

ANNEXE 2.23 – ESPAGNE – Madrid – Tunnel Cuatro Torres

1. SOMMAIRE

Le tunnel Cuatro Torres est un tunnel urbain qui facilite l'accès à quatre tours de grande hauteur construites sur le terrain de l'ancienne cité sportive du Réal Madrid.

Le tunnel est constitué d'un anneau de distribution à trois voies de circulation unidirectionnelle dans le sens des aiguilles d'une montre. Le tunnel possède également dans sa partie centrale une connexion transversale, avec un trafic bidirectionnel et deux voies dans chaque direction.

L'objectif du tunnel est de permettre aux utilisateurs des tours d'accéder aux parkings situés dans leurs sous-sols et de faciliter l'intégration des bâtiments dans les principales voies extérieures des environs des tours, tant pour la circulation publique que privée.

Dans la partie nord de l'anneau, près de la Tour 4, le tunnel a trois entrées. À partir de leur jonction, la circulation se fait parallèlement au Paseo de la Castellana après un virage à droite. Au bout de la ligne droite se trouve une sortie vers le Paseo de la Castellana, l'une des principales avenues de la ville, et une autre vers l'actuel tunnel Pio XII.

Après un autre virage à droite se trouvent les accès à la partie sud, près de la Tour 1, à partir de trois autres rues de Madrid. Au prochain virage à droite, la circulation est à nouveau parallèle au Paseo de la Castellana. Au bout de la ligne droite se trouvent deux autres sorties vers d'autres rues principales de la ville.

La figure n°1 montre la situation du tunnel. La figure n°2 est un schéma de la disposition des entrées et sorties du tunnel.



Figure 1 – situation du tunnel des Cuatro Torres

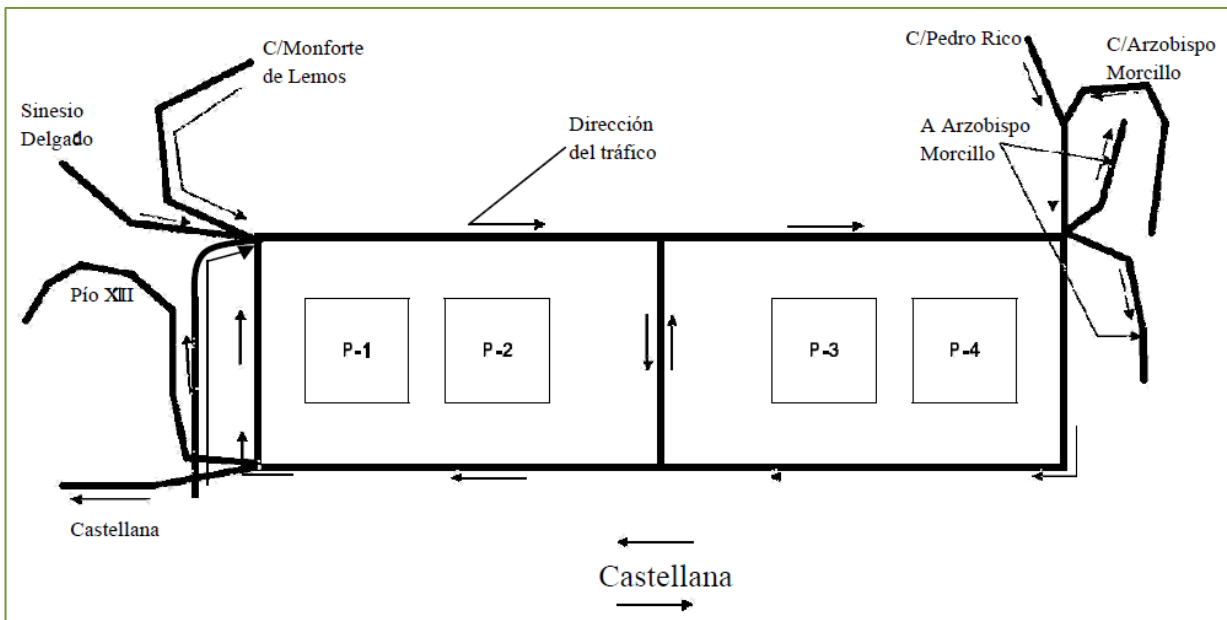


Figure 2 -schéma des entrées et sorties du tunnel Cuatro Torres

Les figures n°3 et n°4 montrent quelques accès au tunnel.



Figure 4 - accès Sud - rue Monforte de Lemos



Figure 3 - accès Nord - rue Arzobispo Morcillo

2. PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES

2.1 GÉOMÉTRIE

- Longueur totale: 2.746 m (y.c. les rampes d'accès).
- Longueur de l'anneau: 1.125 m.

2.2 PROFIL EN TRAVERS

2.2.1 Tunnel

- Largeur des voies : 3,50 m chacune.
- Nombre variable de voies : 1 à 4.
- Trottoirs : largeur variable, 0,6 à 0,9 m, dans la zone de l'anneau.
- Accotements : 0,5 m dans l'anneau – aucun accotement pour les accès.
- Dégagement vertical : 4.00 m.
- Hauteur totale : 5,00 m.

2.2.2 Emplacement d'arrêt d'urgence

Le tunnel de Cuatro Torres comporte des emplacements d'arrêt d'urgence pour l'anneau. (Figure n° 5). Mais aucun pour les rampes d'entrée et de sortie. Ces emplacements permettent aux véhicules de s'arrêter à l'intérieur du tunnel en cas d'urgence sans affecter la circulation.



Figure 5 - emplacement d'arrêt d'urgence

2.2.3 Issues de secours

Le tunnel Cuatro Torres dispose de huit sorties de secours avec des portes à double battant résistantes au feu et équipées de barres antipaniques (figure n°6). Elles donnent accès aux couloirs d'évacuation par des escaliers métalliques (figure n°7) jusqu'au niveau de la rue (figure n°8). Les têtes du tunnel sont également considérées comme des sorties de secours, ce qui signifie qu'il existe neuf sorties d'évacuation supplémentaires.

Toutes les issues de secours sont équipées de systèmes de pressurisation.

Les sorties sont indiquées par des signaux lumineux sous forme de drapeaux dans la partie supérieure des portes et par des signaux photoluminescents au pourtour des portes.



Figure 6 - issue de secours double battant – barre antipanique



Figure 7 - escaliers métalliques d'évacuation



Figure 8 - débouché de l'issue de secours au niveau de la rue

2.3 CONDITIONS DE CIRCULATION

Le volume de circulation dans le tunnel est variable, avec une intensité moyenne journalière estimée à 14.000 véhicules. Une forte densité de trafic est attendue aux heures de pointe en raison des entrées et sorties des parkings.

Le nombre total de places de stationnement, y compris celles des quatre tours, est d'environ 1.200 places. Chaque tour comporte 5 ou 6 niveaux de parking en sous-sol.

2.4 VENTILATION

2.4.1 Installations de ventilation

Le tunnel Cuatro Torres comporte un système de ventilation mixte, combinant une ventilation longitudinale (Figure n°9) et une ventilation transversale avec alimentation et extraction au moyen de ventilateurs axiaux (Figure n°10).

Les gaines de ventilation sont situées dans des locaux techniques à côté des sorties de secours. Les rejets d'air pollué se font par l'intermédiaire de grilles en acier situées en surface. (Figure n°11).



Figure 9 - accélérateurs en voûte



Figure 10 - ventilateur axial



Figure 11 - grille d'évacuation d'air vicié

2.4.2 Gestion de la ventilation

La ventilation est contrôlée automatiquement en fonction des résultats des mesures de la fumée, des niveaux de contaminants, de l'opacité et de la vitesse de l'air dans le tunnel.

Les équipements de mesure sont situés aux points de plus grande concentration théorique. Cela garantit la mesure du profil complet de la concentration des particules et des polluants.

Les régimes de fonctionnement des ventilateurs sont gérés en fonction des informations obtenues. Les capteurs ont une sortie standard 4-20 mA et sont connectés aux entrées analogiques les reliant au poste de supervision et de contrôle du tunnel.

La logique de contrôle est assurée localement à l'aide d'algorithmes sur les stations distantes.

Le contrôle de la ventilation dispose des équipements de détection suivants :

- 16 détecteurs de NO₂,
- 16 détecteurs de CO,
- 17 opacimètres,
- 3 anémomètres et un détecteur de vent extérieur,
- 4 anémomètres intérieurs,
- 2 centres de contrôle.

Les niveaux de polluants autorisés sont :

- limites de CO : 70/150 ppm,
- visibilité (K maximum) : 0,005 / 0,0075.

2.5 ÉQUIPEMENTS D'EXPLOITATION ET DE SÉCURITÉ

Le tunnel Cuatro Torres dispose de différentes installations fixes de sécurité, conçues pour assurer le bon fonctionnement des systèmes, ce qui contribue à accroître la sécurité des usagers du tunnel, ainsi que de son infrastructure et de ses équipements.

Les installations fixes du tunnel sont les suivantes.

2.5.1 Alimentation et distribution en énergie électrique

Le tunnel dispose de deux lignes d'alimentation électrique à partir du réseau public. En cas de défaillance de l'une des lignes du réseau électrique, un dispositif de basculement Normal / Secours peut être activé à la sortie des transformateurs pour basculer l'alimentation de la ligne en panne sur la ligne qui fonctionne. Cela permet d'assurer une alimentation continue en électricité de tous les équipements du tunnel.

Afin de garantir une alimentation électrique ininterrompue dans tout le tunnel en cas de panne imprévue, telle qu'une coupure de courant sur les deux alimentations à partir du réseau public, les installations de sécurité du tunnel sont équipées de trois ensembles d'alimentation sans coupure (batteries - onduleur) de 15 kVA, 30 kVA et 40 kVA qui permettent de disposer de 10 minutes d'autonomie à pleine charge pour assurer le fonctionnement des installations suivantes:

- Équipements du local technique de communication et de détection incendie,
- Détection linéaire d'incendie dans le tunnel,
- Panneaux à messages variables, feux d'affectation de voies et signaux de vitesse,
- Installation téléphonique d'appel d'urgence (RAU),
- Réseau de télésurveillance (CCTV),
- Détection de la contamination dans le tunnel (CO / NO₂, opacité, anémomètres),
- Éclairage du tunnel, éclairage de sécurité, balisage et éclairage secours,
- Installation de sonorisation (haut-parleurs),
- Processeur du réseau de télésurveillance et de la DAI (détection automatique d'incident),
- Installation de radiocommunication,
- Poste de supervision et de contrôle situé à distance et équipements de communication avec le centre de contrôle des tunnels de la ville de Madrid.

2.5.2 Éclairage

□ Éclairage courant

L'éclairage du tunnel est assuré par des luminaires à vapeur de sodium haute pression, situés des deux côtés, à une hauteur de 4,50 m au-dessus de la chaussée.

Le système d'éclairage comporte 4 niveaux d'éclairage (nuit, crépuscule, nuageux et ensoleillé). Trois luxmètres situés en amont des entrées en tunnel permettent de sélectionner le niveau d'éclairage le plus approprié en fonction de la luminosité extérieure, afin de minimiser le contraste entre la lumière intérieure et extérieure.

À l'intérieur du tunnel, il existe plusieurs zones d'éclairage. Un éclairage de renforcement aux entrées et sorties du tunnel et un éclairage de base le long du tunnel. Ceci permet d'assurer une adaptation progressive de la vision à l'entrée en tunnel.

Pour le contrôle de l'éclairage, le système est divisé en deux zones (une par anneau) : l'anneau 1 et l'anneau 2. L'anneau 1 comprend le secteur de la Tour 1 et de la Tour 2, et l'anneau 2 le secteur de la Tour 3 et de la Tour 4. Chaque zone est contrôlée indépendamment, en régulant les intensités d'éclairage en fonction des informations fournies par les capteurs de luminosité externes.

❑ **Éclairage de sécurité**

L'éclairage de sécurité comporte 209 plots lumineux autonomes de 18 W, avec une autonomie de fonctionnement de 60 minutes. Ces plots sont installés dans les piédroits du tunnel, tous les 20 mètres, à une hauteur de 1,05 mètre au-dessus du niveau de la chaussée.

❑ **Éclairage secouru**

L'éclairage secouru du tunnel est constitué du tiers du total des luminaires de l'éclairage permanent du tunnel, situé au sommet des piédroits du tunnel. Il est connecté aux onduleurs.

2.5.3 Détection incendie et installation de lutte contre l'incendie

Le système de détection d'incendie est un système linéaire par câble thermométrique situé sur l'anneau central, ainsi que sur les rampes d'entrée et de sortie du tunnel.

Les locaux techniques et les locaux électriques sont équipés d'une détection ponctuelle.

L'installation de lutte contre l'incendie comporte les équipements suivants :

- Colonne humide pour les tuyaux d'incendie et les bouches d'incendie,
- Colonne sèche pour les raccords de lutte contre l'incendie installée dans le piédroit gauche, selon le sens de la circulation,
- Extincteurs à poudre,
- Deux pompes «incendie» à pression avec trois réservoirs de 10 m³ chacun.

2.5.4 Contrôle de la circulation

❑ **Signalisation**

Les panneaux à messages variables fournissent aux conducteurs des informations graphiques et/ou alphanumériques en temps réel relatives aux incidents, aux conditions de circulation, etc.

Ces panneaux, éclairés électroniquement, sont placés à des endroits stratégiques afin d'anticiper les événements que les conducteurs sont susceptibles de rencontrer, les embouteillages ou d'autres types d'incidents.

La signalisation à l'entrée du tunnel comporte des panneaux à messages variables situés à l'extérieur affichant des caractères alphanumériques et deux graphiques en couleur à chaque accès.

À l'intérieur du tunnel, les équipements de signalisation sont les suivants:

- quatre panneaux avec des messages alphanumériques et des graphiques en couleur,
- dix panneaux à flèches croisées pour le marquage des voies et les limitations de vitesse,
- trois feux d'avertissement tricolores en cas de fermeture du tunnel,
- trente feux d'avertissement orange.

❑ **Installation de comptage**

À l'intérieur du tunnel se trouvent dix-huit points de détection du trafic en double boucle, qui permettent d'obtenir des informations fiables sur les conditions de circulation.

❑ **Contrôle de gabarit vertical**

Les panneaux de signalisation variable installés aux points d'accès indiquent le gabarit vertical autorisé (figure n°12).

Un système de détection automatique de hors gabarit permet de contrôler si la hauteur d'un véhicule est supérieure à la hauteur autorisée et dans l'affirmative de gérer son parcours. Pour cela, deux capteurs effectuent la détection, le premier détecte une masse métallique au moyen d'une boucle électromagnétique dans la chaussée et le second détecte la hauteur au moyen d'une barrière infrarouge (figure n°13).

Lorsqu'un véhicule en hors gabarit est détecté, son conducteur est informé et reçoit l'ordre de s'arrêter et de ne pas continuer (signal d'arrêt masqué), ou de quitter la route à la prochaine sortie (signaux de déviation masqués). Le système envoie une alarme au centre de contrôle afin d'en avertir les opérateurs.



Figure 12 - panneau à messages variables en entrée de tunnel



Figure 7- détection automatique de hors gabarit

❑ Télévision en circuit fermé (CCTV) et détection automatique d'incidents (DAI)

Aux entrées du tunnel, des caméras mobiles de télévision en circuit fermé sont installées sur des mâts de 15 m de haut. À l'intérieur du tunnel, les caméras fixes de télévision en circuit fermé sont espacées de 60 à 80 m. Le système de télévision en circuit fermé est intégré au système de détection automatique d'incidents (DAI), qui permet aux opérateurs du centre de contrôle d'être informés de tout incident sur la route (véhicules arrêtés, embouteillages, piétons sur la chaussée, etc.)

2.5.5 Réseau téléphonique d'appel d'urgence (RAU)

Le réseau téléphonique d'appel d'urgence (RAU) se compose de 15 postes dotés de la technologie IP, situés tous les 66 mètres sur le côté droit de chaque sens de circulation et à proximité des feux de signalisation orange/orange.

2.5.6 Installation de sonorisation

L'installation de sonorisation dispose de haut-parleurs de 30 W avec un angle de couverture de 50°. Les amplificateurs sont situés dans les locaux techniques. La couverture est assurée dans toutes les sections intérieures du tunnel.

2.5.7 Radiocommunication

Le système de radiocommunication du tunnel fournit un service aux terminaux radio avec les mêmes caractéristiques que celles disponibles à l'extérieur du tunnel. Il assure la continuité de la couverture radio existante à l'extérieur du tunnel avec l'intérieur de celui-ci. Cela facilite les communications des véhicules à l'intérieur du tunnel et augmente la sécurité tout en permettant les communications entre les services d'urgence lorsqu'un incident se produit à l'intérieur du tunnel.