

Reconstrucción del puente sobre el río Tordera

Reconstruction of Tordera River bridge

Juan Rodado López^a, Fátima Otero Vieitez^b

^a Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Grupo Puentes. Director Técnico de Ingeniería. j.rodado@grupopuentes.com

^b Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. Grupo Puentes. Directora General Técnica. fotero@grupopuentes.com

RESUMEN

Durante el temporal ocurrido en enero de 2020 y debido al incremento del caudal del río Tordera, una de las pilas del puente ferroviario existente en la línea 276: bifurcación Sagrera – Maçanet Massanes fue arrastrada por la avenida dando lugar al colapso del puente. Se decidió su sustitución por un nuevo puente de hormigón postesado con una longitud de 221.30 m y cinco vanos de luces 33.15 m + 3x51 m + 33.15 m, con tablero de sección en U de canto variable continua entre estribos para alojar la vía única que debía reponerse. La construcción se realizó vano a vano mediante cimbra autolanzable apoyada directamente sobre las cimentaciones del nuevo puente y sobre las cimentaciones existentes del puente colapsado.

ABSTRACT

During the rainstorm happened in January 2020 and due to the increment of the Tordera River flow, one of the piers of the existing railway bridge, in the 276 Line: branching Sagrera – Maçanet Massanes, was swept away by the floodwater giving place to the bridge collapse. It was decided the replacement of the old bridge by a new one, 221.30 m long, with five spans of span lengths 33.15 m + 3x51 m + 33.15 m, with a prestressed concrete U deck section with variable depth continuous between the abutments for the single track to be relocated. The construction was made span by span by means of a movable scaffolding system directly supported on the new bridge foundations and on those of the collapse bridge.

PALABRAS CLAVE: construcción, estructuras, puente, riada, cimbra autolanzable, ferrocarril, río.

KEYWORDS: construction, structures, bridge, floodwater, movable scaffolding system, railway, river.

1. Descripción del puente

El puente objeto de este artículo está situado en el P.K. 059/183 de la línea 276: Bifurcación Sagrera – Maçanet Massanes, entre las estaciones de Malgrat de Mar y Blanes, localizándose en la frontera entre las provincias de Barcelona y Gerona y permitiendo el cruce de la línea ferroviaria sobre el río Tordera a 2 km de su desembocadura en el Mar Mediterráneo.

El día 22 de enero de 2020 el temporal denominado Borrasca Gloria y las fuertes precipitaciones a que dio lugar produjeron un

significativo aumento del caudal del río Tordera, que llegó a alcanzar valores superiores a 400 m³/s. Hay que tener en cuenta que el caudal normal para un periodo de retorno de 2.5 años según la Agencia Catalana del Agua (ACA) es de 92.3 m³/s. La fuerza de la corriente, unida a la cantidad de material arrastrado por las aguas, produjeron el fallo de la pila P4, de fábrica, del puente existente y de los dos vanos que apoyaban sobre ella, de unos 15 m de luz.

Los estudios realizados tras el colapso demostraron que el puente existente no tenía sección hidráulica suficiente para evacuar la avenida de 500 años de periodo de retorno y que la sección quedaba muy ajustada para un periodo de retorno de 100 años. Esta circunstancia, unida a la cantidad de material vegetal arrastrado por el río y el riesgo de socavaciones existente, fue la causa que dio lugar al colapso de la pila y del tablero. Por esta razón se decidió sustituir el puente existente por uno de nueva construcción que resolviera estos problemas.



Figura 1. Vano colapsado del puente existente.

El nuevo puente fue proyectado por INES Ingenieros, de acuerdo con la normativa vigente [2][3][4], con una longitud total de 221.30 m y cinco vanos con distribución de luces de $33.15 + 51 + 51 + 51 + 33.15$ m. Este aumento de la luz libre junto con la disminución del número de pilas incrementaba la sección hidráulica de manera significativa, con capacidad suficiente para la avenida de 500 años de periodo de retorno.

El tablero es de hormigón pretensado con sección transversal en U y con ancho interior de 7.30 m para alojar la vía única, postes de catenaria y paseo de servicio. Las almas tienen un espesor de 0.50 m que se ensancha superior e inferiormente hasta los 0.80 m. La losa inferior del tablero tiene también espesor de 0.5 m incrementado con el bombeo del 2 % hacia ambos lados.

Longitudinalmente el tablero tiene canto variable, máximo de 5.25 m sobre pilas y mínimo de 2.25 m en centro de vano y estribos, que se consigue con variación parabólica.

Las pilas consisten en parejas de pilas-pilote con un dintel superior y una altura sobre el cauce del río de unos 5 m. Las pilas-pilote tienen 1.80 m de diámetro y están separadas 6.40 m en sentido transversal. El dintel es de sección rectangular con una longitud de 8.80 m, anchura de 2.30 m y canto mínimo de 2.50 m que se recrece con los plintos de apoyo y los topes transversales.

Los estribos son cerrados de hormigón armado, situándose el punto fijo del tablero en el estribo E1 (lado Malgrat), mientras que en el estribo E2 (lado Blanes) el apoyo del tablero es móvil. Ambos estribos se cimentan por medio de encepados de pilotes de 1.5 m de diámetro. El punto fijo se materializa con un anclaje del tablero por medio de barras pretensadas que unen el diafragma de apoyo del tablero con el muro espaldón del estribo.



Figura 2. Nuevo puente ferroviario junto al puente carretero en construcción.

2. Actuaciones iniciales

Como labores previas a la construcción del puente se realizaron las siguientes:

- Desmontaje de la plataforma de vía existente en una longitud igual a la del puente colapsado, incluyendo 40 m antes y después del mismo. La catenaria también se desmontó en la longitud del puente, quedando en servicio el resto de línea.

- Desvío de las instalaciones de comunicaciones alojadas en el tablero existente de manera provisional sobre una alineación de postes que cruzan el cauce, permitiendo que sigan en servicio durante las obras.

- Desmontaje de la baliza ASFA existente sobre el puente actual que funcionaba como baliza previa de la señal de entrada a la estación de Blanes para reponerla una vez finalizadas las obras del nuevo puente.

- Campaña geotécnica, incluyendo un sondeo en cada apoyo, pilas y estribos.

- Levantamiento topográfico por fotogrametría y topografía convencional.

- Ejecución de una plataforma de trabajo en el cauce del río para la realización de las obras del nuevo puente.

- Demolición del tablero del puente existente. Las cimentaciones de las pilas se dejaron sin demoler pues deberían servir para el apoyo de la cimbra autolanzable utilizada para la construcción del nuevo tablero. Una vez finalizada la construcción se procedió a su demolición.



Figura 3. Plataformas de trabajo y cimentaciones existentes.

3. Construcción de la subestructura

3.1 Ejecución de los pilotes

La construcción del nuevo puente comenzó con la ejecución de las cimentaciones desde la plataforma realizada en el cauce para el acceso y emplazamiento de la maquinaria. Todas las cimentaciones son profundas mediante pilotes

ejecutados in situ debido a las condiciones del suelo, compuesto por un espesor muy importante de terrenos de baja capacidad portante formados por arenas y limos del cuaternario situados sobre el sustrato rocoso formado por granito, con jabre en sus primeros metros. Los pilotes se ejecutaron con camisa recuperable en toda la zona de arenas y limos y hasta penetrar 1 m en el jabre. Se utilizó hormigón de 30 MPa de resistencia característica.

Para la construcción de las cimentaciones se aprovechó la plataforma de trabajo construida en ambos lados del cauce, dejando un paso más reducido para el caudal del río coincidiendo con el vano 4 del nuevo puente.

En primer lugar, se ejecutaron los pilotes del estribo E2, lado Blanes, en la segunda mitad del mes de abril de 2020. Este estribo se cimenta sobre dos filas de tres pilotes cada una de 1.5 m de diámetro separados entre sí tres diámetros en planta. La longitud de los pilotes es de 27.4 m desde cota inferior de encepado.

En la primera quincena del mes de mayo de 2020 se construyeron los pilotes de las pilas P2 a P4, comenzando por los de la P4, y en junio de 2020 se ejecutaron los de la pila P1. Cada una de las pilas se cimenta mediante una pareja de pilotes de 1.80 m de diámetro excavados in situ desde la cota +5.0, cota superior de la explanada situada en el cauce. La longitud de pilotes desde dicha cota es de 44.0 m (pila P1), 45.6 m (pila P2), 44.6 (pila P3) y 36.0 (pila P4), variando el empotramiento en roca entre 3 y 6 m.



Figura 4. Pilotes de estribo E2 y pila P1.

El estribo E1, o estribo fijo, se cimenta por medio de cuatro filas con 3 pilotes por fila de 1.5 m de diámetro con una longitud de 44.3 m desde cota inferior de cimentación. Los doce pilotes se ejecutaron entre la segunda quincena del mes de mayo y la primera del mes de junio de 2020.

Además de estas cimentaciones para la estructura definitiva del puente, fue necesario ejecutar pilotes adicionales para el apoyo de la cimbra utilizada en la construcción del tablero. Para estos apoyos se aprovecharon las cimentaciones existentes del puente colapsado, aunque, debido a que la anchura de dichas cimentaciones era menor que el ancho de apoyo de la cimbra, hubo que suplementar dichas cimentaciones con pilotes adicionales cortos y encepados parciales junto a las cimentaciones existentes. Al igual que los pilotes de la estructura definitiva, los pilotes provisionales se excavaron in situ con 1.80 m de diámetro. La tabla 1 muestra las cimentaciones auxiliares ejecutadas para apoyo de la cimbra:

Tabla 1. Cimentaciones provisionales

Eje apoyo existente	Nº de pilotes	Longitud de pilotes (m)
Próximo a E1	2	7.0
P3	1	15.0
P5	2	9.0
P6	1	9.0
P7	1	10.0
P8	1	7.0
P10	1	14.0
P11	1	4.0
P13	1	8.0

Los pilotes se replantearon para evitar interferencias con las cimentaciones existentes colapsadas, ajustando así su separación transversal y las dimensiones del encepado de forma que sirvieran de apoyo a las baterías dobles de la cimbra separadas 11.5 m.

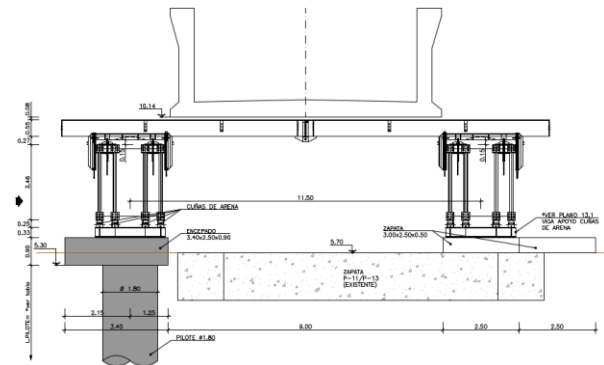


Figura 5. Sección transversal de apoyo de cimbra en pilas existentes (P11 y P13)

La ejecución de estos pilotes provisionales se realizó en las mismas fechas que los pilotes del estribo E1, de forma que todos los pilotes se ejecutaron en un plazo total de 2 meses. Se realizaron ensayos sísmicos de integridad en todos los pilotes de las pilas y en uno de cada dos pilotes de los estribos. Para ello se habían dejado 6 tubos embebidos en cada pilote de pilas y 5 tubos en los pilotes de estribos.

3.2 Construcción de las pilas, los estribos y los dinteles

Una vez finalizadas las cimentaciones, se completaron los fustes de las pilas mediante encofrados curvos convencionales con alturas de apenas 2 m sobre la cota final de explanada.



Figura 6. Construcción de las pilas

Sobre los fustes de las pilas-pilotes se hormigonaron in situ los dinteles conectados a los fustes mediante las esperas de armadura dejadas a tal efecto. En todos los dinteles sobre

pilas-pilote se utilizó hormigón de 50 MPa de resistencia característica.

Los estribos se construyeron mediante encofrados convencionales y hormigonado in situ con hormigón de 30 MPa de resistencia característica. El estribo E2 se completó en mayo de 2020 y el estribo E1 en julio del mismo año. Entre ambas fechas se completaron todas las pilas y dinteles, así como los tres primeros vanos del tablero.



Figura 7. Dintel de hormigón

Una vez terminados los alzados de los estribos se completaron los rellenos de las cuñas de transición en su trasdós.

4. Construcción del tablero

4.1 Fases de construcción

El tablero de hormigón pretensado se construyó avanzando vano a vano desde el estribo E2 con una cimbra autolanzable apoyada en los dinteles definitivos del puente, así como en las cimentaciones de las pilas del puente colapsado convenientemente ensanchadas mediante encepados y pilotes provisionales.

El tablero se completó en cinco fases de construcción, cada una de las cuales duró aproximadamente diez días incluyendo el avance de la cimbra y todas las operaciones, completándose el tablero en el breve plazo de 2 meses:



Figura 8. Fase 1 de ejecución del tablero

- Fase 1: durante esta fase se ejecutó el vano 5, de 33.15 m de longitud, entre la pila P4 y el estribo E2, y un quinto de la longitud del vano 4 desde la pila P4, 10.2 m. La cimbra se instaló apoyada en la puntera de la cimentación del estribo E2, en la pila P4 definitiva y en las cimentaciones P11 y P13 del puente colapsado, situadas a 17.49 m y a 10.52 m respectivamente a cada lado de la pila P4 definitiva. Esta fase se realizó durante las dos primeras semanas de julio de 2020.

- Fase 2: durante esta fase se ejecutaron los cuatro quintos de longitud restante del vano 4, con 40.8 m de longitud, hasta la pila P3 y un quinto de la longitud del vano 3 desde dicha pila, 10.2 m. La cimbra, una vez avanzada a su posición, se colgó del tablero ya ejecutado en la fase anterior en voladizo desde la pila P4 y se apoyó adicionalmente en la pila P3 definitiva y en las cimentaciones P8 y P11 provisionales del puente colapsado, situadas a 11.49 m y a 18.52 m respectivamente a cada lado de la pila P3 definitiva. Esta fase se realizó durante la tercera y cuarta semana de julio de 2020.



Figura 9. Fase 2 de ejecución del tablero

- Fase 3: durante esta fase se ejecutaron los cuatro quintos de longitud restante del vano 3, con 40.8 m de longitud, hasta la pila P2 y un quinto de la longitud del vano 2 desde dicha pila, 10.2 m. La cimbra, una vez avanzada a su posición, se colgó del tablero ya ejecutado en la fase anterior en voladizo desde la pila P3 y se apoyó adicionalmente en la pila P2 definitiva y en las cimentaciones P5, P6 y P7 provisionales del puente colapsado, situadas a 6.64 m y 9.52 m por delante y a 15 m por detrás respectivamente de la pila P3 definitiva. Esta fase se realizó durante la última semana de julio de 2020.



Figura 10. Fase 3 de ejecución del tablero

- Fase 4: durante esta fase se ejecutaron los cuatro quintos de longitud restante del vano 2, con 40.8 m de longitud, hasta la pila P1 y un quinto de la longitud del vano 1 desde dicha pila, 10.2 m. La cimbra, una vez avanzada a su posición, se colgó del tablero ya ejecutado en la fase anterior en voladizo desde la pila P2 y se apoyó adicionalmente en la pila P1 definitiva y en las cimentaciones próxima a E1 y P3 provisionales del puente colapsado, situadas a 18.5 m y a 15.52 m respectivamente a cada lado de la pila P1 definitiva. Esta fase se realizó durante las dos primeras semanas de agosto de 2020.



Figura 11. Fase 4 de ejecución del tablero

- Fase 5: durante esta fase se ejecutó la longitud restante del vano 1, con 22.95 m de longitud, hasta el estribo E1. La cimbra, una vez avanzada a su posición, se colgó del tablero ya ejecutado en la fase anterior en voladizo desde la pila P1 y se apoyó adicionalmente en la puntera de la cimentación del estribo E1 definitivo y en la cimentación provisional del puente colapsado próxima a E1, situada a 11.67 m del eje de apoyos del estribo E1 definitivo. Esta fase se realizó durante la tercera semana de agosto de 2020.



Figura 12. Fase 5 de ejecución del tablero

Para el avance de la cimbra desde una fase a la siguiente se utilizaron los mismos apoyos indicados en las fases de hormigonado, añadiendo un apoyo provisional para el avance desde la fase 3 a la fase 4, situado en las proximidades de la pila P4 del puente colapsado y a 16.49 m del eje de la pila P2 definitiva.

En cada una de las fases, antes de la ejecución del tablero se colocaron los apoyos tipo POT sobre pilas y estribos, dejando los pernos superiores para el hormigonado del tablero y realizando la nivelación correspondiente.



Figura 13. Vista del tablero desde el estribo E2 con anclaje provisional

Para la ejecución del tablero se dispuso un anclaje fijo provisional en el estribo E2 y tras finalizar la construcción del tablero en el estribo E1 se instalaron y tesaron las barras de pretensado del punto fijo definitivo del puente.

4.2 Cimbra autolanzable

Como es habitual y obligatorio en las obras de construcción de puentes se diseñó una cimbra autolanzable específicamente adaptada a los condicionantes de esta obra [1]. El proyecto de la cimbra utilizada para el hormigonado de los vanos de este puente fue realizado por el estudio de ingeniería Pondio Ingenieros.

La cimbra autolanzable tenía una longitud máxima de 64.5 m y estaba compuesta por los siguientes elementos principales:

- **Baterías y compuertas:** son las dos estructuras longitudinales principales en celosía que soportan el conjunto de encofrados del tablero separadas 11.5 m en sentido transversal. Cada una de estas baterías estaba compuesta por cuatro cerchas o “cuchillos” en celosía triangulada de 2.46 m de canto total y longitud máxima de 64.5 m. Esta longitud se conseguía mediante el ensamblaje de cuatro módulos de 12 m y otros dos de 8 m de longitud.

En la fase 1 se dejó sin montar el último módulo de 12 m para adaptarse a la menor longitud de dicha fase e, igualmente, durante la fase 5 se desmontaron los dos módulos finales de 8 m que interferirían con el muro del estribo E1. Las baterías de ambos lados de la cimbra quedan arriostradas por cerchas transversales llamadas “compuertas” durante el hormigonado.



Figura 14. Baterías de la cimbra durante el montaje de la fase 1

- **Cuelgue trasero:** es el elemento que permite colgar las baterías del voladizo de tablero ya construido. Está compuesto por una viga transversal de 12 m de longitud, con sus apoyos sobre la sección U del tablero, 2 grupos de 8 barras pretensadas de las que cuelgan las baterías y dos marcos de conexión de las barras con las baterías.



Figura 15. Viga de cuelgue trasero

- **Vigas de fondo, vigas de apoyo, arriostramientos y viga cremallera:** las vigas de fondo permiten el apoyo de los encofrados y transmiten su carga a las vigas de apoyo situadas sobre las baterías. Estas vigas de fondo tienen una conexión en su parte central para su apertura, de forma que, durante el avance de la cimbra, permite el paso por las pilas, aumentando a su vez la separación transversal de las baterías hasta los 13 m. Las vigas de fondo disponen de arriostramientos con triangulación en planta.

La viga cremallera se sitúa en sentido longitudinal sobre las baterías y permite el avance de la cimbra mediante un mecanismo de trinquete y cilindro hidráulico controlado mediante un sistema automatizado.



Figura 16. Montaje de vigas de fondo y vigas de apoyo sobre las baterías

• Anillo y balancines: el anillo es la estructura situada en las pilas para permitir el apoyo de las baterías de la cimbra. Se trata de una estructura metálica, que envuelve los fustes de las pilas-pilote con una anchura total de 15 m y 2.5 m de canto máximo, compuesta por dos ménsulas laterales para el apoyo de la cimbra y que se cuelga del dintel mediante cuatro vigas o “bielas” conectadas a vigas longitudinales sobre el dintel.

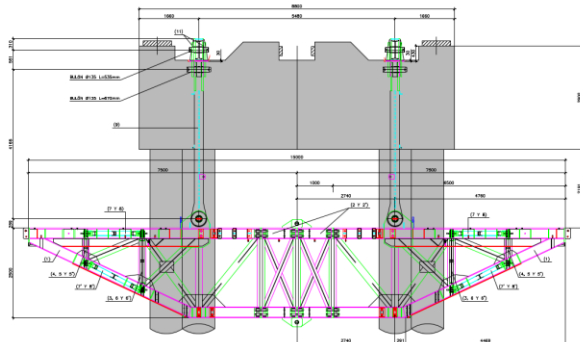


Figura 17. Esquema de anillo de apoyo de la cimbra

El apoyo de la cimbra en los anillos se hace a través de los balancines que son elementos metálicos que permiten centrar la carga en el anillo.

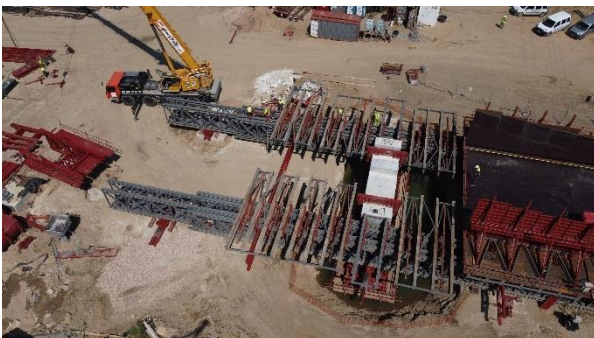


Figura 18. Apoyo de la cimbra en pila P1

• Encofrados: Se dispusieron encofrados exteriores, laterales y de fondo, así como encofrado interior de las almas de la sección en U.



Figura 19. Montaje de encofrados en fase 3

Los encofrados se adaptaron a las dimensiones de la sección con su canto variable incluyendo el encofrado circular de la ventana situada en la sección sobre pilas.

5. Actuaciones finales

Una vez finalizado el tablero se realizaron las tareas de acabado entre las que destacamos las siguiente:

- Impermeabilización del tablero.
- Sistema de drenaje del tablero.
- Ejecución de muretes guardabalasto.
- Disposición de puertas a tierra.
- Paseos de servicio.
- Realización de pruebas de carga tanto estáticas con camiones antes de la instalación de la vía, como dinámicas con trenes una vez instalada la vía.



Figura 20. Realización de prueba de carga dinámica con trenes

Las tareas finales de la obra consistieron en actuaciones complementarias

correspondientes a la reposición de la línea ferroviaria y sus instalaciones entre las que destacamos lo siguiente:

- Reposición de plataforma, que con el nuevo puente quedó 30 cm elevada con respecto a la situación anterior. Se mantuvo el tipo de material de vía existente en los tramos adyacentes (carril UIC54, sujeción elástica y traviesa monobloque polivalente).
- Montaje del aparato de dilatación sobre el estribo E2, al tratarse del estribo móvil del tablero, para un movimiento máximo de 305 mm.
- Reposición de catenaria con una nueva catenaria de la misma tipología que la actual, CR-160 compensada. Para ello se instalaron 6 nuevos postes sobre el nuevo puente, 2 sobre las cuñas de transición y 4 sobre el tablero.
- Reposición de instalaciones de comunicación y señalización, incluyendo la ejecución de la obra civil, las dos canaletas sobre el tablero del puente, la ejecución de arquetas de registro a la entrada y salida del puente y ejecución de zanjas en los tramos de acceso.

6. Conclusiones

Se han explicado en este artículo los principales aspectos de la ejecución de las obras del nuevo puente sobre el río Tordera en sustitución del puente colapsado debido a la tormenta Gloria en enero de 2020, destacando, no sólo un diseño singular perfectamente adaptado a los condicionantes del entorno, sino una optimización de los medios auxiliares de construcción, específicamente preparados y acondicionados para esta obra tan especial.



Figura 21. El puente finalizado

Esta obra de emergencia es, además, un ejemplo que ha puesto de manifiesto la excelente colaboración y alineación en la consecución de los objetivos por parte de todos los participantes en la misma, propiedad, estudios de ingeniería, asistencia técnica y empresa constructora, lo cual ha permitido que se consiga completar la estructura del puente, cimentaciones incluidas, en el breve plazo de 4 meses y medio sin incidencias.

Referencias

- [1] ADIF. Requisitos mínimos exigibles para el montaje, uso, mantenimiento y conservación de instalaciones y medios auxiliares que se utilicen en la ejecución de obras de la Dirección General de Grandes Proyectos de Alta Velocidad. Anexo a Resolución sobre medidas a adoptar en materia de seguridad en el uso de instalaciones y medios auxiliares en obra.
- [2] IAPF-07. Instrucción de acciones a considerar en puentes de ferrocarril. Ministerio de Fomento.
- [3] Comisión Permanente del Hormigón, Instrucción de Hormigón Estructural EHE-2008, Ministerio de Fomento, Madrid.
- [4] Eurocódigo 2. UNE-EN-1992. Proyecto de estructuras de hormigón. AENOR.