son:

Para sistemas trifásicos $$\mathbf{\Delta V_{3\emptyset} = \sqrt{3}\, I_B\, (R \cos \varphi + X \sin \varphi)}$$

Para sistemas monofásicos: $$\mathbf{\Delta V_{1\emptyset} = 2\, I_B\, (R \cos \varphi + X \sin \varphi)}$$

Los valores de ***R*** y ***X*** se pueden conseguir en tablas de fabricantes, en caso de que no se puedan obtener se puede asumir lo siguiente usando la longitud **L [km]** y la sección del cable **S [mm²]**

$\mathbf{R = \rho \frac{L}{S}}$ $[\Omega]$ $\quad \mathbf{\rho = 22,5} \left[\Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{km}}\right]$ (Para Cobre pero sólo para conductores con área S ≤ 500 mm²)

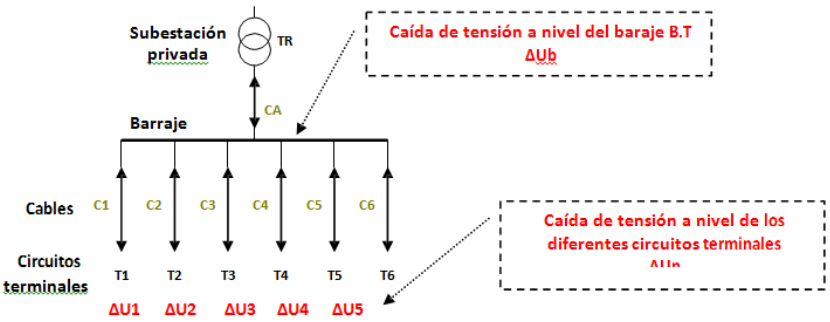
$\mathbf{X = 0.096 \times L}$ $[\Omega]$ (Para Cobre pero sólo para conductores con área S > 50 mm² y a 60 Hz)

Si tenemos en cuenta que el voltaje en los bornes de la carga es V_r la regulación en porcentaje se expresa:

$$\%\mathbf{\Delta V} = \frac{\mathbf{\Delta V}}{\boldsymbol{V_r}} \times \mathbf{100}$$

A partir de lo que se lleva calculado hasta ahora y utilizando el documento técnica DT4 « Regulación» :

- ✓ Calcular la caída de tensión en línea (**ΔV**) en cada punto del sistema de distribución (barraje y circuitos terminales **T1** a **T5**) y las magnitudes relativas correspondientes (**ΔV %**). Se reportaran los diferentes resultados en la **tabla del documento respuesta 1.**
- ✓ Verificar y Justificar en consecuencia que se cumplan los requisitos de regulación de la norma para el sistema de distribución con base a la norma vigente para el tipo de subestación instalada.





3. LA CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO EN LOS TRAMOS

Cuando se produce un cortocircuito en un tomacorriente observamos cómo se produce una chispa producto de una altísima corriente. Esa intensidad está limitada por la impedancia que del circuito aguas arriba.



Impedancia de cortocircuito

La impedancia $\boldsymbol{Z_{cc}}$ que ve un cortocircuito en T_1 está conformado por:

Z_{AT}: impedancia de la red AT
Z_T: impedancia del transformador
Z_A: impedancia del conductor A
Z_{QP}: impedancia de la protección del barraje
Z_B: impedancia del barraje
Z_{Q1}: impedancia de la protección del circuito 1
Z_{C1}: impedancia del conductor del circuito 1

La impedancia de cortocircuito en un punto determinado de la red es tendrá una Resistencia total y una reactancia total de cortocircuito así:

$$Z_{CC} = Z_{AT} + Z_T + Z_{QP} + Z_B + Z_{Q1} + Z_{C1} + \cdots$$
$$= \sum R + jX = R_{CC} + jX_{CC}$$

Z_{AT}: se obtiene llamando a la empresa de energía, ellos tienen ese dato indicándoles la dirección del predio. En caso de no tener este dato se puede utilizar la siguiente tabla. (Una industria mediana tiene un S_{cc} = 250 MVA)

S_{cc}	U_o (V)	R_a (mΩ)	X_a (mΩ)
250 MVA	420	0,106	0,71
500 MVA	420	0,053	0,353

Z_T: es un dato que entrega el fabricante, si no lo tiene puede utilizar las siguientes fórmulas:

$$\boldsymbol{Z = \frac{U^2}{S_n} \times \frac{U_{cc}}{100}} \qquad \boldsymbol{R = \frac{P_{cu}}{3\,I^2}} \qquad \boldsymbol{X = \sqrt{Z^2 - R^2}}$$

Donde U_{cc} = tensión de cortocircuito del trafo

U = tensión nominal del trafo en BT [V]
S_n = Potencia nominal del transformador [VA]
R = resistencia interna del trafo [Ω]
I = corriente nominal del trafo en BT [A]
P_{cu} = perdidas en cobre del trafo, se encuentra en las tablas de la norma NTC818-819 [W]
X = reactancia interna del trafo [Ω]

Z_Q: tocaría consultar las especificaciones de cada fabricante para conocer el valor al detalle, pero si no lo tiene puede ser considerada en general como sólo una reactancia de valor 0.18 mΩ

Z_B: son tan bajas que generalmente se desprecian.

Z_{C1}: son la resistencia y reactancia de los cables, de la misma forma que se calcularon para la regulación.

Si el corto es trifásico, lo cual es la peor condición de todas, se define por:

$$I_{3\Phi\, pcc} = \frac{U}{\sqrt{3}\, Z_{CC}}$$

Si el corto es monofásico, hay que sumarle al Z_T todas las impedancias que vayan que tengan que ver con el neutro Z_N, por lo que si por ejemplo el neutro es del mismo calibre de las fases:

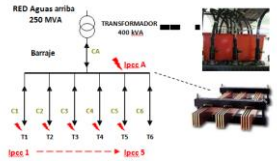
$$I_{1\Phi\, pcc} = \frac{U}{\sqrt{3}\, (Z_{CC} + Z_N)}$$

Un cortocircuito monofásico es de menor intensidad que un cortocircuito trifásico



✓ Calcular, descartando la impedancia del barraje principal, la corriente de cortocircuito trifásico y monofásico en los diferentes puntos del sistema de distribución (**I_{pcc} A** y **I_{pcc} 1** a **I_{pcc} 5**). Se reportaran los diferentes resultados en la tabla del documento respuesta 1.









- Completa el documento respuesta 1 integrando todas las conclusiones acumuladas.
- En una hoja de block aparte, con regla, realiza el esquema unifilar de la instalación eléctrica B.T presentando las diferentes salidas (T_1 a T_5) e indicando, para cada ramal, los conductores distribuidos (Fase, Neutro y Tierra), y todos los cálculos establecidos hasta ahora.

Documento Respuesta 1-C208101095-G06

Nombres:	Documento:	Código ficha:	Programa:	Fecha: DD/MM/AA

Circuito	Conductores activos		Conductor Neutro		Conductor PE Calibre (mm²)	Longitud (m)	Tipo (Cobre o Aluminio)	Función (Carga asociada)	Procedencia (Transformador B.T o T.G.B.T)	Destino (T.G.B.T CARGA)	Corriente admisible Iz (A)		Sugerencia IEC con el neutro		
	N°	Calibre AWG (mm²)	N°	Calibre AWG (mm²)							FASE	NEUTR	Aislad	Cortad	Proteg
A															
T1															
T2															
T3															
T4															
T5															

Barraje	△Vb (V)				$I_{3\phi pcc}$ A (kA)						
	△Vb (%)				$I_{1\phi pcc}$ A (kA)						
Circuitos terminales	**T1**		**T2**		**T3**		**T4**		**T5**		
	△V_1 (V)		△V_2 (V)		△V_3 (V)		△V_4 (V)		△V_5 (V)	**Características Transformador:**	
	△V_1 (%)		△V_2 (%)		△V_3 (%)		△V_4 (%)		△V_5 (%)		

	$I_{3\phi\ pcc1}$ (kA) $I_{1\phi\ pcc1}$ (kA)		$I_{3\phi\ pcc2}$ (kA) $I_{1\phi\ pcc2}$ (kA)		$I_{3\phi\ pcc3}$ (kA) $I_{1\phi\ pcc3}$ (kA)		$I_{3\phi\ pcc4}$ (kA) $I_{1\phi\ pcc4}$ (kA)		$I_{3\phi\ pcc5}$ (kA) $I_{1\phi\ pcc5}$ (kA)

1. RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE

ACTIVIDADES DEL PROYECTO	DURACIÓN (Horas)	Materiales de formación devolutivos: (Equipos/Herramientas)		Materiales de formación (consumibles)		Talento Humano (Instructores)		AMBIENTES DE APRENDIZAJE TIPIFICADOS
		Descripción	Cantidad	Descripción	Cantidad	Especialidad	Cantidad	**ESCENARIO** y elementos y condiciones de seguridad industrial, salud ocupacional y medio ambiente
Diseñar y ajustar los parámetros eléctricos y elementos en las instalaciones eléctricas	8h	Computador con internet Televisor	8 1			Electricidad	1	Cualquier ambiente

2. GLOSARIO DE TERMINOS

k_1 Factor de corrección para temperatura superior a 30°C para cables no enterrados
k_2 Factor de corrección para temperatura superior a 30°C para cables enterrados
k_3 Factores de ajuste de la conductividad térmica de la tierra para cable enterrados
k_4 Factor que depende del método de instalación y para más de tres conductores portadores de corriente
K_5 Factores de corrección para las corrientes de armónicos en cables (tabla D52-1 de IEC 60364-5-52), sólo para el neutro
K_n Factor de corrección del neutro refiérase a la norma NFC 15 100 sec 524.2.4.
K_S Factor de corrección de simetría refiérase a la norma NFC 15 100 sec 523.6.
I_z Corriente admisible del conductor o ampacidad
$I_{B'}$ Corriente corregida con los factores que la afectan.

3. REFERENTES BIBLIOGRÁFICOS

- Normas Técnicas Colombianas aplicadas al sector de instalaciones eléctricas NTC 2050
- Reglamento técnico de Instalaciones Eléctricas, año 2015, RETIE
- Normas Técnicas Colombianas aplicadas al sector de transformadores eléctricos NTC 818, NTC 819
- Guía de Diseño de instalaciones eléctricas según normas internacionales IEC, 2010, Schneider Electric
- Convenio educativo SENA – Schneider – MENJVA, Guías de formación, Juan Torres, 2013.

4. CONTROL DEL DOCUMENTO

VERSION 1. Adaptada por: Sergio Andrés García Peña, 08 de octubre del 2015
Revisada por: Julián Lopez Echeverry, 09 de octubre del 2015