

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE SUR LES TRANSPORTS ET LEUR SECURITE  
2, Avenue du Général Malleret Joinville - F-94114 ARCUEIL CEDEX -Tél: (1) 47.40.70.00

2054

**COMPTE RENDU DE MISSION A GUADALAJARA  
SUR LE RESEAU DE METRO LEGER  
DU 10 AU 11 AOUT 1994**

KUHN Francis

AOUT 1994-80

## **COMPTE RENDU DE VISITE**

### **du réseau de métro léger de GUADALAJARA au MEXIQUE**

**du 10 et 11 / 08 / 94**

-----

Présents :

SISTECOZOME (Sistema de Transporte colectivo de la Zona Metropolitana) :

Lic. LORENZO QUINONES RUIS, Directeur général.

SISTEUR (Sistema de Tren Electrico Urbano) :

Ing. David LLERENA VILLALPANDO, Directeur général.

INRETS : M. Francis KUHN.

-----

Dans le cadre de l'étude des lignes de Métro léger à évaluer dans l'agglomération de Mexico, nous nous sommes rendus sur le réseau de transport public de Guadalajara.

#### **Visite chez Sistecozome :**

L'entreprise Sistecozome exploite 4 lignes de trolleybus et 8 lignes d'autobus dans l'agglomération de Guadalajara. Avec 62 trolleybus (MASA - Toshiba et Marmon - Herrington) et 55 bus qui parcourent journallement 320 km chacun, Sistecozome transporte plus de 50 millions de voyageurs par an. De 1976 à 1987 2 lignes de trolleybus empruntaient un tunnel de 6,6 km sous le centre de la ville qui deviendra à partir de septembre 1989 un tronçon de la 1<sup>ière</sup> ligne nord - sud du métro léger.

#### **Visite chez Sisteur :**

L'entreprise Sisteur exploite le réseau de métro léger qui est formé d'une ligne nord - sud ou ligne 1 mise en service en septembre 1989 (durée de réalisation 24 mois), d'une ligne est - ouest ou ligne 2 dont une 1<sup>ière</sup> phase à l'est du centre a été mise en service en juin 1994 (durée de réalisation y compris la construction du souterrain 30 mois pour 8,5 km), la deuxième phase d'un linéaire de 5 km devrait démarrer avec le prochain sexennat, une troisième ligne orientée nord - ouest dont la 1<sup>ière</sup> phase de 7

km est en projet . Le plan Maestro prévoit 7 lignes formant un réseau de 128 km à l'horizon 2010 qui desservira une agglomération de 6 millions d'habitants.

#### La ligne 1

Orientée nord - sud, elle passe sous le centre historique en empruntant un tunnel de 6,6 km qui a été exploité pendant plus de 10 ans par 2 lignes de trolleybus. Avec 17 stations intermédiaires ( 7 stations souterraines) et 2 terminus, l'un situé près du périphérique nord où se situe une correspondance avec le réseau d'autobus, l'autre situé près du périphérique sud avec une correspondance autobus et un garage atelier.

Cette ligne est située en surface sur 9 km environ, au milieu d'un boulevard de 2 x 3 voies, dans sa partie sud et sa partie nord, au centre elle emprunte le tunnel existant. A sa mise en service, les carrefours à niveau au nombre de 12 protégés par des feux , ont été l'objet de nombreux conflits avec la circulation automobile et quelques accidents ont perturbé l'exploitation en bloquant des rames à l'atelier pour réparation. Il a été décidé de protéger tous les carrefours par des barrières automatiques afin de maintenir la sécurité et la vitesse commerciale qui est de l'ordre de 33 km/h. Cette ligne est depuis lors en site propre intégral entièrement clôturé avec des carrefours protégés et des barrières commandées à l'approche des rames.

Les stations sont à quais hauts (1 mètre au dessus du niveau du rail) afin de faciliter l'accès aux véhicules. Les quais ont une longueur de 60 mètres pour permettre l'exploitation avec des rames de 2 véhicules.

Une signalisation ferroviaire a été posée pour assurer la sécurité dans le tunnel, elle permet d'exploiter si nécessaire avec un intervalle de 2,5 minutes. En dehors du tunnel les conducteurs adoptent la conduite à vue mais sont en liaison radio avec le Pcc et le Sae (système d'aide à l'exploitation). A l'heure de pointe l'intervalle de passage est de 5 minutes actuellement, aux heures creuses de 10 minutes.

#### Le matériel roulant

Les véhicules fabriqués par Cnrf sont à 2 caisses reliées par une articulation, ils ont une longueur de 30 mètres et sont du même type que ceux exploités sur le réseau de Monterrey et sur la ligne de Tasquena - Xochimilco à Mexico. Chaque voiture est réversible pour utiliser des terminus à tiroir, comprend 2 cabines et 4 portes doubles et 2 portes simples par façade et comporte 2 accoupleurs automatiques qui sont utilisés après les heures de pointe pour séparer les véhicules, la ligne 1 étant exploitée avec des rames d'un seul véhicule aux heures creuses et des rames de 2 véhicules aux heures de pointe: ce système permet d'accoupler jusqu'à 5 véhicules, ce qui est prévu à terme sur la ligne 2. La capacité unitaire est de 388 passagers ( à raison de 8 pas./m<sup>2</sup> ) avec 52 places assises.

Les véhicules sont équipés de hâcheurs à thyristors Gto (Gate turn off) et de freins à récupération, alimentés en courant continu 750 V à partir de 10 sous stations sur la ligne 1, compte tenu de l'intervalle important, l'exploitation n'est pas optimisée pour récupérer le maximum d'énergie en ligne. La Cnrf utilise des brevets de Duweg pour construire les articulations et les bogies qui sont motorisés à l'avant et à l'arrière, le bogie central restant simplement porteur ; les équipements de traction sont fournis par Melmex, filiale mexicaine de Mitsubishi. Les bogies moteurs sont connectés en série et délivrent une puissance de 470 kW qui permet d'atteindre une vitesse de pointe de 80 km/h et une accélération maximum avec une charge de 75 % de 1m/s<sup>2</sup> , le freinage d'urgence étant de 1,8 m/s<sup>2</sup> .

16 véhicules ont été livrés en septembre 1989 pour exploiter la ligne 1 pour un coût de

63 000 Millions de Pesos (1 Franc = 408,85 Pesos en sept.89) soit 154,09 MF ou 9,6 MF le véhicule selon une 1<sup>ière</sup> source, 26 millions de US\$ selon une deuxième source soit en 89 165,91 millions de francs ou 10,36 millions le véhicule.

32 véhicules supplémentaires ont été livrés au début de 1994 par Bombardier, nouveau propriétaire des ateliers Concarril de Sahagun près de Mexico pour un montant de 32 millions de US\$ 93 soit 181,32 millions de francs ou 5,66 millions de francs le véhicule sans l'équipement de traction et de freinage. L'exploitation de la ligne 1 nécessite 20 véhicules, celle de la ligne 2 (8,5 km) 28 véhicules pour les heures de pointe.

#### La voie et la distribution d'énergie

La voie normale est posée sur ballast y compris au niveau des passages piétons ou en tunnel, les rails longs soudés sont du type 115 RE soit 52 kg/m et posés sur des traverses en béton. Au droit des passages à niveau des plaques de béton armé préfabriquées reposent sur les traverses de la voie pour mieux répartir les charges des véhicules routiers sur la voie. La pose de la voie et la réalisation du génie civil a été soustraite par Siemens à une entreprise locale Tlaloc / ICO, Siemens fournissant les équipements de voie et d'énergie et montant les sous stations, la caténaire et la signalisation, les barrières automatiques et le PCC. Les communications de voie en ligne sont commandées automatiquement et les signaux correspondants sont reportés sur le tableau de contrôle optique de chaque ligne au PCC situé dans la station Juarez II. La caténaire est du type ligne de contact à 2 câbles de 107 mm<sup>2</sup> de section alimentée par 10 sous stations sur la ligne 1 et 6 sous stations sur la ligne 2; la commission fédérale d'électricité délivre l'énergie sous 69 kV, la distribue aux sous stations sous 23 kV qui transforme la tension en 750V continu.

#### La ligne 2

Orientée est - ouest la ligne 2 fera à terme 19 km, la 1<sup>ière</sup> phase faisant 8,5 km, une deuxième phase programmée de 4 km avec les stations Minerva et Chapultepec. La 1<sup>ière</sup> phase mise en service en juin 94 croise la 1<sup>ière</sup> ligne à la station Juarez sous le centre historique de Guadalajara, elle est entièrement en souterrain avec des stations pouvant être exploitées avec des rames de 5 véhicules soit des quais de 150 mètres de long, dimensions similaires aux stations du métro urbain de Mexico. La signalisation ferroviaire mise en place permet des intervalles d'exploitation de 2,5 minutes. Un dépôt prévu pour un parc de matériel roulant plus important que le parc actuel est construit à l'est près du terminus de Tetlan sur un terrain de 11 ha.

Une salle de contrôle de l'énergie et de l'exploitation du métro est située dans la nouvelle station Juarez II avec un tableau de contrôle optique par ligne donnant la position des trains dans les cantonnements de la voie sur la ligne; il y a des moniteurs qui permettent de visionner les quais des stations principales par caméras.

#### La fréquentation du réseau

La ligne 1 transporte quotidiennement 65 000 passagers par jour, la ligne 2 transporte

45 000 passagers par jour quelques mois après sa mise en service. La ligne 1 est dimensionnée pour transporter à terme 130 000 pas./jour. La ligne 2 est dimensionnée à terme pour transporter 400 000 pas./jour.

La capacité théorique offerte actuellement sur la ligne 1 avec un intervalle de 5 minutes et des rames de 2 véhicules est :  $388 \times 2 \times 12 = 9312$  pas./h/sens.

A terme cette capacité pourrait être portée à 18 624 pas./h/sens si on réduit l'intervalle à 2,5 minutes, la signalisation actuelle étant prévue pour cet intervalle.

La capacité théorique offerte actuellement sur la ligne 2 avec un intervalle de 5 minutes et des rames de 3 véhicules est :  $388 \times 3 \times 12 = 13\,968$  pas./h/sens.

A terme, les stations ayant des quais de 150 mètres de long et les véhicules pouvant être accouplés pour former des unités multiples de 5 véhicules maximum sans problèmes de transmission de commande de puissance ou de freinage, la capacité de cette ligne pourra être portée à 27 936 pas./h/sens avec un intervalle de 2,5 minutes.

### Les investissements

#### Ligne 1

Le génie civil (le tunnel était déjà construit et utilisé par des trolleybus), pose de la voie, réalisation des stations (19 dont une de correspondance) : 145 000 Millions de pesos (val. septembre 1989) soit 354,65 MF (1 Franc = 408,85 Pesos en sept.89).

Dans ce montant la part de l'électromécanique, la voie et la mise à niveau des quais est de 45 millions de DM soit 150,75 millions de francs.

La commande de 16 véhicules avec 5% pour pièces de parc s'est élevée à : 63 000 millions de pesos soit 154,09 MF ou 9,6 MF / véhicule.

L'investissement ramené au coût au km d'axe de métro léger est de  $508,74 / 15,5 = 32,82$  MF le km. pour mémoire la 1<sup>ère</sup> ligne de métro léger entièrement en surface de Nantes pour 12,6 km et 24 stations, exploitée avec 28 véhicules a coûté 65 MF / km (val.85); le deuxième tronçon Huipulco - Xochimilco de 6,8 km avec 12 rames neuves revient à 33,1 millions de francs le km (val oct.94).

#### Ligne 2

Entièrement en souterrain avec des stations de 150 m de long au lieu de 60 mètres sur la 1<sup>ère</sup> ligne, cette ligne de 8,5 km avec 10 stations, a coûté 330 millions de dollars US avec une commande de 32 rames soit  $330 \times 5,5 = 1815$  MF soit 213,52 MF/km val 94. (1<sup>ère</sup> source).

Une deuxième source nous a indiqué les montants suivants :

- 180 millions de US \$ 94 soit 1016,5 millions de francs pour le génie civil et l'atelier,

- 200 millions de DM soit 660 millions de francs pour l'équipement électrique de puissance des véhicules, la signalisation, les sous-stations..

- 32 millions de US \$ pour les 32 rames soit 181,32 millions de francs. Nous arrivons à un montant total de 1857, 8 millions de francs ce qui compte tenu des approximations de change est satisfaisant. Le coût au km est de 219 MF val.94

Une étude comparative Metram - Cresta de coût de génie civil de souterrain évalue le coût d'un tunnel pour des rames de 2,46 m de large et 90 m de long entre 100 MF et



- LINEA 2

- LINEA 3

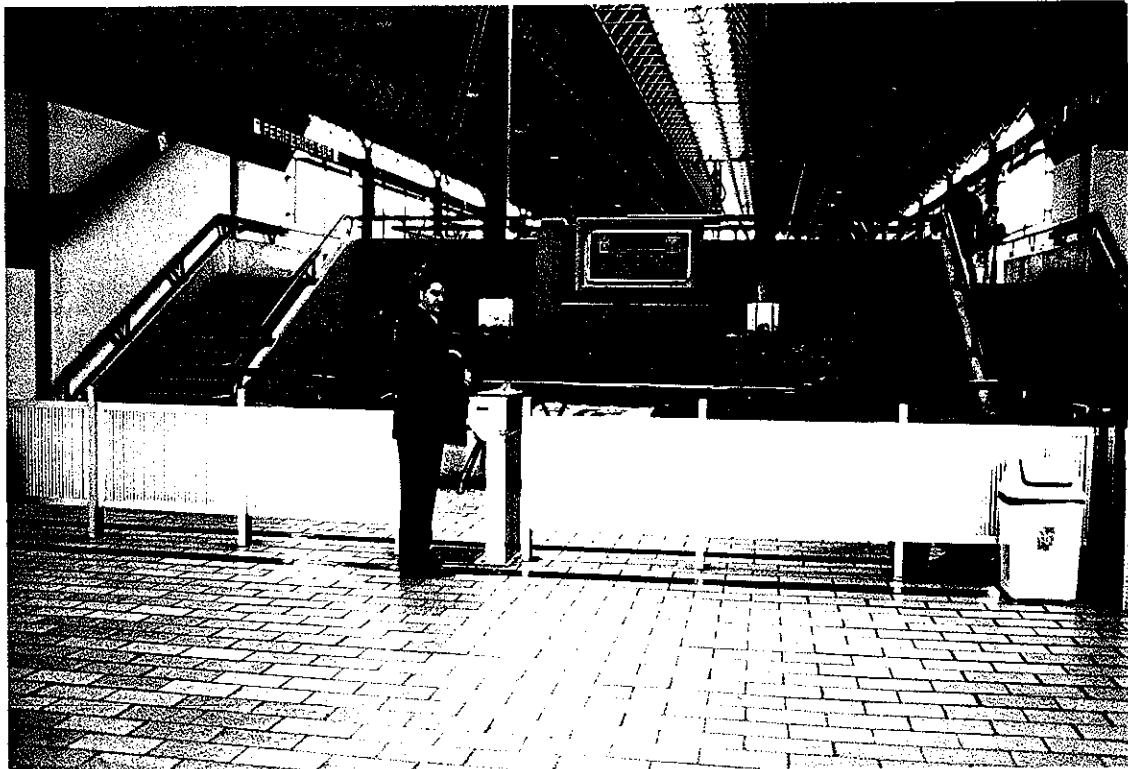
- EN PROYECTO

● TUNEL    ⊗ SUPERFICIE    — — PROYECTO

JULIO DE 1994



1. La station terminus sud de la ligne 1



2. L'entrée de la station terminus sud avec un tourniquet d'entrée et les accès aux quais.



3. Le site propre, une passerelle permettant les échanges quai à quai et le passage au dessus du boulevard.



4. Le quai haut de la station





5. Une station de surface de la ligne 1



6. Carrefour situé auprès d'une station. Double barrières de protection coordonnées aux feux de signalisation du métro.



7. Le site propre de la ligne 1



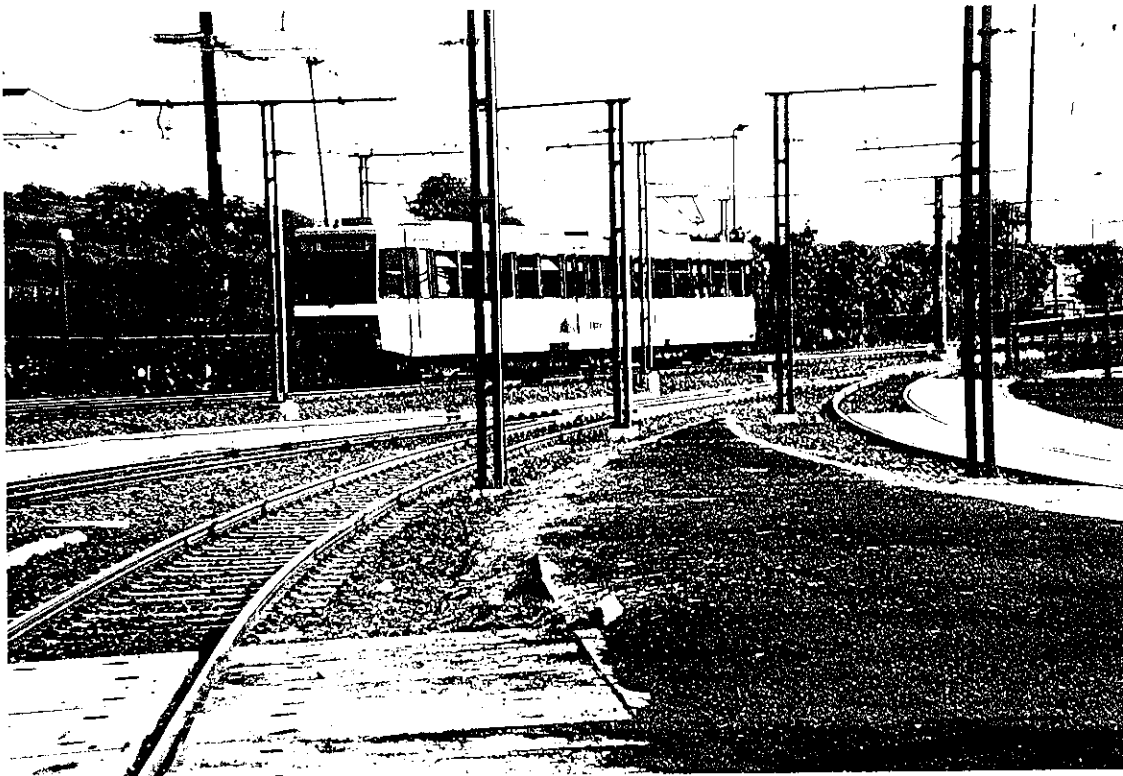
8. Trémie d'accès au tunnel et passerelle piétons.



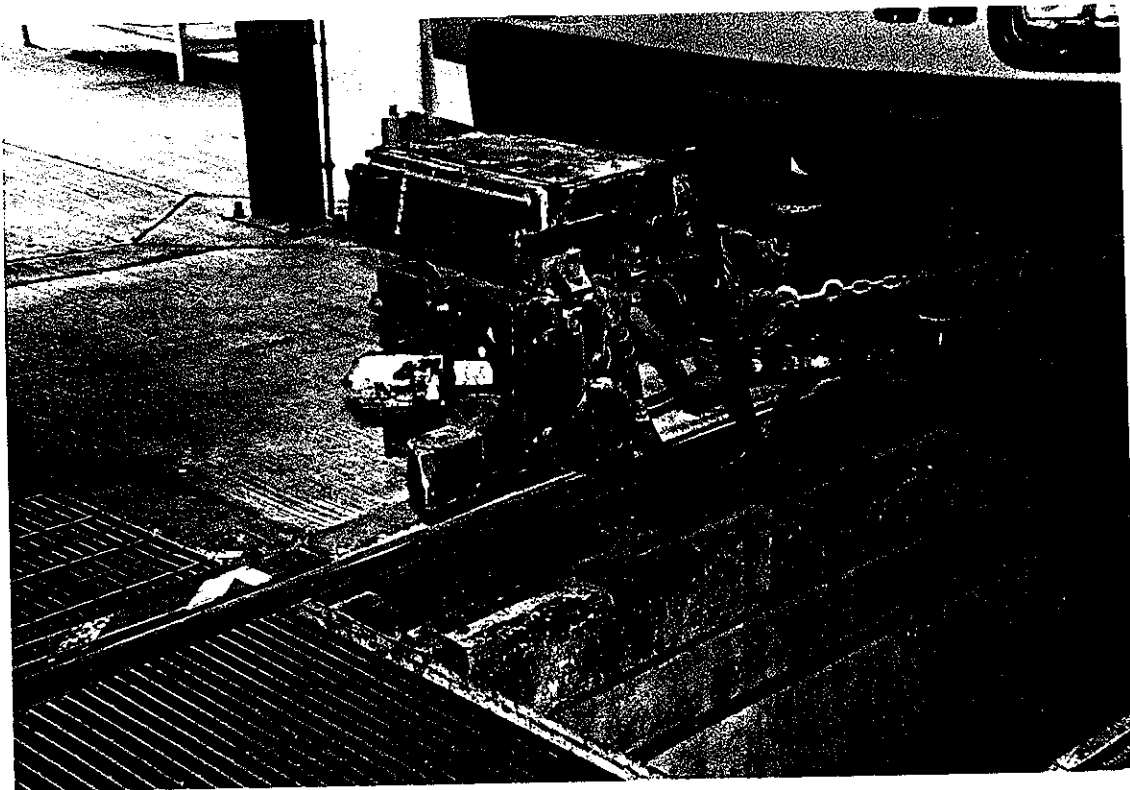
9. Passage à niveau avec dalles préfabriquées pour protéger les voies du métro.



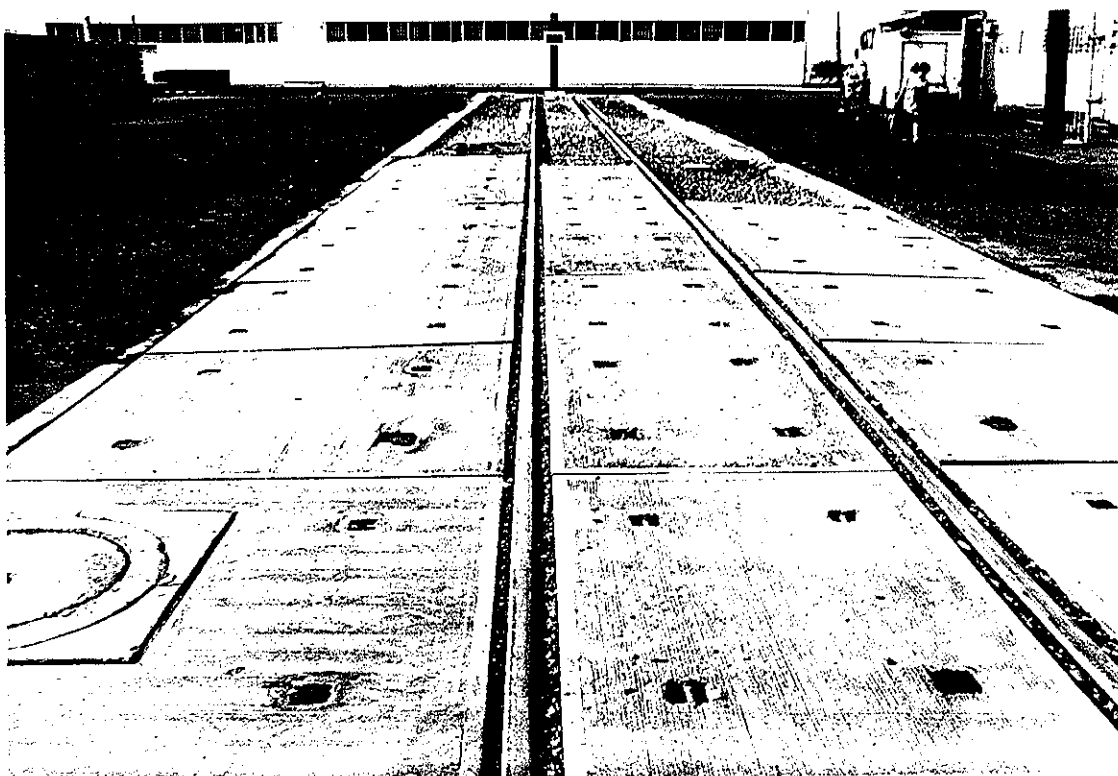
10. Passage à niveau et détail de la suspension de la ligne de contact dont on a cherché à réduire l'impact visuel.



11. Une rame à proximité du dépôt sud



12. L'attelage automatique utilisé ici quotidiennement.



13. Détail des dalles préfabriquées utilisées pour les passages à niveau.



14. Intérieur d'une rame dont le design est identique à celui des rames du métro léger de Mexico.



15. Tourniquets d'entrée à la station Juarez II en correspondance avec la station Juarez I.

Dipl.-Ing. **Gerhard Scholtis**  
Executive Director  
Management of Division

Mr Francis Kuhn  
INRETS  
20, rue Elisée Reclus  
  
F-59650 Villeneuve d'Ascq

Erlangen, 94-12-20

Dear Sir,

you asked for more information about the Mexican LRT systems. Today I can start to give you Guadalajara dates:

**1. Guadalajara line 1 (1987-89)**

16 LRV's similar to type B90 of Duewag, 26 mill. US \$

Electrical & mech. equipment, track work and upgrading of 19 stations (7 of them in underground), 45,0 mill DM

Line 1 is not equipped with signalling. Headways are 5 minutes.

**2. Guadalajara line 2 (1991-94)**

length of line 8,55 km (100 % in tunnel), number of stations 10

costs:

Civil work (incl. workshop) 180 mill. US \$

Electric & mechanical equipment for vehicles, signalling, power supply, workshop, 200 mill. DM,

32 LRV's without propulsion & braking equipment, 32 mill. US \$.

So far for today. The rest will follow.

With best wishes  
yours sincerely  
Gerhard Scholtis

Siemens AG  
Transportation Systems  
Mass Transit Rolling Stock

Postal Address:  
Siemens AG  
VT 5  
P.O. Box 32 40  
D-91050 Erlangen  
Federal Republic of Germany

Office Address:  
Werner-von-Siemens-Straße 67  
D-91052 Erlangen

Telephone +49 91 31 7-2 51 76  
Telefax +49 91 31 7-2 05 05  
Telex 62921-0 si d