

El viaducto sobre el río Ulla en el Eje Atlántico de Alta Velocidad: la ejecución de un récord del mundo

Parte I: concepción, accesos al cauce y ejecución de las cimentaciones

Rubén A. Estévez Sánchez

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos del Estado.

Director de obra. Dirección General de Ferrocarriles. Ministerio de Fomento.

Francisco Millanes Mato

Doctor ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Presidente de IDEAM S.A.

Miguel Ortega Cornejo

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Director de Ingeniería de IDEAM S.A.

Propiedad y dirección de obra:

Dirección General de Ferrocarriles.
Ministerio de Fomento / ADIF-AV

Principales empresas participantes en el proyecto y obra

- Proyecto del Viaducto y asesoría especializada en estructuras a la A.T. y la D.O.: IDEAM S.A.

- Asistencia Técnica a la Dirección de Obra: TYPESA

- Constructora: UTE río Ulla.
Dragados-TECSA

- Apoyo Técnico a la Constructora: Servicios Técnicos de Dragados y Fhecor

- Talleres Metálicos: Ascamón-Joama / Martifer / Emesa / Dizmar

- Control de Calidad Metal: Por parte de la Propiedad: Applus+
Por parte de la Constructora: Alfa-Instant y AMT

- Control de Calidad Resto Obra: Por parte de la Propiedad: Enmacosa

Concepción estructural del viaducto

El viaducto sobre el río Ulla en la desembocadura de la ría de Arosa, constituye la actuación de mayor alcance del Eje Atlántico de Alta Velocidad entre Pontevedra y A Coruña. Su ubicación, en la ría de Arosa, en un entorno natural de extraordinaria belleza y sometido a especiales condicionantes medioambientales, aconsejó a la Dirección General de Ferrocarriles la convocatoria de un concurso de ideas.

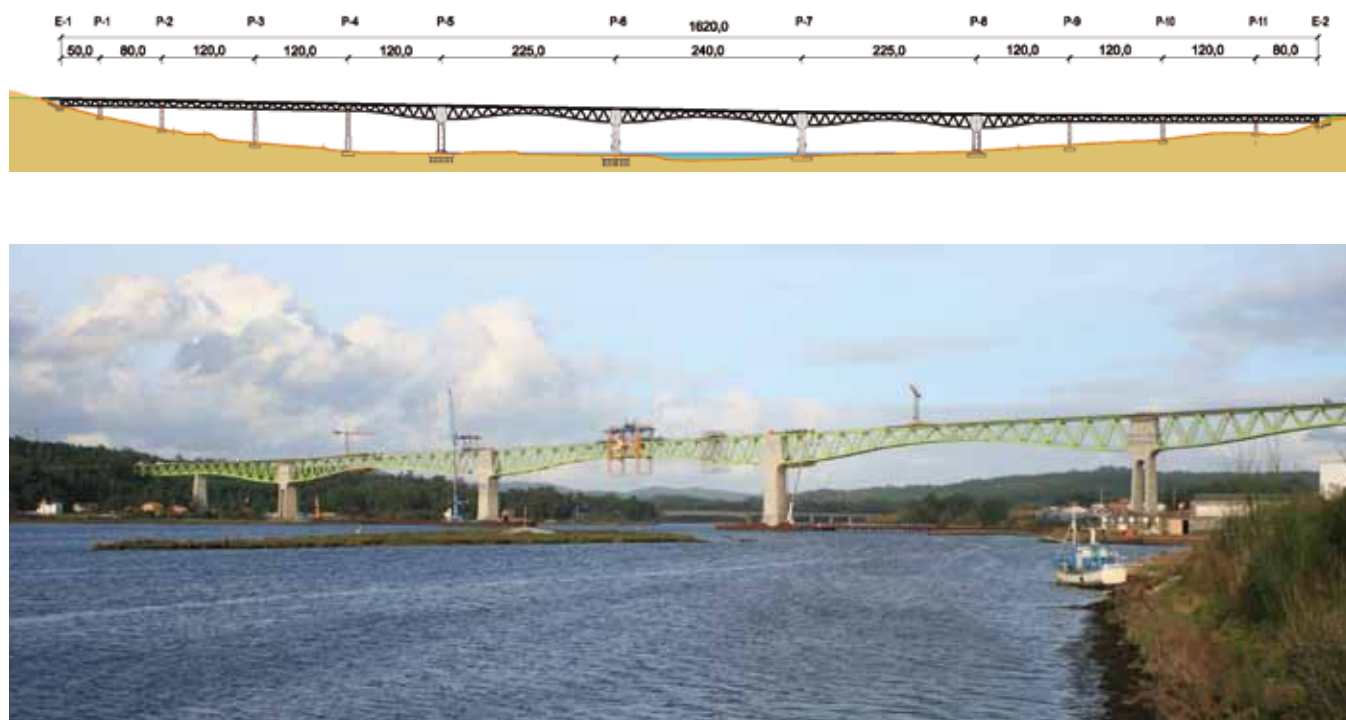
La propuesta seleccionada orientó la solución a resolver la siguiente problemática:

- cuidar la estética de la solución y a su integración medioambiental en el entorno;
- reducir el número de pilas en el cauce, siempre dentro de los condicionantes técnicos de los viaductos de alta velocidad y de unos costes de ejecución asumibles;
- plantear procesos constructivos lo más independientes del cauce y de sus riberas;
- buscar la máxima transparencia y mínimo impacto visual en el entorno paisajístico.

Estos condicionantes orientaron la solución hacia una celosía mixta de canto variable, con tres grandes vanos centrales sobre la ría de 225+240+225 metros de luz y vanos de acceso tipo de 120 m. Los tres vanos centrales se convertirán en el nuevo record del mundo de su tipología, superando al puente de Nantenbach, sobre el río Main, en Alemania, con un único vano central de 208 m de luz, en más de un 15 %. Los 1.620 m de longitud del viaducto se divide en 12 vanos con las luces siguientes: 50+80+3x120+225+240+225+3x120+80 metros (figuras 1a y 1b).

El tablero es una celosía mixta de canto variable en los cinco vanos principales, con 17,90 m de canto sobre apoyos y 9,15 m en centro vano, manteniendo este canto constante en los vanos de acceso.

La rigidez de las cuatro pilas principales se ha optimizado para coaccionar las rotaciones del tablero y controlan el nivel de flexiones que, a través del efecto pórtico, se transmiten a la cimentación, evitando su sobredimensionamiento. Por ello, las pilas principales situadas en el extremo exterior de los pórticos



Figs. 1a y 1b. Alzado y vista actual del Viaducto sobre el río Ulla (nov. 2014)

de 225 m de luz (P-5 y P-8), se han proyectado con dos tabiques exentos empotrados en la cimentación y cabeza de pila. Mediante esta tipología se controlan así los niveles de empotramiento a flexión derivados de la fuerte descompensación de luces del tablero, de 225 y 120 m, así como las flexiones producidas por los desplazamientos impuestos en cabeza de pila por movimientos térmicos y reológicos del tablero, superiores a los de las dos pilas centrales (P-6 y P-7) a causa del incremento de su distancia al punto neutro de desplazamientos, del orden de 350 m.

El resto de las pilas de los vanos de acceso son convencionales. Los apoyos del tablero sobre dichas pilas son aparatos de apoyo esféricos libres longitudinalmente con lámina

deslizante de un Polietileno de Alta Densidad Molecular, con características mejoradas frente a los convencionales teflones, con el desplazamiento transversal impedido en uno de ellos.

La celosía se modula en segmentos de 15 m con los nudos del cordón superior separados en transversal 6 m y las diagonales inclinadas en la zona de canto constante unos 45° respecto de la horizontal. Los cordones superior e inferior son paralelogramos formados por chapas de acero, con 0,80 m de ancho y cantos de 1,00 m y 1,20 m, respectivamente. Las diagonales tienen una sección similar a la del cordón superior.

Los cordones superiores presentan, soldado a la platabanda superior, un cajoncito embebido en la losa de hor-

migón, a la que se sueldan los conectores lateralmente, lo que permite aproximar el eje de transferencia de la conexión al baricentro de la losa superior, reduciendo así las flexiones parásitas por excentricidad en la citada conexión (Fig. 2).

El acero de la celosía es de calidad S355-J2+N y S355-K2+N (para chapas superiores a 60 mm) para los vanos de acceso y de calidad termomecánica S-460-M y S-460-ML (para chapas superiores a 65 mm) en los tres vanos centrales de canto variable y mayor luz.

La losa superior tiene un canto variable entre 0,46 y 0,25 m. El hormigón in situ, HA-35, se ejecuta sobre prelasas prefabricadas. El hormigón de fondo, HA-50, se ubica entre los cordones metálicos inferiores de la

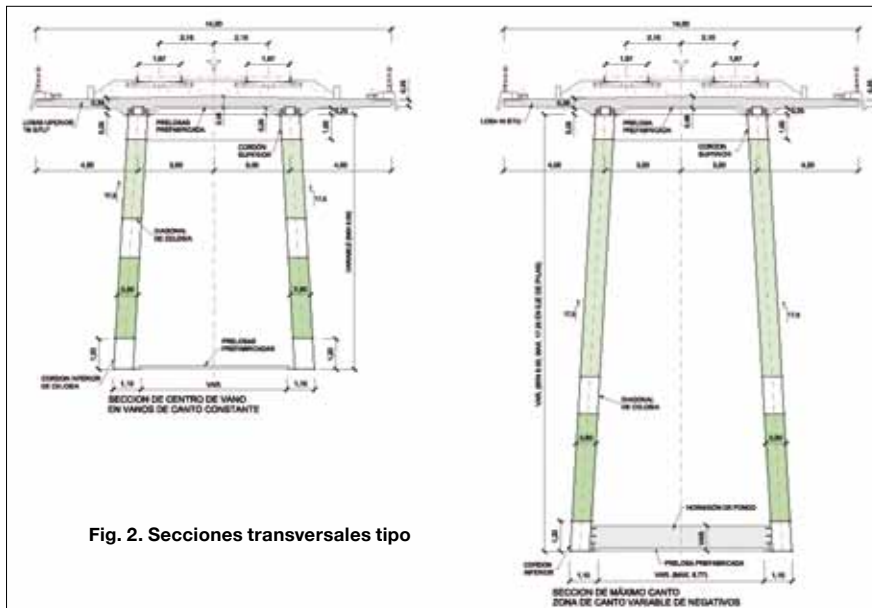


Fig. 2. Secciones transversales tipo

celosía, conectándose a los mismos para materializar la doble acción mixta en las zonas sometidas a flexión negativa. En las zonas de centro de vano se da continuidad al hormigón inferior con un cierre simplemente formal, no estructural, para garantizar y facilitar las tareas de inspección y mantenimiento.

Descripción de la subestructura

Los estribos y las pilas P1 a P4 y P8 a P11, con accesos sencillos por vía terrestre, se cimentan mediante zapatas apoyadas sobre el estrato granítico con una tensión media admisible de 10 kg/cm^2 .



Fig. 3a. Vista aérea de los recintos de las pilas P-5, P-6 y P-7

Puente sobre el río Ulla

Proyecto de empuje vanos canto constante



Proyecto de izado vanos canto constante



Izado dovelas canto variable



Proyecto de construcción por avance en voladizo vanos canto variable

www.fhecor.com

FHECOR Ingenieros Consultores ■

Madrid

Barcelona

Sevilla

Santiago de Chile

Curitiba

Washington

Dubai



Fig. 3b. Imagen del pantalán

Para el acceso a las cimentaciones de las pilas P-5, P-6 y P-7 situadas en el cauce (Fig. 3a), se ha materializado un pantalán metálico de acceso (Fig. 3b) materializado por vanos isostáticos de 6 m de luz y 14 m de anchura, apoyado en pilotes hincados metálicos. El pantalán, estructura provisional a retirar una vez finalice su uso, se ha construido

en avance sobre sí mismo logrando un escrupuloso respeto medioambiental sin afección a la ría y ha facilitado mucho las condiciones de ejecución de las cimentaciones de las pilas centrales del viaducto al poder acceder a todas desde tierra. Está prevista su retirada también sin afección alguna a la ría.

En cada una de las 3 pilas del cauce se ha construido un recinto provisional con el objetivo de permitir ejecutar las cimentaciones en seco bajo el nivel del agua, y para poder emplearlos como plataformas de trabajo para ejecutar las pilas y permitir el transporte e izado de dovelas del tablero.

Los tres recintos de tablestacas están formados por un doble anillo concéntrico de tablestacas metálicas separadas 10 m entre sí de 62 m de diámetro en P-5, $\phi 68$ m en P-6 y $\phi 65$ m en P-7.

En las pilas 6 y 7 las tablestacas interiores, se han hincado hasta la roca. La profundidad de excavación es de 8 m en P-5, 10,5 m en P-6 y de 13 m en P-7 (Fig. 4), y en pleamar máxima la cota del nivel de la ría se sitúa a la +2,54 m, muy próxima a la cota de la plataforma de los recintos (+3,0 m). Esta importante profundidad libre de excavación, en el entorno de los 15 m, unida a la presencia exterior de agua implica

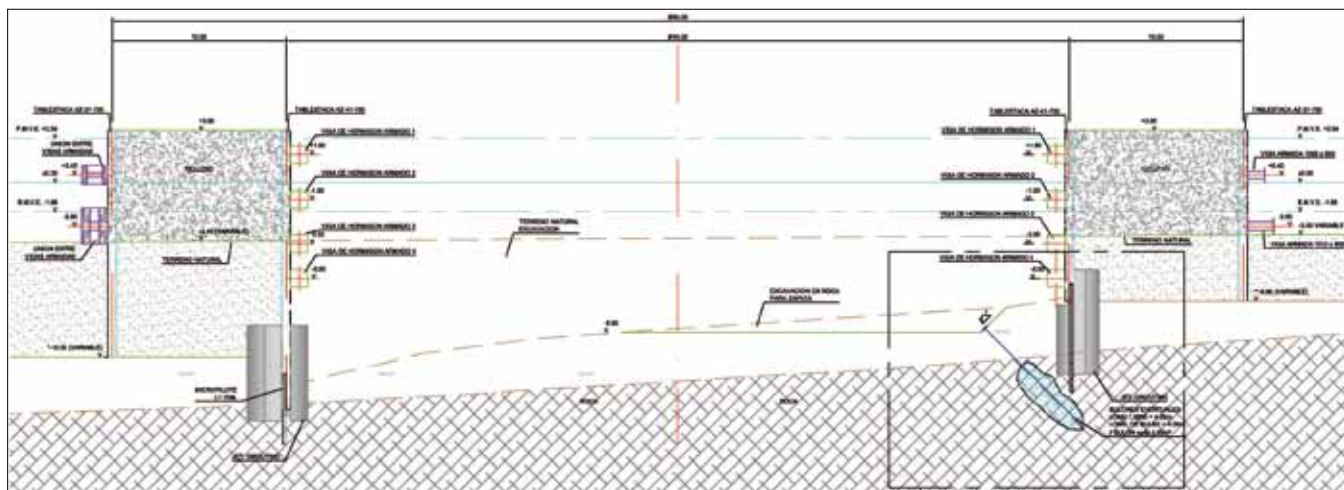


Fig. 4. Esquema del recinto de tablestacas de la pila 7

Together, we are
**SMARTER
SAFER
STRONGER**



**MÁS DE 25 AÑOS APORTANDO
SOLUCIONES INNOVADORAS**

WORLDWIDE HEAVY TRANSPORTATION AND LIFTING

TEL: +34 91 8845403
FAX: +34 91 8845840
WWW.ALE-HEAVYLIFT.COM
INFO@ALE-HEAVYLIFT.COM



@ALEHeavyLift



/ALEHeavyLift



/ALECorporate

ALE



SMARTER, SAFER, STRONGER



Fig. 5. Descabezado de pilotes del encepado de P-5

contenciones muy importantes de los recintos.

El recinto exterior se arriostra mediante unos zunchos metálicos perimetrales compuestos por vigas armadas de acero S-355. En las pilas 5 y 6 se coloca un zuncho y en la pila 7 han sido necesarios dos.

Los arriostramientos comprimidos de las tablestacas interiores son anillos de hormigón armado HA-40 y sección rectangular de 1,0 x 1,0 m. En las pilas 5 y 6 son necesarios tres niveles de arriostramiento y en la P-7 han hecho falta cuatro.

Adicionalmente, en todos los recintos se ha ejecutado una doble corona de columnas de suelo tratado mediante *jet-grouting* alrededor del recinto interior de tablestacas que, en todos los casos, se utiliza para sellar el contacto entre la roca y las tablestacas evitando filtraciones. Además, en la pila 6 cumple una misión estructural ya que se aprovecha la capacidad resistente de su forma circular para colaborar a sus-

tentar lateralmente la punta de las tablestacas.

En la pila 7, se necesitaba más resistencia para contener las puntas de las tablestacas interiores ya que se descalzaban durante la excavación, por lo que se ha ejecutado un micropilote armado en el pie de cada una de las tablestacas para resistir este esfuerzo cortante.

Construcción de los recintos provisionales y ejecución de las cimentaciones en el cauce

En primer lugar, se hincan por vibración las tablestacas exteriores desde pontona y se arriostran estas con los zunchos exteriores.

El relleno del recinto interior se hizo vertiendo el material desde camiones, con acceso por el pantalán. Antes de rellenar el recinto, se dispuso un forro con un geotextil para minimizar al máximo posibles escapes de finos hacia la ría.

Posteriormente, se realiza el hincado del recinto de tablestacas interiores

desde la superficie, una vez concluido se realiza el tratamiento de *super-jet-grouting* en las puntas y finalmente se ejecutan los micropilotes (caso de la P-7) desde la plataforma.

La cimentación de la pila 5 consta de un encepado de 42 pilotes de 1,5 m de diámetro y el de la pila 6 de 56, empotrados 1,5 m en el sustrato granítico de grado de meteorización I.

En ambos casos los pilotes se ha ejecutado desde la superficie del recinto a cota +3,0 m. Se ha perforado al amparo de una camisa recuperable hasta llegar a la roca y se ha descartado la utilización de lodos para evitar posibles fugas en la ría. La camisa se ha hincado bien hasta el contacto con el sustrato rocoso, más o menos alterado, o hasta el jabre de compacidad muy densa en los casos en que este ha aparecido.

Finalmente, se procede a la excavación de los recintos (Fig. 5) realizando los arriostramientos interiores correspondientes en cada escalón y al descabezado de los pilotes para



Fig. 6. Vista de la ferralla del encepado de P-5 (30x24,5x4,5m)

proceder a ferrallar (Fig. 6) y hormigonar los encepados.

El encepado de la pila 5 tiene unas dimensiones de 30x24x4,5 m y el de la pila 6 de 34,5x30,5x5 m. La cota inferior del encepado es la -5,0 m para la pila P-5 y de -7,5 m para la pila 6.

Dadas las dimensiones de los encepados, el mayor de 5.260 m³, y a sus singularidades estructurales el hormigonado de los mismos ha sido una tarea de notable relevancia. El hormigonado ha sido continuo para cada encepado o zapata, algunos durante más de 50 h y se han utilizado varios tipos de hormigones dependiendo de la zona del encepado. En los 0,7 m inferiores se ha empleado HA-35 autocompactable, en la zona intermedia del encepado se emplea HA-35 convencional vibrado, y la capa superior de un metro de profundidad se ha empleado HA-35 con fibras, para evitar la fisuración superficial. Además en la zona central de entronque con el cáliz de la pila el hormigón es de la misma calidad que la pila, HA-70.

Los pilotes son de hormigón HA-35 y están diseñados para resistir 8 MPa en servicio.

La pila 7 se cimenta mediante una zapata de 27x 24x5,25 m. La cota

de la cara inferior de la cimentación es la -8,6 m. Se apoya sobre el sustrato granítico de grado de alteración menor o igual a III mediante un relleno de hormigón pobre HM-15 trabajando a una tensión cobari-céntrica máxima de 7,6 kp/cm², con una tensión de punta máxima de 10,0 kp/cm² (Fig. 7).

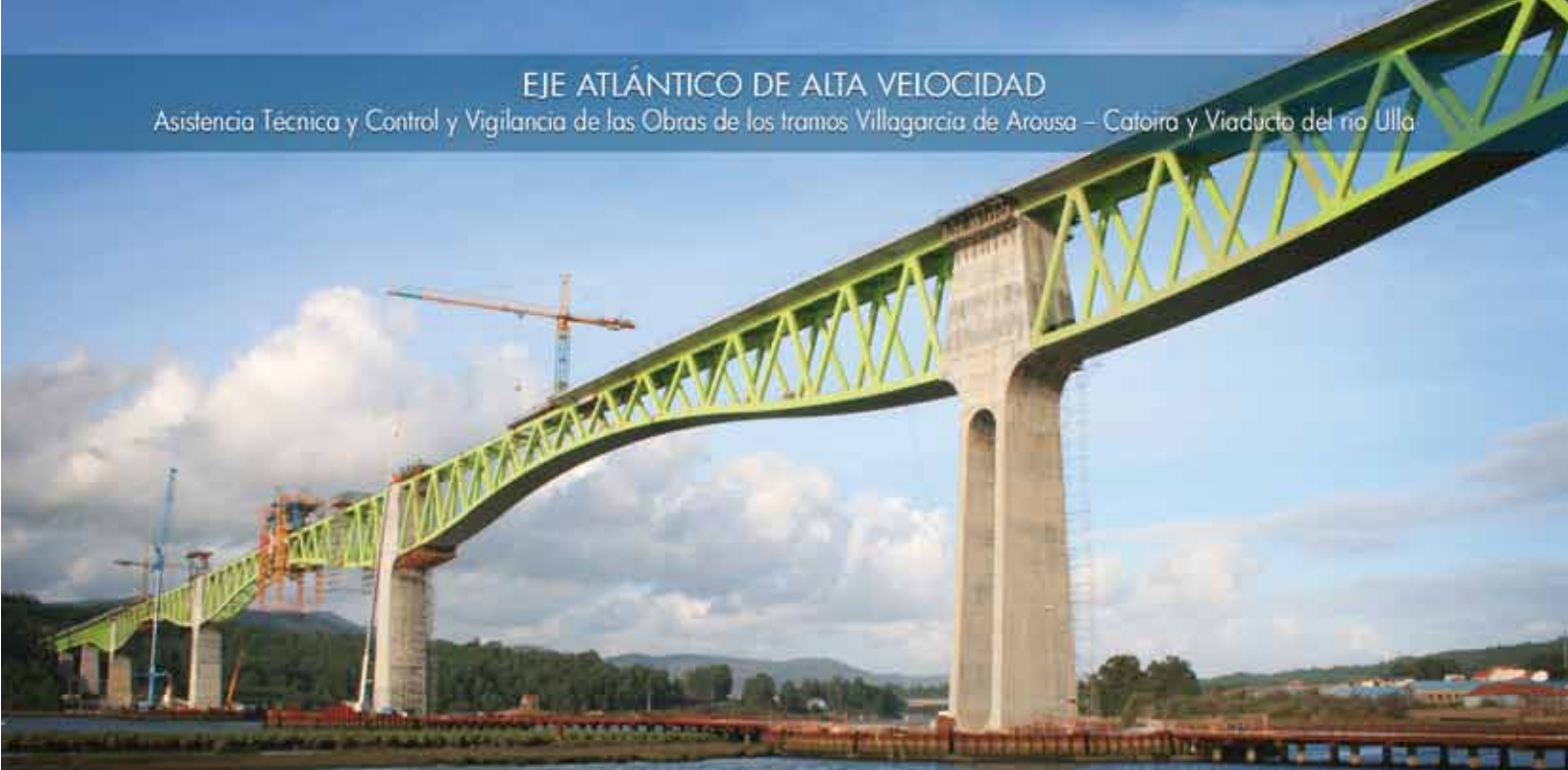
Una vez ejecutadas las cimentaciones, se rellenó el recinto demoliendo los zunchos siguiendo un proceso inverso. Las partes más altas de los encepados y la zapata quedan por debajo del fondo del cauce en el entorno de un metro en su parte más superficial. Los tablestacados, zunchos exteriores y rellenos serán completamente retirados al finalizar las obras, dejando, como única intrusión en el cauce, los fustes de las pilas que en él van situadas. **ROP**



Fig. 7. Vista del fondo rocoso de P-7 previo hormigón de limpieza (27x 24x5,25 m)

EJE ATLÁNTICO DE ALTA VELOCIDAD

Asistencia Técnica y Control y Vigilancia de las Obras de los tramos Villagarcía de Arousa – Catoira y Viaducto del río Ulla



Proyecto básico y constructivo de la línea de ferrocarril Dugo Selo-Novska, Croacia



Proyecto básico y de construcción del Metro de Riad, Arabia Saudí



Supervisión del diseño y dirección de obra del ferrocarril de mercancías Bhaupur-Khurja, India

detrás de grandes obras siempre hay una gran ingeniería

- Conocimiento, experiencia, capacidad técnica e independencia empresarial.
- Más de 2.000 profesionales de la consultoría al servicio de la inversión en infraestructuras y equipamientos, en España y en el mercado internacional.
- Desarrollo propio de tecnologías aplicadas y nuevos sistemas avanzados. Más de 30 proyectos de I+D+i en marcha.
- Exportación de ingeniería española a todos los continentes, contribuyendo al desarrollo sostenible y a la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos.

TYPSA
INGENIEROS
CONSULTORES
Y ARQUITECTOS

www.typsa.com