



**PROPUESTA DE TRABAJO DE FIN DE GRADO  
PROPUESTA DE PROYECTO FIN DE CARRERA  
CURSO 2013 - 2014**

TÍTULO DEL TRABAJO:	PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE UN TÚNEL DE AUTOPISTA
TUTORES:	Dr. Norberto Redondo Melchor Dr. Roberto Carlos Redondo Melchor
DESCRIPCIÓN GENERAL:	Proyecto eléctrico de iluminación y ventilación de un túnel doble de autopista IMD<2000, de 600 m de longitud y velocidad limitada a 100 km/h, con 3 carriles en un sentido y túnel, y 2 carriles en el otro, dotado de ventilación normal longitudinal más refuerzo de extracción en pozos verticales.
CONTENIDOS MÍNIMOS:	El trabajo deberá incluir obligatoriamente todos los contenidos técnicos que se desglosan en el esquema que sigue más abajo. Los tutores pueden asesorar al alumno que desee introducir contenidos añadidos.

DESCRIPCIÓN PARTICULAR:

Se trata de diseñar y calcular algunas instalaciones necesarias para el funcionamiento normal y seguro de un túnel de autopista de dos tubos, uno para cada sentido. El túnel es del tipo no vigilado ni atendido, es decir, que carece de sistema de vigilancia y de personal asignado a su servicio permanente.

El alumno definirá, mediante planos de planta con suficiente detalle, la ubicación de la autopista para menos de 2000 vehículos por día y carril (IMD), y, en ella, el tramo de túnel doble en tramo no urbano, con sus pasos de intercomunicación entre tubos y las salidas de emergencia intermedias, y donde señalará la situación de las infraestructuras eléctricas principales y los pozos de extracción.

En el proyecto deberán contemplarse las siguientes instalaciones:

- Instalación de transformación media tensión / baja tensión
- Instalación de alimentación en baja tensión
- Iluminación normal.
- Iluminación de seguridad.
- Iluminación de emergencia.
- Ventilación.
- Generadores de emergencia.
- Sistema de alimentación ininterrumpida (SAI).
- Detectores de CO y de NOx
- Detectores de humos y de incendio (cable térmico).



El suministro eléctrico será doble, y se recibe de sendas líneas subterráneas de 20 kV de tensión nominal que llegan hasta cada lado del túnel. En cada uno se instalará un centro de seccionamiento que incluya interruptor y celda de medida. Continúan las líneas hacia el único centro de transformación necesario, situado en la mitad de los túneles. En él se colocarán las celdas de conmutación automática entre líneas y de protección del transformador. En las proximidades habrá grupos electrógenos para mantener funcionando parte de la ventilación, y sistemas de baterías para dotar a parte del alumbrado de iluminación ininterrumpida.

No se exigen cálculos de ventilación, pero sí es preciso que el alumno justifique la cantidad, ubicación y potencia de los equipos de ventilación, utilizando los siguientes criterios:

- Ventilación normal para dilución de contaminantes, mediante circulación longitudinal forzada y reversible de al menos  $95 \text{ m}^3/(\text{s}\cdot\text{km}\cdot\text{carril})$  para flujo de tráfico normal y denso. Una pareja de ventiladores cada tramo de 150 m.
- Extracción forzada en caso de incendio, para control de calor y evacuación de humos, mediante un pozo vertical por sentido para  $175 \text{ m}^3/\text{s}$  cada uno.

La iluminación se hará de acuerdo con el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior, que remite a la publicación CEI 088-2004 "Guía para el alumbrado de túneles de carretera y pasos inferiores" únicamente para los niveles de iluminación y su distribución a lo largo de los túneles. Esta Guía, solo disponible en inglés, está admirablemente bien incluida en el capítulo 13 del manual de Luminotecnia de Indalux redactado en español. Se deberán prever al menos tres niveles distintos de alumbrado interior: para día, para día nublado, y para noche.



En los planos deberán figurar, además de las instalaciones y equipos diseñados en el proyecto, algunos detalles sobre:

- Aceras, arcenes y carriles
- Sección transversal tipo de ambos túneles.
- Sección longitudinal de un túnel.
- Salidas de emergencia.
- Pasos de intercomunicación entre túneles.
- Puestos de emergencia.
- Señalización horizontal y vertical según normativa de carreteras.



- Señalización de salidas y equipamientos de emergencia.
- Señalización eléctrica variable interior.
- Barreras exteriores.
- Semáforos exteriores.
- Sistema de abastecimiento de agua contra incendios.
- Ubicación de conjuntos BIE+hidrantes en las bocas de túnel y cada 250 m.
- Megafonía.

El trabajo respetará y aplicará toda la normativa vigente, en especial sobre requisitos de seguridad en túneles para el tráfico de vehículos (RD 635/2006 y normas concordantes), y también la de gestión de residuos de la construcción y la de salud y seguridad en las obras de construcción. Deberá contar con un pliego de condiciones técnicas generales y particulares, más los planos necesarios para la comprensión de la instalación proyectada, y el anejo de mediciones y presupuesto a precios actuales.

IMPORTANTE: El resto de detalles no especificados en esta descripción podrán ser supuestos por el alumno, pero deberán asemejarse lo más posible a datos extraídos de la realidad.

#### OBSERVACIONES:

Se empleará únicamente el Sistema Internacional de Unidades, con su notación correspondiente.

No se admitirán faltas de ortografía, ni siquiera en las unidades.

El trabajo es estrictamente personal e individual. No se admitirán proyectos con similitudes sustanciales en planos, mediciones del presupuesto o cálculos.

#### ESQUEMA A SEGUIR (<sup>1</sup>):

- I. Memoria
  - A. Introducción y objeto del proyecto
  - B. Normativa aplicada
  - C. Necesidades y prestaciones de las instalaciones requeridas
  - D. Soluciones adoptadas
  - E. Plazo y diagrama de ejecución
  - F. Resumen de presupuesto
  - G. Conclusión a la Memoria y firma

---

<sup>1</sup> El alumno deberá respetar este esquema aportando contenidos en aquellos apartados donde lo estime necesario, indicando en el resto la mención "No aplicable porque..." seguida de la razón correspondiente. También podrá añadir otros epígrafes si fuera necesario, pero nunca eliminar los que se indican.



- II. Anejo de media tensión
  - A. Introducción y objeto
  - B. Características generales de la instalación
  - C. Centros de seccionamiento
    - a. Emplazamiento
    - b. Características principales del CS tipo
    - c. Edificio prefabricado del CS tipo
    - d. Celdas de alta tensión
      - 1. De línea
      - 2. De medida
    - e. Instalaciones de Puesta a Tierra (PaT)
      - 1. Resistividad media del terreno
      - 2. Cálculo de la resistencia del sistema de tierra de protección (masas)
      - 3. Cálculo de la intensidad y la tensión de defecto a tierra
      - 4. Cálculo de las tensiones de paso y contacto
      - 5. Diseño del electrodo y verificación de resultados
      - 6. Materiales a utilizar
    - f. Contabilización de consumos. Tipo y ubicación de contadores
  - D. Centro de transformación
    - a. Emplazamiento y características del recinto
    - b. Celdas de alta tensión
      - 1. De conmutación automática
      - 2. De protección de transformador
    - c. Transformador
    - d. Interconexión celda - transformador
    - e. Fusibles limitadores de M.T.
    - f. Interconexión transformador - cuadro salidas BT
    - g. Instalaciones de Puesta a Tierra (PaT)
      - 1. Cálculo de la resistencia del sistema de tierra de protección (masas)
      - 2. Cálculo de la intensidad y la tensión de defecto a tierra
      - 3. Cálculo de las tensiones de paso y contacto
      - 4. Diseño del electrodo y verificación de resultados
      - 5. Puesta a tierra del neutro del transformador
      - 6. Separación entre puestas a tierra
      - 7. Materiales a utilizar
    - h. Materiales de seguridad y de primeros auxilios
  - E. Conclusión y firma
- III. Anejo de baja tensión
  - A. Introducción y objeto
  - B. Normativa aplicada
  - C. Características generales de la instalación
    - a. Clasificación de los locales
    - b. Previsión de cargas
  - D. Recinto de protección y control
    - a. Descripción de la instalación



- b. Líneas generales de alimentación
  - c. Cuadro general de control y protecciones
  - d. Disposiciones especiales para los locales clasificados
  - e. Puesta a tierra
  - f. Alumbrado interior ordinario y de emergencia
  - E. Recinto de grupos electrógenos y SAIs
    - a. Descripción de la instalación
    - b. Grupos electrógenos
      - 1. Características generales
      - 2. Protecciones eléctricas y puesta a tierra
      - 3. Sistema de conmutación
      - 4. Suministro de combustible
      - 5. Gases de escape
    - c. Sistema de alimentación ininterrumpida (SAI)
      - 1. Características generales
      - 2. Protecciones eléctricas y puesta a tierra
      - 3. Sistema de conmutación
    - d. Baterías de condensadores para corrección del factor de potencia
      - 1. Características generales
      - 2. Protecciones eléctricas y puesta a tierra
    - e. Disposiciones especiales para los locales clasificados
    - f. Alumbrado interior ordinario y de emergencia
  - F. Cálculos eléctricos
    - a. Método de cálculo de intensidades admisibles y caídas de tensión
    - b. Resultados obtenidos
  - G. Conclusión y firma
- IV. Anejo de ventilación y control de incendios
- A. Introducción y objeto
  - B. Normativa aplicada
  - C. Ventilación para dilución de CO y NOx
    - a. Ventilación longitudinal: caudales
    - b. Selección y ubicación de ventiladores
  - D. Extracción de humos de incendio y control del calor
    - a. Ubicación y caudales de los pozos de extracción
    - b. Selección de ventiladores
  - E. Alimentación y control de ventilación y extracción
    - a. Componentes del sistema de detección
      - 1. Detectores: tipos y ubicación
      - 2. Centralita: características principales
    - b. Características generales de la instalación: canalizaciones y conductores
      - 1. Cableado de alimentación
      - 2. Cableado de control y detección
  - F. Conclusión y firma



- V. Anejo de alumbrado interior
  - A. Introducción y objeto
  - B. Normativa aplicada
  - C. Diseño luminotécnico
    - 1. Niveles de iluminación requeridos.
    - 2. Distribución del alumbrado según niveles requeridos
    - 3. Luminarias del alumbrado de seguridad
  - b. Lámparas y equipos auxiliares. Luminarias
  - c. Sistemas de encendido y apagado
  - D. Criterios de eficiencia energética para el diseño, explotación y mantenimiento de las instalaciones de alumbrado
    - a. Criterios de eficiencia en el diseño del nuevo alumbrado
      - 1. Factor de utilización
      - 2. Factor de mantenimiento y flujo
      - 3. Eficiencia de las lámparas y equipos auxiliares
      - 4. Eficiencia de las luminarias
      - 5. Niveles de iluminación alcanzados
      - 6. Deslumbramientos
    - b. Calificación energética de la instalación
      - 1. Eficiencia energética de la instalación
      - 2. Índice de eficiencia energética
      - 3. Índice de consumo energético
      - 4. Categoría energética asignada
    - c. Criterios de eficiencia en la explotación y el mantenimiento
    - d. Valoración del consumo eléctrico esperado
    - e. Apreciaciones sobre el mantenimiento
  - E. Cálculos luminotécnicos
    - a. Nivel de alumbrado nocturno
    - b. Nivel de alumbrado para día nublado
    - c. Nivel de alumbrado diurno
    - d. Alumbrado de seguridad
  - F. Instalación eléctrica
    - a. Líneas
      - 1. Canalizaciones
      - 2. Conductores activos y de puesta a tierra
    - b. Cálculos eléctricos
      - 1. Método de cálculo de intensidades admisibles y caídas de tensión
      - 2. Resultados obtenidos
  - G. Conclusión y firma
- VI. Anejo de gestión de residuos de la construcción
  - A. Introducción y objeto del anejo
  - B. Normativa aplicada
  - C. Identificación de residuos y cantidades
  - D. Medidas para la reducción de residuos en obra
  - E. Reutilización, valorización o eliminación de residuos de obra
  - F. Medidas para la separación de residuos en la obra



G. Conclusión y firma

VII. Anejo de cálculos

[Colección de tablas de datos] <sup>(2)</sup>

VIII. Pliego de condiciones

- A. Pliego de condiciones generales
  - a. Normativa a aplicar
  - b. Replanteo de la obra
  - c. Características y obligaciones del contratista
  - d. Control de la obra y Libro de órdenes
  - e. Aceptaciones parciales y certificaciones periódicas
  - f. Recepción de la instalación
  - g. Plazo de garantía
- B. Pliego de condiciones particulares
  - a. Condiciones aplicables a la ejecución y certificación de las instalaciones de media tensión
  - b. Condiciones aplicables a la ejecución y certificación de las instalaciones de baja tensión
  - c. Condiciones aplicables a la ejecución y certificación de la instalación de ventilación y extracción
  - d. Condiciones aplicables a la ejecución y certificación de la instalación de alumbrado interior
- C. Conclusión y firma

IX. Seguridad y salud <sup>(3)</sup>

- A. Características relevantes de las obras
  - a. Descripción de los trabajos
  - b. Coste, plazo de ejecución y mano de obra necesaria
  - c. Documento de seguridad y salud requerido en fase de proyecto
- B. Peligros detectados y riesgos asumidos
  - a. Peligros generales
  - b. Peligros específicos de cada fase de la obra
  - c. Riesgo de daños a terceros
- C. Medidas de prevención para aminorar riesgos
  - a. Medidas generales
  - b. Medidas específicas para cada fase de la obra
  - c. Medidas frente al riesgo de daños a terceros
- D. Conclusión y firma

---

<sup>2</sup> Únicamente se considerarán aptas para la evaluación del alumno aquellas tablas o compendios de datos que sean resultado de los cálculos explicados en la Memoria o sus anejos, y siempre que puedan ser evidentemente verificables por el Profesor, lo que al menos exige la correcta identificación de los datos (encabezamientos de filas y columnas, por ejemplo) y la inclusión de la unidad o magnitud de que se trate.

<sup>3</sup> Este esquema corresponde a la modalidad de Estudio Básico de Seguridad y Salud en fase de proyecto, que es más resumido. Pero si la envergadura del proyecto lo exigiese, sería necesario un Estudio completo, en cuyo caso deberá figurar también en Planos y en Presupuesto. Ninguno de los dos podrá ocupar más de 20 páginas.



- X. Planos <sup>(4)</sup>
  - A. Generales
    - a. Situación a varias escalas con indicación de accesos
    - b. Planta general y componentes de las instalaciones
  - B. Media tensión
    - a. Detalles de los centros de seccionamiento
    - b. Detalles del centro de transformación
    - c. Esquema unifilar completo
  - C. Baja tensión recinto protección y control
    - a. Detalles de la instalación interior
    - b. Diseño del cuadro de protecciones y esquema unifilar
  - D. Baja tensión recinto grupos electrógenos y SAIs
    - a. Detalles de la instalación interior
    - b. Diseño del cuadro de protecciones y esquema unifilar
  - E. Instalaciones de ventilación y extracción
    - a. Planta, alzado y detalles de las instalaciones
    - b. Esquema general de principio
  - F. Baja tensión: alumbrado interior
    - a. Canalizaciones y sistemas de ejecución
    - b. Líneas y puntos de luz
    - c. Esquema unifilar de líneas y protecciones
- XI. Mediciones y presupuesto
  - A. Presupuesto desglosado
  - B. Cuadro resumen del presupuesto
  - C. Nombre, fecha y firma

---

<sup>4</sup> Los planos se numerarán respetando esta clasificación. Preferiblemente se dibujarán sobre formato DIN-A3 apaisado. En el cajetín figurará el título del proyecto seguido de la mención "Trabajo fin de grado", el nombre del plano, su número, el nombre del alumno y la fecha (mes y año) en que lo presentará para su evaluación. Como Peticionario del proyecto figurará la "Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial - Área de Ingeniería Eléctrica", y se le añadirá la mención "Tutor: ...." con el nombre del tutor correspondiente, todo junto al emblema oficial de la Universidad de Salamanca. Todos los planos deben entregarse firmados manualmente.

Esta lista solo indica el orden en el que se deben disponer y numerar los planos. El alumno puede incluir, dentro de cada apartado todos los planos que precise, pero siempre al menos uno.

Los planos vendrán preferentemente delineados en blanco y negro. No se admitirán letras de menos de 2 mm de altura. Se evitará al máximo el despilfarro de papel.