



**UNIVERSIDAD DE OVIEDO**

**Escuela de  
Ingeniería de Minas, Energía y Materiales de Oviedo**

**Máster en Ingeniería de Minas**



**Trabajo Fin de Máster**

**Análisis de Riesgos Ambientales en Subestaciones  
Eléctricas. Aplicación a varios casos de estudio en  
Asturias.**

**Autora: Lucía Iglesias Santirso**

**Tutora: Almudena Ordóñez Alonso**

**Oviedo, Junio de 2017**

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradecerle a Almudena Ordóñez su gran empeño y dedicación para que este Trabajo Fin de Máster fuera lo más correcto posible. Su disponibilidad en cualquier momento del día y el gran apoyo recibido para terminar el Máster y a Rodrigo Álvarez las grandes aportaciones en cuanto a la geología y la geotecnia.

Agradecerle a Alfredo Menéndez su gran esfuerzo y ayuda, y enseñarme todo lo posible sobre subestaciones y análisis de riesgos ambientales.

Destacar los profesores de esta Escuela, que a veces más que profesores, son amigos y compañeros, que entienden que no todo es fácil y se esfuerzan por ayudarte y enseñarte de la mejor manera posible. Profesores como vosotros son necesarios.

Esos compañeros y amigos, con los que he compartido estos años de mi vida, y hemos vivido tantos momentos. Está claro que nada sería lo mismo.

Por último, agradecerle a mi familia su gran apoyo y paciencia en estos dos años. Mi padre, por ayudarme a realizar este trabajo y estar siempre animándome, y mi madre, mi compañera, mi amiga, sin ella nada habría sido posible, ese apoyo incondicional, y todo el ánimo y cariño recibidos. Muchísimas gracias.

## ÍNDICE

<b>1. OBJETIVOS</b>	<b>9</b>
<b>2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DE TRABAJOS</b>	<b>10</b>
<b>3. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RIESGOS</b>	<b>13</b>
<b>4. SELECCIÓN DE LAS SUBESTACIONES OBJETO DE ESTUDIO</b>	<b>15</b>
<b>4.1. Descripción de actividades</b>	<b>17</b>
<b>4.2. Instalaciones técnicas</b>	<b>18</b>
4.2.1. Subestación eléctrica (SE) Carrocera II	19
4.2.2. Subestación eléctrica (SE) Pravia	22
4.2.3. Subestación eléctrica (SE) Carrió	30
<b>5. INVENTARIO AMBIENTAL EN EL ENTORNO DE LAS SSEE</b>	<b>38</b>
<b>5.1. Caracterización del entorno</b>	<b>38</b>
5.1.1. Geografía	38
5.1.2. Climatología	43
5.1.3. Geología, geotecnia, edafología	52
<b>5.2. Hidrología e hidrogeología</b>	<b>62</b>
5.2.1. Hidrología superficial	62
5.2.2. Hidrogeología	64
<b>5.3. Flora y fauna</b>	<b>66</b>
5.3.1. Flora silvestre	66
5.3.2. Hábitat de interés comunitario	69
5.3.3. Fauna silvestre	70
5.3.4. Especies Red Natura	72
<b>6. ANÁLISIS DE RIESGOS</b>	<b>76</b>
<b>6.1. Identificación de causas, fuentes y peligros</b>	<b>76</b>
6.1.1. Análisis de las sustancias implicadas	78
6.1.2. Identificación de causas y fuentes de peligro	80

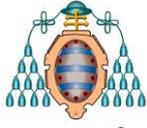
<b>6.2. Probabilidad de ocurrencia</b>	<b>99</b>
<b>7. ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE DAÑO MEDIOAMBIENTAL (IDM) ASOCIADO A CADA ESCENARIO ACCIDENTAL</b>	<b>104</b>
<b>7.1. Selección de los tipos de agente causantes del daño</b>	<b>106</b>
<b>7.2. Selección de los recursos naturales potencialmente afectados</b>	<b>107</b>
<b>7.3. Cálculo de coeficientes y modificadores</b>	<b>109</b>
7.3.1. Cálculo de $\alpha$	110
7.3.2. Cálculo de $\beta$	112
<b>8. CÁLCULO DEL RIESGO ASOCIADO A CADA ESCENARIO ACCIDENTAL</b>	<b>114</b>
<b>9. MODELIZACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE RIESGO</b>	<b>116</b>
<b>9.1. Cuantificación del daño</b>	<b>116</b>
9.1.1. CARROCERA II: Incendio incontrolado y vertido de aguas de extinción generadas en un incendio	116
9.1.2. PRAVIA: Fuga o derrame de aceite dieléctrico en operación o por infiltración con afección a aguas superficiales	125
9.1.3. CARRIÓ: Derrame de sustancias peligrosas por fuga de productos químicos en depósitos enterrados	128
<b>10. RESULTADOS OBTENIDOS Y SUGERENCIAS DE MEJORA</b>	<b>132</b>
<b>10.1. Resultados obtenidos</b>	<b>132</b>
<b>10.2. Sugerencias de mejora</b>	<b>134</b>
<b>11. CONCLUSIONES</b>	<b>136</b>
<b>12. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>138</b>
<b>ANEXOS</b>	
<b>ANEXO I: Árboles de fallos</b>	
<b>ANEXO II: Resultados del IDM</b>	

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Localización de las subestaciones en Asturias	16
Figura 2: Subestación de Carrocera II	20
Figura 3: Transformador de potencia de SE Carrocera II	21
Figura 4: Interruptores y transformadores de medida de SE Carrocera II	22
Figura 5: Subestación de Pravia	24
Figura 6: Vista aérea de la SE Pravia	25
Figura 7: Transformador de potencia de SE Pravia	25
Figura 8: Transformadores principales y muro antiincendios de la SE Pravia	26
Figura 9: Vial perimetral de la SE Pravia	26
Figura 10: Esquema general de las líneas del Parque de intemperie de SE Pravia	27
Figura 11: Interruptores y seccionadores de SE Pravia	28
Figura 12: Casetas de la SE Pravia	28
Figura 13: Transformador de servicios auxiliares SE Pravia	29
Figura 14: Grupo electrógeno SE Pravia	29
Figura 15: cuadro de mando del edificio de control de SE Pravia	30
Figura 16: Subestación de Carrió	32
Figura 17: Vista aérea de la SE Carrió	33
Figura 18: Autotransformador 2 de SE Carrió	34
Figura 19: Transformador principal de SE Carrió	34
Figura 20: Aparamenta eléctrica de SE Carrió	35
Figura 21: Interruptor de baño de aceite de SE Carrió	35
Figura 22: Interruptor de SF <sub>6</sub> de SE Carrió	36
Figura 23: Celdas de SF <sub>6</sub> de SE Carrió	36
Figura 24: Transformador de servicios auxiliares (seco) de SE Carrió	37

Figura 25: Vista aérea del entorno de la SE Carrocera II _____	39
Figura 26: Entorno inmediato de la SE Carrocera II _____	39
Figura 27: Vista aérea del entorno de la SE Pravia _____	40
Figura 28: Entorno inmediato de la SE Pravia _____	41
Figura 29: Localización de la Subestación de Carrió _____	42
Figura 30: Entorno inmediato de la SE Carrió (Zonas de pradería) _____	43
Figura 31: Entorno inmediato de la SE Carrió (Interior de la SE) _____	43
Figura 32: Climograma anual para el periodo 1983-2015 estación de Mieres _____	45
Figura 33: Variación de precipitación, temperatura y evapotranspiración real a lo largo de un año hidrológico medio en el entorno de la SE de Carrocera II _____	48
Figura 34: Climograma anual para el periodo 1969-2015 estación de Avilés _____	47
Figura 35: Variación de precipitación, temperatura y evapotranspiración real a lo largo de un año hidrológico medio en el entorno de la SE de Pravia _____	48
Figura 36: Climograma anual para el periodo 1939-2011 estación de Gijón _____	49
Figura 37: Variación de precipitación, temperatura y evapotranspiración real a lo largo de un año hidrológico medio en el entorno de la SE de Carrió _____	50
Figura 38: Mapa eólico de Asturias _____	51
Figura 39: Localización de las subestaciones en las zonas geológicas de Asturias _____	53
Figura 40: Mapa geológico del entorno de la subestación de Carrocera II y leyenda _____	54
Figura 41: Mapa geológico del entorno de la subestación de Pravia y leyenda del mismo _____	56
Figura 42: Mapa geológico del entorno de la subestación de Carrió y leyenda del mismo _____	57
Figura 43: Detalle del mapa geotécnico del ámbito de estudio de Carrocera II _____	59
Figura 44: Detalle del mapa geotécnico del ámbito de estudio, Pravia _____	60
Figura 45: Detalle del mapa geotécnico del ámbito de estudio, Carrió _____	61
Figura 46: Localización de las subestaciones en el mapa hidrográfico de Asturias _____	66

Figura 47: Localización de las subestaciones en los sistemas de Asturias	67
Figura 48: Localización de las unidades fitogeográficas de Asturias	68
Figura 49: Medidas de protección propias de los transformadores de potencia	81
Figura 50: Sílica gel	82
Figura 51: Controles del equipo y resistencias del neutro	82
Figura 52: Sistema cortafuegos de los transformadores	83
Figura 53: Desagüe de los cubetos	84
Figura 54: Muro cortafuegos	84
Figura 55: Esquema de la trampa de aceite	85
Figura 56: Trampa de aceite	85
Figura 57: Sifón decantador	85
Figura 58: Filtro oleofílico	86
Figura 59: Playa de infiltración	86
Figura 60: Bandeja de derrames del depósito de expansión y cubeto	87
Figura 61: Bandeja cortafuegos y cubeto del transformador	88
Figura 62: Interruptores y transformadores de medida	89
Figura 63: Material antiderrame	90
Figura 64: Grupo electrógeno con cubeto y tanque y bidón	91
Figura 65: Celdas de 20kV e interruptor	92
Figura 66: Extintor de carro	93
Figura 67: Sistema de detección de incendios térmico de la sala de celdas (Carrió)	94
Figura 68: Válvula de toma de muestras	95
Figura 69: Sistema LHD	134



UNIVERSIDAD DE OVIEDO

*Análisis de Riesgos Ambientales en Subestaciones Eléctricas. Aplicación a varios casos de estudio en Asturias.*

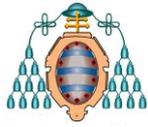


Figura 70: Sistema MX

135

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de las Subestaciones según criterios establecidos por EDP	15
Tabla 2: Equipos de la subestación de Carrocera II	20
Tabla 3: Ocupación de la Subestación de Pravia	22
Tabla 4: Equipos de la Subestación de Pravia	23
Tabla 5: Ocupación de la Subestación de Carrió	30
Tabla 6: Equipos de la Subestación de Carrió	31
Tabla 7: Coordenadas UTM de SE Carrocera II	38
Tabla 8: Coordenadas UTM de SE Pravia	40
Tabla 9: Coordenadas UTM de SE Carrió	41
Tabla 10: Valores climatológicos para un año hidrológico medio en la zona de estudio SE Carrocera II	45
Tabla 11: Valores climatológicos para un año hidrológico medio en la zona de estudio Pravia	47
Tabla 12: Ubicación y periodo de registro de las estaciones termopluviométricas de Gijón consideradas	48
Tabla 13: Valores climatológicos para un año hidrológico medio en la zona de estudio Carrió	49
Tabla 14: Velocidad del viento de acuerdo al Mapa Eólico de Asturias	51
Tabla 15: Vegetación identificada en el entorno de las Subestaciones	68
Tabla 16: Hábitat de interés comunitario en ZEC Río Nalón	69
Tabla 17: Hábitat de interés comunitario en ZEC Cuencas Mineras	70
Tabla 18: Especies Red Natura de ZEC Río Nalón	73
Tabla 19: Especies Red Natura de ZEC Cuencas Mineras	74-75



UNIVERSIDAD DE OVIEDO

*Análisis de Riesgos Ambientales en Subestaciones Eléctricas. Aplicación a varios casos de estudio en Asturias.*



Tabla 20: Equipos presentes en las subestaciones de estudio	78
Tabla 21: Características de las sustancias implicadas	79
Tabla 22: Posibles escenarios accidentales	96
Tabla 23: Probabilidades de los sucesos iniciadores	100
Tabla 24: Propiedades del aceite dieléctrico	107
Tabla 25: Grupos agente-recurso para la aplicación del IDM	108
Tabla 26: Combinaciones agente-recurso de las subestaciones seleccionadas	109
Tabla 27: Riesgo asociado a cada escenario accidental, probabilidad e IDM	115
Tabla 28: Recursos afectados por el escenario seleccionado (MIRAT, 2015)	116
Tabla 29: Cálculo del valor del Factor de propagación por efecto del modelo combustible (MIRAT, 2015)	121
Tabla 30: Valor del factor de propagación por efecto de la pendiente	122
Tabla 31: Cálculo de los valores del factor de propagación por efecto de la velocidad del viento (MIRAT 2015)	122
Tabla 32: Valores de la velocidad de propagación lineal el fuego	123
Tabla 33: Distancia de avance del fuego	123
Tabla 34: Área de afección por incendio	124
Tabla 35: Recursos afectados por el escenario considerado (Pravia)	125
Tabla 36: Recursos afectados por el escenario considerado (Carrió)	128
Tabla 37: Cálculo del área del charco de Carrió	129
Tabla 38: Cálculo de la profundidad de infiltración de Carrió	129
Tabla 39: Riesgos asociado a las instalaciones de mayor a menor valor	132



## 1. OBJETIVOS

Los trabajos realizados para el presente Trabajo Fin de Máster, han consistido en la redacción de un estudio de riesgos ambientales de acuerdo a la legislación vigente y la normativa específica del negocio eléctrico, la evaluación de los mismos, y la valoración de pautas y recomendaciones con el fin de mejorar la gestión del riesgo.

Los objetivos principales que forman parte del estudio son los indicados a continuación:

- Identificar los principales riesgos ambientales existentes en las Subestaciones de EDP HC Energía.
- Selección de una serie de Subestaciones de referencia
- Evaluación de los potenciales escenarios de riesgo, medidas preventivas y de gestión actualmente implantadas.
- Cuantificación del daño ocasionado a los receptores ambientales.
- Propuestas de mejora.



## **2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO**

La Ley 26/2007, de Responsabilidad Medioambiental (modificada por la Ley 11/2014 y cuyo Reglamento de desarrollo parcial es modificado por el Real Decreto 183/2015), establece la obligación de los operadores de prevenir, evitar y reparar los daños medioambientales, de conformidad con el artículo 45 de la Constitución y con los principios de “Prevención” y de “Quien contamina paga”, de tal manera que los operadores están obligados a sufragar el coste total de reparación de los daños ambientales que pudieran causar, de forma ilimitada y sin que medie culpa, negligencia o dolo. El listado de operadores sujetos a esta nueva responsabilidad administrativa, objetiva e ilimitada se establece en el Anexo III de la Ley.

Los recursos sujetos a la aplicación de dicha Ley, son las aguas, incluyendo mar y rías, suelo, especies de flora y fauna silvestres y los hábitats de las especies autóctonas. Cabe destacar, en cuanto a los daños causados, que no se incluyen las posibles emisiones al aire, o daños a personas o propiedad privada.

Para poder hacer frente a los costes de reparación, la ley establece asimismo la obligación de disponer de una Garantía Financiera que permita financiar el proyecto de recuperación del daño que pudiese ocasionarse. El reglamento de desarrollo de la ley regula el procedimiento para la determinación de esta garantía financiera a través del desarrollo de un Análisis de Riesgos Ambiental (ARA), en el que se deben cuantificar y monetizar los diferentes escenarios de riesgo que potencialmente pudieran ocurrir en la instalación, de tal manera que la garantía financiera cubra al menos el importe del escenario que agrupe el 95% del riesgo total (artículo 33 del Real Decreto 2090/2008, por el que se aprueba el Reglamento de desarrollo parcial de la citada Ley 26/2007).

De acuerdo con el principio de prevención, la ley transfiere también al operador la necesidad de aplicar medidas preventivas y de evitación, previas a la exigencia objetiva de reparación ilimitada una vez se haya causado un daño ambiental. En este aspecto, los Análisis de Riesgo Ambiental se promueven como herramienta de gestión de riesgos, dado que permiten valorar la eficacia de las medidas preventivas existentes y, en su caso, identificar nuevas medidas.



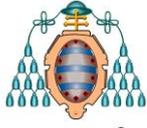
Dada la complejidad de aplicación administrativa de esta ley, el Gobierno procedió a su modificación manteniendo el objetivo de regular la responsabilidad de los operadores en la prevención, evitación y reparación de los daños medioambientales. Se limitan, así, los operadores que tienen obligación de realizar Análisis de Riesgos Ambientales y establecer una garantía Financiera a aquellos operadores que presentan un mayor perfil de riesgo ambiental:

- **Instalaciones IPPC.** Son aquellas instalaciones que deben de solicitar una Autorización Ambiental Integrada, es decir, las grandes instalaciones que puedan contaminar el medio ambiente. Son los operadores sujetos al ámbito de aplicación de la Ley 16/2002 de prevención y Control Integrados de la Contaminación.
- **Instalaciones de tipo SEVESO.** Son aquellas que pueden ocasionar accidentes graves, en los que intervienen sustancias peligrosas. Se trata de los operadores sujetos al ámbito de aplicación del Real Decreto 1254/1999.
- **Operadores dedicados a actividades de gestión de residuos de industrias extractivas,** recogida, transporte, recuperación y eliminación de residuos y residuos peligrosos, contemplándose las actividades mineras que generan residuos mineros tipo A.

Cabe destacar que, si bien no es exigible la realización del Análisis de Riesgos y establecimiento de la garantía financiera obligatoria, se mantiene la exigencia de reparar el daño causado para todos los operadores del Anexo III de la Ley 26/2007, como responsabilidad objetiva y principio de responsabilidad. Quedan incluidas, por ejemplo, todas aquellas actividades que realicen vertidos a las aguas superficiales, subterráneas o al mar.

De este modo, diferentes instalaciones y centros operativos del Negocio de Transporte y Distribución eléctrica como son las Subestaciones, quedan incluidas dentro de este Anexo III en cuanto a que se identifican escenarios de riesgo ambiental vinculados tanto a fugas y derrames de aceites dieléctricos en transformadores que puedan afectar a suelo y aguas, como a potenciales incendios con afección a hábitats o especies protegidas en el entorno.

Para estas actividades, en cuanto a que puedan causar estos daños ambientales, se mantiene la obligación de adoptar las medidas de evitación necesarias y, sólo en caso de causar daño, adoptar medidas reparadoras, por lo que el análisis de los riesgos ambientales de las actividades y su gestión suponen la base de desarrollo de la responsabilidad ambiental de dicho negocio.



UNIVERSIDAD DE OVIEDO

*Análisis de Riesgos Ambientales en Subestaciones  
Eléctricas. Aplicación a varios casos de estudio en  
Asturias.*



Y es en este contexto en el que se desarrolla el presente TFM, en el que se modelizarán diferentes escenarios de riesgo en una selección de Subestaciones eléctricas, al objeto de valorar las medidas preventivas existentes y la sensibilidad del medio receptor, en cuanto a su extensión de los daños.



### **3. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES**

El análisis de riesgos ambientales constituye una herramienta para que una organización esté en condiciones de conocer y adoptar decisiones apropiadas sobre la necesidad de llevar a cabo medidas preventivas y de otro tipo.

Para el desarrollo de estos análisis de riesgos ambientales se ha desarrollado una metodología basada en la Norma UNE 150.008:2008 de Análisis y evaluación del Riesgo Ambiental. El objetivo es analizar el riesgo de una instalación a partir del peligro asociado a sustancias y/o procesos, para obtener unos resultados que permita la toma de decisiones posterior.

La metodología escogida se estructura en dos grandes bloques:

1. **Diagnóstico de Fuentes**, a partir del cual se identifican condiciones peligrosas (sucesos iniciadores) y su probabilidad de ocurrencia.
2. **Estimación de Consecuencias sobre los recursos y servicios ambientales potencialmente afectados**, para lo que se realiza una caracterización del entorno de las instalaciones con el objetivo de identificar elementos de calidad y/o vulnerabilidad.

La unión de ambos bloques supone la identificación de **Escenarios de riesgo ambiental**, como aquellos escenarios donde a partir de un suceso iniciador se desencadenan una serie de secuencias accidentales que acaban causando un daño sobre algunos de los recursos ambientales protegidos en la Ley de Responsabilidad Ambiental (aguas, suelo, ribera del mar y rías, hábitats y especies prioritarias y protegidas), en adelante LRMA.

En el caso del presente TFM, que se centra en varias subestaciones eléctricas (en adelante SSEE), el procedimiento general seguido es el siguiente:

1. Selección de las Subestaciones objeto de estudio: revisión de la documentación y visitas a las instalaciones, realizadas los días 03/05/2017 y 04/05/2017.



*Análisis de Riesgos Ambientales en Subestaciones Eléctricas. Aplicación a varios casos de estudio en Asturias.*



2. Inventario ambiental del entorno de las SSEE: identificación de receptores ambientales vulnerables dentro del ámbito de aplicación de la LRMA.
3. Identificación de los escenarios accidentales en cada Subestación y estimación de la probabilidad de ocurrencia de cada escenario.
4. Estimación del Índice de Daño Medioambiental (IDM) asociado a cada escenario accidental, según Real Decreto 183/2015.
5. Cálculo del Riesgo asociado a cada escenario accidental.
6. Modelización de los escenarios de riesgo teniendo en cuenta la extensión, la intensidad y la escala temporal del daño, considerando el grado de vulnerabilidad del receptor ambiental y los medios de transporte del agente causante del daño.

Finalmente se realizará una valoración de los riesgos de las diferentes Subestaciones objeto de estudio a partir de las medidas preventivas existentes y la modelización de los escenarios identificados, definiéndose posibles mejoras para el escenario de mayor riesgo.

## 4. SELECCIÓN DE LAS SUBESTACIONES OBJETO DE ESTUDIO

El criterio seguido para la selección, dado que se trata de análisis de riesgos ambientales, es la potencial afección de recursos ambientales protegidos en el entorno de las instalaciones. De acuerdo con la LRMA estos recursos son: suelo, agua, especies y hábitats protegidos.

De este modo, los criterios de selección se fundamentan en la ubicación de las instalaciones en áreas naturales, en cuanto a la potencial afección de especies y hábitats, y en instalaciones cercanas al Dominio Público Hidráulico, en cuanto a la potencial afección a las aguas.

De acuerdo a los criterios establecidos por EDP (Análisis de Riesgos Ambientales en Redes Eléctricas y de Gas, 2015), la clasificación de las instalaciones, en función de la categoría, se muestra en la siguiente tabla.

SUBESTACIONES			
<p><b>La condición prioritaria para establecer la Categoría de las subestaciones es la distancia al Dominio Público Hidráulico (DPH).</b></p> <p><b>Otra condición para establecer la categoría, es el cumplimiento de al menos dos de las características especificadas en la tabla. Es importante tener en cuenta, en caso de cumplirse las características de dos categorías diferentes, se establecerá la categoría más desfavorable, ordenadas de la Categoría 1 a la Categoría 4.</b></p>			
CATEGORÍA 1	CATEGORÍA 2	CATEGORÍA 3	CATEGORÍA 4
Menos de 100m al DPH	Entre 100 y 500m al DPH	Más de 500m al DPH	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espacio Protegido.</li> <li>• Suelo natural, con permeabilidad muy alta.</li> <li>• Arbolado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espacio Protegido.</li> <li>• Suelo natural con permeabilidad alta.</li> <li>• Desarbolado (matorral)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No Espacio Protegido.</li> <li>• Suelo natural con permeabilidad media, baja y muy baja.</li> <li>• Pradera y cultivos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suelo artificial.</li> </ul>

Tabla 1: Clasificación de las Subestaciones, según criterios establecidos por EDP

Se han clasificado todas las subestaciones pertenecientes a EDP en función de las cuatro Categorías especificadas en la Tabla 1. Se priorizan las de Categoría 1, siendo éstas las que mayor riesgo ambiental pueden implicar, y las de Categoría 2, ordenándose a su vez en función del volumen de aceite del transformador de mayor volumen debido al potencial riesgo de incendio. De todas las subestaciones de mayor riesgo ambiental obtenidas, se han seleccionado aquellas a las que no se les ha realizado ningún Análisis de Riesgos Ambientales (en adelante ARA).

A continuación, se citan las subestaciones seleccionadas, ubicadas en el Principado de Asturias y posteriormente se describen las características técnicas de las instalaciones.

- Subestación de Carrocera II (Concejo de San Martín del Rey Aurelio).
- Subestación de Pravia (Concejo de Pravia).
- Subestación de Carrió (Concejo de Carreño a 34km de Oviedo).



Figura 1: Localización de las subestaciones en Asturias (Educastur, 2010)



Las subestaciones de Carrocera II y Pravia, pertenecen a la Categoría 1, ya que se encuentran próximas al río Nalón. En el primer caso se encuentra en la Zona de Especial Conservación (ZEC) de las Cuencas Mineras además de encontrarse en una zona arbolada. La finalidad de las ZEC es garantizar la supervivencia de especies y tipos de hábitats, además de detener la pérdida de biodiversidad. Son designadas por la Red Natura 2000, siendo éste el principal instrumento para la conservación de la naturaleza en la Unión Europea (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente).

Pravia posee descarga a las aguas pluviales, pudiendo alcanzar la masa de agua superficial. En ninguno de los casos se encuentra en un Espacio Protegido.

La subestación de Carrió pertenece a la Categoría 2. No se encuentra en ningún espacio protegido. Posee una permeabilidad de suelo media y se encuentra desarbolado. De todas las instalaciones identificadas de categoría 2, es la de mayor volumen de aceite (106,04m<sup>3</sup>).

#### **4.1. Descripción de actividades**

Las subestaciones, en líneas generales son transformadores que se encargan de aumentar o reducir la tensión de la electricidad hasta los niveles adecuados para su transporte o transferencia a la red de distribución.

Los elementos principales de una subestación son los siguientes:

- **Aparamenta:** engloba los aparatos de conexión, desconexión y maniobra, así como sus posibles combinaciones con otros aparatos. Por ejemplo, son los interruptores, seccionadores o transformadores de medida.
- **Transformador:** es el equipo principal de la instalación. Se encarga de elevar o reducir el voltaje.

Según la disposición de la aparamenta, las subestaciones consideradas para este estudio son instalaciones con la aparamenta aislada por la atmósfera, en donde los equipos están instalados en estructuras aéreas independientes. Emplean como elemento aislante el aire, además de aisladores sólidos, de cerámica o vidrio. Presentan el inconveniente de la necesidad de ocupar grandes parcelas de suelo, debido a que debe de existir una distancia mínima entre equipos.



## 4.2. Instalaciones técnicas

A continuación va a explicarse de forma general, la función de los equipos identificados en las subestaciones objeto del ARA. Posteriormente se indicarán las características específicas de cada uno de ellos identificadas en las visitas realizadas, en función de la subestación considerada.

### **Aparamenta**

Interruptor: tiene la función de interrumpir y establecer la continuidad en un circuito eléctrico. La extinción del arco eléctrico puede realizarse mediante diferentes sistemas, identificándose dos tipos diferentes: en baño en aceite y en atmósfera de gas SF<sub>6</sub>.

Seccionador: es un aparato mecánico que en su posición abierta, debe de garantizar una distancia de seguridad en función de la tensión que soporta, aislando tramos de circuito.

Transformador de medida de intensidad: separa los instrumentos de medida del circuito de alta tensión, además de reducir las grandes intensidades a pequeños valores manejables.

Transformador de medida de tensión: separa los instrumentos de medida y relés de protección (limitan la intensidad de los interruptores) del circuito de alta tensión, además de reducir el valor de ésta a valores proporcionales más pequeños y manejables.

### **Transformadores de potencia (o autotransformadores) y transformadores de servicios auxiliares**

Como se dijo anteriormente los transformadores de potencia son los encargados de aumentar o reducir la tensión de la energía eléctrica, además de conectar líneas y redes. Los transformadores de servicios auxiliares se encargan de alimentar los equipos y servicios de las instalaciones.

Transformadores de potencia: son equipos de baño en aceite. La dilatación del aceite debido al incremento de la temperatura, se compensa con la deformación elástica de las aletas que forman la cuba que lo contiene.

Transformadores de servicios auxiliares: pueden ser de baño en aceite, o bien ser secos. En este último caso los arrollamientos se encuentran encapsulados dentro de una cámara donde se hace el vacío.

### **Elementos auxiliares**

Grupos electrógenos: transforman la energía térmica en energía eléctrica en forma de corriente alterna. Son los encargados de suministrar energía eléctrica, en caso de emergencia, para poder garantizar la continuidad del suministro.

### **Baterías de alimentación**

Todas las subestaciones cuentan con un sistema de baterías, en este caso de Ni/Cd, mediante las que se asegura la alimentación de forma segura y permanente para diversos circuitos.

#### **4.2.1. Subestación eléctrica (SE) Carrocera II**

La subestación se sitúa en una parcela de 167,9m<sup>2</sup> rectangular (11,5 m x 14,6 m). El recinto dispone de un vallado perimetral, sobre murete de hormigón en sus laterales, de forma ascendente y escalonada ya que la parcela se encuentra excavada en una ladera.

En la siguiente tabla se recogen las características técnicas de esta subestación.

SUBESTACIÓN DE CARROCERA II				
PARQUE ELÉCTRICO				
Aparamenta eléctrica	Interruptores de tensión	Interruptores de intensidad		
	Seccionadores	Transformadores de medida de tensión		
	Línea	Transformadores de medida de intensidad		
Número	Transformadores de potencia			
	Relación de transformación (kV)	Potencia aparente (MVA)	Refrigerante	Cantidad de aceite (kg)
T1	50/20	30	Aceite	15552

Tabla 2: Equipos de la subestación de Carrocera II (datos facilitados por EDP)



Figura 2: Subestación de Carrocera II

El parque eléctrico de intemperie se encuentra ocupando la totalidad del mismo, donde se encuentra el Transformador Principal. El transformador de potencia se encuentra ubicado en el interior de un recinto, sobre una bandeja de hormigón.



**Figura 3: Transformador de potencia de SE Carrocera II**

Al lado del transformador se sitúan los interruptores y transformadores de tensión correspondientes.



**Figura 4: Interruptores y transformadores de medida de SE Carrocera II**

No dispone de más construcciones, ya que todo está telemandado desde un edificio próximo a la Subestación, denominado Carrocera I.

#### 4.2.2. Subestación eléctrica (SE) Pravia

La Subestación se localiza en una parcela de 2.330m<sup>2</sup>, distribuida de la siguiente forma:

ZONAS DEL CENTRO	OCUPACIÓN (m <sup>2</sup> )
Parque eléctrico de intemperie	470
Edificio principal	65
Área de trafos	65

**Tabla 3: Ocupación de la Subestación de Pravia (Plan de Autoprotección Subestación de Pravia, 2015)**

El recinto delimita en todo su perímetro por una valla metálica de 1,6 m de altura sobre un murete de hormigón de 0.5m de altura.

En la siguiente tabla se recogen las características técnicas de esta subestación.

SUBESTACIÓN DE PRAVIA				
PARQUE ELÉCTRICO				
Aparamenta eléctrica	Interruptores		Transformadores de medida de intensidad	
	Seccionadores		Transformadores de medida de tensión	
	Línea			
Número	Transformadores de potencia			
	Relación de transformación (kV)	Potencia aparente (MVA)	Refrigerante	Cantidad de aceite (kg)
	T1	54/40,4	22,5	Aceite
T2	54/40,4	22,5	Aceite	12500
EDIFICIO PRINCIPAL				
Celdas de 20kV				
Número	Transformador de servicios auxiliares			
	Relación de transformación (kV)	Potencia aparente (KVA)	Refrigerante	Cantidad de aceite (kg)
	TSA-1	24/0,42	50	Aceite

Tabla 4: Equipos de la Subestación de Pravia (datos facilitados por EDP)

El complejo está formado por un Parque eléctrico de Intemperie, donde se encuentran los transformadores de potencia, y la aparamenta eléctrica. Además, se encuentra un edificio principal, formado por una única planta (de hormigón prefabricado), donde se encuentra una sala de celdas y una sala con un transformador de servicios auxiliares. Junto al edificio se encuentra una caseta de aseos, y una caseta con un grupo electrógeno.

Interiormente, la Subestación dispone de un vial perimetral, que permite el acceso para el posicionamiento de los vehículos del Servicio de Extinción de Incendios y Emergencias.



**Figura 5: Subestación de Pravia**

En la figura 6, puede observarse una foto de la subestación, en donde se señalan los distintos equipos e instalaciones.



Figura 6: Vista aérea de la SE Pravia (Google Maps, 2017)

Rojo: transformadores principales; Amarillo: casetas; Negro: aparamenta eléctrica; Azúl: vial perimetral.

Los transformadores de potencia se encuentran ubicados en el interior del recinto, sobre un foso de hormigón, o cubeto.



Figura 7: Transformador de potencia de SE Pravia



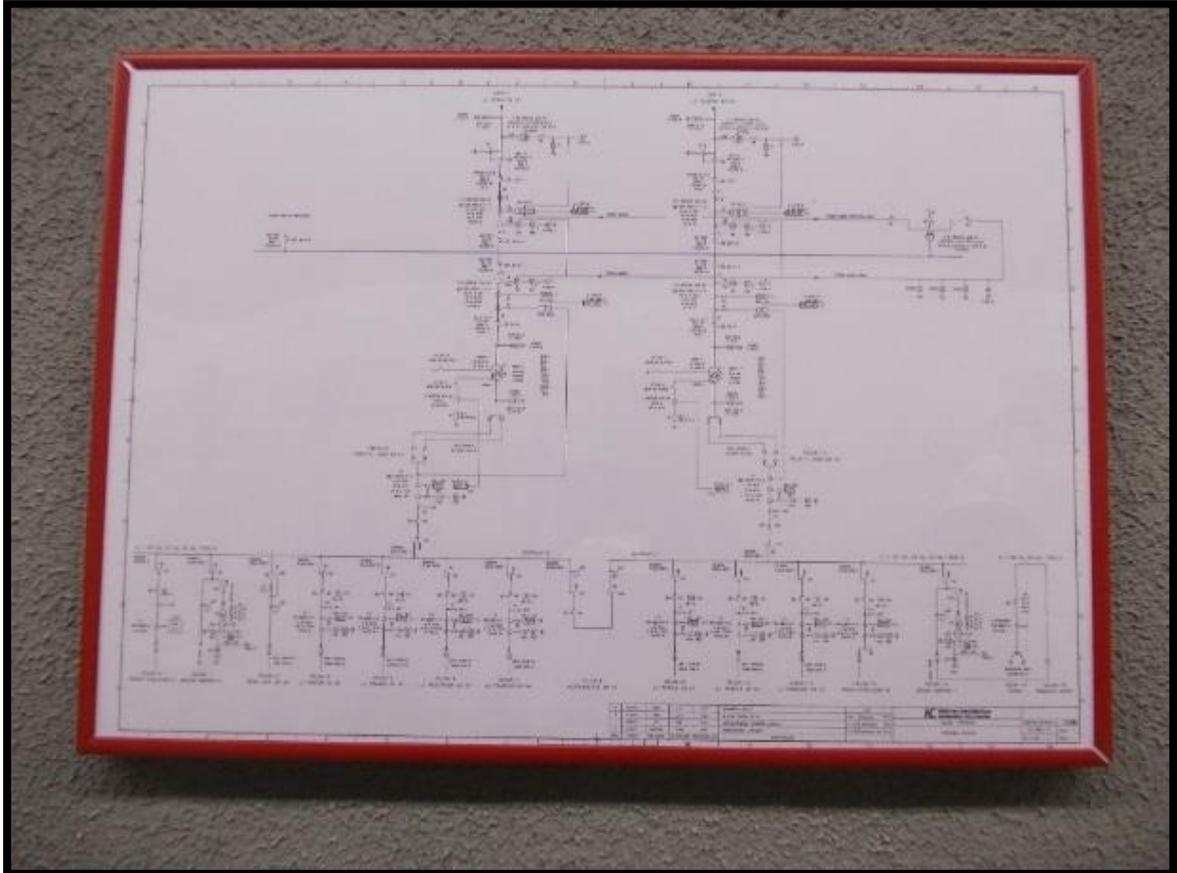
**Figura 8: Transformadores principales y muro antiincendios de la SE Pravia**

Además dispone de unos viales perimetrales, conectados en dos puntos (arquetas) con la red de pluviales con vertido directo al río.



**Figura 9: Vial perimetral de la SE Pravia**

Frente a los transformadores se sitúan las correspondientes posiciones de corte y medida, estando formadas cada una por seccionadores de línea, seccionadores de barras, interruptor, transformadores de intensidad y transformadores de tensión.



**Figura 10: Esquema general de las líneas del Parque de intemperie de SE Pravia**

Los interruptores son en atmósfera de gas SF<sub>6</sub>, de aproximadamente 3kg, que es un gas asfixiante. En este caso, los transformadores de medida de intensidad también son de SF<sub>6</sub>.



**Figura 11: Interruptores y seccionadores de SE Pravia**

Junto a esta zona se encuentran tres casetas como la que se muestra en la Figura 12.



**Figura 12: Casetas de la SE Pravia**

En estas casetas van a encontrarse los siguientes equipos: un transformador de servicios auxiliares, un grupo electrógeno y el propio edificio de control.



**Figura 13: Transformador de servicios auxiliares SE Pravia**

En la caseta del grupo electrógeno además se encuentra un bidón de gasoil.



**Figura 14: Grupo electrógeno SE Pravia**

En el edificio principal se encuentra una sala de control (armario de mando) y una sala de celdas de 20kV.



**Figura 15: cuadro de mando del edificio de control de SE Pravia**

#### 4.2.3. Subestación eléctrica (SE) Carrió

La subestación se localiza en una parcela de 67.900 m<sup>2</sup>, en donde 50.000m<sup>2</sup> pertenecen a las instalaciones de EDP y el resto a la Red Eléctrica de España (REE). Se encuentra distribuido de la siguiente forma:

ZONAS DEL CENTRO	OCUPACIÓN (m <sup>2</sup> )
Parque eléctrico de intemperie (132 kV)	12.300
Edificio principal	640
Área de trafos	750

**Tabla 5: Ocupación de la Subestación de Carrió (Plan de Autoprotección Carrió, 2015)**

El recinto está delimitado por un muro de hormigón de 1,5 metros de altura. Interiormente el complejo dispone de viales de circulación que permiten el paso y circulación de vehículos.

En la siguiente tabla se recogen las características técnicas de esta subestación.

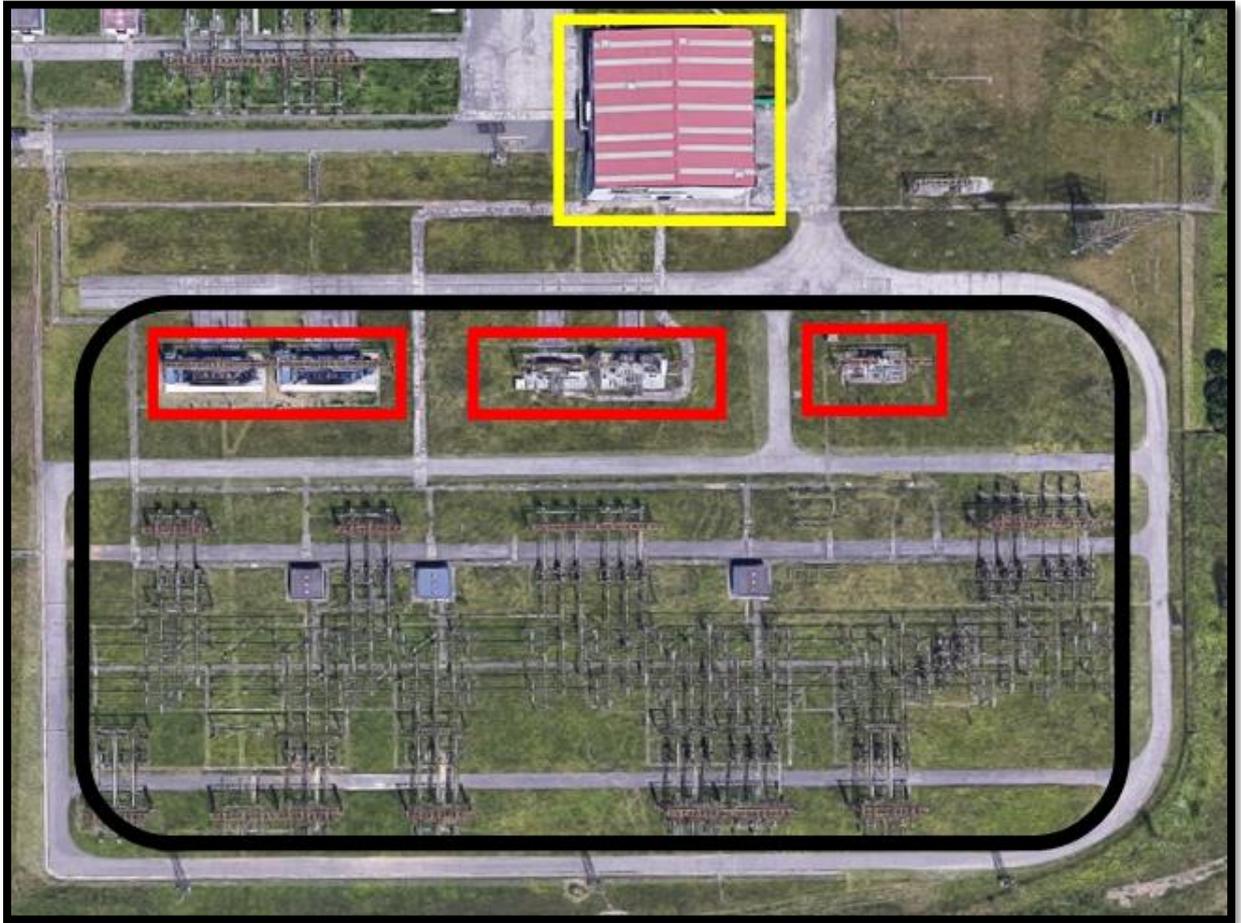
SUBESTACIÓN DE CARRIÓN				
PARQUE ELÉCTRICO (132 Kv)				
Aparamenta eléctrica	Interruptores		Transformadores de medida de intensidad	
	Seccionadores		Transformadores de medida de tensión	
	Línea			
Número	Transformadores de potencia y autotransformadores			
	Relación de transformación (kV)	Potencia aparente (MVA)	Refrigerante	Cantidad de aceite (kg)
T1	132/20	50	Aceite	18000
T2	132/20	30	Aceite	21220
AT1	132/220	270	Aceite	90130
AT2	132/220	270	Aceite	90130
EDIFICIO PRINCIPAL				
Celdas de 20kV y sala de 20 kv				
Sala de control, sala de grupo electrógeno, sala de servicios auxiliares				
Almacén, telecontrol				
Número	Transformador de servicios auxiliares			
	Relación de transformación (kV)	Potencia aparente (KVA)	Refrigerante	
TSA-1	0,38/0,22	400	Seco	
TSA-2	0,38/0,22	400	Seco	

Tabla 6: Equipos de la Subestación de Carrió (datos facilitados por EDP)

El complejo está formado por un Parque eléctrico de Intemperie, donde se encuentran los transformadores de potencia, y autotransformadores, y la aparamenta eléctrica. Además, dispone de un edificio principal, formado por tres plantas (de hormigón prefabricado). En la planta baja se encuentra un almacén, vestuarios, comedor, transformadores de servicios auxiliares y cableado eléctrico. En la planta intermedia se encuentra un almacén, la sala del grupo electrógeno, la sala de relés y sala de montadores. En la planta alta se encuentra una sala de control, sala de celdas de 20 kV y despachos. Repartidas por todo el complejo se encuentran tres casetas eléctricas.



**Figura 16: Subestación de Carrió**



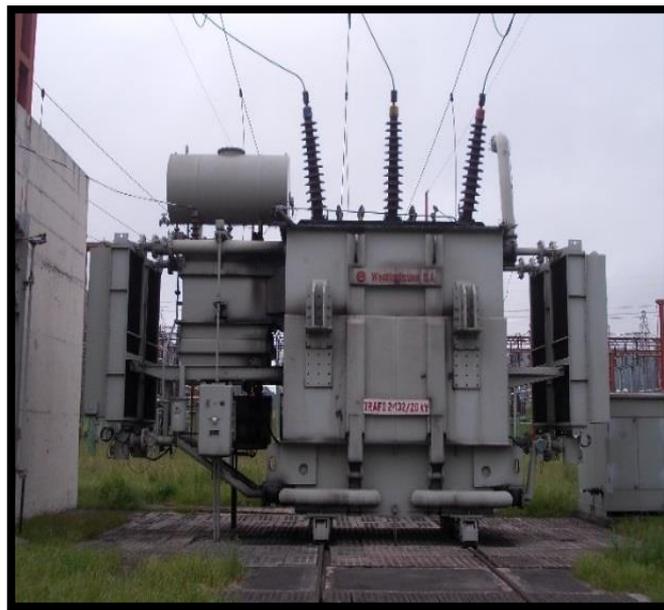
**Figura 17: Vista aérea de la SE Carrió (Google Maps, 2017)**

**Rojo: Autotransformadores (izquierda) y transformadores principales; Amarillo: casetas; Negro: aparamenta eléctrica**

Los autotransformadores, tienen características idénticas entre sí, al igual que los transformadores.



**Figura 18: Autotransformador 2 de SE Carrió**



**Figura 19: Transformador principal de SE Carrió**

El sistema de recogida de aguas pluviales se realiza mediante un canal perimetral, es decir, unas canaletas que rodean todo el parque, dirigiéndose hacia el talud, y finalmente al terreno.

Frente a los transformadores se sitúan las correspondientes posiciones de corte y medida, estando formadas cada una por transformadores de intensidad y transformadores de tensión, seccionadores de posición y de aislamiento, varias líneas e interruptores.



**Figura 20: Aparata eléctrica de SE Carrió**

En el parque se encuentran dos tipos de interruptores diferentes:

- **Interruptores antiguos:** se tratan de interruptores en baño de aceite. Tienen un volumen muy inferior a los transformadores de potencia. Se encuentran en elementos portantes sobre peanas de hormigón.



**Figura 21: Interruptor de baño de aceite de SE Carrió**

- **Interruptores modernos:** son de SF<sub>6</sub>.



**Figura 22: Interruptor de SF<sub>6</sub> de SE Carrió**

El resto de aparamenta eléctrica es similar a la de las subestaciones anteriores.

Junto a esta zona se encuentra el edificio principal, donde se encuentran todos los equipos necesarios para el buen funcionamiento del conjunto de la instalación, incluyendo los transformadores de servicios auxiliares y el grupo electrógeno.

En la sala de 20 kV, se dispone de una serie de cabinas, que contienen celdas de SF<sub>6</sub>.



**Figura 23: Celdas de SF<sub>6</sub> de SE Carrió**

El grupo electrógeno es idéntico al de la subestación de Pravia.

El transformador de servicios auxiliares, en este caso es seco, es decir, no emplea aceite como refrigerante sino que emplea silicona.



**Figura 24: Transformador de servicios auxiliares (seco) de SE Carrió**

## 5. INVENTARIO AMBIENTAL EN EL ENTORNO DE LAS SSEE

Se realiza un análisis de los recursos naturales del entorno de las subestaciones objeto de estudio, susceptibles de ser dañados. Asimismo, se definen las principales características de los mismos.

### 5.1. Caracterización del entorno

#### 5.1.1. Geografía

Se van a especificar las coordenadas UTM y la cota, en el sistema ETRS89, de cada una de las subestaciones, así como el entorno más próximo a las mismas.

#### **SE CARROCERA II**

X	Y	COTA
287163	4796166	260

**Tabla 7: Coordenadas UTM de SE Carrocera II (Plano escala 1:5000 del Principado de Asturias, 2017)**

Se encuentra en un entorno rural, próximo a la aldea de Carrocera y Pumarabín de El Entrego. Existen viviendas unifamiliares en su entorno.

Limita en todos sus laterales con zonas arboladas y zonas puntuales desarboladas debido al paso de las líneas eléctricas, y al Oeste con la carretera SM-5.



Figura 25: Vista aérea del entorno de la SE Carrocera II (Google Maps, 2017)

En la siguiente imagen se muestra con mayor detalle, el entorno inmediato de la SE Carrocera II, donde puede apreciarse la densidad del arbolado.



Figura 26: Entorno inmediato de la SE Carrocera II

**SE PRAVIA**

X	Y	COTA
729103	4816742	77

Tabla 8: Coordenadas UTM de SE Pravia (Plano escala 1:5000 del Principado de Asturias)

Se encuentra en un entorno principalmente rural, próximo al río Aranguín, afluente del Nalón.

Limita al sur y al Oeste, con las instalaciones industriales de LINPAC, al Norte con una piscifactoría y al este con praderías.

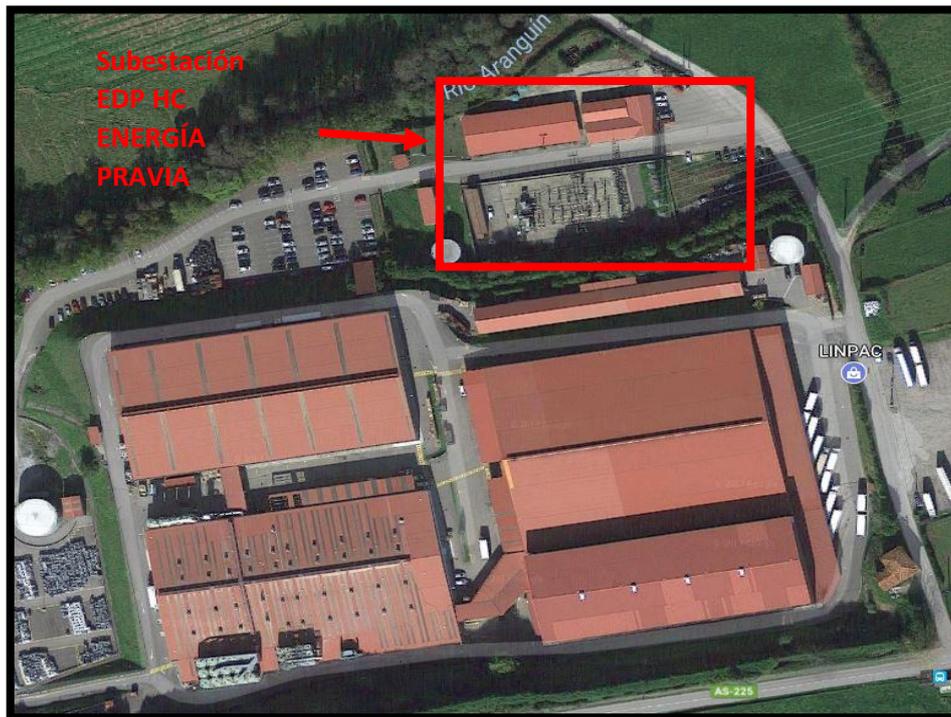


Figura 27: Vista aérea del entorno de la SE Pravia(Google Maps, 2017)

En la figura 28 se muestra el entorno inmediato de la SE de Pravia, en donde se encuentra la piscifactoría y el paso del río Aranguín.



**Figura 28: Entorno inmediato de la SE Pravia**

### **SE CARRIÓ**

X	Y	COTA
279706	4826157	40

**Tabla 9: Coordenadas UTM de SE Carrió (Plano escala 1:5000 del Principado de Asturias)**

Se trata de una zona rural, en la que existe presencia industrial (Central térmica y cementera) a escasamente 1km. Se encuentra ubicada frente a la Central Térmica de Aboño .

El recinto donde se ubica el complejo, linda por el Norte con un camino, por el Este y el Sur con fincas rústicas y por el Oeste, con el núcleo rural de Carrió.

Se encuentra rodeada de zonas de pradería y plantaciones puntuales de eucalipto.

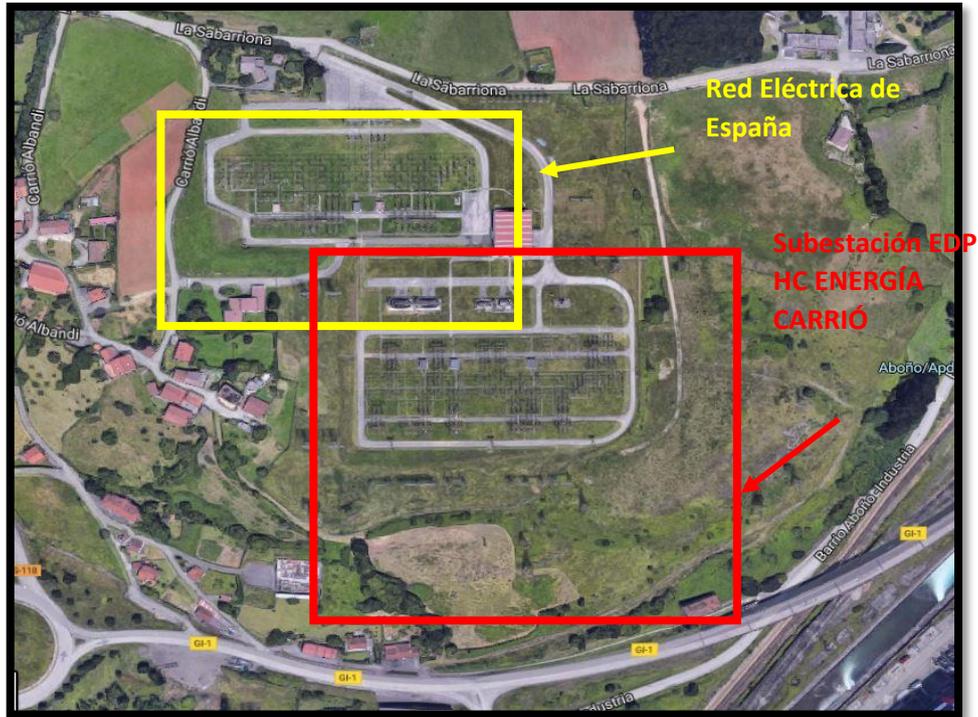


Figura 29: Localización de la Subestación de Carrió

En las Figuras 30 y 31 se detalla el entorno inmediato de la SE Carrió, de praderías, y zonas de suelo natural en el interior de la subestación.



**Figura 30: Entorno inmediato de la SE Carrió (Zonas de pradería)**



**Figura 31: Entorno inmediato de la SE Carrió (Interior de la SE)**

### 5.1.2. Climatología

El Principado de Asturias, se encuadra en lo que a clima se refiere, en la denominada España de clima Oceánico, caracterizada por vientos suaves, veranos frescos, aire húmedo, abundante nubosidad y precipitaciones frecuentes.



Para el estudio climático se han considerado, de entre los datos disponibles, facilitados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), aquellos registrados en las estaciones termopluviométricas más próximas a la zona de estudio, las que cuentan con una serie más completa de datos y las ubicadas a una cota topográfica más semejante a la de la zona de estudio. Así, se han considerado los datos disponibles de las estaciones de Mieres, Avilés y Gijón como representativos de las zonas en las que se ubican las SSEE de Carrocera II, Pravia, Carrió,

Los estudios climáticos derivados de estos datos se muestran a continuación. En todos los casos se muestra un climograma de datos anuales. También se resumen en una tabla los valores medios mensuales y anuales para un año hidrológico medio, obtenidos para el periodo considerado, así como los valores medios mensuales de evapotranspiración potencial y real, según el método de Thornthwaite y el valor de la lluvia útil correspondiente. Asimismo, se muestran también los valores de la precipitación de un año seco y un año húmedo.

#### **Estación de Santa Cruz de Mieres (Ref. 1229U)**

Se ha elegido esta estación por ser la que cuenta con una serie más completa de datos, pese a no ser la más próxima a la SE de Carrocera II, ya que las estaciones existentes en el entorno de Laviana y Langreo disponen de un menor número de datos, ya no están operativas y/o no son termopluviométricas. Dada la diferencia de cota, es de esperar un volumen de precipitaciones ligeramente superior en la zona de estudio. Esta estación se encuentra ubicada en las coordenadas UTM (274785.8, 4785606.6) y a 280 m de altitud.

La variación de la precipitación anual registrada durante el periodo 1983–2015, así como los umbrales de año tipo se muestran en la siguiente gráfica. Se aprecia que durante la serie han existido tres años secos (1994, 2000 y 2006) y dos húmedos (1992 y 2013).

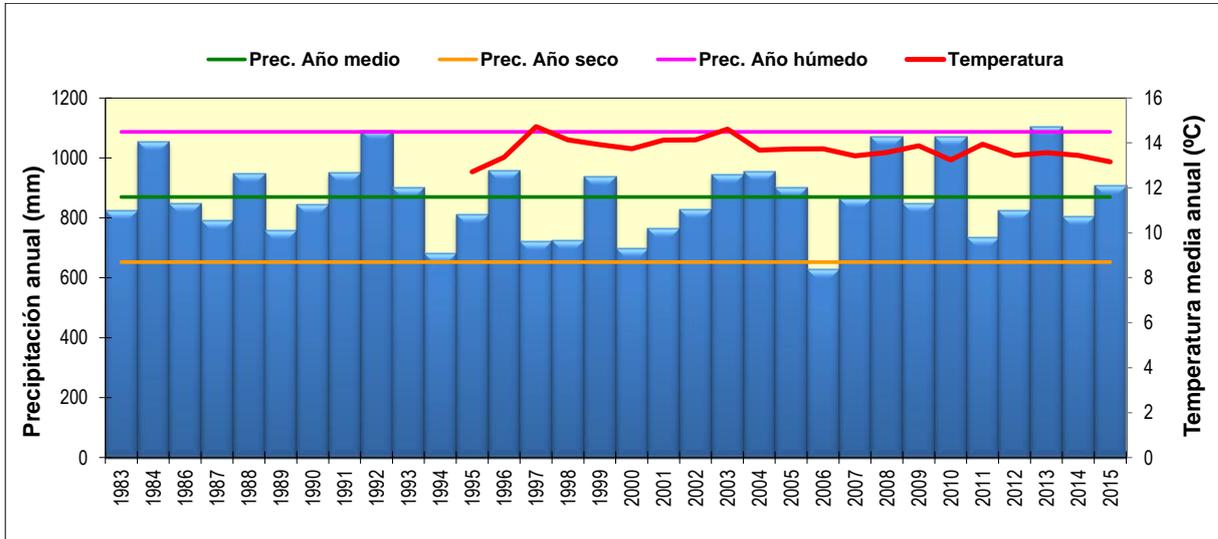


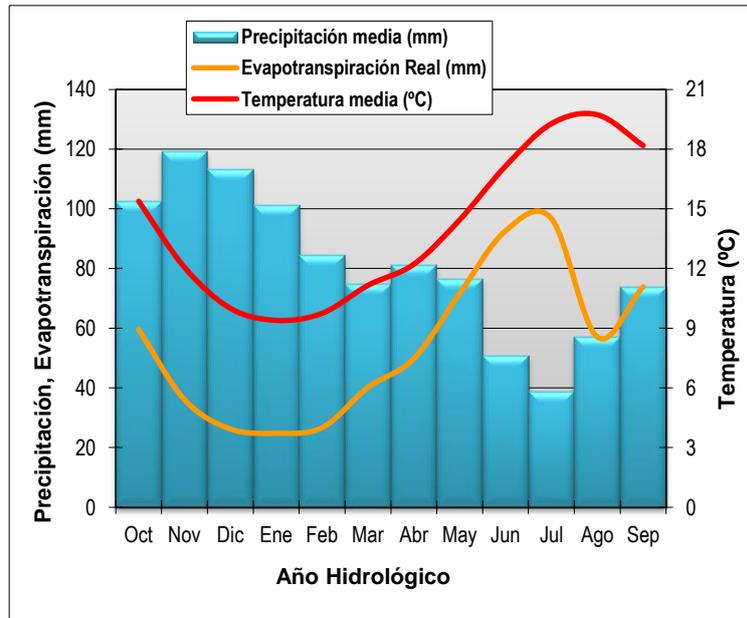
Figura 32: Climograma anual para el periodo 1983-2015 estación de Mieres

Santa Cruz de Mieres	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	AÑO
Precipitación (mm)	77.6	99.8	78.2	80.0	87.3	79.7	96.6	77.2	53.1	42.0	46.6	51.4	869
Temperatura media (°C)	15.3	10.7	8.7	8.3	8.6	10.9	12.3	14.9	17.9	19.7	20.0	18.2	13.8
Evapotranspiración Potencial (mm)	59.5	30.8	21.8	21.2	22.9	39.6	51.0	75.5	99.3	115.9	109.6	83.4	731
Evapotranspiración Real (mm)	59.5	30.8	21.8	21.2	22.9	39.6	51.0	75.5	99.3	95.8	46.6	51.4	615
Reserva (mm)	0	18.1	87	100	100	100	100	100	100	53.8	0.0	0	759
Déficit (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20.1	63.0	32.0	115
Superávit (mm)	0	0	43.5	58.8	64.4	40.1	45.6	1.7	0	0	0	0	254
													Precipitación útil (mm)
													254
													Precipitación año seco (mm)
													652
													Precipitación año húmedo (mm)
													1087

Tabla 10: Valores climatológicos para un año hidrológico medio en la zona de estudio SE Carrocera II

Se puede observar que la precipitación de un año hidrológico medio es de unos 870 mm, de los cuales, se evapotranspira un 71%, con lo que se tiene una lluvia útil anual de unos 250 mm. Por otra parte, el balance hecho mes a mes, permite estimar que la reserva del suelo está llena 6 meses al año, de Enero a Junio (se ha tomado un valor de 100 mm de reserva útil), mientras que existe déficit en los meses de Julio a Septiembre (únicos meses en los que la evapotranspiración real es inferior a la potencial) y superávit (exceso que generará

escorrentía) en el periodo que va de Diciembre a Mayo. Estos valores se consideran extrapolables a la zona de ubicación de la SE de Carrocera II.



**Figura 33: Variación de precipitación, temperatura y evapotranspiración real a lo largo de un año hidrológico medio en el entorno de la SE de Carrocera II**

#### **Estación de Avilés, Aeropuerto de Asturias (Ref. 1212E)**

Se han considerado los datos registrados en la Estación Ranón "Aeropuerto de Asturias", facilitados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) por ser, dentro de las más próximas a la zona de estudio, aquella que posee registros más fiables, completos y durante un periodo de tiempo más prolongado (1969-2015). La variación de la precipitación anual registrada durante el periodo de funcionamiento de la estación se muestra en la siguiente gráfica. Se aprecia que durante la serie han existido algunos años húmedos como 1971, 1979 y 1984 y años secos como el 2000.

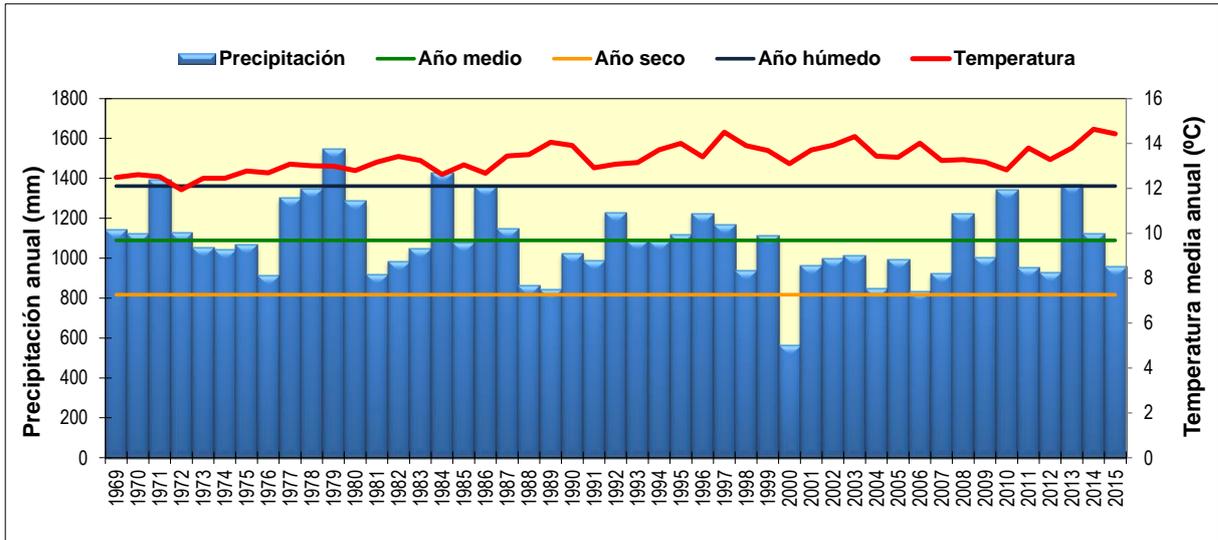


Figura 34: Climograma anual para el periodo 1969-2015 estación de Avilés

Ranón 'Aeropuerto de Asturias'	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	AÑO		
Precipitación (mm)	105.4	132.2	116.2	117.8	97.0	93.7	99.5	86.5	63.5	48.3	54.2	74.7	1089		
Temperatura media (°C)	15.0	11.7	9.8	9.3	9.4	10.3	11.2	13.4	16.0	18.0	18.6	17.3	13.3		
Evapotranspiración Potencial (mm)	59.7	36.9	27.4	26.4	27.2	38.6	46.9	67.7	87.0	104.5	100.9	79.7	703		
Evapotranspiración Real (mm)	59.7	36.9	27.4	26.4	27.2	38.6	46.9	67.7	87.0	104.5	74.5	74.7	671		
Reserva (mm)	0	45.8	100	100	100	100	100	100	100	76.4	20.3	0	842		
Déficit (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26.4	5.0	31		
Superávit (mm)	0	41	88.7	91.3	69.9	55.1	52.6	18.8	0	0	0	0	418		
													Precipitación útil (mm)	418	
														Precipitación año seco (mm)	817
														Precipitación año húmedo (mm)	1361

Tabla 11: Valores climatológicos para un año hidrológico medio en la zona de estudio SE Pravia

La precipitación de un año hidrológico medio es de unos 1090 mm, de los cuales, se evapotranspira un 62%, con lo que se tiene una lluvia útil anual de unos 420 mm. La reserva del suelo está llena 7 meses al año (se ha tomado un valor de 100 mm de reserva útil), mientras que existe déficit en los meses de Agosto y Septiembre (únicos meses en los que la evapotranspiración real es inferior a la potencial) y superávit (exceso que generará escorrentía) en el periodo que va de Noviembre a Mayo. Estos valores se consideran extrapolables a la zona de ubicación de la SE de Pravia.

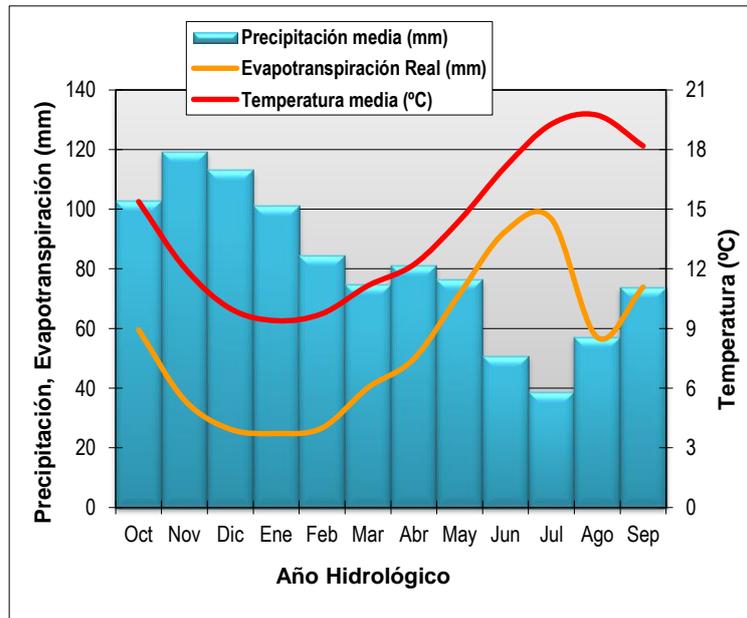


Figura 35: Variación de precipitación, temperatura y evaporación real a lo largo de un año hidrológico medio en el entorno de la SE de Pravia

### Estación de Gijón (Ref. 1208)

La serie considerada abarca el periodo 1939-2011 y corresponde a los datos recogidos sucesivamente en tres estaciones próximas:

Estación	Ref. AEMET	Longitud	Latitud	Altitud (m)	Periodo de funcionamiento
Gijón La Merced	1208A	5° 39' 43" W	43° 32' 30" N	22	1-10-1938 a 31-5-1976
Gijón	1208	5° 38' 15" W	43° 32' 20" N	3	1-6-1976 a 5-4-2001
Gijón Musel	1208H	5° 41' 55" W	43° 33' 39" N	5	6-4-2001 a actualidad

Tabla 12: Ubicación y periodo de registro de las estaciones termopluviométricas de Gijón consideradas

La variación de precipitación y temperatura anuales registradas durante el periodo 1939-2011 se muestra en la siguiente gráfica. Se aprecia que durante la serie han existido tres años húmedos (1940, 1941 y 1979) y tres años secos (1953, 1981 y 2011).

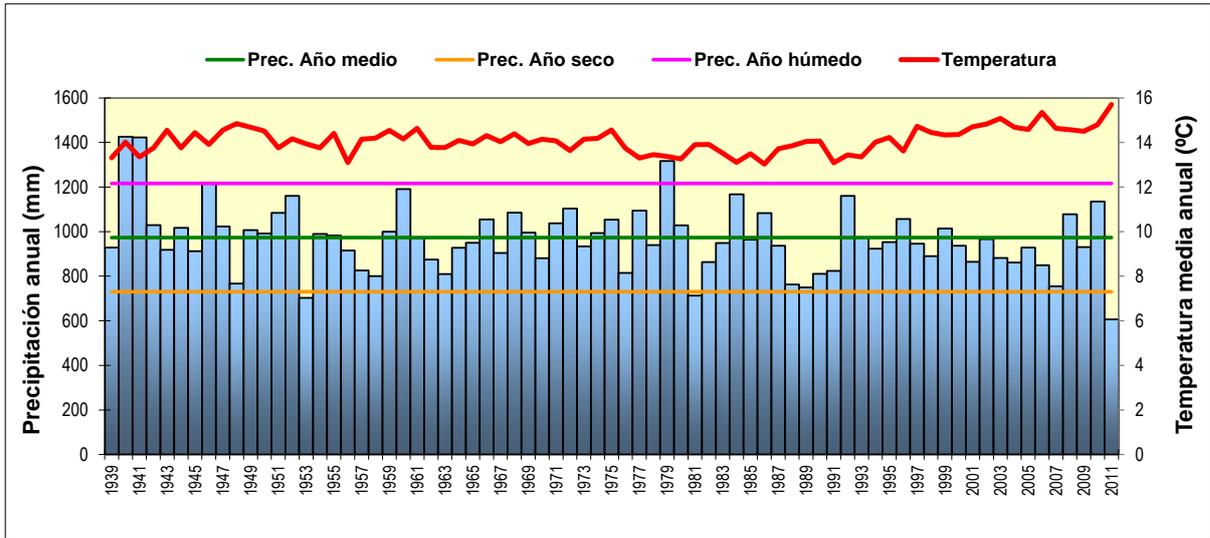
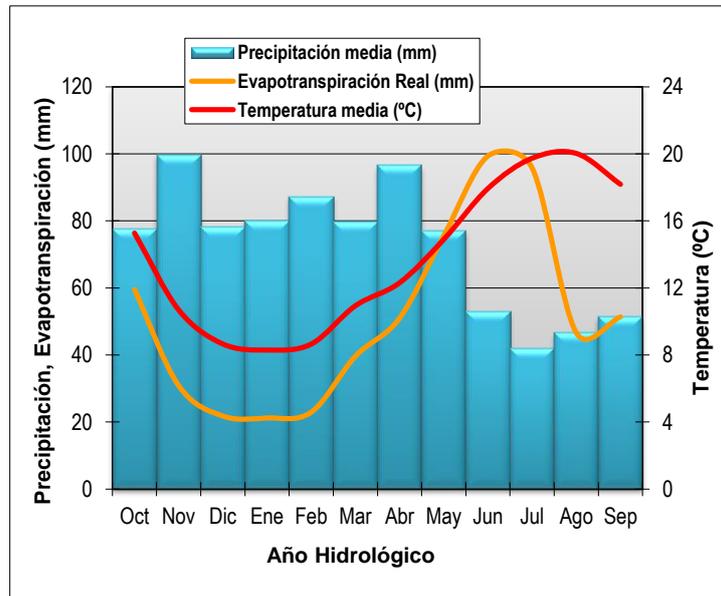


Figura 36: Climograma anual para el periodo 1939-2011 estación de Gijón

	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	AÑO		
Precipitación (mm)	103	119	113	101	84	75	81	76	51	39	57	74	973		
Temperatura media (°C)	15	12	10	9	10	11	12	14	17	19	20	18	14		
Evapotranspiración Potencial (mm)	60	36	26	25	27	40	50	72	93	111	107	83	729		
Evapotranspiración Real (mm)	60	36	26	25	27	40	50	72	93	97	57	74	655		
Reserva (mm)	0	43	100	100	100	100	100	100	100	58	0	0	801		
Déficit (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	50	9	74		
Superávit (mm)	0	26	87	76	58	35	31	5	0	0	0	0	318		
													Precipitación útil (mm)	318	
														Precipitación año seco (mm)	730
														Precipitación año húmedo (mm)	1217

Tabla 13: Valores climatológicos para un año hidrológico medio en la zona de estudio SE Carrió

Se puede observar que la precipitación de un año hidrológico medio es de unos 973 mm, de los cuales, se evapotranspira un 67%, con lo que se tiene una lluvia útil anual de unos 320 mm. El balance hecho mes a mes, permite estimar que la reserva del suelo está llena 7 meses al año, de Diciembre a Junio (se ha tomado un valor de 100 mm de reserva útil), mientras que existe déficit en los meses de Julio, Agosto y Septiembre (únicos meses en los que la evapotranspiración real es inferior a la potencial) y superávit (exceso que generará escorrentía) en el periodo que va de Noviembre a Mayo. Estos valores se consideran extrapolables a la zona de ubicación de la SE de Carrió.



**Figura 37: Variación de precipitación, temperatura y evapotranspiración real a lo largo de un año hidrológico medio en el entorno de la SE de Carrió**

### **RÉGIMEN DE VIENTOS**

En Asturias, el hecho más destacable y de más importancia en cuanto al régimen de vientos es su marcada estacionalidad. Durante la estación fría, los vientos en el litoral asturiano son preferentemente del suroeste. Esta dominancia de vientos responde a que el anticiclón de las Azores se retira hacia el Sur y permite una trayectoria mucho más meridional de las borrascas atlánticas. Los vientos del SW sólo provocan precipitaciones en las zonas de montaña. En el verano el desarrollo del anticiclón de las Azores implica una dominancia de los vientos del noreste, fríos y secos.

En el entorno de las subestaciones, los vientos rotan en muy diferentes direcciones, si bien los más frecuentes provienen del WSW y W, así como en la dirección contraria, NE (La página de Bedri, 2017).

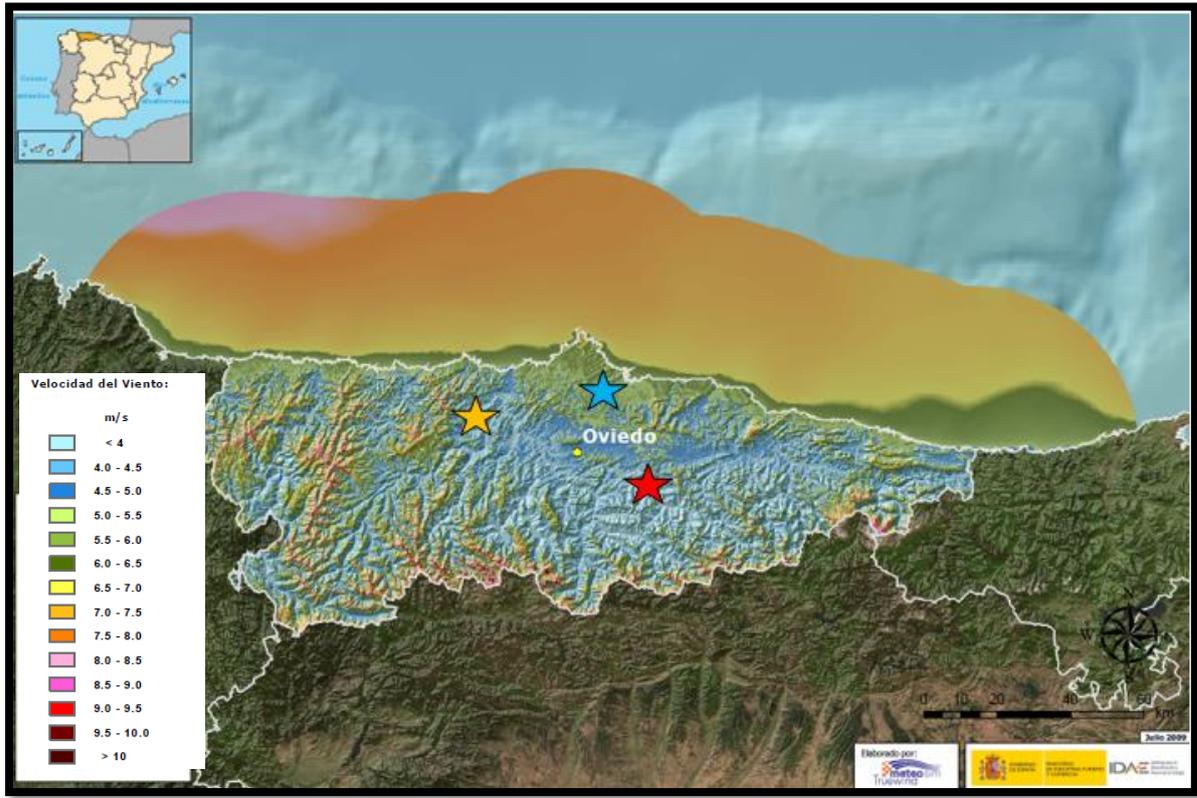


Figura 38: Mapa eólico de Asturias (IDAE, 2009)

Rojo: Carrocera II; Naranja: Pravia Azúl: Carrió

En la siguiente tabla se recogen las velocidades del viento correspondiente a cada subestación. Se van a considerar las velocidades más altas.

SUBESTACIÓN	VELOCIDAD DEL VIENTO(m/s)
Carrocera II	5-5,5
Pravia	5,5-6
Carrió	5,5-6

Tabla 14: Velocidad del viento de acuerdo al Mapa Eólico de Asturias (IDAE, 2009)



### 5.1.3. Geología, geotecnia, edafología

#### **GEOLOGÍA**

##### **Subestación de Carrocera II**

La zona se sitúan geológicamente dentro de la unidad litoestructural conocida como “Cuenca Carbonífera Central”, más concretamente en la “Unidad Oriental” o de “Aller-Nalón”. En este sector, la configuración se adapta a una estructura en sinclinorio, desarrollada sobre materiales del Carbonífero Superior (o “productivo”). En concreto, la subestación Carrocera II se ubica en el dominio del “Sinclinal de El Entrego”, que corresponde a una estructura de dirección general NE-SO, con plano axial vertical, y flancos normales, situándose en el flanco SE de la estructura, sobre materiales de los paquetes “Entrerregueras” y “Sorriego”.

##### **Subestación de Pravia**

La zona se dispone geológicamente en la parte más occidental de Zona Cantábrica, más concretamente en la Unidad de Somiedo de la Región de Pliegues y Mantos. Tectónicamente se sitúa en el entorno del frente de cabalgamiento de Salas que pone en contacto, en la zona, materiales precámbricos con materiales devónicos.

##### **Subestación de Carrió**

Por su parte, la subestación de Carrió se sitúa en la parte más septentrional de la Región de Pliegues y Mantos, en las proximidades de su límite oriental, que en esta zona se corresponde con la falla alpina que enfrenta a las cuarcitas ordovícicas del cabo Torres con las rocas jurásicas del subsuelo de Gijón. En las proximidades de la subestación afloran las potentes series devónicas recubiertas de forma discordante por sedimentos triásicos.

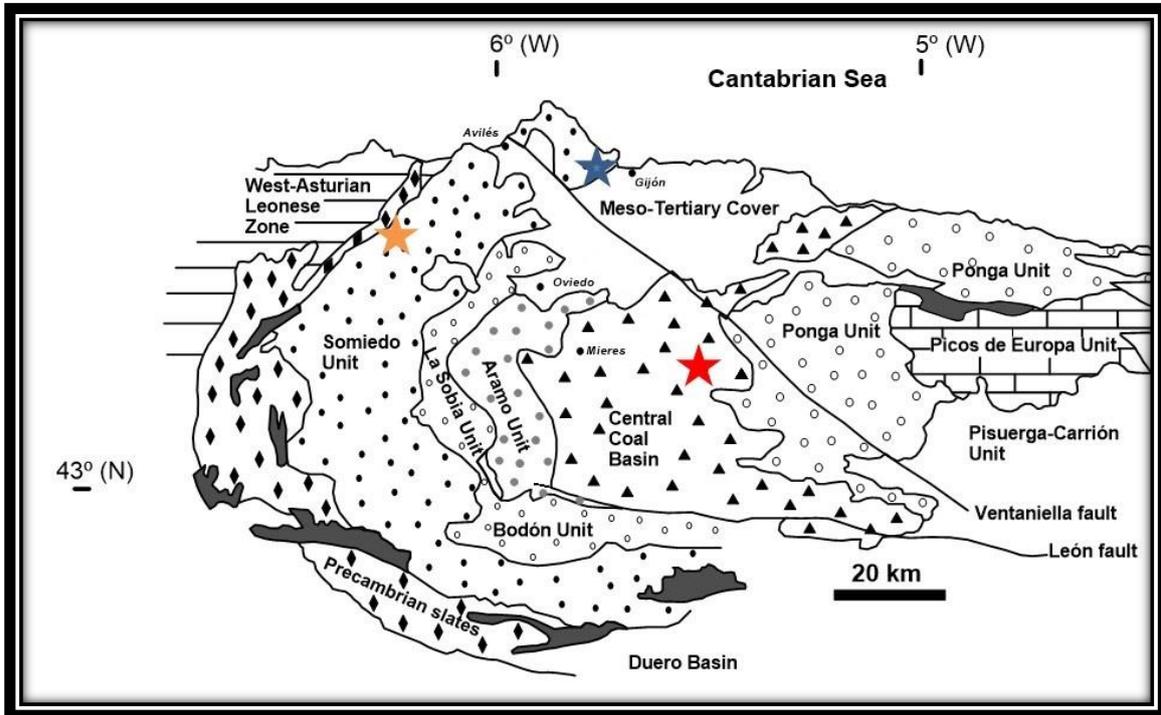


Figura 39: Localización de las subestaciones en las zonas geológicas de Asturias

Rojo:Carrocera II; Naranja:Pravia; Azúl: Carrió

## ESTRATIGRAFÍA

### Subestación de Carrocera II

Una información detallada de la litoestratigrafía de este sector se puede consultar en el Anexo a la hoja 53 del Mapa geológico Nacional (Mieres).

Estratigráficamente, la zona se dispone sobre un sustrato rocoso formado por “series alternantes” de pizarras, areniscas, conglomerados y pasos de carbón conocido en su conjunto y a nivel regional como “Grupo Sama”. Algunas potentes bandas de areniscas resaltan en el relieve. Estos materiales poseen una permeabilidad baja asociada a la fracturación.

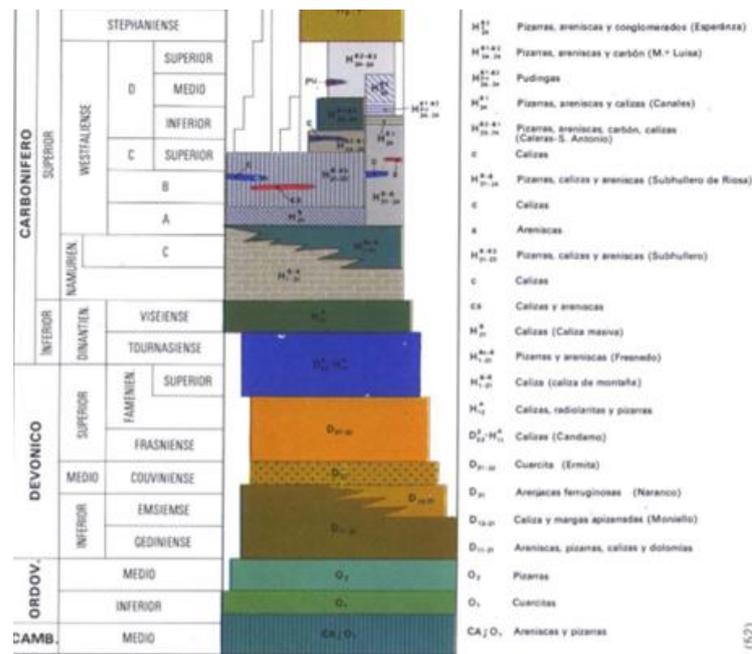
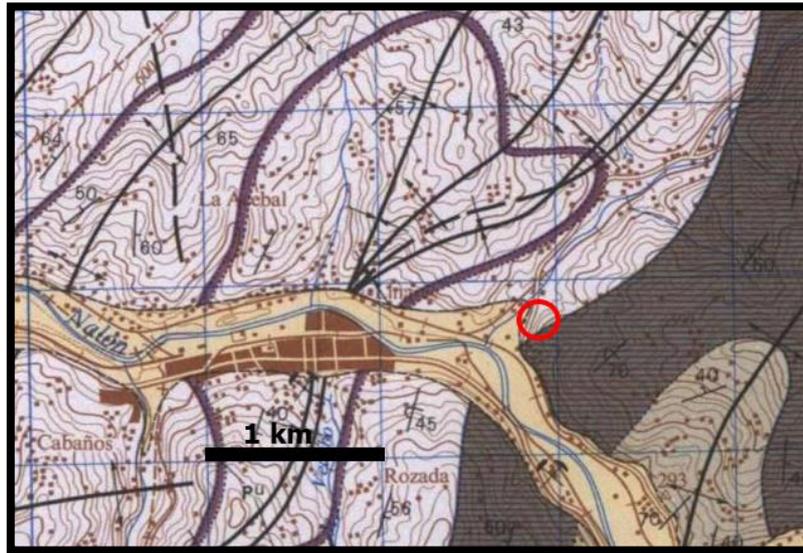
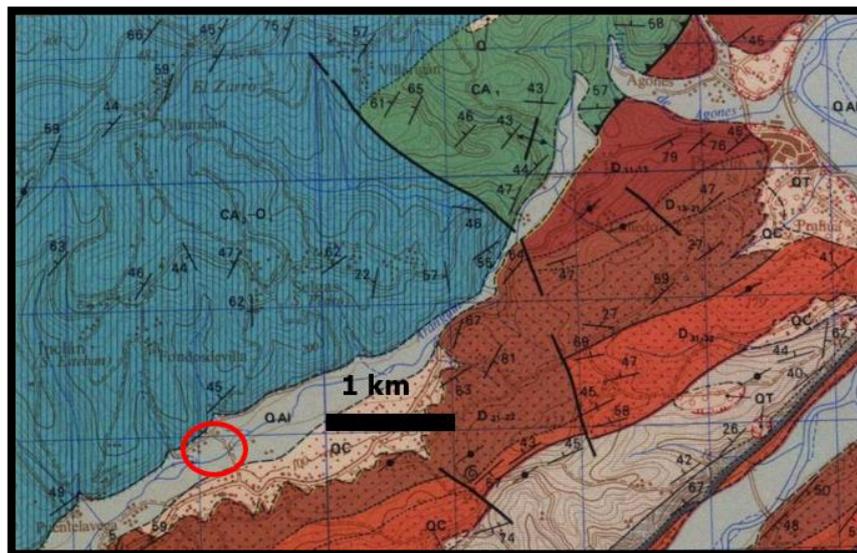


Figura 40: Mapa geológico del entorno de la subestación de Carrocera II y leyenda del mismo (según el mapa geológico de España, hoja 53).

### Subestación de Pravia

Una información detallada de la litoestratigrafía de este sector se puede consultar en el Anexo a la hoja 28 del Mapa geológico Nacional (Grado).

Estratigráficamente el sustrato está formado por materiales de la formación Oville de edad cámbrico-ordovícica, constituida por cuarcitas y areniscas alternando con pizarras blanquecinas y verdosas. El sustrato rocoso se encuentra recubierto por depósitos aluviales del río Aranguín, que son sobre los que se ubica la subestación. Los depósitos aluviales están formados por un nivel superior arenoso o areno-limoso y un nivel inferior de bolos y gravas redondeadas que presentan permeabilidad alta por porosidad intergranular.



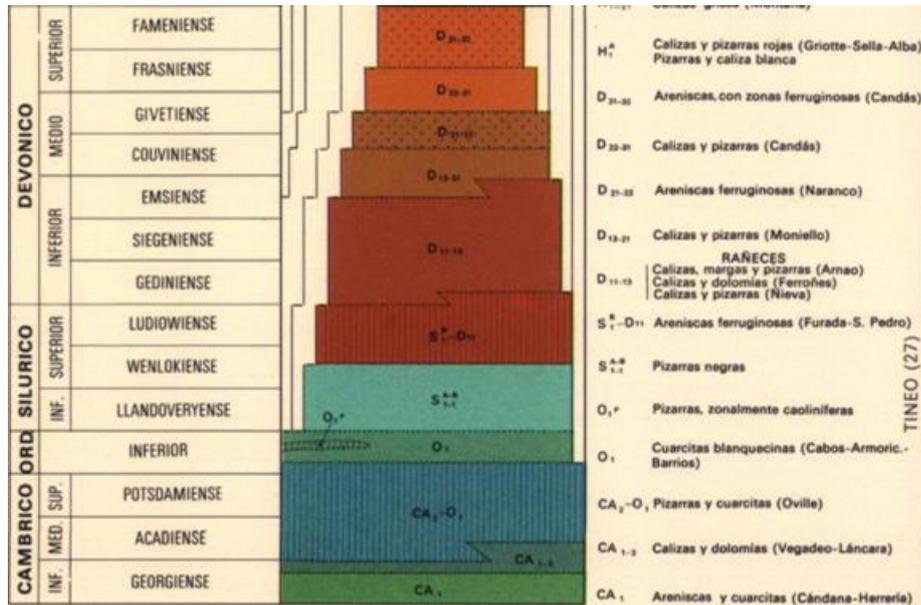


Figura 41: Mapa geológico del entorno de la subestación de Pravia y leyenda del mismo (según el mapa geológico de España, hoja 28).

### Subestación de Carrió

Una información detallada de la litoestratigrafía de este sector se puede consultar en el Anexo a la hoja 14 del Mapa geológico Nacional (Gijón).

Estructuralmente la zona se sitúa en el bloque occidental de la conocida falla de Torres, que con dirección general NE-SW pone en contacto materiales paleozoicos con materiales de la sucesión jurásica.

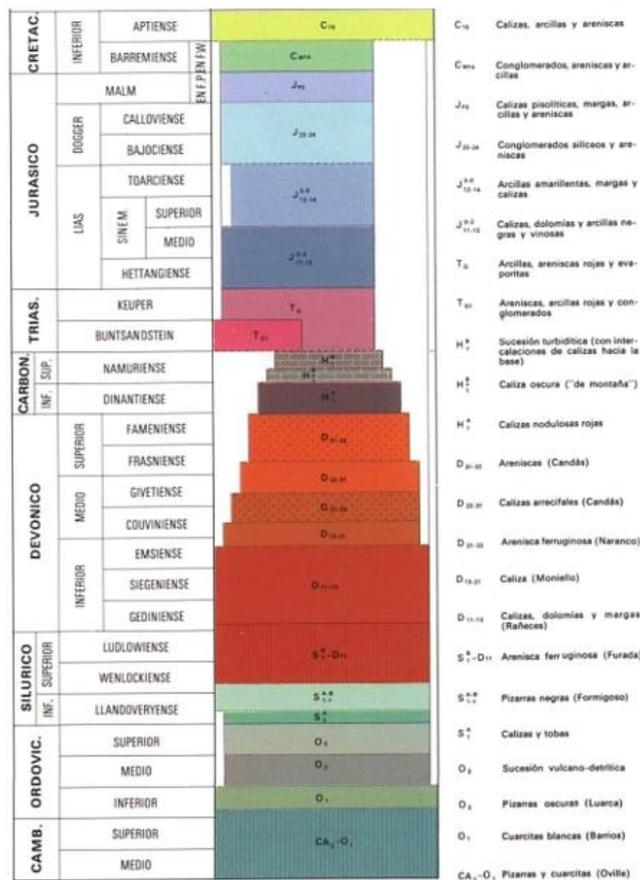
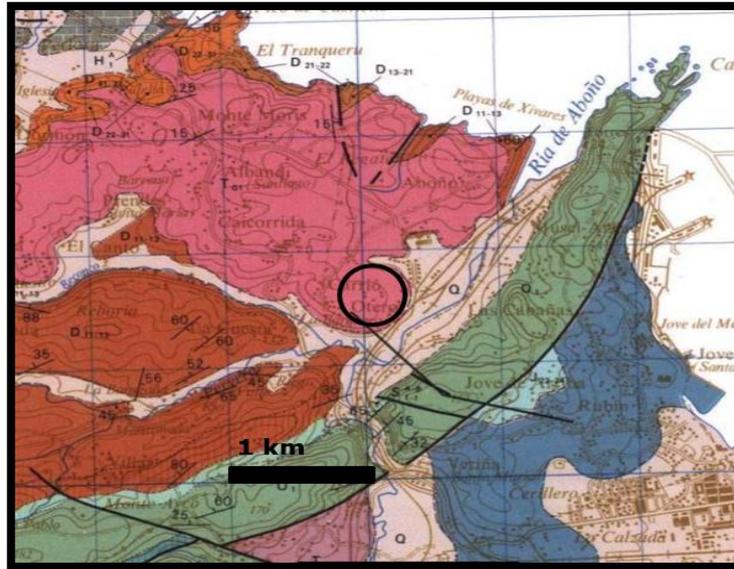


Figura 42: Mapa geológico del entorno de la subestación de Carrió y leyenda del mismo (según el mapa geológico de España, hoja 14).



La instalación se ubica sobre materiales del Triásicos, en concreto en facies Buntsandstein que está constituido por arcillas, arenas y conglomerados. Estos materiales poseen una permeabilidad muy variable, desde media en los conglomerados y arenas a prácticamente nula en las arcillas.

## **GEOTECNIA**

### **Subestación de Carrocera II**

La zona de estudio se sitúa en la Hoja 10 (“Mieres”) del mapa Geotécnico de España (E 1:200.000), en una zona codificada como unidad I5.

Se trata de una zona de relieve acusado, bastante tectonizada y con muy frecuentes deslizamientos y fenómenos de solifluxión, con una calificación de “localmente inestable”. Litológicamente se trata de masas muy potentes de pizarras y areniscas con intercalaciones esporádicas de calizas, conglomerados y carbón. En superficie zonas importantes de alteraciones limo-arcillosas, arcillo-arenosas y arcillas con gravas. Se trata de una zona impermeable, como corresponde a un dominio pizarroso, salvo pequeños aportes por fisuración. La hidrología subterránea es prácticamente nula y la circulación superficial, variable. Se trata de un área con drenaje deficiente. Las condiciones constructivas se catalogan entre favorables y aceptables pero muy condicionadas por la topografía y el estado de evolución morfológica de las laderas.

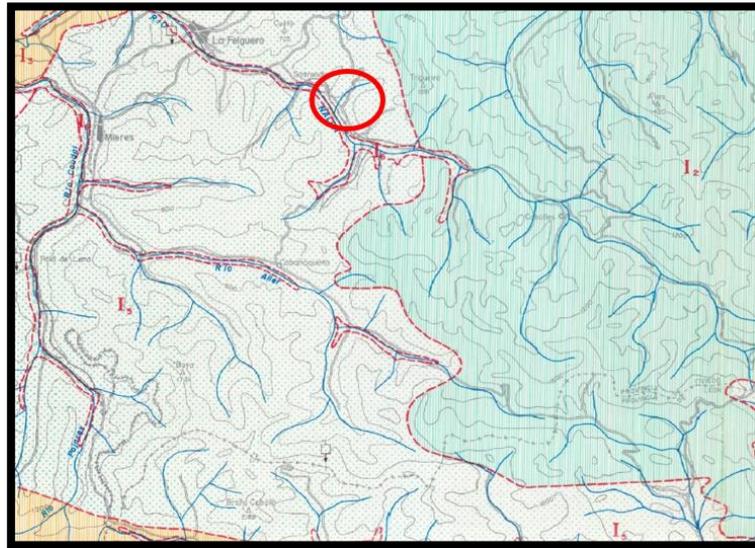


Figura 43: Detalle del mapa geotécnico del ámbito de estudio de Carrocera II (IGME)

### Subestación de Pravia

La zona de estudio está situada en la Hoja 2 (“Avilés”) del Mapa Geotécnico de España (E 1:200.000), en una zona codificada como unidad I<sub>4</sub> (la zona de recubrimiento) e I<sub>3</sub> (el sustrato rocoso).

I<sub>3</sub>: Se trata de una zona de relieve acusado, pizarrosa y calcáreo-detrítica formada por terrenos antiguos que forman dos unidades, una eminentemente pizarrosa y otra detrítico-calcárea, afectada una por tectonización y la otra por la presencia de deslizamientos superficiales y la presencia de depósitos de coluvión. El drenaje superficial está bien desarrollado. El drenaje subterráneo es prácticamente nulo en los dominios pizarrosos y condicionado por el karst en los calcáreos. Las condiciones constructivas son favorables en términos generales, ocasionalmente modificadas por factores geomorfológicos.

I<sub>4</sub>: Se trata de zonas de relieve plano, formadas por terrenos recientes de distribución irregular y litología detrítica y arcillosa diversa. Coincide con formas de relieve planas. La permeabilidad suele ser grande y en gran número de casos constituye zonas de aguas subálveas. Las condiciones constructivas son aceptables con variaciones locales salvo en el caso de las rías que son muy desfavorables.

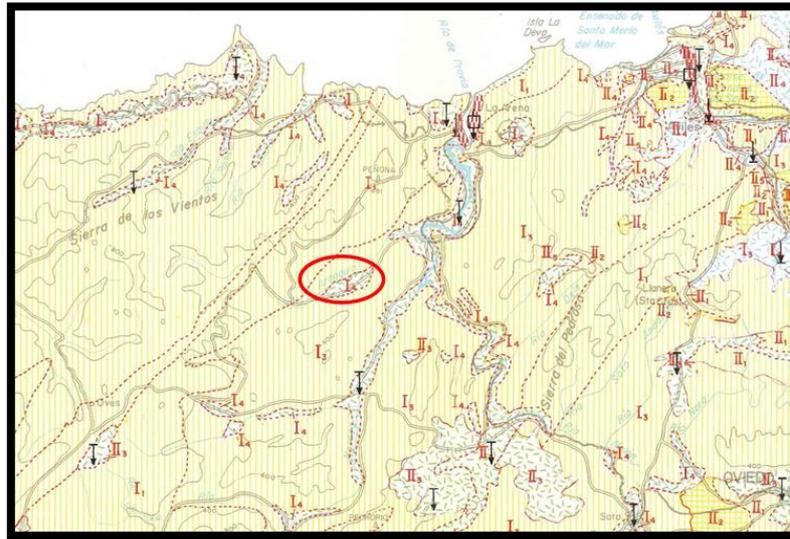


Figura 44: Detalle del mapa geotécnico del ámbito de estudio, Pravia (IGME)

### Subestación de Carrió

La zona de estudio se sitúa en la Hoja 3 ("Oviedo") del mapa Geotécnico de España (E 1:200.000), en una zona codificada como unidad II<sub>4</sub>.

Se trata de una zona de relieve medio, ocupando medias laderas y fondos de valle con deslizamientos frecuentes en zonas arcillosas. En su conjunto, el área es estable en los tramos detríticos e inestable en los arcillosos. Litológicamente se trata de una zona constituida por margas y arcillas con bancos de arenisca, argilita y pizarras arcillosas con presencia de conglomerados y yesos. En superficie existe predominio de suelos arcillosos. La zona resulta impermeable en los tramos arcillosos y con alguna permeabilidad en los tramos detríticos. La circulación subterránea del agua es prácticamente nula, con drenaje superficial variable entre deficiente y aceptable en función de la pendiente. Las condiciones constructivas son desfavorables en los tramos más superficiales y aceptables en los tramos más profundos.

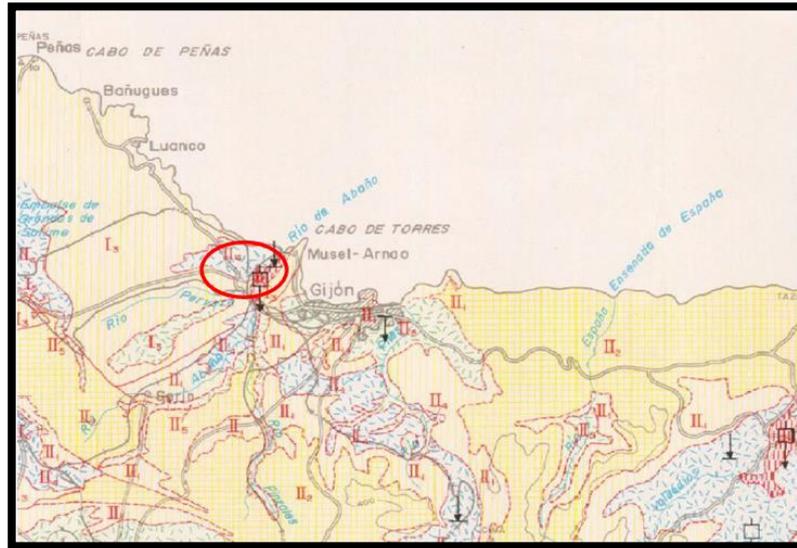


Figura 45: Detalle del mapa geotécnico del ámbito de estudio, Carrió(IGME)

### EDAFOLOGÍA

En Asturias, según la Taxonomía de suelos del USDA-NRCS (USDA, 1991) los suelos predominantes son el Ustochrept y la asociación entre el Ustorthent + Haplumbrept.

Atendiendo a la clasificación de suelos propuesta por USDA, se diferencian los siguientes órdenes taxonómicos.

**Inceptisol:** se trata de suelos de poca o media evolución pero cuyos horizontes permanecen húmedos 9 meses al año. Los horizontes son de génesis de rápida formación, con procesos de intercambio de materiales o meteorización extrema. Se desarrollan en zonas con pendientes abruptas, en donde la erosión del suelo va a eliminar la parte superficial del terreno. Normalmente suelen tener aprovechamiento forestal, aunque también son suelos de praderas y cultivos.

- Las Subestaciones de Carrió y Pravia, pertenecen al grupo Ustochrept. Son suelos profundos, con un bajo contenido en materia orgánica. Tienen un pH moderadamente básico y su textura es franco-arcillosa.

- Carrocera II se asienta sobre un suelo de tipo Dystrochrept. Se trata de suelo superficial, con un contenido medio en materia orgánica y su textura es franco-limosa.

En cuanto a la permeabilidad de los materiales presentes en el subsuelo de cada subestación, se destaca:

- Carrocera II posee una permeabilidad baja, ya que los materiales que los forman son areniscas y pizarras.
- Pravia: posee una variada permeabilidad, en función de los materiales presentes. La permeabilidad alta se encuentra en las zonas en donde estén presentes arenas, gravas y bolos. Una permeabilidad media va asociada a arenas limosas, y una permeabilidad baja debido al sustrato de areniscas y pizarras.
- Carrió: posee una permeabilidad media debido a los conglomerados y arenas, y una permeabilidad baja en zonas donde se presenten arcillas.

## 5.2. Hidrología e hidrogeología

### 5.2.1. Hidrología superficial

#### **Subestaciones de Carrocera II y Pravia**

Se ubican dentro de la cuenca del río Nalón, perteneciente a la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Occidental.

Las subestación de Carrocera II se encuentran en el margen derecho del río Nalón. En el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Occidental se denomina la masa de agua Río Nalón III (código ES171MAR001380) con una longitud de 80km y una superficie de cuenca vertiente de 351,96km<sup>2</sup>. En el año 2013, último año del que se registraron datos, se realizó una evaluación del estado de dicha masa de agua. El potencial ecológico está



calificado como "Bueno", y el estado químico como "No alcanza el buen estado", lo que da lugar a que el estado total de la masa de agua sea evaluado como "No alcanza el buen estado" (Caracterización de las Masas de Agua Muy modificadas, Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Occidental, 2013). El caudal medio del Río Nalón es de 55,18m<sup>3</sup>/s (Confederación Hidrográfica del Cantábrico, Estación de Aforo 1346 en Grado, año).

La subestación de Pravia se encuentra en el margen derecho del río Aranguín, a unos 4 km de su desembocadura en el río Nalón del que es afluente por el margen izquierdo. En el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Occidental, se denomina la masa de agua "Río Aranguín" (código ES194MAR001720) tratándose de ríos costeros cántabro-atlánticos, con una longitud de 22km y superficie de cuenca vertiente de 77 km<sup>2</sup>. En el 2013, el potencial ecológico del río, está calificado como "Moderado" y el estado químico como "Bueno" lo que da lugar a que el estado total de esta masa de agua sea evaluado como "Bueno". No se encuentran disponibles datos del caudal medio del río Aranguín (necesarios para el cálculo del IDM), pero no se considera de los principales afluentes al margen izquierdo del río Nalón, por lo que adoptando un punto de vista conservador se toma como un río medianamente caudaloso.

### **Subestación de Carrió**

La zona se localiza en la cuenca del río Aboño, que es un río costero de unos 20 km que vierte directamente al mar y cuya cuenca se enmarca dentro del Sistema de explotación del Nalón perteneciente a la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Occidental. Las instalaciones se encuentran en la margen izquierda del río Aboño (350m).

Calidad de las aguas superficiales: El río Aboño está evaluado en el Plan Hidrológico con un estado total de la masa de agua como "No alcanza el Bueno".

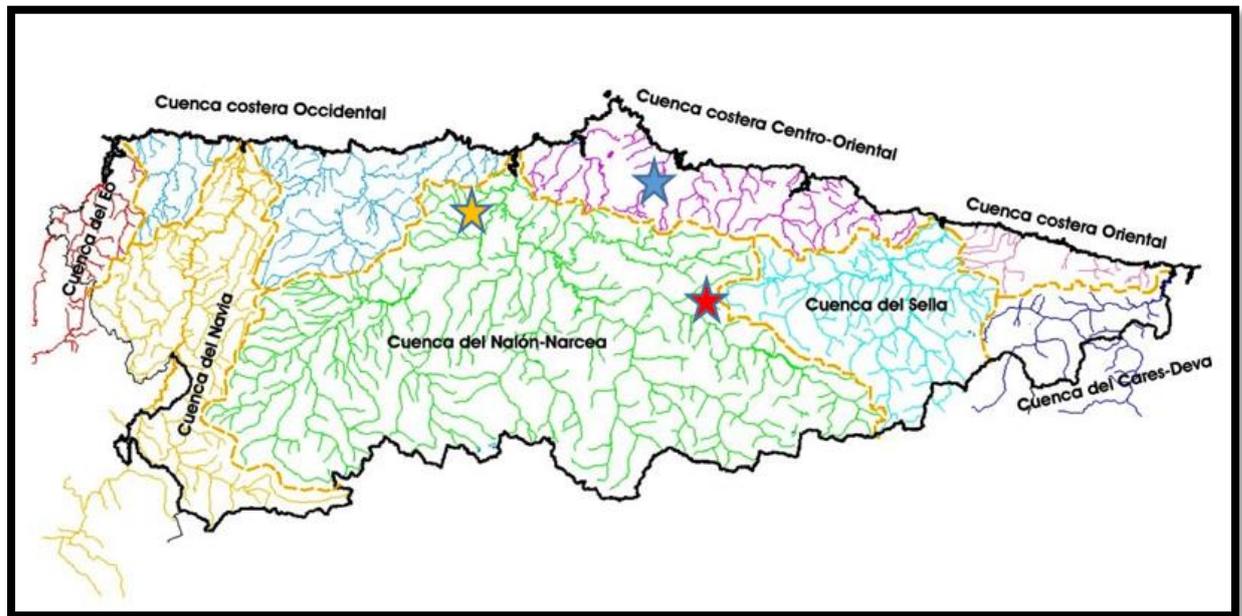


Figura 46: Localización de las subestaciones en el mapa hidrográfico de Asturias (La página de Bedry)

Rojo: Carrocera II; Naranja: Pravia, Azul: Carrió

## 5.2.2. Hidrogeología

### Subestación de Carrocera II

La zona donde se ubica la subestación no pertenecen a ningún sistema acuífero de los definidos por el IGME en Asturias (Figura 47).

La zona está ligada a la red hidrográfica del río Nalón, que actúa como canalizador de arroyos y aguas de escorrentía. En las proximidades se identifica la acuízona correspondiente a la plataforma aluvial del río Nalón.

El sustrato carbonífero se clasifica como impermeable con circulación subterránea, limitada a zonas de fisuración, presentando una escorrentía superficial activa.



### **Subestación de Pravia**

La zona no pertenece a ninguno de los sistemas acuíferos de Asturias, aunque está próxima al Sistema nº 4 formado por sedimentos calcáreos-dolomíticos precarboníferos (Figura 47).

La zona aluvial sobre la que se sitúa la subestación, se clasifica como permeable, como corresponde a dominios ligados a cursos fluviales formados por suelos detríticos y arenosos, con una hidrología subterránea ampliamente desarrollada con almacenes de aguas subálveas. El nivel de limos/arenas aluviales presenta una permeabilidad media, mientras que el nivel de gravas/bolos presenta una permeabilidad alta con buen drenaje superficial por percolación formando acuíferos asociados al cauce del río. La recarga se produce por agua de lluvia, escorrentía superficial y por el propio río por el que también descarga, por lo que la capa freática está muy condicionada por el nivel del río.

### **Subestación de Carrió**

La zona no pertenece a ningún sistema Acuífero de acuerdo con la clasificación indicada anteriormente, aunque se encuentra muy próxima al Sistema nº 1 Unidad mesozoica Gijón-Villaviciosa. La abundancia de sedimentos arcillosos hace que el conjunto sea muy poco permeable (Figura 47).

La recarga se produce por agua de lluvia y la descarga a través del río Aboño.

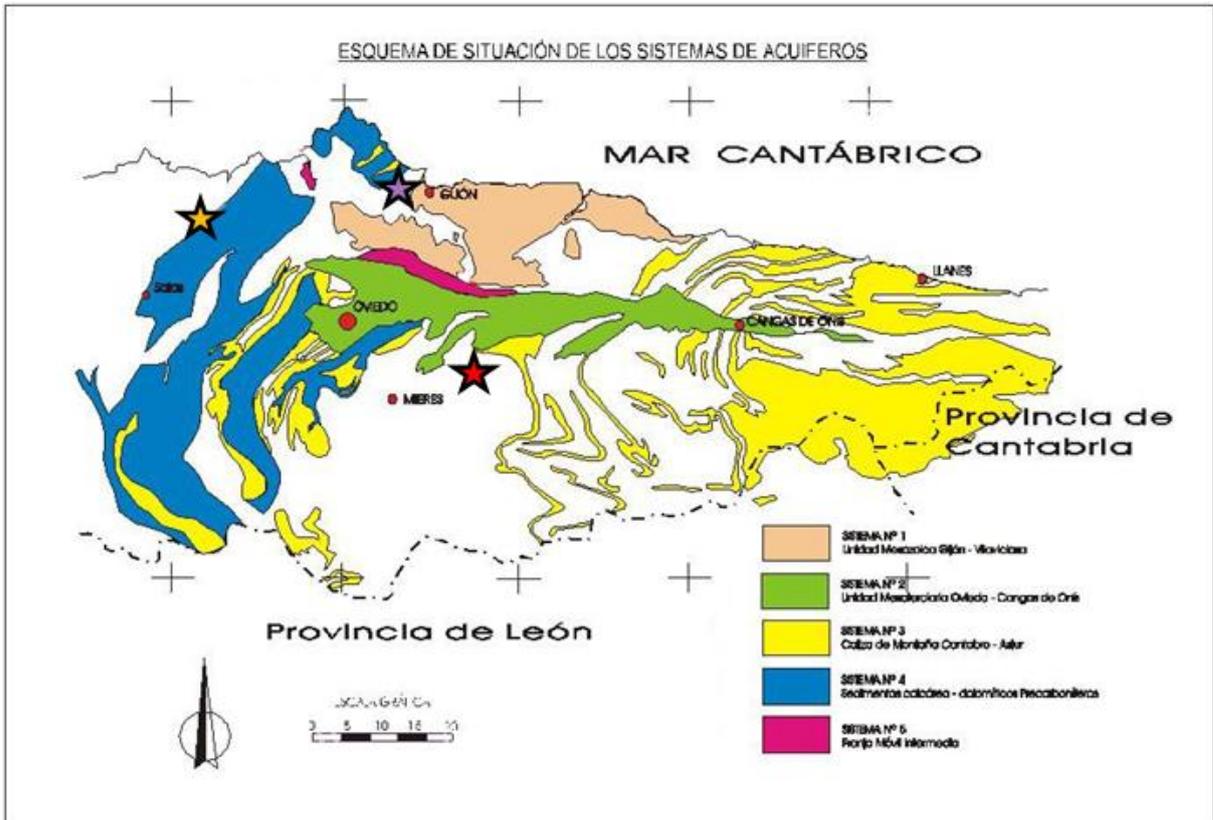


Figura 47: Localización de las subestaciones en los sistemas de Asturias (IGME)

Rojo: Carrocera II; Naranja: Pravia, Morado: Carrió

### 5.3. Flora y fauna

#### 5.3.1. Flora silvestre

Asturias, por sus características climáticas y florísticas, se incluye en la Región Eurosiberiana del Reino Holártico, y en concreto, en la Superprovincia Atlántica. En Asturias pueden delimitarse en su territorio zonas pertenecientes a dos subprovincias fitogeográficas: la Cántabro Atlántica y la Orocantábrica.

Todas las subestaciones pertenecen a la provincia Cántabro-Atlántica, donde dominan las series de vegetación del Carbayo. Son peculiares los brezales de *Erica mackalana* y *Erica ciliaris* y los pionales de *Cytisus striatus*.



Las subestaciones de Carrocera II y Carrió, se encuentran en el sector Galaico-Asturiano, subsector ovetense. Atendiendo la posición biogeográfica de las zonas de estudio, según la taxonomía fito-climática de Rivas–Martínez (2004), la vegetación potencial del territorio correspondería a la Serie colino-montana orocantabroatlántica mesofítica del fresno (*Fraxinus excelsior*) *Polysicho setiferi* - *Fraxinetum excelsioris*.

La serie clímax estaría representada, en su óptimo climático, por bosques mixtos de fresnos (*Fraxinus excelsior*) y robles (*Quercus robur*), y en menor proporción tilos, hayas, olmos, castaños, encinas, avellanos (*Corilus avellana*), arces (*Arcer pseudoplatanus*), cerezos (*Prunus avium*). El sotobosque es rico en arbustos como endrinos, rosas, madre selvas, etc. Estos bosques se desarrollan sobre suelos profundos y frescos, más o menos hidromorfos.

No obstante lo comentado, en la actualidad, las formaciones climáticas del área han sufrido intensas transformaciones que han supuesto la degradación del óptimo vegetacional y su sustitución por áreas urbanizadas y tierras de labor, pastizales o plantaciones de eucalipto.

Así, en el entorno más próximo de las subestaciones, la vegetación natural se restringe a la formación ribereña que acompaña al río Nalón restringida a la presencia de especies arbustivas y herbáceas. Las parcelas situadas cercanas a las subestaciones se encuentran ocupadas principalmente por cultivos agrícolas, prados y plantaciones de eucalipto.

La subestación de Pravia se encuentra en el sector Galaico-Asturiano, subsector Galaico-Asturiano septentrional. La cubierta vegetal primitiva estaba formada por especies del bosque atlántico, pero en la actualidad apenas se conserva. Los bosques de repoblación ocupan las laderas más pendientes. La mayor parte de la superficie se ocupa para usos forestales, correspondiendo mayoritariamente a eucaliptos y pinos. Pueden encontrarse algunos tipos de frondosas tales como el castaño, el roble, y además las especies propias de los bosques de ribera, como pueden ser fresnos, arces, alisos y chopos. Existe la débil presencia de matorrales y helechos.

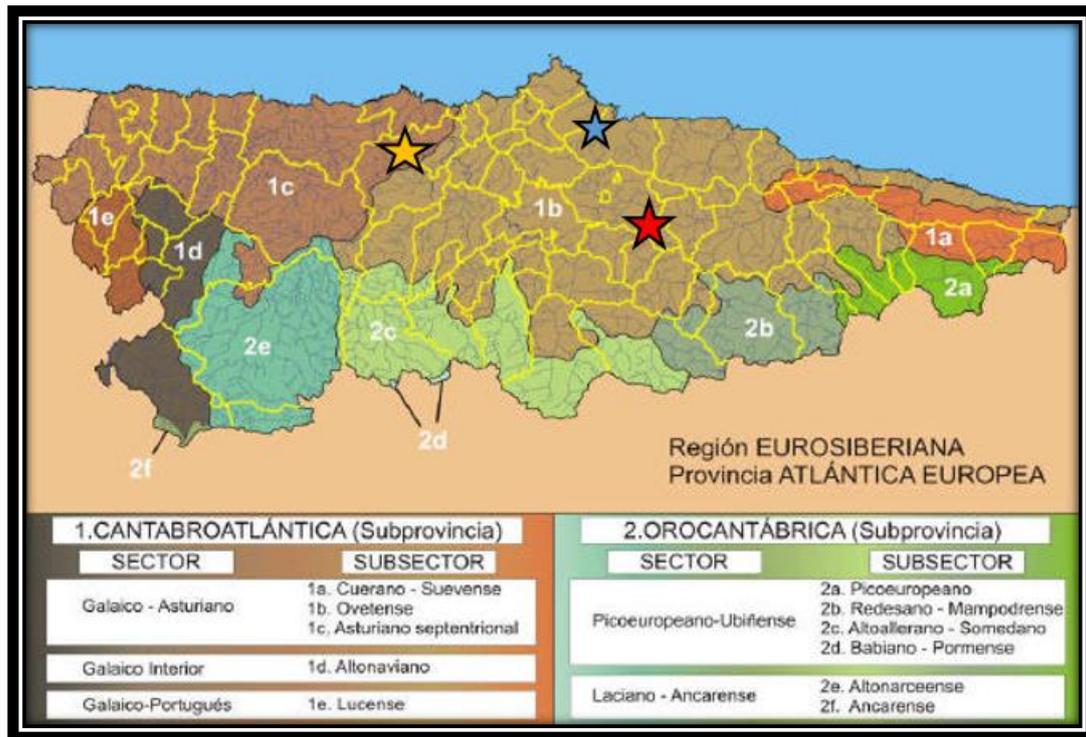


Figura 48: Localización de las unidades fitogeográficas de Asturias (Red Ambiental de Asturias, 2017)

Rojo:Carrocera II; Naranja:Pravia; Azul: Carrió

En concreto, y de acuerdo con las visitas realizadas a las diferentes subestaciones objeto de estudio, en el entorno de las mismas se identifican:

<b>SE CARROCERA II</b>	Zona de arbolado no protegido con presencia de fresnos (especie dominante), roble-carbayo y arce. Si bien, en las zonas de paso de las líneas del transformador, la vegetación se encuentra cortada para evitar el contacto directo. Reducida presencia de matorrales.
<b>SE PRAVIA</b>	Entorno inmediato urbanizado ya que linda con el recinto de una fábrica, y piscifactoría. En cambio se encuentra próxima al Río Aranguín, afluente del Nalón, con presencia de bosque de ribera con un adecuado grado de conservación, siendo éste un hábitat prioritario.
<b>SE CARRIÓ</b>	Entorno inmediato de praderías y arbolado no protegido, con elevada presencia de plantaciones de eucaliptos y acebos. Se sitúa en el margen izquierda del Río Aboño, con presencia de bosque de ribera, considerado como hábitat prioritario.

Tabla 15: Vegetación identificada en el entorno de las Subestaciones

### 5.3.2. Hábitat de interés comunitario

Los hábitat de interés comunitario que van a ser considerados son los recogidos en las Zonas Especiales de Conservación (ZEC) río Nalón (SE Pravia) y Cuencas Mineras (Carrocera II).

#### Zec Río Nalón

En el ámbito de aplicación, se encuentran presentes 5 hábitat de interés comunitario, aunque únicamente uno de ellos es considerado hábitat prioritario.

Código Natura 2000	Denominación
<b>4090</b>	Brezales oromediterráneos endémicos con aliaga
<b>6210</b>	Prados secos seminaturales y facies de matorral sobre sustratos calcáreos ( <i>FestucoBrometalia</i> ) (* parajes con notables orquídeas)
<b>8210</b>	Pendientes rocosas calcícolas con vegetación casmofítica
<b>91E0</b>	Bosques aluviales con <i>Alnus glutinosa</i> y <i>Fraxinus excelsior</i> ( <i>Alno-Padion</i> , <i>Alnion incanae</i> , <i>Salicion albae</i> ) (** Hábitat prioritario)
<b>9340</b>	Bosques de <i>Quercus Ilex</i> y <i>Quercus rotundifolia</i>

Tabla 16: Hábitat de interés comunitario en ZEC Río Nalón

#### ZEC Cuencas Mineras

En el ámbito de aplicación del instrumento de Gestión Integrado se localizan 13 hábitat, de los cuales 3 van a ser prioritarios.

Cabe destacar que existe una especie de flora perteneciente a la Red Natura 2000, para la cual será necesario adoptar medidas de gestión: la helechilla (*Trichomanes speciosum*), que se encuentra principalmente en los bosques de ribera. También se pueden encontrar ejemplares dispersos de Tejo (*Taxus baccara*) y sotobosques de acebo (*Ilex aquifolium*), especies catalogadas como de interés especial.

Código Natura 2000	Denominación
4020	Brezales húmedos atlánticos de zonas templadas de <i>Erica ciliaris</i> y <i>Erica tetralix</i> (**Hábitat prioritario)
4030	Brezales secos europeos
4090	Brezales oromediterráneos endémicos con aliaga
6210	Prados secos seminaturales y facies de matorral sobre sustratos calcáreos ( <i>FestucoBrometalia</i> ) (* parajes con notables orquídeas)
6220	Zonas subestépicas de gramíneas y anuales de <i>Thero-Brachypodietea</i> (**)
6510	Prados pobres de siega de baja altitud ( <i>Alopecurus pratensis</i> , <i>Sanguisorba officinalis</i> )
8130	Desprendimientos mediterráneos occidentales y termófilos.
8210	Pendientes rocosas calcícolas con vegetación casmofítica
8230	Roquedos silíceos con vegetación pionera del <i>Sedo-Scleranthion</i> o del <i>Sedo albi-Veronicion dillenii</i>
9120	Hayedos acidófilos atlánticos con sotobosque de <i>Ilex</i> y a veces de <i>Taxus</i> ( <i>Quercion robori-petraeae</i> o <i>Ilici-Fagenion</i> )
91E0	Bosques aluviales con <i>Alnus glutinosa</i> y <i>Fraxinus excelsior</i> ( <i>Alno-Padion</i> , <i>Alnion incanae</i> , <i>Salicion albae</i> ) (**)
9230	Robledales galaico-portugueses con <i>Quercus robur</i> y <i>Quercus pyrenaica</i>
9380	Bosques de <i>Ilex aquifolium</i>

Tabla 17: Hábitat de interés comunitario en ZEC Cuencas Mineras

### 5.3.3. Fauna silvestre

La fauna se ve influenciada por la climatología y por el estado de los hábitats. La actividad humana ha favorecido la destrucción de los hábitats naturales, sobreviviendo las especies que se han adaptado mejor a esta presencia.

### CARROCERA II

La fauna en San Martín del Rey Aurelio está constituida en su mayor parte por mamíferos y aves, y en menor medida peces, anfibios y reptiles entre otros.



- Mamíferos: es frecuente la presencia de ardillas en zonas forestales, erizos o topos en zonas de praderías, y murciélagos. En menor medida se pueden encontrar corzos o comadreas, jinetas o nutrias. El jabalí es el animal salvaje que puede observarse con mayor frecuencia.
- Aves: en los árboles habitan aves como el arrendajo o pico real, siendo la más común la lavandera blanca, y en zonas de praderías jilgueros. También es común la presencia de lechuzas y ratonero común. En zonas húmedas, y de ríos y de pequeñas chacas pueden encontrarse ejemplares como la garza real o el martín pescador. Cada día es más complicado de observar la presencia de codornices, y desde hace unos años ha ido aumentando la presencia de la tórtola turca.
- Peces, reptiles, anfibios, y resto de especies: en los ríos con el tiempo ha sido cada vez más escasa la presencia de la anguila o el cangrejo de río, y muy abundante el piscardo y truchas. En hábitats rocosos pueden observarse especies como la lagartija de turbera. (Libro de Siero)

## **PRAVIA**

Pravia cuenta con un paisaje con alto grado de ocupación y además ha experimentado importantes transformaciones. Es por esto, que la fauna es poco variada. En las zonas montañosas son habituales los corzos. El jabalí y el gato montés son las especies que se encuentran en diversas zonas, incluso llegando a encontrarse en las proximidades de los pueblos. Además de las especies anteriores también son comunes pequeños mamíferos, reptiles e insectos.

Las aves son las habituales del campo asturiano, como por ejemplo el raitán, jilguero, mirlo o urraca entre otros, y pequeñas y medianas rapaces como el azor y el milano. En las orillas del río Nalón anidan buitrones y gallinetas, siendo menos comunes rascones y polluelas.

En los ríos de Pravia principalmente habitan truchas, reos y lampreas. Además el río Nalón sirve de cortejo para los salmones, considerada como la especie más representativa del territorio. (Plan General de Ordenación del Concejo de Pravia, 2008).

## **CARRIÓ**

En el Plan General de Ordenación del Concejo de Carreño (Ayuntamiento de Carreño, Mancomunidad del Cabo Peñas) se realiza una descripción acerca de la fauna presente en dicho concejo.

La mayoría de los animales presentes son pequeños mamíferos y sobre todo aves, al encontrarse dentro del dominio del Cabo Peñas que genera un importante paso migratorio y constituye un área de especial esparcimiento de las aves. Menos importante es la presencia de invertebrados marinos y terrestres junto con peces fluviales y reptiles.

Entre otras, de forma habitual o esporádica se observan las siguientes especies:

- Mamíferos: raposo, tejón, topo, ardilla, comadreja, murciélago, erizo y jabalí.
- Aves: cuervo, golondrina de mar, ostrero, tordo, gaviota, jilguero, hurraca, abandera, vencejos y lechuza.
- Peces: piscardo y muiles.
- Reptiles y anfibios: sapo, rana, salamandra, lagartija, lagarto y víbora.
- Invertebrados marinos: navaja, berberecho, nécora, cangrejo, vígaro, mejillón, centollo y ñocla.
- Invertebrados terrestres: mariposa, libélula, grillo, saltamontes, mariquitas, avispa, pulgones, escarabajos y ciervos volantes.

### 5.3.4. Especies Red Natura

Las especies protegidas consideradas, son, como en el caso de los hábitat de interés comunitario, las que se encuentran recogidas en la ZEC Río Nalón (Pravia) y ZEC Cuencas Mineras (Carrocera II).

### ZEC Río Nalón

En el ámbito de aplicación se encuentran presentes 14 especies Red Natura, 10 taxones de fauna y 4 especies de aves. De éstas, 6 especies son prioritarias (marcadas en la tabla en color rojo) para las que sería necesario emplear medidas de gestión.

Código Natura 2000	Especie	Nombre Común	Hábitat que ocupa
1007	<i>Elona quimperiana</i>	Caracol de Quimper	Forestal
1172	<i>Chioglossa lusitanica</i>	Salamandra rabilarga	Áreas húmedas
1194	<i>Discoglossus galganoi</i>	Sapillo pintojo	Áreas húmedas
1095	<i>Petromyzon marinus</i>	Lamprea marina	Fluvial
1102	<i>Alosa alosa</i>	Sábalo	Fluvial
1106	<i>Salmo salar</i>	Salmón Atlántico	Fluvial
1116	<i>Chondrostoma polylepis</i>	Boga	Fluvial
1149	<i>Cobitis taenia</i>	Colmilleja	Fluvial
1301	<i>Galemys pyrenaicus</i>	Desmán Ibérico	Fluvial
1355	<i>Lutra lutra</i>	Nutria	Fluvial
A028	<i>Ardea cinerea</i>	Garza real	Áreas húmedas
A053	<i>Anas platyrhynchos</i>	Ánade real	Fluvial
A229	<i>Alcedo atthis</i>	Martín pescador	Fluvial
A391	<i>Phalacrocorax carbo sinensis</i>	Cormorán grande	Fluvial

Tabla 18: Especies Red Natura de ZEC Río Nalón

### ZEC Cuencas Mineras

En el ámbito de aplicación se encuentran presentes 26 especies Red Natura, 15 taxones de fauna y 11 especies de aves. De éstas, 7 especies son prioritarias (marcadas en la tabla en color rojo) para las que sería necesario emplear medidas de gestión.

Código Natura 2000	Especie	Nombre Común	Hábitat que ocupa
<b>Invertebrados</b>			
1007	<i>Elona quimperiana</i>	Caracol de Quimper	Forestal
1083	<i>Lucanus cervus</i>	Ciervo volante	forestal
<b>Anfibios y reptiles</b>			
1172	<i>Chioglossa lusitanica</i>	Salamandra rabilarga	Áreas húmedas
1249	<i>Lacerta monticola</i>	Lagartija serrana	Roquedos, matorral de montaña
1259	<i>Lacerta shreiberi</i>	Lagarto verdinegro	Campiña atlántica
<b>Mamíferos</b>			
1301	<i>Galemys pyrenaicus</i>	Desmán Ibérico	Fluvial
1303	<i>Rhinolophus hipposideros</i>	Murciélago pequeño de herradura	Carvernícola, construcciones humanas
1304	<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>	Murciélago grande de herradura	Cavernícola
1305	<i>Rhinolophus euryale</i>	Murciélago mediterráneo de herradura	Cavernícola
1310	<i>Miniopterus schreibersi</i>	Murciélago de cueva	Cavernícola
1321	<i>Myotis emarginatus</i>	Murciélago de oreja partida	Cavernícola, construcciones humanas
1355	<i>Lutra lutra</i>	Nutria	Fluvial
<b>Aves</b>			
A072	<i>Pernis apivorus</i>	Halcón abejero	Forestal
A077	<i>Neophron percnopterus</i>	Alimoche común	Cortados rocosos
A078	<i>Gyps fulvus</i>	Buitre leonado	Cortados rocosos
A085	<i>Accipiter gentilis</i>	Azor	Forestal
A091	<i>Aquila chrysaetos</i>	Águila real	Cortados rocosos
A103	<i>Falco peregrinus</i>	Halcón peregrino	Cortados rocosos
A236	<i>Dryocopus martius</i>	Picamaderos negro	Forestal
A302	<i>Sylvia undata</i>	Curruca rabilarga	Matorral de montaña
A338	<i>Lanius collurio</i>	Alcaudón dorsirrojo	Matorral y pastizales



UNIVERSIDAD DE OVIEDO

Análisis de Riesgos Ambientales en Subestaciones Eléctricas. Aplicación a varios casos de estudio en Asturias.



<b>A346</b>	<i>Pyrrhocorax pyrrhocorax</i>	Chova piquirroja	Cortados rocosos
<b>A415</b>	<i>Perdix perdix hispaniensis</i>	Perdiz pardilla	Matorral de montaña
<b>Otras especies</b>			
	<i>Felis sylvestris</i>	Gato montés	Forestal
	<i>Canis lupus</i>	Lobo	Montaña
	<i>Triturus marmoratus</i>	Tritón jaspeado	Acuático

**Tabla 19: Especies Red Natura de ZEC Cuencas Mineras**



## 6. ANÁLISIS DE RIESGOS

El análisis realizado en el presente trabajo, ha seguido los pasos establecidos en la metodología MIRAT (2015). Se trata de un Modelo de Informe de Riesgos Ambientales Tipo para centrales térmicas y un segundo Modelo para hidráulicas, en donde se especifican los pasos a seguir para la identificación de escenarios accidentales, la evaluación de riesgos, modelizando todos los posibles escenarios que pueden tener lugar en las centrales, y el cálculo de la garantía financiera, no realizado en este Trabajo Fin de Máster, debido a que no es exigible en las subestaciones. A pesar de que la metodología está establecida para las centrales de producción, se considera de aplicación a las subestaciones eléctricas ya que disponen de los mismos equipos y sustancias implicadas.

### 6.1. Identificación de causas, fuentes y peligros

En el año 2015, EDP HC Energía realizó un Diagnóstico ambiental del Negocio de Distribución Eléctrica en el cual se tipificaron los principales escenarios de riesgo que podrán tener lugar en una Subestación.

En este estudio, también ha tomado como base la Norma UNE 150.008:2008 de Análisis y evaluación del riesgo ambiental. Para la identificación de escenarios ha partido de la evaluación de causas, fuentes y peligros a partir de la siguiente división:

- Actividades e instalaciones
- Factor humano
- Elementos externos a la instalación

Las fuentes de peligro relacionadas con el factor humano, tanto en su aspecto organizativo como individual, no se consideran dado que se dispone de un sistema de gestión certificado de acuerdo a las normas UNE-EN ISO 9.001, 14.001 y 18.001, que engloban respectivamente toda la actividad y todos los procesos en cuanto a calidad, medio ambiente y prevención de riesgos laborales.



Del mismo modo, no se consideran los factores externos, dado que se vinculan a fenómenos de carácter excepcional e inevitable, o bien asociados a la seguridad física de la instalación.

Por tanto, el esquema de riesgos objeto de estudio se adscribe a los riesgos propios de las actividades e instalaciones, y de acuerdo con el marco normativo de responsabilidad ambiental, cuando potencialmente puedan dañarse recursos ambientales protegidos, es decir, aguas, suelos, ribera del mar y de las rías, hábitats y especies de flora y fauna prioritarios y protegidas, como ya se ha indicado anteriormente en este caso.

Las fuentes de peligro de daño medioambiental existentes en las subestaciones, se relacionan principalmente con las sustancias empleadas y además, con las derivadas del funcionamiento de las instalaciones. Por tanto, las instalaciones a tener en cuenta de una subestación son las siguientes:

- Transformadores de potencia.
- Transformadores de servicios auxiliares.
- Aparataje eléctrica: interruptores, transformadores de medida de intensidad y de tensión, seccionadores.
- Grupos electrógenos.
- Baterías.
- Instalaciones generales: sala de celdas.

Cabe destacar que las instalaciones anteriores no van a estar presentes en todas las subestaciones objeto de estudio. En la siguiente tabla, se especifican las instalaciones a considerar en cada subestación.

SUBESTACIÓN	INSTALACIONES
CARROCERA II	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transformadores de potencia.</li> <li>• Aparamenta eléctrica</li> </ul>
PRAVIA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transformadores de potencia y de servicios auxiliares</li> <li>• Aparamenta eléctrica</li> <li>• Grupo electrógeno</li> <li>• Sala de celdas de 20kV</li> </ul>
CARRIÓ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transformadores de potencia y autotransformadores, y de servicios auxiliares</li> <li>• Aparamenta eléctrica</li> <li>• Grupo electrógeno</li> <li>• Sala de celdas de 20kV</li> </ul>

**Tabla 20: Equipos presentes en las subestaciones de estudio (Identificados en las visitas a las instalaciones)**

### 6.1.1. Análisis de las sustancias implicadas

Para determinar las fuentes de peligro medioambiental de las subestaciones, se van a analizar las sustancias presentes en cada instalación, así como la potencial afección a recursos naturales, a saber:

- Transformadores de potencia y autotransformadores: emplean aceite dieléctrico.
- Transformadores de servicios auxiliares: pueden emplear aceite o silicona. La silicona no es considerada como sustancia de potencial afección a recursos naturales.
- Aparamenta eléctrica: de aceite o en atmósfera de gas SF<sub>6</sub>.
- Grupo electrógeno: gasóleo.

- Baterías: ácido (no se considera debido al pequeño volumen).
- Sala de celdas: gas SF<sub>6</sub>.

Una vez identificadas las posibles sustancias (aceite dieléctrico, gasóleo, gas SF<sub>6</sub>) que pueden causar peligro medioambiental, se clasifican en función de la categoría FRTR (*Federal Remediation Technologies Roundtable, 2016*), necesaria para el cálculo del Índice de Daño Medioambiental, indicando también las características y la afección a los recursos naturales.

SUSTANCIA	CATEGORÍA FRTR	CARACTERÍSTICAS
Aceites dieléctricos	CONVs (Compuestos Orgánicos No Volátiles)	Peligrosidad: No aplica
		Comportamiento en suelo: No aplica
		Comportamiento en el agua: parcialmente insoluble
		Afección a especies vegetales o animales: no son fácilmente biodegradables (en el estudio se considera biodegradable)
Gasóleo	COSVs no halogenado (Compuestos Orgánicos Semivolátiles)	Peligrosidad: es inflamable (riesgo de explosión), irritante, nocivo, y peligroso para el medioambiente
		Comportamiento en el suelo: no sufre descomposición química directa en el suelo
		Comportamiento en el agua: no sufre descomposición química directa en el agua. Es prácticamente inmisible
		Afección a especies vegetales o animales: tóxico para los seres acuáticos, pudiendo ocasionar daños a largo plazo en medios acuáticos
Hexafluoruro de azufre (SF <sub>6</sub> )	Sustancia inorgánica	Peligrosidad: No aplica
		Comportamiento en el suelo: es altamente volátil, lo que hace difícil la afección al suelo
		Comportamiento en el agua: a causa de la elevada volatilidad, es difícil la afección al agua
		Afección a especies vegetales o animales: No aplica

Tabla 21: Características de las sustancias implicadas (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT))

De todas las sustancias identificadas, se seleccionará la más desfavorable, siendo ésta la que presenta un valor más elevado de toxicidad, y un volumen mayor en las instalaciones.

### 6.1.2. Identificación de causas y fuentes de peligro

Como se dijo anteriormente, únicamente van a ser una fuente de peligro medioambiental los procesos e instalaciones de las subestaciones estudiadas.

## **IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS DE LOS EQUIPOS**

Para poder realizar un análisis de los peligros ambientales que conllevan, va a realizarse una descripción de las características técnicas y estructurales de cada uno de ellos.

### **1. Transformadores de potencia y autotransformadores**

Los transformadores de potencia y autotransformadores, están formados por un tanque de aceite, de refrigeración, donde se encuentra sumergido el núcleo y sus devanados. Además el tanque es reforzado en su interior con soportes de acero para poder garantizar la integridad como conjunto.

Todos los transformadores de potencia y autotransformadores, cuentan con los siguientes sistemas de protección y control propios (ver siguientes figuras):

- **Relé Buzholz:** se encarga de recoger todos los gases que pueden producirse en el transformador, dando una señal de alarma en caso de aumentar su volumen. Se encuentra situado en el depósito de expansión.
- **Depósito de expansión:** en caso de producirse una sobrepresión interior, va a atrapar el aceite para que no estalle. En caso de que el depósito de expansión no fuera suficiente, además cuenta con una válvula de expansión, protegida mediante una chapa metálica para evitar proyecciones, mediante la cual se expulsaría al exterior el aceite. El depósito de expansión se localiza fuera de la

bandeja, por ello, en la parte inferior, se dispone de unas chapas, que dirigen el aceite hacia la bandeja en caso de derrame del depósito de expansión.

- **Indicador del nivel de aceite y del flujo de aceite:** el volumen del transformador no puede ser inferior a un determinado valor, por lo que un descenso importante del volumen del mismo, puede ser indicativo de una posible fuga.
- **Termómetro de aceite y del bobinado, y termostato:** indica la temperatura del transformador.
- **Sílica -gel:** se encuentra en un recipiente comunicado con el transformador, donde su misión es mantener la humedad del mismo. Inicialmente va a poseer color naranja, pero a medida que se va saturando de humedad, el color va a cambiar, transformándose en negro.



**Figura 49: Medidas de protección propias de los transformadores de potencia**



**Figura 50 : Sílica gel**

Además, todos los transformadores tienen unas resistencias, pertenecientes al neutro del transformador, que permiten la detección de fallos, así como controles del equipo.



**Figura 51 : Controles del equipo y resistencias del neutro**

Todos los transformadores de potencia se sitúan sobre un foso o cubeto, capaz de contener todo el aceite dieléctrico en caso de fuga o derrame accidental, evitando el vertido directo al suelo o las aguas subterráneas. Además, en la parte superior del cubeto se sitúa un

sistema de cortafuegos, que extinguiría el incendio, si el vertido de aceite se produce en llamas. Las características de los cubetos y cortafuegos, van a variar en función de la subestación considerada.



**Figura 52: Sistema cortafuegos de los transformadores**

Las subestaciones que disponen de más de un transformador de potencia (Pravia y Carrió), los cubetos se encuentran conectados entre sí, y a su vez con un depósito de recogida de aceite, también de hormigón. Este depósito posee la capacidad suficiente para albergar todo el aceite que contiene el transformador de mayor tamaño, que se encuentra en la instalación (caso más desfavorable). Además, entre los transformadores que se encuentran de forma contigua se dispone de un muro cortafuegos de hormigón hidrófugo, situado entre ambos, de forma que evite la propagación de un posible incendio que pudiera originarse en uno de ellos.



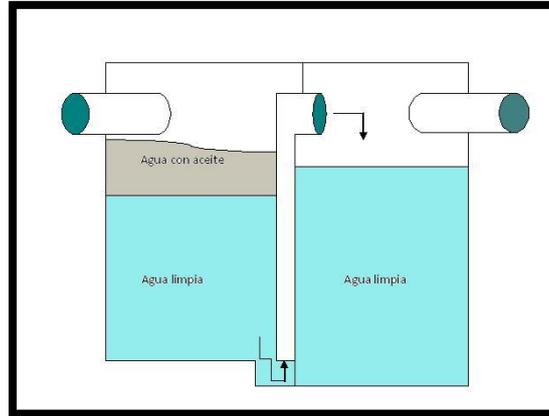
**Figura 53: Desagüe de los cubetos**



**Figura 54: Muro cortafuegos**

Acoplado al cubeto existen sistemas de retención de aceite para evitar la salida al exterior de un potencial vertido. Se han encontrado los siguientes tipos:

- Sifón decantador o trampa de aceite: se sitúa en el interior del cubeto de retención. Es importante que siempre se encuentre lleno de agua, ya que de esta forma se separa el aceite gracias a la diferencia de densidad entre ambos (Figura 55). Este aceite separado, se trata como residuo peligroso, retirándose para su gestión, o en ocasiones se descarga al exterior, para lo que se dispone de permisos de vertido.



**Figura 55: Esquema de la trampa de aceite**



**Figura 56: Trampa de aceite**



**Figura 57: Sifón decantador**

- Filtro oleofílico: fabricado de PVC rígido constituido por un componente polímero oleofílico e hidrófilo que retiene definitivamente el aceite. Filtra las aguas pluviales y retiene las huellas de hidrocarburos presentes. Durante un importante vertido de aceite, el componente reacciona completamente y solidifica, formando un tapón que impide que el aceite se vierta al exterior.



**Figura 58: Filtro oleofílico**

- Playa de infiltración: es un cubo de 1 m<sup>3</sup> de volumen, relleno de gravas, donde el aceite que pudiera salir por fallo de los sistemas quedaría retenido. De esta forma, retirando la grava impregnada con el aceite, gestionándola como residuo peligroso, sería suficiente. Todas las subestaciones disponen de ella.



**Figura 59: Playa de infiltración**

A continuación, se especifican las medidas de prevención existentes en los transformadores de cada subestación.

- **Carrocera II:** una bandeja de hormigón a modo de recrecido por la parte inferior del transformador de potencia actúa a modo de cubeto. El sistema cortafuegos es un trámex con grava. El cubeto está conectado mediante un sifón decantador, que actúa como un desagüe a modo de trampa de aceite, contando adicionalmente con un filtro oleofílico.



**Figura 60: Bandeja de derrames del depósito de expansión y cubeto**

- **Pravia y Carrió:** los transformadores (o autotransformadores) se disponen sobre un foso de hormigón, donde en su parte superior disponen de una rejilla de piedra apagafuegos. Este foso dispone de una trampa de aceite.



**Figura 61: Bandeja cortafuegos y cubeto del transformador**

### Peligros ambientales

Se encuentran principalmente relacionados con incendio y/o explosiones de origen eléctrico o por un fallo de funcionamiento del propio transformador. Además, debido a la presencia de aceite dieléctrico, hay que considerar el caso de fuga/derrame debido al deterioro del transformador o durante las operaciones de mantenimiento.

En la subestación de Pravia, por disponer de red de pluviales, debe de considerarse que el derrame de aceite llegue a la red de pluviales o salga al exterior de la subestación.

### **Transformadores de servicios auxiliares.**

Tienen un tamaño muy inferior al de los transformadores de potencia, y por tanto, de menor volumen de aceite (excepto la subestación de Carrió que emplea silicona). Normalmente se encuentran sobre un trámex con grava que actúa como cubeto de retención.

### Peligros ambientales

Como en el caso de los transformadores de potencia, principalmente están relacionados con incendio y debido a la presencia de aceite dieléctrico, fuga o derrame.

El cubeto de contención tiene capacidad suficiente para alojar todo el volumen de aceite en caso de fuga, además de disponer de bandeja cortafuegos por si el vertido se produce en llamas.

Si se produce un incendio del transformador, en los casos en los que se encuentre en el edificio de control (Carrió), o en una caseta (Pravia), va a quedar retenido dentro de los mismos.

#### **Apararmenta eléctrica.**

- Transformadores de intensidad y de tensión: las tres subestaciones poseen transformadores de intensidad y de tensión ubicados en el parque de intemperie. El volumen de aceite del que disponen es reducido, por lo que no van a considerarse daños a los receptores ambientales.
- Interruptores: pueden ser de baño en aceite o en atmósfera de gas SF<sub>6</sub>. Éste último no implica riesgo medioambiental.

Se encuentran en elementos portantes sobre peanas de hormigón. El resto puede ser suelo natural compactado cubierto con capa de grava, como en las subestaciones de Carrocera II y Pravia, o bien suelo natural sin hormigonar, como en la subestación de Carrió.



**Figura 62: Interruptores y transformadores de medida**

### Peligros ambientales

Los interruptores de baño en aceite son los que mayor peligro ambiental conllevan. Debe de considerarse la posible afección del suelo y aguas subterráneas tras una fuga o derrame del aceite que contienen y en caso de que el interruptor se quede sin aceite, pueda darse la explosión del mismo.

Si se produce un derrame de aceite dieléctrico, va a formarse un charco alrededor de los interruptores o transformadores de medida, quedando la mayor parte retenida en el pie sobre el que apoyan. En estos casos es necesario tomar medidas preventivas para evitar una posible contaminación al suelo o las aguas subterráneas. Se dispone de kits de emergencia (bayetas absorbentes o sepiolita), para la contención y derrames, por lo que la zona afectada sería restablecida en un corto espacio de tiempo, recogiendo el derrame, posterior gestión y reposición del suelo contaminado.



**Figura 63: Material antiderrame**

### **Grupo electrógeno**

El grupo electrógeno emplea gasoil como combustible para su funcionamiento y aceite como refrigerante. Se ubica en una caseta cerrada (subestación de Carrió), o edificio de control (subestación de Pravia), sobre una superficie hormigonada y cubeto de contención de derrames con capacidad suficiente para retener una posible fuga. Al lado del grupo electrógeno también se dispone de un bidón de 200 litros de gasoil de doble pared, de forma que si se produce un fallo en la pared interna, la pared externa actuaría como contención, y además se encuentra sobre cubeto de retención. En caso de fuga, además de disponer con los

cubetos de retención correspondientes, la propia caseta actuaría de cubeto de contención. De manera preventiva se realiza un arranque manual cada 15 días, y un arranque automático en la revisión anual.



**Figura 64: Grupo electrógeno con cubeto y tanque y bidón**

### Peligros ambientales

Los principales peligros están asociados a una posible fuga del aceite contenido en el interior del grupo electrógeno o del gasoil del depósito y el incendio del mismo. Dado que se encuentran en áreas cerradas, tanto la fuga como el incendio va a quedar contenido dentro.

### **Baterías**

Las baterías están compuestas de Ni-Cd que sirven de alimentación en corriente continua en caso de emergencia. Se encuentran en lugares ventilados y dentro de una celda metálica.

### Peligros ambientales

Debido a que el volumen del electrolito es muy pequeño, no van a implicar riesgos ambientales.

### **Salas de celdas**

Se ubican dentro de los edificios de control. Contienen gas SF<sub>6</sub> siendo un gas inodoro, incoloro e insípido, por lo que en lugares cerrados es importante que no se produzcan fugas de este gas ya que es asfixiante.



**Figura 65: Celdas de 20kV e interruptor**

### Peligros ambientales

Los peligros ambientales derivados de las instalaciones citadas anteriormente son escasos y están asociados directamente a un posible incendio que pueda ocurrir en las propias dependencias debido a un accidente. Se dispone de medios de extinción de incendios suficientes, además de actuar el propio edificio o caseta como elemento de contención, evitando la propagación al exterior.

Las celdas tienen detectores de tensión de tipo luminoso. Los interruptores de las mismas, poseen un sistema de protección, mediante el cual, siempre que el interruptor esté cerrado, se va a encontrar enclavado no permitiendo por tanto la apertura de la celda. Cuando el interruptor se abre, se quitan las conexiones, se bajan las barras y ya podría extraerse.

Se ha considerado que los **transformadores de potencia o autotransformadores** son los que tienen un mayor peligro asociado, debido a la gran potencia a la que trabajan y el gran volumen de aceite que contienen. Por ello, las demás instalaciones identificadas en el análisis no se han considerado, ya que ocasionarían un daño menor que el de los transformadores, quedando por tanto cubiertas por los mismos (Análisis de Riesgos Ambientales en Redes Eléctricas y de Gas, EDP HC Energía 2015).

Cabe destacar que las subestaciones disponen de medios de detección y extinción de incendios situados en las instalaciones. Todas las subestaciones tienen repartidos por distintos puntos del parque de intemperie extintores de carro de polvo, y en caso de necesidad se solicitaría apoyo externo a través del Servicio de Emergencias del Principado de Asturias (SEPA). En caso de incendio, se activaría alguna de las alarmas existentes y controladas desde el Despacho centralizado y muy probablemente se produciría un disparo en la línea, que quedaría fuera de servicio. En la subestación de Carrocera II no existen detectores de incendio, ni de tipo manual ni automático, mientras que el resto de subestaciones de poseen sistemas de detección automática de incendio, mediante cámara térmica, en todas las salas del edificio de control.



**Figura 66: Extintor de carro**



**Figura 67: Sistema de detección de incendios térmico de la sala de celdas (Carrió)**

Para identificar los peligros potenciales se han tenido en cuenta los siguientes aspectos.

- Trasiego y manejo de sustancias peligrosas: mantenimiento del aceite dieléctrico. Es muy importante mantener controlados los parámetros característicos del aceite dieléctrico. Se toman muestras del aceite para comprobar sus características dieléctricas, y si fuera necesario se procedería a su filtrado y acondicionamiento. Para este filtrado se desplazaría un equipo especial constituido por un camión cisterna que se aproxima al transformador lo máximo posible. Mediante una manguera, que dispone de las medidas de protección necesarias, se recircula un determinado volumen de aceite (no puede recircularse un elevado volumen, ya que los transformadores necesitan un volumen mínimo para su correcto funcionamiento). Se controlan los parámetros característicos, como por ejemplo humedad, hasta que estén en los niveles correctos. Además de manera preventiva, se sitúan bandejas por debajo de las mangueras para evitar posibles vertidos. En caso de rotura de la manguera se daría un derrame de aceite en el vial. Al tratarse de una operación controlada por un operario de forma continua el derrame sería limitado, ya que se pararía el bombeo.



**Figura 68: Válvula de toma de muestras**

- Mal funcionamiento de componentes de proceso y/o instalaciones: riesgo de incendio o explosión, y riesgo de fuga de aceite por rotura o fallo de materiales.
- Fallo en los sistemas preventivos.

En la Tabla 22 de acuerdo con los sucesos iniciadores anteriores, se encuentran recogidos los escenarios accidentales identificados.

Instalación	Código escenario	Escenario	Observaciones/Variantes
Subestaciones	1	Incendio en Subestación.	Existen diferentes puntos de origen. El punto de origen que daría lugar a una mayor extensión del incendio serían los transformadores. Por tanto, el escenario va ser modelizado en caso de incendio del transformador de mayor volumen de aceite, quedando el resto de equipos cubiertos por el mismo.
	2	Vertido o infiltración de aguas de extinción de incendio con arrastre de sustancias tóxicas (aceite)	Cuando se origina un incendio, puede ser necesaria ayuda externa, solicitando la actuación de los bomberos para extinguir el incendio causado. El agua empleada para dicha extinción, va a contener aceite del transformador, pudiendo alcanzar receptores ambientales.  Este escenario se considera en combinación con el número 1
	3	Formación charco de aceite / gasoil en SSEE / CR (Centros de Reparto)	El vertido de aceite, va a dar lugar a un charco en las proximidades del transformador retenido por la grava. Va a tener un volumen reducido, por lo que se procedería retirando la grava afectada y empleando los kits de derrames. Es necesario saber la profundidad de infiltración, ya que puede afectar al suelo y si alcanza el nivel freático puede afectar a las aguas subterráneas.
	4	Fuga o derrame de aceite dieléctrico en operación / por infiltración.	En los casos en los que un potencial derrame de aceite pudiera afectar a suelo y/o a las aguas subterráneas
	5	Fuga o derrame de aceite dieléctrico en operaciones de mantenimiento a aguas superficiales.	En los casos en los que un potencial derrame de aceite pudiera acceder a la red de pluviales, el vertido podría afectar la masa de agua en la que habitualmente se vierten las aguas pluviales
	6	Fuga de SF <sub>6</sub> .	El SF <sub>6</sub> es un gas de efecto invernadero, sin impacto directo sobre los recursos ambientales de la LRMA (la atmósfera se excluye específicamente).  No va a ser considerado.
	7	Formación de charco de ácido de batería en SSEE / CR.	El volumen de electrolito en las baterías es muy reducido, por lo que su derrame va a ser retirado mediante los kits antiderrames.  Deberán considerarse los aspectos preventivos aplicables respecto a la seguridad de las personas (PRL, Prevención de Riesgos Laborales)

Tabla 22: Posibles escenarios accidentales



Es importante tener en cuenta que, tanto el cálculo del IDM (Índice de Daño Medioambiental) como la modelización de escenarios, no se trata de una “ciencia exacta”, si no que se establecen una serie de simplificaciones según el criterio seguido por la persona que realiza el ARA (Análisis de Riesgos Ambientales). La única premisa que es obligatorio cumplir es ser lo más conservadores posible, para asegurar la reparación del daño causado en los casos en los que tenga lugar el escenario accidental.

En base a las visitas realizadas a las subestaciones, el entorno de las mismas y las proximidades de masas de agua, junto con el equipo de trabajo de EDP, se han establecido las siguientes simplificaciones para las subestaciones consideradas, que serán las seguidas a lo largo de todo el Trabajo.

## **SE CARROCERA II**

El entorno inmediato de la subestación es zona arbolada, ya que como se dijo anteriormente se encuentra en mitad de una ladera además de disponer de matorral en las zonas por donde pasa la línea. Por ello se ha considerado que un posible incendio del transformador, debido a que no existe ningún sistema de detección en el interior de la subestación, podría ser causa de un escenario accidental. La carretera va a actuar a modo de cortafuegos, pero tanto la zona arbolada como la de matorral, va a favorecer la extensión del mismo. Además, el incendio se considera dentro de la LRMA como un agente físico con potencial impacto (daño) sobre los hábitats y especies protegidas. A este respecto, si bien en el entorno de la SE Carrocera II no se identifican hábitats ni especies protegidas de flora o fauna, la subestación se encuentra dentro de la Zona de Especial Conservación (ZEC) de las Cuencas Mineras (Decreto 157/2014, 2014), por lo que se produciría la afección a un Espacio Protegido.

Las aguas de extinción generadas también van a dar lugar a un escenario accidental, ya que pueden llegar a infiltrar en el suelo, y en función de la profundidad a la que se encuentre el nivel freático, podría afectar a las aguas subterráneas. Pese a que se encuentra cerca del río Nalón, no va a considerarse la afección a las aguas superficiales ya que se asume -al no disponer en la carretera de una red de pluviales con descarga directa al río-, que la distancia del transformador al río es lo suficientemente elevada como para que no alcance dicha masa de agua.



Por tanto para la SE de Carrocera II se estudiarán los escenarios de **incendio (1) y vertido o infiltración de aguas de extinción (2)**, como escenario combinado.

A modo de simplificación, se considera que la zona que engloba los daños causados a especies vegetales y animales (aves y mamíferos) quedan dentro de la zona dañada por el incendio, no considerando los daños causados debido a las aguas de extinción (se aplica tanto para el cálculo del Índice de Daño Medioambiental como para la modelización de los escenarios).

### **SE PRAVIA**

La subestación de Pravia únicamente linda por un lateral con zonas de pradería (herbazal), pero se encuentra próxima al río Aranguín, afluente del Nalón encontrándose dentro de la Zona de Especial Conservación (ZEC) del Nalón.

En este caso el depósito de contención se encuentra enterrado y cubierto con una capa de grava. Se considera como peor escenario posible la rotura total del cubeto del transformador de mayor tamaño, produciéndose por tanto el vertido del 100% de su volumen y causando riesgos ambientales.

Además, se dispone de un vial perimetral, con dos arquetas de descarga directa a pluviales, por lo que si se produce un vertido de aceite y llueve, va a ser conducido hacia el vial, llegando a alcanzar el río, y pudiendo llegar a afectar a las especies vegetales y animales que habitan en ella y su entorno.

Para ser lo más conservadores posibles, va a considerarse que el 50% del vertido va a quedar retenido en las proximidades del transformador, dando lugar a dos charcos que no ocasionarían daños en el exterior de la instalación (especies animales y vegetales), pero sí llegaría a infiltrar en el terreno afectando al suelo y aguas subterráneas (si fuese posible), y el otro 50% va a ser descargado a las aguas pluviales.

También va a tenerse en cuenta una posible fuga durante las operaciones de mantenimiento del transformador.

Se va a estudiar por tanto el escenario de **fuga o derrame de aceite dieléctrico en operación o por infiltración con afección a aguas superficiales (5)**.



## **SE CARRIÓ**

El entorno inmediato de Carrió está formado por matorrales (zona desarbolada), zonas de pradería y plantaciones puntuales de eucalipto, además de encontrarse próxima a la Central Térmica de Aboño. No se identifican hábitats ni especies protegidas.

Esta subestación dispone de más de un transformador de potencia, por lo que los cubetos están comunicados con un depósito común. Este depósito se ubica sobre el suelo natural, por lo que una posible fuga va a infiltrar directamente al terreno, y en función de la profundidad alcanzada, podría llegar a afectar a las aguas subterráneas.

Para poder ser lo más conservadores posible, se considera que el 100% del volumen de aceite presente en el transformador de mayor medida, va a ser vertido al depósito de contención. Una rotura del mismo va a ser causa de escenario de riesgos ambientales.

Como en la SE de Pravia, también va a considerarse la posibilidad de una fuga durante las operaciones de mantenimiento.

Por tanto para la SE de Carrió se va a estudiar el escenario de **fuga o derrame de aceite dieléctrico en operación o por infiltración (4)**.

## 6.2. Probabilidad de ocurrencia

Una vez identificados los escenarios accidentales, va a calcularse la probabilidad de ocurrencia de cada uno de ellos, multiplicando la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador por la probabilidad de ocurrencia o fallo de los factores condicionantes. Se entiende por suceso iniciador, según la norma de referencia, a *“el primer suceso o conjunto de sucesos simultáneo por el que se desencadena una secuencia accidental”*. Por tanto, cualquier hecho producido con anterioridad al suceso iniciador se considera como causa, y cualquier hecho posterior se considera como factor condicionante.

Cada suceso iniciador lleva asociada una probabilidad de ocurrencia, que puede estar ligada al suceso iniciador o relacionarse con un suceso básico (hecho anterior que da lugar al suceso iniciador). Para facilitar el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de los sucesos iniciadores seleccionados para las instalaciones, se realiza mediante bibliografía especializada

recogida en la metodología MIRAT (Modelo de Informe de Riesgos Ambientales Tipo, 2015), y se calcula la probabilidad para los sucesos iniciadores seleccionados para los diferentes escenarios accidentales. En la Tabla 23 se encuentran las probabilidades de los sucesos iniciadores considerados en el presente estudio.

La probabilidad se expresa en términos de frecuencia de ocurrencia: veces/año.

SUCESO INICIADOR	SUCESO BÁSICO	OBSERVACIONES	PROBABILIDAD (años <sup>-1</sup> )	VALORES A CONSIDERAR
<b>Incendio del transformador</b>	Problema eléctrico	Incendio de origen eléctrico	$1 \cdot 10^{-6} \text{ h}^{-1}$	Funciona 24h 365 días al año (8760h)
<b>Fuga de líquidos en tanque/depósito aéreo</b>	Diseño inadecuado	Fuga de tanque de contención simple	$5 \cdot 10^{-6}$	
<b>Fuga de líquidos en tanque/depósito enterrado</b>	Diseño inadecuado		$1 \cdot 10^{-8}$	
<b>Fuga de líquidos en trasiegos</b>	Error de operación	Error humano: el operador no observa	$1 \cdot 10^{-3}$	

**Tabla 23: Probabilidades de los sucesos iniciadores (MIRAT, 2015)**

Por otra parte, las medidas de prevención y evitación existentes en las subestaciones, han determinado los factores condicionantes considerados, y con ello, las probabilidades aplicadas en los árboles de fallos. Los árboles de fallos parten de uno o varios sucesos iniciadores, y en función de las medidas preventivas existentes en las subestaciones, van a darse unos factores condicionantes hasta finalmente desencadenar un escenario accidental.

Estas probabilidades se han considerado al recorrer para cada escenario accidental el árbol de fallos que lo representa partiendo del suceso iniciador, y dando lugar a las posibles consecuencias. Los árboles de fallos, establecidos en la Metodología MIRAT, están recogidos en el *Anexo I: Árboles de fallos*.

Por tanto, para determinar la probabilidad de un escenario accidental, va a emplearse la siguiente fórmula:

$$PEA = PSI \times \prod_{j=1}^m P_{FCj}$$

**Ecuación 1: Cálculo de la probabilidad de un escenario accidental**

PEA: probabilidad de ocurrencia de un escenario accidental.

PSI: probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

$\prod_{j=1}^m P_{FCj}$ : multiplicación de la probabilidad de los factores condicionantes que afectan al escenario accidental.

Las probabilidades consideradas para calcular la probabilidad del escenario accidental se encuentran recogidas en los árboles de fallos.

**CARROCERA II**

Va a recorrerse el árbol de fallo correspondiente a la situación INCENDIOS, es decir, el que da lugar a los escenarios (1) y (2).

Se considera como suceso iniciador un incendio en el transformador, asociado al suceso básico de problema eléctrico. A partir del suceso iniciador pueden darse dos situaciones (factores condicionantes), y con ello, dos escenarios accidentales distintos.

- Si no se actúa ante el incendio del transformador, es decir, se produce un fallo en el sistema de detección, va a tener lugar el incendio incontrolado (escenario 1). En el Apartado 6.1.2. *Identificación de causas* se especifica que en la subestación de Carrocera II no existe ningún tipo de detección, en cambio, para calcular la probabilidad de ocurrencia, se considera que existe tanto detección manual como automática, ya que se asume que los sistemas

presentes en el edificio de Carrocera I próximo a esta subestación actuarían en caso de incendio.

- Si se actúa, es decir, se considera que no existe fallo en el sistema de detección y se dispone de un sistema de PCI (Protección Contra Incendios) y de recogida de las aguas, conduce al árbol de fallos correspondiente a TRATAMIENTO DE AGUAS. Se produce fallo en el sistema de tratamiento de efluentes es decir, del filtro oleofílico, fallo en el elemento genérico de instrumentación y además la balsa de emergencia tiene un diseño inadecuado. Finalmente se produce el Vertido de aguas contaminadas y/o no tratadas.

Probabilidad de *Incendio incontrolado del transformador de potencia*.

$$PEA_1 = (1 \cdot 10^{-6} \text{ h}^{-1} \cdot 8760 \frac{\text{h}}{\text{año}}) \cdot 0,18 = 0,00876 \text{ años}^{-1} \cdot 0,18 = \mathbf{0,0015768 \text{ veces/año}}$$

Probabilidad de *Vertido de aguas contaminadas y/o no tratadas*

$$PEA_2 = 0,00876 \text{ años}^{-1} \cdot 0,82 \cdot 2 \cdot 0,00876 \text{ años}^{-1} \cdot 1 \cdot 10^{-7} \cdot (6,8 \cdot 10^{-6} \text{ h}^{-1} \cdot 8760 \frac{\text{h}}{\text{año}}) = \mathbf{7,5 \cdot 10^{-13} \text{ veces/año}}$$

## PRAVIA

Va a recorrerse el árbol de fallo correspondiente a la situación LÍQUIDO (I) y LÍQUIDO (II), es decir, el que da lugar al escenario (4).

- En primer lugar, se considera como suceso iniciador la Fuga de líquidos en tanque/depósito aéreo, los transformadores son considerados tanques aéreos de simple pared. El suceso básico asociado es un diseño inadecuado. El operador no va a observar la fuga y además el sistema de detección no funciona correctamente, tratándose de un sistema semiautomático. En estas subestaciones el cubeto sí tiene la capacidad suficiente para contener todo el volumen. Este suceso iniciador da lugar a una Fuga controlada.

- En segundo lugar, se considera como suceso iniciador la Fuga de líquidos en trasiegos, y el suceso básico es el error de operación por ser la probabilidad más conservadora. En esta subestación el suelo se encuentra pavimentado, y falla la supervisión del operador, es decir el operador no observa lo que impide que pueda actuar y emplear material antiderrame. Se dispone de arquetas cercanas de aguas pluviales, pudiendo llegar a alcanzar masas de agua superficial, y dando lugar al Vertido de sustancias peligrosas.

$$PEA_3 = 1 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 10^{-2} \cdot 1 \cdot 10^{-3} = \mathbf{1 \cdot 10^{-8} \text{ veces/año}}$$

### CARRIÓN

Va a recorrerse el árbol de fallo correspondiente a la situación LÍQUIDOS (I), es decir, el que da lugar al escenario (3).

Se considera como suceso iniciador la Fuga de líquidos en tanque/depósito aéreo de pared simple, debido a un diseño inadecuado. El operador no va a observar la fuga o rotura, y además el sistema de detección, semiautomático, no va a funcionar correctamente. Existe un cubeto de retención pero no dispone de la capacidad suficiente, por ello da lugar al Vertido de sustancias peligrosas.

$$PEA_4 = 5 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 10^{-2} = \mathbf{5 \cdot 10^{-8} \text{ veces/año}}$$

Dado que se contempla la opción de la rotura del depósito común, donde vierten todos los cubetos, enterrado, también va a calcularse la probabilidad de que se produzcan Infiltraciones de sustancias peligrosas debido a la fuga de líquidos en tanque/depósito enterrado, debido a un diseño inadecuado. Ya que se encuentra directamente situado sobre el terreno, no dispone de ningún tipo de cubeto de retención.

$$PEA_5 = 1 \cdot 10^{-8} \cdot 1 \cdot 10^{-2} = \mathbf{1 \cdot 10^{-10} \text{ veces/año}}$$

## 7. ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE DAÑO MEDIOAMBIENTAL (IDM) ASOCIADO A CADA ESCENARIO ACCIDENTAL.

El Índice de Daño Medioambiental, en adelante IDM, tiene como objeto estimar el daño asociado a cada uno de los escenarios accidentales. Se basa en una serie de estimadores de la cantidad de recurso dañado y de los costes de reparación de los recursos naturales.

La estructura de la ecuación para el cálculo del IDM se trata de un modelo dividido en diferentes secciones en función de la combinación agente-recurso, para lo que se emplean una serie de variables específicas. Por tanto, el IDM será estimado como agregación de las distintas variables agente-recurso que correspondan a cada escenario accidental.

El cálculo del IDM se realiza aplicando la siguiente ecuación:

$$IDM = \sum_{i=1}^n [(Ecf + A \cdot Ecu \cdot (B \cdot \alpha \cdot Ec) + p \cdot M_{acc}^q + C \cdot Ecr) \cdot (1 + Ecc)]_i + (\beta \cdot Eca)$$

**Ecuación 3: Ecuación de cálculo del Índice de Daños Ambientales (Real Decreto 183/2015 de, de 13 de Marzo)**

Donde:

Ecf: índice del coste fijo del proyecto de reparación para la combinación agente causante de daño-recurso potencialmente afectado i.

A: multiplicador del estimador del coste unitario del proyecto de reparación, siendo el resultado de multiplicar los valores de los modificadores que afectan a los costes unitarios ( $MA_j$ ) para cada combinación agente-recurso i.

Ecu: estimador del coste unitario del proyecto de reparación para la combinación agente-recurso i.

B: multiplicador del estimador de cantidad, siendo el resultado de multiplicar los valores de los modificadores que afectan al estimador de cantidad ( $MB_j$ ) para cada combinación agente-recurso i.

$\alpha$ : representa la cantidad de agente involucrado en el daño.

Ec: representa la relación entre las unidades de recurso afectadas y las unidades de agente involucradas en el daño para cada combinación agente-recurso i.



P: constante que únicamente adquiere un valor distinto de cero para los daños al lecho continental o marino.

Macc: cantidad de agente asociada al accidente, medida en toneladas, en el caso de daños al lecho continental o marino. En las restantes combinaciones agente-recurso este parámetro adquiere valor cero.

q: constante que adquiere valor 1 para todas las combinaciones agente-recurso, salvo para aquellas que implican daños al lecho continental o marino en las que adopta un valor específico.

C: multiplicador del estimador del coste de revisión y control del proyecto de reparación, siendo igual al valor del modificador que afecta al estimador del coste de revisión y control (MCj) para cada combinación agente-recurso i.

Ecr: estimador del coste de revisión y control del proyecto de reparación para la combinación agente-recurso i.

Ecc: estimador del coste de consultoría del proyecto de reparación, expresado como un porcentaje de los estimadores anteriores, para la combinación agente-recurso i.

i: hace referencia a cada una de las combinaciones agente-recurso i.

n: número total de combinaciones agente-recurso que el analista considere relevantes para el escenario que esté siendo evaluado.

$\beta$ : representa la distancia (Dist) desde la zona a reparar a la vía de comunicación accesible más cercana expresada en metros. En caso de escenarios que prevean la afección a varias zonas, el valor del parámetro será la suma de la distancia desde cada zona a la vía de comunicación más cercana. En caso de escenarios que impliquen exclusivamente daños al agua marina, al lecho continental o al lecho marino se asigna un valor  $\beta$  a igual a 0.

Eca: estimador del coste de acceso a la zona potencialmente afectada por el daño medioambiental, siendo su valor igual a 6,14.



Para cada escenario accidental, el cálculo del IDM se realiza mediante la herramienta oficial del Ministerio de Agricultura y Pesca, alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA), desarrollado por La Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural.

En el Modelo de Oferta de Responsabilidad Ambiental (MORA), se dispone de una aplicación informática (acceso a través del siguiente enlace) mediante la cual realiza internamente la Ecuación 3, a partir de datos característicos de cada subestación que irá solicitando la aplicación y nosotros iremos introduciendo.

<https://servicio.mapama.gob.es/mora/idm/editarSeleccionIdmAgentes.action>

Es necesario introducir datos del agente implicado en cada escenario accidental, entorno de las instalaciones y características de las mismas. Van a seguirse los siguientes pasos:

### **7.1. Selección de los tipos de agente causantes del daño.**

Los agentes causantes del daño son los elementos del modelo que van a provocar una afección significativa sobre los recursos naturales. Se introducen según su categoría FRTR, considerando en este estudio el aceite dieléctrico como agente más desfavorable.

### **CARACTERÍSTICAS DE LAS SUSTANCIAS IMPLICADAS**

Como se ha dicho anteriormente, los transformadores de potencia son los que van a implicar mayor peligro ambiental, por ello la sustancia considerada va a ser el aceite dieléctrico. Las características se obtienen de las fichas de seguridad de los productos, y son necesarias para seleccionar los valores de los modificadores MB1, MB12, MB15 y MB18. Estos valores se especifican en la siguiente tabla.

SUSTANCIA	TIPO	MB1 Degradabilidad de la sustancia	MB12 Solubilidad de la sustancia (mg/L a 20°C)	MB15 Toxicidad de la sustancia	MB17 Viscosidad de la sustancia (mm <sup>2</sup> /s a 20°C)	MB18 Volatilidad de la sustancia (punto de ebullición °C)
<b>Aceite dieléctrico</b>	Agente químico CONV no halogenados	Baja	Insoluble	Media	Muy viscosa	Baja

**Tabla 24: Propiedades del aceite dieléctrico**

## 7.2. Selección de los recursos naturales potencialmente afectados.

Los recursos naturales incluidos dentro del ámbito de aplicación de la normativa de responsabilidad medioambiental son los siguientes: agua, suelo, riberas del mar y de las rías, hábitats y especies. Van a seleccionarse en función del agente causante del daño (Tabla 25)

Los diferentes grupos de agente-recurso para los que se empleará el IDM se representan en la siguiente tabla.

Agente causante de daño		Recurso							
		Agua			Lecho continental y marino	Suelo	Ribera del mar y de las rías	Especies	
		Marina	Continental					Vegetales	Animales
			Superficial	Subterránea					
Químico	COV halogenados	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 5	Grupo 7	Grupo 9	Grupo 10	Grupo 11	Grupo 16
	COV no halogenados								
	COSV halogenados								
	COSV no halogenados								
	Fueles y CONV								
	Sustancias inorgánicas								
	Explosivos								
Físico	Extracción/Desaparición		Grupo 3	Grupo 6		Grupo 3		Grupo 12	Grupo 17
	Vertido de inertes				Grupo 8				
	Temperatura		Grupo 4			Grupo 4		Grupo 13	Grupo 18
Incendio								Grupo 14	Grupo 19
Biológico	OMG							Grupo 15	Grupo 20
	Especies exóticas invasoras								
	Virus y bacterias								
	Hongos e insectos							Grupo 15	

Tabla 25: Grupos agente-recurso para la aplicación del IDM (Anexo III, RD 2090/2008)

De acuerdo a la tabla expuesta anteriormente, y a los agentes causantes del daño (incendio y CONVSV no halogenados), en función de los recursos identificados a partir del análisis del entorno, se clasifican de la siguiente forma:

- S: Suelo.
- Asub: agua subterránea.
- Asup: agua superficial
- H/SP: Hábitat y especies silvestres.
- EV/EA: Especies vegetales y especies animales.

A continuación se especifican los grupos seleccionados para cada una de las subestaciones.

SUBESTACIÓN	ESCENARIO	AGENTE	RECURSO	GRUPO
CARROCERA II	Incendio incontrolado	Incendio	H/SP EV/EA	<b>Grupo 14</b> <b>Grupo 19</b>
	Vertido de aguas contaminadas y/o no tratadas	CONVS no halogenados	Asub S EV/EA	<b>Grupo 5</b> <b>Grupo 9</b> <b>Grupo 11</b> <b>Grupo 16</b>
PRAVIA	Vertido de sustancias peligrosas	CONVS no halogenados	H/SP Asub EV/EA	<b>Grupo 2</b> <b>Grupo 11</b> <b>Grupo 16</b>
CARRIÓ	Vertido de sustancias peligrosas	CONVS no halogenados	H/SP EV/EA	<b>Grupo 11</b> <b>Grupo 16</b>
	Infiltraciones de sustancias peligrosas		Asub S	<b>Grupo 5</b> <b>Grupo 9</b>

**Tabla 26: Combinaciones agente-recurso de las subestaciones seleccionadas**

### 7.3. Cálculo de coeficientes y modificadores

El cálculo del IDM requiere introducir los valores de los distintos coeficientes y modificadores que están presentes en la fórmula ( $E_{cf}$ ,  $A$ ,  $E_{cu}$ ,  $B$ ,  $p$ ,  $M_{acc}$ ,  $q$ ,  $C$ ,  $E_{cr}$ ,  $E_{cc}$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ). Se encuentran agrupados por los diferentes grupos de combinaciones agente-recurso y por agente.

Los parámetros citados anteriormente, excepto  $\alpha$  y  $\beta$ , van a ser calculados por el programa en base a los datos introducidos.

### 7.3.1. Cálculo de $\alpha$

Este parámetro representa la cantidad de agente involucrado. MIRAT establece una simplificación para la estimación de este parámetro en cada escenario accidental según valores normalizados para el sector.

- Se ha considerado que los depósitos de contención de los cubetos tienen la capacidad suficiente para almacenar todo el volumen de aceite del transformador mayor.
- En el caso de los escenarios combinados en donde se vierte tanto al suelo como a una red de pluviales, el parámetro  $\alpha$  se ha calculado repartiéndolo de manera equitativa entre los escenarios simples (caso de la subestación de Pravia).
- De acuerdo a la metodología del IDM, es necesario establecer un reparto del volumen de aceite dieléctrico entre el suelo y las aguas subterráneas, en los casos en los que se encuentre presente. En la metodología MIRAT se recogen en una tabla las proporciones de reparto en función del nivel freático.
  - Para determinar la fracción del volumen de agua vertida con arrastre de sustancias peligrosas (Carrocera II) se considera un nivel freático profundo, ya que los materiales sobre los que se asienta tienen una permeabilidad baja, y no van a poder constituir un acuífero. Cabe destacar que la aplicación informática únicamente solicita el volumen vertido al suelo.
  - Para determinar la fracción de volumen de agente implicado, en el caso de vertido de sustancias peligrosas con infiltración, la subestación de Pravia se asienta sobre el aluvial del río Aranguín, marcando éste el nivel freático estimado a una profundidad de 6 m (Dato medido en el Plano topográfico del Principado de Asturias a escala 1:5000 )
- En los casos en los que pueda alcanzar masas de agua superficiales, es necesario conocer el caudal. En la subestación de Pravia se prevee la afección al río Aranguín.

- La vegetación que puede verse dañada, se considera en función de las visitas realizadas a las subestaciones y de la caracterización del entorno.
- La densidad de población de los animales se ha considerado baja.

## 1. CARROCERA II

### Caso 1: Incendio incontrolado

$$\alpha_1 = 1$$

### Caso 2: Vertido de aguas de extinción

En los incendios producidos en los cubetos, se considera que el cubeto se incendia y vierte el 100% de su contenido. También va a considerarse un BIE (Boca de Incendio Equipada, para la toma de agua) con un caudal de 90l/min y que se apaga el incendio tras 180min (MIRAT, 2015). Esto implica un total de 16,2 m<sup>3</sup> de aguas de extinción. Es necesario calcular la cantidad de aceite que se vierte en las aguas de extinción teniendo en cuenta la dilución, y que la mitad del aceite dieléctrico presente en el transformador, va a quedar retenido en el cubeto de retención.

El parámetro  $\alpha$  se determina según la siguiente fórmula:

$$\alpha = \frac{V_{tanque}}{(V_{extin} + V_{tanque})} \cdot (V_{extin} + V_{tanque} - V_{cub})$$

#### Ecuación 4: Cálculo de $\alpha$ para el caso de vertido de aguas de extinción

Donde:

$V_{tanque}$  : Capacidad del tanque o depósito. Se considera que el depósito se encuentra al 100% de la capacidad, siendo ésta la situación más desfavorable (m<sup>3</sup>). La capacidad del depósito es de 15552 kg. Se considera un aceite con densidad 0,88kg/l a 20°C (IPCS,2007), obteniéndose un volumen de 17,67m<sup>3</sup>.

$V_{cub}$  : Volumen que puede recoger el cubeto/bandeja (m<sup>3</sup>). Mismo que el depósito 17,67m<sup>3</sup>.

$V_{extin}$ : Volumen empleado de aguas de extinción: 16,2 m<sup>3</sup>

Sustituyendo los datos anteriores en la ecuación 4, se obtiene:

$$\alpha_2 = 8,45 \text{ m}^3$$

## 2. PRAVIA

### **Caso 3: Vertido de sustancias peligrosas de tanques aéreos**

Si el escenario accidental es causado por una fuga de líquidos del tanque, se considera, como se dijo anteriormente la rotura total del cubeto, por lo que va a verterse el 100% del volumen de aceite del transformador mayor. De este vertido, el 50% va a permanecer en las proximidades del transformador ( $\alpha_3$ ), y el otro 50% va a descargar a las aguas pluviales ( $\alpha_4$ ).

El transformador tiene una carga de 12500 kg de aceite (14204,54l). El volumen vertido tanto en las proximidades como a las aguas pluviales sería:

$$\alpha_3 = \alpha_4 = 7,10 \text{ m}^3$$

## 3. CARRIÓ

### **Caso 4: Vertido de sustancias peligrosas en transporte.**

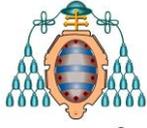
Se considera que el volumen que se vierte al medio, debido a la transferencia del aceite del cubeto al depósito, corresponde con el volumen del transformador mayor. Es decir, se considera un vertido del 100% del volumen.

El mayor transformador es uno de los dos autotransformadores, con una carga de 90130 kg.

$$\alpha_5 = 102,42 \text{ m}^3$$

### 7.3.2. Cálculo de $\beta$

Este parámetro representa el acceso a la vía a reparar. Es decir, el valor de la distancia existente desde la misma hasta la vía de comunicación más cercana. Este parámetro se ha



UNIVERSIDAD DE OVIEDO

*Análisis de Riesgos Ambientales en Subestaciones Eléctricas. Aplicación a varios casos de estudio en Asturias.*



estimado a partir del Mapa Topográfico del Principado de Asturias a escala 1:5000 en el caso de Carrocera II, y mediante Google Maps para las subestaciones de Pravia y Carrió.

A modo de resumen en la Tabla 27, se realiza un resumen de los distintos escenarios considerados, en función de la subestación, con sus probabilidades, IDM calculado mediante la aplicación informática y el riesgo. En el Anexo II, se encuentran recogidos los cálculos efectuados por el programa.

## 8. CÁLCULO DEL RIESGO ASOCIADO A CADA ESCENARIO ACCIDENTAL

A continuación se ha procedido a estimar el riesgo asociado a los escenarios accidentales de acuerdo al procedimiento establecido en el MIRAT. Se aplica la siguiente ecuación.

$$R_{EA} = P_{EA} \cdot IDM_{EA}$$

### **Ecuación 5: Cálculo del riesgo del escenario accidental (MIRAT, 2015)**

Donde:

$R_{EA}$ : riesgo asociado a un escenario accidental.

$P_{EA}$ : probabilidad de ocurrencia de un escenario accidental.

$IDM_{EA}$ : índice de daño medioambiental estimado para un escenario accidental.

En el caso de las subestaciones de Carrocera II y Carrió se han identificado dos escenarios accidentales. En Carrocera II, el vertido de aguas contaminadas se produce como consecuencia del incendio incontrolado, por lo que la probabilidad tomada para calcular el riesgo será la del incendio. En la subestación de Carrió las infiltraciones de sustancias peligrosas también van a ser consecuencia de un vertido, por lo que se tomará la probabilidad correspondiente al vertido de sustancias peligrosas.

Los resultados se incluyen en la siguiente tabla.

SUBESTACIÓN	ESCENARIO ACCIDENTAL	PROBABILIDAD (veces/año)	IDM	RIESGO
CARROCERA II	Incendio incontrolado	0,0015768	491929,72	775,67
	Vertido de aguas contaminadas y/o no tratadas	$7,5 \cdot 10^{-13}$		
PRAVIA	Vertido de sustancias peligrosas	$1 \cdot 10^{-8}$	187924,15	0,0018
CARRIÓ	Vertido de sustancias peligrosas	$5 \cdot 10^{-8}$	982727,29	0,049
	Infiltraciones de sustancias peligrosas	$1 \cdot 10^{-10}$		

**Tabla 27: Determinación del riesgo asociado a cada escenario accidental, probabilidad e IDM**

A la vista de los resultados anteriores, se observa como el mayor riesgo está asociado con el escenario accidental de incendio incontrolado en el transformador de potencia, correspondiente con la subestación de Carrocera II, consecuencia de tener una probabilidad más elevada que el resto de subestaciones consideradas.

## 9. MODELIZACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE RIESGO.

Va a considerarse la extensión, la intensidad y la escala temporal del daño, considerando el grado de vulnerabilidad del receptor ambiental y los medios de transporte del agente causante del daño. Las ecuaciones y datos empleados se encuentran establecidos en la metodología MIRAT.

### 9.1. Cuantificación del daño

#### 9.1.1. CARROCERA II: Incendio incontrolado y vertido de aguas de extinción generadas en un incendio.

Los recursos naturales afectados a priori, según la metodología MIRAT son los mostrados en la siguiente tabla.

ESCENARIO	RECURSOS NATURALES AFECTADOS			
	Agua superficial	Agua subterránea	Suelo	Especies animales y vegetales
INCENDIO INCONTROLADO				
VERTIDO DE AGUAS DE EXTINCIÓN GENERADAS EN UN INCENDIO				

Tabla 28: Recursos afectados por el escenario seleccionado (MIRAT, 2015)

Para cuantificar el daño, van a tenerse en cuenta las siguientes consideraciones, algunas de ellas dichas en apartados anteriores:

- Se considera que las aguas de extinción de un incendio del transformador, que arrastrarían el aceite que no se consume en el fuego, por un lado van a ser evacuadas a la trampa de aceite, y por otro se vierten directamente al suelo de la subestación y también al suelo próximo. El volumen de aguas de extinción considerado para estimar el daño se reparte entre ambos escenarios. Las aguas

que se vierten en el suelo de la subestación, en función del volumen, puede llegar a afectar al nivel freático, contaminando las aguas subterráneas.

- En el instante inicial el filtro no va a ser capaz de evacuar todo el caudal, por lo que saldría por los extremos del cubeto, originando dos charcos a los extremos del transformador.
- Las aguas de extinción pueden llegar a sobrepasar los límites de la subestación debido a la poca superficie que ocupa, dada la existencia de una carretera anexa a la subestación, no van a considerarse los daños a las aguas superficiales ni las especies vegetales o animales, únicamente la ocupación de la mancha en la carretera y proximidades del transformador. Además, la carretera al no disponer de cuneta, no va a ser posible la afección a aguas superficiales.
- La afección a las especies vegetales y animales se asocian únicamente al incendio incontrolado. Esto se debe a que se considera que la superficie afectada por el vertido de aguas de extinción queda incluida en la superficie afectada por el incendio.

Por tanto, el escenario conjunto conlleva una afección a las especies vegetales y animales debido al incendio incontrolado, al suelo y aguas subterráneas derivadas de la infiltración de las aguas de extinción.

Para cuantificar el daño ocasionado por el escenario seleccionado se debe evaluar el daño para cada uno de los recursos afectados por el agente.

### **DAÑOS OCASIONADOS AL SUELO (GRUPO 9)**

Para calcular la extensión del daño, se debe de calcular la cantidad de suelo dañado en toneladas.

Para ello se procede a estimar el área del charco formado, considerando que se trata de rotura total del transformador, al tratarse de un incendio y considerar el vertido instantáneo.

El área del charco se estima a través de la ecuación:

$$A_{\text{CHARCO}} \cong 2,3782 \frac{Q^{4/5}}{(k_i \cdot k_r)^{1/5}}$$

**Ecuación 6: Cálculo del área del charco por rotura total**

Donde:

Q: volumen vertido (m<sup>3</sup>): se trata del parámetro  $\alpha$ , calculado en el apartado *7. Estimación del Índice de Daño Medioambiental asociado a cada escenario accidental*. Se obtiene un valor de 8,45m<sup>3</sup>.

K<sub>i</sub>: permeabilidad intrínseca del suelo (m<sup>2</sup>): el suelo sobre el que se sitúa el transformador es de grava. De acuerdo la metodología MIRAT (Tabla 42) se obtiene un valor de 1·10<sup>-9</sup> m<sup>2</sup>.

K<sub>r</sub>: permeabilidad relativa del suelo. Se trata de un suelo que se encuentra húmedo 9 meses al año. Basándose en la clasificación establecida por el MIRAT se considera suelo muy húmedo, con un valor de 0,3.

La superficie del charco, es por tanto **1052,71m<sup>2</sup>**

Teniendo en cuenta la superficie pavimentada del parque eléctrico de intemperie, se ha estimado en 167,9m<sup>2</sup>, la superficie real descubierta es de **884,81 m<sup>2</sup>**

A continuación, se estima la profundidad de infiltración. Se calcula en función de la profundidad de penetración del agente seleccionado (aceite dieléctrico), aplicando la siguiente ecuación:

$$P_{\text{mp}} = \frac{Q}{A_{\text{charco}} \cdot R \cdot \xi}$$

**Ecuación 7: Cálculo de la profundidad de penetración del agente**

Donde:

Q: volumen total vertido de agente (m<sup>3</sup>): Como se dijo anteriormente 8,45m<sup>3</sup>.

A<sub>CHARCO</sub>: área del charco en superficie 1052,71m<sup>2</sup>.

R: capacidad de retención del suelo. El transformador se encuentra sobre grava, por tanto 8·10<sup>-3</sup>m<sup>3</sup>agente/m<sup>3</sup>suelo



$\xi$ : parámetro dependiente de la viscosidad del aceite dieléctrico. De acuerdo a los valores proporcionados en la metodología MIRAT, por ser una sustancia muy viscosa, adquiere valor 2

Se estima por tanto la profundidad de infiltración del agente en **0,5 metros**.

La afección al suelo es de 1052,71m<sup>2</sup> de superficie por 0,5m de profundidad, por tanto en volumen **528,12m<sup>3</sup>**.

En base a la clasificación del suelo realizada en el *Apartado 5.1.3* y teniendo en cuenta que la subestación está asentada sobre roca, de las densidades establecidas en la metodología MIRAT se considera arcilla dura de densidad 1,80 toneladas por m<sup>3</sup> de arcilla. Se obtienen **950,62 toneladas teóricas** de suelo contaminado.

En relación a la intensidad del daño, de acuerdo a la metodología MIRAT, se considera crónico, ya que debido al vertido de aceite dieléctrico, los efectos se producen en un horizonte temporal a medio/largo plazo.

Se considera daño reversible, considerando los siguientes aspectos:

- El recurso dañado se encuentra en un lugar accesible para los medios de reparación.
- La extensión del recurso dañado.
- La sustancia implicada es biodegradable.

#### **DAÑOS OCASIONADOS AL AGUA SUBTERRÁNEA (GRUPO 5)**

Para determinar el daño a las aguas subterráneas, es necesario determinar la ubicación del nivel freático. La subestación de Carrocera II se encuentra sobre una formación rocosa de muy baja permeabilidad que no va a constituir un acuífero. Por tanto el nivel freático se considera profundo. Dado que la profundidad de infiltración del aceite es de 0,5m; **no se considera que alcance masas de agua subterráneas**, por lo que no causaría daños.

## **DAÑOS OCASIONADOS A LAS ESPECIES VEGETALES (GRUPO 14)**

Como se dijo anteriormente, la zona afectada por los escenarios de vertido de aguas de extinción contaminadas y/o tratadas, se incluye en la zona afectada por el incendio, por lo que solo se evalúa la afección potencialmente ocasionada a las especies vegetales debido al incendio incontrolado.

Para evaluar la extensión de los daños ocasionados por un incendio se toma la fórmula incluida en la metodología de MIRAT para el cálculo de la velocidad de propagación lineal del fuego.

$$VP = (F_{mc}) \cdot (F_{CH}) \cdot (F_p + F_v)$$

### **Ecuación 8: Cálculo de la velocidad lineal de propagación del fuego**

Donde:

$F_{mc}$ : factor de propagación por efecto del modelo combustible (tipo de vegetación).

$F_{CH}$ : factor de propagación por efecto del contenido de humedad de la vegetación fina y muy fina.

$F_p$ : factor de propagación por efecto de la pendiente.

$F_v$ : factor de propagación por efecto de la velocidad del viento en el sentido de avance del fuego en el rumbo correspondiente.

### Factor de propagación por efecto del modelo combustible, $F_{mc}$

Se van a utilizar los modelos de combustible recogidos en la *Tabla 1 del Anexo 8: Tabla para la estimación de la velocidad de propagación*, del MIRAT, y se comparan con el tipo de vegetación presente en el entorno de la central de acuerdo a la información recogida.

Modelo de combustible (Anexo 8, Cuadro 1)	F <sub>mc</sub> (km/h)
MT02 Matorrales y arbustos hidromórficos densos	0,0175896
BN03 Arbolado nativo denso	0,000979

**Tabla 29: Cálculo del valor del Factor de propagación por efecto del modelo combustible (MIRAT, 2015)**

Dado a que el entorno inmediato de la subestación, en la línea de actuación, se trata de matorral, de densidad media, haciendo más favorable la propagación del incendio, se va a considerar el factor correspondiente a “Matorrales y arbustos hidromórficos densos” ya que es la situación más desfavorable.

$$F_{mc} = 0,0175896 \text{ km/h}$$

Factor de propagación por efecto del contenido de humedad de la vegetación fina y muy fina,

F<sub>CH</sub>

Se parte de la ecuación:

$$F_{CH} = \frac{389,1624 - (14,3 \cdot CH) + (0,02 \cdot CH^2)}{3,559 + (1,6615 \cdot CH) + (2,6239 \cdot CH^2)}$$

**Ecuación 9: Cálculo del factor de propagación por efecto de la humedad**

Donde CH es:

$$CH = -2,97374 + 0,262 \cdot RH - 0,00982 \cdot T$$

**Ecuación 10: Cálculo de CH**

Donde:

RH: humedad relativa del aire en %. Entre 70-75% (Atlas Nacional de España. Tomo 2. Ministerio de fomento)

T: temperatura del aire en °C. Se toma la temperatura media anual de 13,8°C

$$CH = 15,88$$

Aplicando la fórmula, el resultado que se obtiene para el factor de propagación por efecto del contenido de humedad de la vegetación fina y muy fina:

$$F_{CH} = 0,24$$

Factor de propagación por efecto de la pendiente,  $F_p$

Para obtener los valores de  $F_p$ , se emplean los valores recogidos en la *Tabla 2 del Anexo 8: Tablas para la estimación de la velocidad de propagación*, del MIRAT, y considerando que la subestación se encuentra sobre una superficie prácticamente horizontal,  $F_p$  toma el siguiente valor:

Nivel de pendiente del terreno	Nivel de pendiente (Anexo 8, Tabla 2)	Factor $F_p$
44,5%	40-50%	2,33

**Tabla 30: Valor del factor de propagación por efecto de la pendiente (MIRAT, 2015).**

Factor de propagación por efecto de la velocidad del viento en el sentido de avance del fuego en el rumbo correspondiente,  $F_v$

Según se recoge en la metodología del MIRAT, a continuación hay que estimar los valores de  $F_v$ , considerando que el área de propagación del fuego adquiere una forma elíptica, para los rumbos  $0^\circ/360^\circ$  y  $60^\circ/300^\circ$ . Para ello se toman los valores recogidos en la *Tabla 3, del Anexo 8: Tablas para la estimación de la velocidad de propagación* del MIRAT, teniendo en cuenta la velocidad media anual del viento en el entorno de la instalación. El viento principal en la zona de la instalación es oeste, y tiene una velocidad de 19,8km/h.

Velocidad del viento (km/h)	Rumbo	$F_v$ (km/h) (Anexo 8, Tabla 3)
20	$0^\circ/360^\circ$	8,41
20	$60^\circ$	2,05
20	$300^\circ$	2,05

**Tabla 31: Cálculo de los valores del factor de propagación por efecto de la velocidad del viento (MIRAT 2015).**

Resolución de la ecuación de velocidad de propagación lineal del fuego,  $V_p$

A continuación, se calcula el valor de  $V_p$  según la Ecuación 8 para los rumbos  $0^\circ/360^\circ$ ,  $60^\circ$  y  $300^\circ$ , aplicando los valores obtenidos anteriormente para los parámetros:

Rumbo	$V_p$ (km/h)
$0^\circ/360^\circ$	0,0453
$60^\circ$	0,0185
$300^\circ$	0,0185

**Tabla 32: Valores de la velocidad de propagación lineal el fuego (MIRAT 2015).**

Área de alcance del fuego

Para calcular la distancia máxima cubierta por el fuego en cada rumbo, según la velocidad de propagación calculada anteriormente, se considera un tiempo medio de control del incendio de 3 horas, de acuerdo a la metodología del MIRAT en relación a este parámetro.

Rumbo	$V_p$ (km/h)	Distancia (km)
$0^\circ/360^\circ$	0,0453	0,1359
$60^\circ$	0,0185	0,0554
$300^\circ$	0,0185	0,0554

**Tabla 33: Distancia de avance del fuego**

Para calcular el área de avance, y por tanto de afección, se aplica la siguiente fórmula:

$$A_{\text{incendio}} = \sum_i^n A_i$$

**Ecuación 11: Cálculo de la superficie total afectada por un incendio.**

Dónde:

$A_{\text{incendio}}$  es la superficie total estimada de afección de un incendio.

$A_i$  son las áreas parciales de afección de los distintos rumbos, estimadas con la siguiente ecuación.

$$A_i = 0,5 \cdot D_i \cdot D_{i+1} \cdot \text{sen}C_{i+1}$$

**Ecuación 12: Cálculo de la superficie parcial afectada por un incendio**

Donde:

$D_i$ : es la distancia recorrida en el rumbo más próximo al rumbo de dirección principal que delimita el área a calcular, siendo la dirección principal  $0^\circ/360^\circ$

$D_{i+1}$  : es la distancia recorrida en el rumbo más alejado del rumbo de propagación principal que delimita el área a calcular.

$C_{i+1}$ : es el ángulo que se forma entre ambos rumbos.

El área de avance, y por tanto de afección (ha) es la siguiente:

Área	Rumbo ( $C_{i+1}$ )	$D_i$	$D_{i+1}$	Km <sup>2</sup>	Ha
A1	60°	0,1359	0,0554	0,00326	0,326
A2	300°	0,1359	0,0554	0,00326	0,326
<b>AT</b>				<b>0,00652</b>	<b>0,652</b>

**Tabla 34: Área de afección por incendio**

Por tanto, el área afectada total será: **0,652 ha** (uso forestal).

Se considera daño agudo y reversible, ya que podría volver a replantarse la zona afectada.

**DAÑOS OCASIONADOS A LAS ESPECIES ANIMALES (GRUPO 16)**

Las especies animales que van a verse afectadas por el incendio, son las que se encuentran presentes en el área de afección. A partir de la información de *apartado 5.3.3 Fauna y 5.3.4. Red Natura*, se han considerado las especies, de mamíferos más comunes en zonas forestales.

Para determinar el número de individuos afectados, se considera un individuo de cada especie presente en el entorno de la subestación (ardillas, corzos, jabalís, murciélagos presentes en la ZEC Cuencas Mineras), asumiendo que no va a ser posible la afección a las aves. Se obtiene un total de **8 individuos**.

### 9.1.2. PRAVIA: Fuga o derrame de aceite dieléctrico en operación o por infiltración con afección a aguas superficiales

Los recursos naturales afectados, en principio según la metodología MIRAT son:

Fuga o derrame de aceite dieléctrico en operación/por infiltración con afección a:			
Agua superficial	Agua subterránea	Suelo	Especies vegetales y animales

Tabla 35: Recursos afectados por el escenario considerado (Pravia).

Para cuantificar el daño, se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

- La red de pluviales vierte al río Aranguín, afluente del Nalón, por lo que los recursos dañados serán los asociados a este curso fluvial.
- No existen especies vegetales o animales amenazadas asociadas a este afluente

Los recursos afectados por el agente son los siguientes:

- Aguas superficiales.
- Especies vegetales.
- Especies animales.

#### DAÑOS OCASIONADOS A LAS AGUAS SUPERFICIALES (GRUPO 2)

Para calcular la extensión del daño, se debe de calcular la cantidad de agua dañada en metros cúbicos. Para ello se procede a realizar el cálculo considerando aguas no confinadas debido al caudal existente en el afluente.

El volumen de agua dañada se estima a partir de la siguiente ecuación:

$$V_{\text{final}} = \frac{V_{\text{inicial}} \cdot C_{\text{inicial}}}{C_{\text{final}}}$$

Ecuación 13: Cálculo del área del charco por rotura total



Donde:

$V_{final}$ : es el volumen de agua en que se debe diluir para que alcance una concentración en la cual se considera que no exista daño ( $m^3$ ).

$V_{inicial}$ : es el volumen de agua del medio receptor y el volumen de vertido del agente en un tiempo  $t$  ( $m^3$ ).

$C_{inicial}$  es la concentración de las aguas dañadas (mg/l).

$C_{final}$ : es la concentración para la cual no se considera que exista un daño (mg/l).

#### $V_{inicial}$ (Volumen inicial)

Es el volumen de agua de medio receptor y el volumen de vertido del agente en un tiempo  $t$  ( $m^3$ ). Como se trata de una mezcla no miscible, puede considerarse como volumen inicial el volumen vertido del agente:  $7,1m^3$

#### $C_{inicial}$ (Concentración inicial)

Es la concentración del agente derramado, es decir, su densidad:  $0,88kg/l$  ( $880000mg/l$ ).

#### $C_{final}$ (Concentración final)

Es la concentración para la que se estima que no existan daños, esto es, una concentración menor a la que se considera que existan daños. Se toma el dato de ecotoxicidad de la European Chemicals Agency ([www.echa.europa.eu](http://www.echa.europa.eu))

$$\underline{C_{final}} = 10000mg/l$$

El volumen final es  **$624,8 m^3$**

La intensidad del daño de acuerdo a la Metodología seguida, se considera agudo, ya que el vertido de aceite a las aguas superficiales va a modificar el pH, pero causan daños de manera clara a corto plazo.

Por último se considera daño reversible, ya que se encuentra en una zona accesible y el aceite se considera biodegradable.

## DAÑOS OCASIONADOS A LAS ESPECIES VEGETALES (GRUPO 11)

Las especies vegetales consideradas son las presentes en el entorno del río, es decir, vegetación de ribera. El MIRAT establece calcular la superficie afectada por el vertido, y considerar que esa será la superficie de hábitat afectado. En el caso del vertido de aceite al río Aranguín, se asume lo siguiente:

- Grosor de la mancha causada por el aceite es de 1mm.
- El cauce del río Aranguín tiene una anchura de 7m (Google Maps, 2017).
- La franja de vegetación de ribera afectada es de 0,5m.
- Dado que no se dispone de información sobre la vegetación del río Aranguín, va a considerarse la afección al Bosque de Ribera, y Matorral (similar al río Nalón).

A partir de lo expuesto anteriormente, se calcula la superficie de la mancha.

$$S_{\text{mancha}} = \frac{\text{Vol vertido}}{H_{\text{mancha}}}$$

**Ecuación 14: Cálculo de la superficie del vertido de aceite de lubricación.**

Donde:

Vol vertido = 7,1m<sup>3</sup>

H mancha = 1mm

Entonces: **S mancha = 7100m<sup>2</sup>**

La superficie de afección se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$S_{\text{afección}} = L_{\text{mancha}} \cdot A_{\text{afección}} \cdot 2$$

**Ecuación 15: Cálculo de la superficie de afección**

Donde:

L mancha: es la longitud de la mancha. Considerando una franja afectada de 0,5m y una anchura del río de 7m, se tiene una anchura de la mancha de 8m. Como se obtuvo una superficie de 7100m<sup>2</sup>, se obtiene una longitud de 887,5m.

A afección: es la anchura de afección, como se dijo se consideran 0,5m de franja afectada.

Por tanto la superficie de afección es:

$$S \text{ afección} = 887,5 \text{ m}^2$$

Se ha estimado que la mitad de la superficie está ocupada por Bosque de Ribera en estado de monte bravo, quedando las zonas despejadas del río cubiertas de matorral.

### DAÑOS OCASIONADOS A LAS ESPECIES ANIMALES (GRUPO 16)

Las especies animales que van a verse afectadas son las que se encuentran presentes en el río Aranguín y su entorno. A partir de la información de *apartado 5.3.3 Fauna Silvestre y 5.3.4 Especies Red Natura*, se han considerado las especies recogidas en la ZEC río Nalón.

Para determinar el número de individuos afectados, se considera un individuo de cada especie presente en el entorno del río, asumiendo que no va a ser posible la afección a las aves. Se obtiene un total de **10 individuos**.

#### 9.1.3. CARRIÓ: Derrame de sustancias peligrosas por fuga de productos químicos en depósitos enterrados

Los recursos naturales afectados a priori, según la Metodología Mirat son los siguientes:

ESCENARIO	RECURSOS NATURALES AFECTADOS			
	Agua superficial	Agua subterránea	Suelo	Especies animales y vegetales
DERRAME DE SUSTANCIAS PELIGROSAS POR FUGA DE PRODUCTOS QUÍMICOS EN DEPÓSITOS ENTERRADOS				

Tabla 36: Recursos afectados por el escenario considerado (Carrió)

Se considera que todo el volumen del depósito va a verter al suelo, pudiendo alcanzar las aguas subterráneas. Las especies animales y vegetales afectadas son las que se encuentren en este entorno, pudiendo ser mamíferos.

### DAÑOS OCASIONADOS AL SUELO (GRUPO 9)

Para determinar la extensión, intensidad y escala temporal, van a seguirse los mismos pasos que los propuestos en la cuantificación del daño a los suelos de la subestación de Carrocera II, en el caso de rotura total. En la Tabla 37, se recogen los parámetros obtenidos en este caso.

#### Área del charco

<b>Q: Volumen total vertido</b>	102,42m <sup>3</sup>
<b>K<sub>i</sub>: Grava</b>	1·10 <sup>-9</sup> m <sup>2</sup>
<b>K<sub>r</sub>: Muy húmedo</b>	0,3
<b>A<sub>CHARCO</sub></b>	<b>7746,97m<sup>2</sup></b>
<b>SUPERFICIE REAL DESCUBIERTA</b>	El depósito no se encuentra en ninguna superficie pavimentada, por lo que la superficie real descubierta es <b>7746,97m<sup>2</sup></b>

Tabla 37: Cálculo del área del charco de Carrió

#### Profundidad de infiltración

<b>Q</b>	102,42m <sup>3</sup>
<b>A<sub>CHARCO</sub></b>	7746,97m <sup>2</sup>
<b>R: Tierra media-fina (Arenas y gravas)</b>	25·10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> agente/m <sup>3</sup> suelo
<b>Ξ</b>	2
<b>P<sub>mp</sub></b>	<b>0,26m</b>

Tabla 38: Cálculo de la profundidad de infiltración de Carrió

Se estima por tanto la profundidad de infiltración del agente de 0,26 metros.

El charco de aceite va a ocupar una superficie de 7746,97m<sup>2</sup> por 0,26m de profundidad, por tanto en volumen **2014,21m<sup>3</sup>**.

En base a la clasificación del suelo realizada en el Apartado 5.1.3 y teniendo en cuenta que la subestación está asentada arenas, gravas y conglomerados, de las densidades establecidas en la metodología MIRAT se considera arena suelta de densidad 1,51 toneladas por m<sup>3</sup> de arena. Se obtienen **3041,46 toneladas teóricas** de suelo contaminado.

En relación a la intensidad del daño, de acuerdo a la metodología MIRAT, se considera crónico, ya que debido al vertido de aceite dieléctrico, los efectos se producen en un horizonte temporal a medio/largo plazo.

Se considera daño reversible, considerando los siguientes aspectos:

- El recurso dañado se encuentra en un lugar accesible para los medios de reparación.
- La extensión del recurso dañado.
- La sustancia implicada es biodegradable.

#### **DAÑOS OCASIONADOS A LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS (GRUPO 5)**

De acuerdo a la Metodología seguida en este estudio, los daños causados a las aguas subterráneas están relacionados con los daños causados al suelo.

La extensión de los daños se calcula como la cantidad de agua afectada en m<sup>3</sup>. Va a seguirse la siguiente aproximación:

- En el caso de estudio la afección del agua subterránea va a ser causada debido a un derrame superficial, por lo que van a tenerse en cuenta las mismas consideraciones tomadas para el cálculo del daño a los suelos, y considerando el nivel freático.

Los materiales sobre los que se asienta la subestación no van a poder formar acuífero, por lo que el nivel freático va a encontrarse por debajo de los materiales del triásico. Se estima un nivel freático de 60m. La profundidad alcanzada por el agente es de 0,26m lo que indica que **no va a producirse afección a las aguas subterráneas**.



### **DAÑOS OCASIONADOS A LAS ESPECIES VEGETALES (GRUPO 11)**

Las especies vegetales consideradas son las presentes en el entorno inmediato de la subestación, es decir, eucaliptos y acebos, además de herbazales.

El cálculo de la extensión se realiza de forma análoga a la subestación de Pravia, se aplican las mismas ecuaciones. En el caso del vertido de aceite al entorno, se asume lo siguiente.

- Grosor de la mancha causada por el aceite es de 1mm.

A partir de lo expuesto anteriormente, se calcula la superficie de la mancha, aplicando la ecuación 14.

Donde:

$$\text{Vol vertido} = 102,42 \text{ m}^3$$

$$\text{H mancha} = 1 \text{ mm}$$

$$\text{Entonces: } \mathbf{S \text{ mancha} = 102420 \text{ m}^2}$$

Se ha considerado la siguiente simplificación: debido a que el depósito va a verter directamente al suelo, la superficie de la mancha va a ser la superficie de afección.

Se ha estimado que un tercio de la superficie está ocupada por las plantaciones de eucalipto y acebo, siendo el resto de superficie herbazal.

### **DAÑOS OCASIONADOS A LAS ESPECIES ANIMALES (GRUPO 16)**

Para determinar los daños ocasionados a las especies animales, va a seguirse el mismo procedimiento que para la subestación de Pravia.

Dado que la subestación se encuentra en un entorno de pradería, va a considerarse la presencia de ardillas y jabalís, encontrándose presente en el entorno de la subestación un individuo de cada especie.

## 10. RESULTADOS OBTENIDOS Y SUGERENCIAS DE MEJORA.

### 10.1. Resultados obtenidos

Tras determinar el riesgo asociado a cada escenario accidental, se procedió a ordenarlas de mayor a menor riesgo, mostrándose en la siguiente tabla.

SUBESTACIÓN	ESCENARIO ACCIDENTAL	PROBABILIDAD (veces/año)	IDM	RIESGO
CARROCERA II	Incendio incontrolado	0,0015768	491929,72	775,67
	Vertido de aguas contaminadas y/o no tratadas	$7,5 \cdot 10^{-13}$		
CARRIÓ	Vertido de sustancias peligrosas	$5 \cdot 10^{-8}$	982727,29	0,049
	Infiltraciones de sustancias peligrosas	$1 \cdot 10^{-10}$		
PRAVIA	Vertido de sustancias peligrosas	$1 \cdot 10^{-8}$	187924,15	0,0018

**Tabla 39: Riesgos asociado a las instalaciones de mayor a menor valor**

El mayor riesgo está asociado a la subestación de Carrocera II, debido al escenario accidental combinado "Incendio incontrolado y vertido de aguas contaminadas y/o no tratadas" con afección al suelo y a las especies animales y vegetales.

Tras realizar la cuantificación del daño (extensión, intensidad, y escala temporal), en la siguiente tabla, se muestran los resultados obtenidos para cada recurso natural afectado, en función de las subestaciones.

SUBESTACIÓN	RECURSO NATURAL AFECTADO	EXTENSIÓN	INTENSIDAD	ESCALA TEMPORAL
CARROCERA II	Suelo	950,62 ton	Crónico	Reversible
	Agua Subterránea	No afecta		
	Especies vegetales	0,652ha	Agudo	Reversible
	Especies animales	8 individuos		
PRAVIA	Agua superficial	624,8m <sup>3</sup>	Agudo	Reversible
	Especies vegetales	887,5m <sup>2</sup>	Agudo	Reversible
	Especies animales	10 individuos		
CARRIÓ	Suelo	3041,46ton	Crónico	Reversible
	Agua subterránea	No afecta		
	Especies vegetales	10242m <sup>2</sup>	Agudo	Reversible
	Especies animales	2 individuos		

**Tabla 40: Resultados de la cuantificación del daño**

A la vista de los resultados anteriores se observa que el escenario que mayor daño va a causar es el de "Derrame de sustancias peligrosas por fuga de productos químicos en depósitos enterrados" en la subestación de Carrió. Esto es debido principalmente a que no existe ningún medio de contención en los depósitos, de forma que todo el aceite fugado del mismo, va a afectar a los receptores ambientales. Como pudo comprobarse a mayor volumen del cubeto del transformador mayor va a ser la afección. Cabe destacar que otro factor a considerar, es el tipo de suelo, ya que a mayor capacidad de retención, menor va a ser la profundidad de infiltración en el terreno, y con ello, el volumen de suelo afectado, que posteriormente deberá de ser tratado.

En ninguno de los escenarios analizados se va a dar la afección a las aguas subterráneas debido a la poca profundidad de penetración del agente y en la mayoría de los casos, la profundidad del nivel freático.

En cuanto a las aguas superficiales, a mayor volumen de cubeto del transformador que va a sufrir rotura, mayor va a ser el volumen de río afectado.

## 10.2. Sugerencias de mejora

Mediante en el Análisis de Riesgos Ambientales, se ha determinado que la instalación con mayor riesgo de generar un escenario accidental es el transformador de potencia debido a incendio incontrolado. A pesar de no ser el escenario que más daños llega a causar, sí es el de mayor probabilidad de ocurrencia, por lo que, a continuación se proponen unas mejoras en las medidas preventivas.

En la actualidad los sistemas apagallamas implantados en las subestaciones son de dos tipos: sistema de losas de hormigón o sistemas de gravas sobre trámex. En la subestación de Carrocera II cuenta con el segundo tipo. Cabe destacar, que ninguno de los dos sistemas citados anteriormente están ensayados o certificados.

Por ello, se proponen dos sistemas de apagallamas diferentes, sí certificados.

### 1. Sistema LHD

Es un enrejado, de aluminio o acero con un menor número de orificios (forma de cono invertido), pasando menos de un 5% de aire, de forma que el incendio dispone de menos oxígeno y con ello impiden la capacidad de propagación de las llamas (Sanergrid)



**Figura 69: Sistema LHD (Sanergrid)**

## **2. Sistema MX**

El transformador se monta sobre dos vigas ajustables a la distancia entre las ruedas, y dispone de sistema de montaje de deflectores en chapa galvanizada, ya montados, en forma de persiana. De esta garantiza el 100% la estanqueidad del cubeto (Akhelec)



**Figura 70: Sistema MX (Akhelec)**

Además de los sistemas apagallamas ya citados, puede disponerse de un sistema de extinción de incendios, basado en aspersores de agua nebulizada. El agua se encuentra pulverizada, de forma que se aumenta la superficie de la gota de agua y con ello el poder de enfriado, aumentando también la evaporación. Debido al vapor de agua formado, se reduce el oxígeno en las proximidades del foco del incendio, favoreciendo su extinción. Presenta una gran ventaja, la pequeña cantidad de agua que emplea y la reducción al máximo de la contaminación del agua debido al arrastre de sustancias peligrosas (Pefipresa)

## 11. CONCLUSIONES

El Análisis de Riesgos Ambientales realizado en el presente Trabajo Fin de Máster, basándose en la Metodología del MIRAT, ha permitido cumplir los objetivos propuestos.

A destacar:

- Identificación de las medidas de prevención y gestión implantadas en las subestaciones objeto de estudio, con el fin de evaluar los potenciales escenarios de riesgo.
- Una vez seleccionado el escenario de mayor riesgo que puede tener lugar en cada subestación, se ha cuantificado el daño ocasionado a los receptores ambientales.

En cuanto a la evaluación de los escenarios accidentales, tras determinar la probabilidad de ocurrencia, se observa que en las subestaciones de Pravia y Carrió, es muy baja, mientras que en la subestación de Carrocera II es más elevada. Esto es debido a la falta de detectores de incendio, manuales o automáticos en el interior de esta última. Por ello, se identifica como la subestación de mayor riesgo de las consideradas, además de encontrarse en una Zona de Especial Conservación y rodeada de vegetación, lo que ayudará a la propagación del incendio.

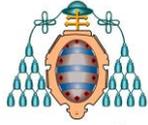
En el caso de las dos subestaciones restantes, el riesgo será mayor en la subestación de Carrió. El depósito de recogida de aceites se encuentra colocado directamente sobre el suelo, por lo que una fuga o rotura afectará de forma directa a los receptores ambientales.

La afección de los daños a los receptores ambientales, en todos los casos va a poder ser reparada (daño reversible), en función del receptor ambiental considerado. En la subestación de Carrocera, las especies vegetales y animales, se consideran las recogidas en la ZEC Cuencas Mineras, por lo que deben de tomarse mayores precauciones por la posible afección a un Espacio Natural Protegido, o especies de fauna protegidas. De forma análoga, la afección a las aguas superficiales en la subestación de Pravia va a causar daños a las especies animales y vegetales en la ZEC río Nalón, entre los que se encuentra el bosque de ribera, siendo un hábitat prioritario. En lo que respecta a la subestación de Carrió, el daño causado al suelo va a ser mayor, pero no se encuentra en ningún espacio protegido, siendo por ello menor el impacto medioambiental.

En general todas las subestaciones estudiadas disponen de medidas preventivas suficientes para reducir las fuentes de peligro y con ello el riesgo de que se produzca un escenario accidental.

Con el fin de reducir al máximo el escenario de mayor riesgo, es decir, el escenario combinado de “Incendio y vertido de aguas de extinción con arrastre de sustancias”, a causa de la deficiencia de los sistemas preventivos, se han propuesto dos modificaciones en el cubeto del transformador (Sistema LHD y sistema MX) de manera que permitan la extinción del incendio en el caso de que el vertido de aceite se produzca en llamas, o la transmisión del incendio al aceite, actuando como cubeto estanco. Además, buscando minimizar el volumen de aguas de extinción, también se ha propuesto el uso de un sistema de aspersores con agua pulverizada, que permiten enfriar de forma mucho más eficaz y con un mínimo gasto de agua.

Por tanto, vista la tipología de los escenarios identificados, las medidas de prevención existentes, y las posibles medidas a implantar, se concluye que cualquier escenario accidental que tenga lugar en las subestaciones objeto de este estudio (Carrocera II, Pravia o Carrió), va a poder ser afrontado y reparado.



UNIVERSIDAD DE OVIEDO

*Análisis de Riesgos Ambientales en Subestaciones Eléctricas. Aplicación a varios casos de estudio en Asturias.*



## 12. BIBLIOGRAFÍA

AEMET. *Agencia Estatal de Meteorología. Gobierno de España.*  
<<http://www.aemet.es/es/portada>> [Consulta: 15/05/2017]

AENOR (2008). *Análisis y evaluación del Riesgo Ambiental.* UNE 150.008:2008

AKHELEC. *Cubetos de retención, metálicos, flexibles y sistemas antifuego.* < [www.akhelec.com](http://www.akhelec.com) />[Consulta: 27/06/2017]

AYUNTAMIENTO DE CARREÑO: MANCOMUNIDAD DEL CABO PEÑAS. *General de Ordenación del Concejo de Carreño.*

DÍAZ GONZÁLEZ, T, Y FERNÁNDEZ PRIETO, J (1988). *Caracterización de las unidades fitogeográficas de Asturias.*

EDP (2017). *Análisis de Riesgos Ambientales. Central Térmica de Ciclo Combinado de Castejón.* Novotec.

EDP (2017). *Análisis de Riesgos Ambientales. Planta de Cogeneración de Sidergas Energía.* Novotec.

EDP (2015). *Modelo de Relatório de Riscos Ambientais Tipo (MIRAT) para Centrais Hídricas.*

EDP-ES (2015). *Análisis de Riesgos Ambientales en Redes Eléctricas y de Gas.* Asturias: ambium.

EDP HC ENERGÍA (2016). *Plan de autoprotección Carrocera II (Asturias).* Asturias.

EDP HC ENERGÍA (2015). *Plan de autoprotección Carrió (Asturias).* Asturias.

EDP HC ENERGÍA (2015). *Plan de autoprotección Pravia (Asturias).* Asturias.

EDUCASTUR. *Geografía, Principado de Asturias.*  
<<http://web.educastur.princast.es/ies/elpires/ARCHIVOS/paginas/depar/ccss/geoasturias.htm>> [ Consulta: 12 de Enero de 2017]

España. Ley 11/2014, de 3 de julio, por la que se modifica la ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental

España. Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental.



*Análisis de Riesgos Ambientales en Subestaciones Eléctricas. Aplicación a varios casos de estudio en Asturias.*



España. Real Decreto 1/2016, de 8 de enero, por el que se aprueba la revisión de los Planes Hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Occidental, Guadalquivir, Ceuta, Melilla, Segura y Júcar, y de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Oriental, Miño-Sil, Duero, Tajo, Guadiana y Ebro

España. Real Decreto 125/2014, de 17 de diciembre, por el que se declara la Zona Especial de Conservación Río Nalón (ES1200029) y se aprueba su I Instrumento de Gestión.

España. Real Decreto 157/2014, de 29 de diciembre, por el que se declara la Zona Especial de Conservación Cuencas Mineras (ES1200039) y se aprueba el I Instrumento de Gestión Integrado de los espacios protegidos en los concejos de Laviana, Mieres, San Martín del Rey Aurelio y Langreo.

España. Real Decreto 183/2015, de 13 de marzo, por el que se modifica el Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental, aprobado por el Real Decreto 2090/2008, de 22 de diciembre

España. Real Decreto 2090/2008, de 22 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental

EUROPEAN CHEMICALS AGENCY < [www.echa.europa.eu](http://www.echa.europa.eu) > [Consulta:15/06/2017]

FEDERAL REMEDIATION TECHNOLOGIES ROUNDTABLE <<https://frtr.gov/>> [Consulta: 5/03/2017]

FERNÁNDEZ CUESTA, GASPAR, et al. *El libro de Siero*. Patronato Municipal de Cultura de Siero.

GOBIERNO DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS (2008). *Plan General de Ordenación del Concejo de Pravia*. URBANIA.

GOBIERNO DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS (2017). *Red Ambiental de Asturias*. <<https://www.asturias.es/portal/site/medioambiente/menuitem.902b26b36a5e1f63e7cc2a20a6108a0c/?vgnnextoid=3cfda5c7be9fa110VgnVCM1000006a01a8c0RCRD&i18n.http.lang=es>> [Consulta: 15/03/2017]

GOOGLE MAPS. < <https://www.google.es/maps/> > [Consulta: 2017]



- IBÁÑEZ ASENSIO, S, et al (2011). *Entisoles*. Universidad Politécnica de Valencia
- IDAE (2009). < <http://www.idae.es/>> [Consulta: 27/04/2017]
- IGME. *Investigación Hidrogeológica de la Cuenca Norte de Asturias*
- IGME. *Mapa Geológico General a escala 1:200.000* Hojas nº 2-Avilés, 3-Oviedo y 10-Mieres
- IGME. *Mapa geológico de España a escala 1:50.000* Hojas nº 28-Grado, 29-Oviedo y 53-Mieres
- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO (1984). *Baterías de Ni-Cd. Uso y mantenimiento*. NTP 104
- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO (2006). *Fichas internacionales de seguridad química: Aceite mineral blanco*. ICSC: 1597
- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO (2004). *Fichas internacionales de seguridad química: Diesel*. ICSC: 1561
- LA PÁGINA DE BEDRI. *El clima de Asturias*.  
< [http://www.bedri.es/Asturias/Medio\\_natural/Clima.htm](http://www.bedri.es/Asturias/Medio_natural/Clima.htm)> [Consulta: 25/02/2017]
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIOAMBIENTE. GOBIERNO DE ESPAÑA (2017). *Espacios protegidos. Red Natura 2000*.  
<<http://www.mapama.gob.es/es/biodiversidad/temas/espacios-protegidos/red-natura-2000/>> [Consulta: 10/02/2017]
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIOAMBIENTE. GOBIERNO DE ESPAÑA . *Índice de daño medioambiental (IDM): Guía de usuario*. Gobierno de España.
- MINISTERIO DE FOMENTO. *Atlas Nacional de España*. Tomo 2
- NOVOTEC. *Informe de sostenibilidad ambiental Concejo de Carreño*. Concejo de Carreño.
- PEFIPRESA. *Protección contra incendios*.
- RIVAS MARTÍNEZ, SALVADOR (2004). *Global Bioclimatics (Clasificación Bioclimática de la Tierra)*.
- SANERGRID. Cobertura contra incendio para transformadores <<http://www.sanergrid.com/>> [Consulta: 27/06/2017]



UNIVERSIDAD DE OVIEDO

*Análisis de Riesgos Ambientales en Subestaciones  
Eléctricas. Aplicación a varios casos de estudio en  
Asturias.*



USDA (1991). *Soil Taxonomy, A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. < [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs142p2\\_051232.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051232.pdf)>  
[Consulta: 04/02/2017]