



**Programa de Desarrollo Profesional UPR/PUPR/ATI**  
*Centro de Transferencia de Tecnología en Transportación*  
*Universidad de Puerto Rico - Recinto de Mayagüez*  
*Mayagüez, PR*



# Problemas mecánicos y operacionales en las puertas del Tren Urbano

**Propuesta de Investigación Sub-graduada**  
**Grupo 3**

**Sometido a:**

Benjamín Colucci, PhD  
*Profesor del Departamento de Ingeniería Civil*  
*Universidad de Puerto Rico – Recinto de Mayagüez*

**Estudiante:**

Meléndez Negrón, Flavia  
*Estudiante a nivel sub-graduado del Departamento de Ingeniería Mecánica*  
*Universidad de Puerto Rico – Recinto de Mayagüez*

**Consejero:**

Didier M. Valdés-Díaz, PhD  
*Profesor del Departamento de Ingeniería Civil*  
*Universidad de Puerto Rico – Recinto de Mayagüez*

Octubre, 2006

# **Problemas mecánicos y operacionales en las puertas del Tren Urbano**

F. Meléndez Negrón

A partir del año 2004 ha estado operando en Puerto Rico el Tren Urbano. El objetivo principal de la implementación de este sistema metropolitano que sirve a los pueblos de San Juan, Bayamón y Guaynabo es disminuir los problemas de congestión y contaminación. Al contar con una tecnología desconocida para los profesionales en la isla, el personal trabajando en la operación y mantenimiento del tren han recibido adiestramientos intensos que aseguren un servicio confiable, efectivo y seguro. La administración del tren está a cargo de la firma Siemens Transit System y la compañía socia Alternate Concepts, Inc. (ACI). El rol de los estudiantes que realizan investigaciones en el sistema del Tren Urbano se enfoca en estudiar problemas que afectan el funcionamiento óptimo, confiable y seguro del mismo.

En esta propuesta se presenta el plan de investigación que estudia los problemas en los sistemas de las puertas del tren que provocan retrasos e interrupciones en el servicio. Las fallas operacionales y mecánicas que afectan los sistemas de las puertas demuestran ser un problema recurrente en los trenes. Una de las fallas más crítica para la seguridad del usuario es cuando la puerta abre incorrectamente, ya que puede que la puerta abra con el tren en movimiento lo cual pone en riesgo la vida de los pasajeros. El factor que más afecta la confiabilidad del usuario en el sistema está relacionado con el cierre de las puertas. En los sistemas de trenes alrededor del mundo los usuarios se han visto afectados al quedar pillados entre las puertas al cerrar. Un tema a investigar que se relaciona con estos casos son las mejoras a las advertencias cuando las puertas van a cerrar para que sean captadas con mayor facilidad por las personas con deficiencias sensoriales.

La data necesaria para realizar una investigación detallada se obtendrá mediante procedimientos de recolección y análisis de data y entrevistas a usuarios, operadores y técnicos. Con los resultados del análisis de data y la información recopilada se espera generar alternativas que sirvan a la solución de los factores mecánicos y operacionales que son parte de los problemas que afectan los sistemas de puertas en el Tren Urbano.

## Tabla de Contenido

	Pág.
<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>Descripción del Problema .....</b>	<b>2</b>
<b>Revisión de Literatura .....</b>	<b>3</b>
<b>Procedimiento de Investigación .....</b>	<b>4</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>5</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>6</b>
<b>Apéndice .....</b>	<b>7</b>
<b>A. Apéndice A. Curriculum Vitae .....</b>	<b>8</b>
<b>B. Apéndice B. Gráficas: Frecuencia de Incidentes y Retrasos por</b>	
<b>Interrupciones en los Trenes .....</b>	<b>9</b>
<b>C. Apéndice C. Fotos TU .....</b>	<b>10</b>

## Lista de Figuras

	Pág.
<b>Figura 1. Gantt Chart .....</b>	<b>4</b>
<b>Figura 2. Washington Metro Red Line Incident Frequencies for the 2001 .....</b>	<b>9</b>
<b>Figura 3. Average Delays Caused by the Disruption .....</b>	<b>9</b>
<b>Figura 4. Vehículos del Tren Urbano .....</b>	<b>10</b>
<b>Figura 5. Tercer Riel .....</b>	<b>10</b>
<b>Figura 6. Facilidades de Mantenimiento del TU .....</b>	<b>10</b>
<b>Figura 7. Integrantes del Grupo 3 en TU .....</b>	<b>10</b>

## Introducción

El uso y la tecnología de los trenes ha evolucionado a través del tiempo en la historia en base a las necesidades sociales y económicas. Actualmente existen factores como el impacto del uso excesivo y la dependencia del automóvil en la calidad de vida, el desarrollo de las ciudades y el ambiente que afectan poblaciones en todo el mundo. Ante estos panoramas de congestión vehicular y deterioro social, las ciudades buscan desarrollar o mejorar sus sistemas de metro para que sirvan a la población como una alternativa de transporte más eficiente que el automóvil y así aliviar los efectos que tiene el uso del mismo. En el caso de Puerto Rico, se ha desarrollado un sistema de metro que le sirve a las ciudades de San Juan, Bayamón y Guaynabo con vías a expandirse a otras ciudades con la combinación de otros sistemas de vías. Un metro se caracteriza por ser un sistema de ferrocarril eléctrico de uso urbano con una capacidad para servir a un volumen significativo de usuarios a una gran frecuencia de servicio. El metro de Puerto Rico, conocido como el Tren Urbano (TU), se extiende en una línea de 17.2 Km a lo largo de la cual hay 16 estaciones. En cada estación hay un tiempo de espera entre cada tren acorde a la frecuencia de llegada que es de 8 ó 12 minutos. La ruta que cubre el tren tiene la mayor parte en secciones elevadas y el resto comprende de secciones terrestres y subterráneas. El costo de construcción del TU fue de cerca de USD\$2.25 billones para un proceso que comenzó en 1996 y fue inaugurado en 2004.

El Tren Urbano es operado por la firma Siemens Transit System y la compañía socia Alternate Concepts, Inc. (ACI) por un contrato con el Gobierno de Puerto Rico que abarca las fases de diseño, construcción y operación, otorgándole la responsabilidad de operación y mantenimiento del tren por los cinco años subsiguientes a la culminación del período de construcción. Los indicadores operacionales entre los meses de junio a agosto calculados por ACI muestran unos porcentajes de 99.63% y 97.72% para la razón de viajes completados y la razón de viajes completados a tiempo respectivamente. Unos porcentajes tan altos para ambos factores indican que las interrupciones en los viajes son mínimas. A pesar de que las causas que afectaron los viajes no completados o no completados a tiempo no fueron discutidas por el personal de ACI, se conoce que existen problemas en las puertas de los vehículos de los trenes. En las gráficas<sup>1</sup> que muestran las frecuencias de incidentes durante el 2001 en el metro de Washington y los promedios de retrasos a causa de interrupciones se muestra que las fallas en las puertas de los trenes representan un problema mecánico recurrente en el funcionamiento de los trenes. Las fallas relacionadas a las puertas de los trenes afectan la confiabilidad en el servicio en términos de puntualidad y seguridad. La puntualidad se ve afectada por el tiempo que requiere atender la situación que causó el problema. En el caso del Tren Urbano, la compañía a cargo de la operación y mantenimiento del equipo reciben penalidades monetarias por atrasos o adelantos en los viajes. El factor de mayor importancia para la administración del tren es la seguridad del mismo, ya que se relaciona con una tendencia mínima de casos de accidentes.

---

<sup>1</sup> Referirse al apéndice B.

Entre los problemas que afectan las puertas de los trenes se encuentran fallas en los mecanismos, sensores y falta de avisos al momento de cerrar las puertas. Al realizar una investigación sobre los problemas mecánicos y operacionales relacionados con las puertas de los trenes se busca presentar soluciones que aseguren la confiabilidad en el sistema para usuarios con o sin impedimentos sensoriales, que reduzcan los costos de mantenimiento por reemplazo de piezas y que disminuya las penalidades impuestas por atrasos en el servicio del tren a las estaciones. Las soluciones que se presenten en esta investigación tendrán como punto central al sistema del Tren Urbano de Puerto Rico y pretenden asistir a la administración del tren en resolver problemas relacionados con el diseño, mantenimiento y operación de las puertas en los vehículos del tren. Mediante procedimientos de recolección y análisis de data y entrevistas a usuarios, operadores y técnicos se espera generar alternativas que sirvan a la solución de los factores mecánicos y operacionales que son parte del problema.

### **Descripción del Problema**

El enfoque de esta investigación es presentar el 5 de mayo de 2007 las soluciones a los problemas mecánicos y operacionales de las puertas de los trenes que afectan la efectividad, confiabilidad y seguridad en el servicio que ofrecen los metros. Las soluciones tendrán un enfoque central en el Tren Urbano y tienen como objetivo principal reducir los incidentes de atrasos e interrupciones en el servicio del tren.

Recientemente se han publicado varios artículos sobre las fallas en los sistemas satelitales que controlan las puertas. Este tipo de problema no afecta las operaciones del Tren Urbano, ya que no se utiliza este tipo de tecnología. Entre los problemas más frecuentes y conocidos en las puertas de los trenes se encuentran las fallas en los sensores que detectan cuando la puerta ha cerrado completamente, las puertas no abren o cierran cuando se ejecuta la operación para abrir o cerrar las puertas, las puertas fallan en abrir correctamente, las puertas no cierran completamente y las fallas en la operación de la puerta al abrir el lado incorrecto. Muchas de las quejas y denuncias de los usuarios en relación a las puertas se basan en que se quedan atrapados al ser pillados por las puertas cuando cierran. Otro aspecto relacionado a las puertas de los trenes es que no existe un buen sistema de aviso que advierta sobre el cierre de las puertas a los usuario con deficiencias sensoriales de vista y audición. Mediante esta investigación se pretende encontrar una alternativa que ofrezca mayor seguridad al momento de subir y bajar del tren disminuyendo el riesgo de ser pillados por las puertas.

El problema presentado por el personal de ACI como un factor que está afectando el funcionamiento de las puertas en el Tren Urbano está relacionado con un mecanismo que se está soltando. Se ha intentado solucionar utilizando epoxy sobre fibra de vidrio para pegar el mecanismo pero no ha funcionado efectivamente. No se ha definido bien cuál es el problema está, pero a medida que se avance en la investigación se espera tener

implementado como alternativas a solucionar el problema y el mantenimiento del sistema de puertas. Una vez se tenga la información detallada se procederá a someter alternativas que resuelvan el problema y que mejoren el programa de mantenimiento a las puertas.

El análisis de los problemas que afectan el funcionamiento de las puertas de los trenes requiere conocer cuáles son los mecanismos, componentes eléctricos y componentes electrónicos que operan en la puerta y el programa de mantenimiento recomendado. También es necesario conocer la instrumentación y programas para recolectar y analizar la data que ayude a determinar el origen de las fallas en las puertas. Para llevar a cabo esta investigación se necesita investigar cuáles las regulaciones en los niveles de sonido y el material visual que apoyan a las personas con deficiencias sensoriales.

## **Revisión de Literatura**

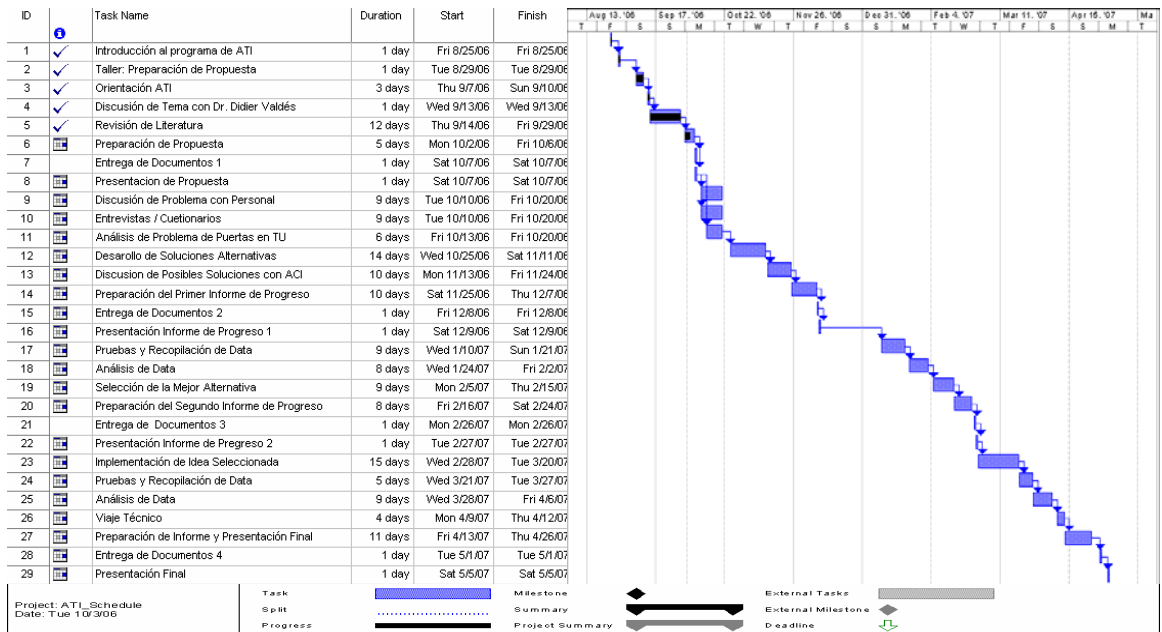
Las investigaciones que se han realizado alrededor de los problemas que afectan las puertas de los trenes han desarrollado nuevos diseños de las puertas, programas de mantenimiento según el diseño, ideas para mejorar la iluminación en las puertas, etc. Los estudios que se han realizado sobre los sistemas de las puertas de los trenes coinciden en que las fallas en las puertas de los trenes resultan en una de las mayores causas en atrasos e interrupciones en el servicio del tren a las estaciones. Las gráficas en el Apéndice B muestran unos análisis de data que presentan esta tendencia.

Al discutir cuáles son las fallas más frecuentes y las más críticas para la seguridad del usuario se recopilaron siete fallas comunes y los componentes que envuelven<sup>2</sup>: (1) la puerta falla al no abrir o cerrar cuando se indica la operación por componentes defectuosos; (2) falla del “interlock” puede ser ocasionada por errores del operador; (3) la puerta abre incorrectamente, lo cual representa el problema número uno de seguridad relacionado con puertas; (4) operación incorrecta de la puerta que provoca que se abra el lado incorrecto o sin ningún comando, lo cual puede estar relacionado a errores en configuración de la vía o plataforma; (5) falla al detectar que la puerta esta obstruida, esto representa el problema número dos de seguridad; (6) falla en el panel de la puerta puede estar relacionado a fallas en la conexión de mecanismos o a pérdida de potencia; (7) la puerta no cierra completamente y/o no indica que ha cerrado completamente, que representa la más común. Para determinar los componentes que afectan el funcionamiento de las puertas se requiere recopilar data para analizarla. Esta data se utiliza para determinar el tipo de mantenimiento que se debe realizar en cada componente para asegurar la seguridad y confiabilidad del sistema de puertas y consiguiente del tren.

Cuando consideramos que el uso del tren es tanto para usuarios sin impedimentos como para los que tienen impedimentos se tienen que considerar los tipos de limitaciones

---

<sup>2</sup> Datos según investigación de Transit Cooperative Research Program.



**Figura1. Gantt Chart**

que restringen a las personas para modificar los diseños según las especificaciones que se deben cumplir para asegurar su seguridad. En un reporte<sup>3</sup> sometido al Departamento de Transportación del Reino Unido se hacen recomendaciones respecto a los sistemas de aviso al momento de cerrar las puertas. Las recomendaciones se enfocan en mejorar los visuales y los sonidos que indiquen que la puerta se está cerrando así como que se cierren las puertas más lentamente. En una búsqueda en Internet se encuentran muchos artículos sobre personas sin impedimentos que se han quedado atrapadas entre las puertas cuando cerraron y las demandas que han ganado al presentar querellas sobre sus casos. Estudiar cómo disminuir este tipo de accidentes e implementar planes para hacer el flujo de entrada y salida al tren puede representar un aumento en la confiabilidad del usuario en el tren.

### Procedimiento de Investigación

Tomando en consideración que se quiere investigar las áreas relacionadas con los mecanismos de las puertas de los trenes, específicamente para el Tren Urbano, se ha desarrollado un plan a seguir para realizar la investigación. El diagrama del “Gantt Chart” en la figura 1 muestra las tareas que se estarán realizando para completar la investigación. Las mismas están sujetas a las modificaciones necesarias para asegurar una investigación detallada y bien definida. Entre las tareas a realizarse hay entrevistas al personal de ACI, operadores y técnicos del tren, a usuarios del tren. Las entrevistas estarán enfocadas a la

<sup>3</sup> Train door warning system for sensory impaired people.



operación, confiabilidad y seguridad del sistema de puertas del Tren Urbano. Se espera poder recolectar data de la operación de las puertas para conocer cuáles son los problemas que afectan a las puertas. Con esta data y su análisis se pueden someter alternativas como soluciones para luego realizarle estudios cuantitativos a las mismas.

## **Conclusiones**

El Tren Urbano en Puerto Rico busca disminuir los problemas de congestión y contaminación en el área metropolitana relacionados al uso y la dependencia en los vehículos de motor. El metro es una tecnología nueva en Puerto Rico por lo cual las investigaciones que se realicen sobre su funcionamiento, mantenimiento e impacto social entre otras áreas relacionadas, son de gran impacto e importancia para adquirir experiencia y conocimiento en la operación del mismo. Como parte de los requisitos del Programa de Desarrollo Profesional se estará realizando una investigación relacionada a los problemas mecánicos y operacionales del sistema de puertas del Tren Urbano que provocan retrasos e interrupciones en el servicio. A través del procedimiento de investigación se buscará encontrar soluciones a los problemas que afectan directamente la confiabilidad, seguridad y efectividad del sistema. Con los cambios que se logren en el sistema se espera mejorar la calidad del servicio con un enfoque especial en las personas con impedimento sensorial.

## Referencias

Carter, G, Garrat, C., Jackson, D., Johnston, H., Middleton, W.D., Zimmermann, K., (2004). *A guide to trains: The world's greatest trains, tracks & travels*. San Francisco, CA: Fog City Press.

Martinez, F., (2004). *Headway and schedule based operational control logic on heavy rail system: Application to Tren Urbano*, University of Puerto Rico at Mayaguez, Civil Engineering Department, Mayaguez, PR

Nos lleva el tren: Bienvenido a la revolución del transporte, ahora guiado por GPS y más eficiente. *Popular Mechanics En Español* No. 50/03, 80-85.

BBC News; *Satellite fault shuts train doors*.  
[http://news.bbc.bbc.co.uk/1/hi/england/southern\\_counties/3602494.stm](http://news.bbc.bbc.co.uk/1/hi/england/southern_counties/3602494.stm) (29 Sept. 2006)

Department of Transport; *Train door warning system for sensory imparied people – Full report*.  
[http://www.dft.gov.uk/stellent/groups/dft\\_mobility/documents/page/dft\\_mobility\\_610440](http://www.dft.gov.uk/stellent/groups/dft_mobility/documents/page/dft_mobility_610440)  
(29 Sept. 2006)

ENDI.com; *Freno a la acción legal de Simens contra la ATC*.  
<http://www.endi.com/XStatic/endi/template/nota.aspx?n=79071> (29 Sept. 2006)

Railway Technical Web Pages; *Train maintenance*.  
<http://www.railway-technical.com/train-maint.html> (14 Sept. 2006)

Transit Cooperative Research Program; *Appendixes to TCRP Research Results Digest 74: Train Door Systems Analysis*. (2005)  
[http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/tcrp/tcrp\\_webdoc\\_28.pdf](http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/tcrp/tcrp_webdoc_28.pdf) (1 Oct. 2006)

Transit Cooperative Research Program; *Train door system análisis*.  
[http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/tcrp/tcrp\\_rrd\\_74.pdf](http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/tcrp/tcrp_rrd_74.pdf) (1 Oct. 2006)

Urban Transport Technology; *San Juan tren urbano heavy rail system, Puerto Rico*.  
[http://urbantransport-technology.com/projects/san\\_juan/](http://urbantransport-technology.com/projects/san_juan/) (14 Sept. 2006)

Urban Transport Technology; *Tren urbano rapid transit system, Puerto Rico*.  
[http://urbantransport-technology.com/projects/san\\_juan/](http://urbantransport-technology.com/projects/san_juan/) (14 Sept. 2006)

Wikipedia, the free encyclopedia; *Rapid Transit*.  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Rail\\_transport](http://en.wikipedia.org/wiki/Rail_transport) (15 Sept. 2006)

Wikipedia, the free encyclopedia; *Tren Urbano*.  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Tren\\_Urbano](http://en.wikipedia.org/wiki/Tren_Urbano) (15 Sept. 2006)

## **Apéndice**

# FLAVIA MELÉNDEZ - NEGRÓN

## Objective

Obtain a full time job that enables me to develop and improve the personal attributes that are helpful at the work place and the skills required in mechanical engineering applications.

## Education

- |              |   |                |
|--------------|---|----------------|
| 2001-Present | University of Puerto Rico – Mayagüez Campus | Mayagüez, P.R. |
|--------------|---|----------------|
- Cursing BS in Mechanical Engineering - Senior
  - GPA: 3.24 Credits Approved: 156/175
  - Expected Graduation Date: May, 2007

## Work experience

- |                  |                      |                     |
|------------------|----------------------|---------------------|
| August – Present | Group 3 UPR/PUPR/ATI | UPR-Mayagüez Campus |
|------------------|----------------------|---------------------|
- Currently working in a program focused on conducting research on public transportation, transportation systems operation and its integration.
- |                    |                |            |
|--------------------|----------------|------------|
| July – August 2006 | Volunteer Work | Lima, Peru |
|--------------------|----------------|------------|
- Worked as a volunteer in a program for the elderly people and another for children. Both programs are situated in Villa El Salvador, a poor community in Lima.
- |                     |       |               |
|---------------------|-------|---------------|
| January - July 2006 | Wyeth | Guayama, P.R. |
|---------------------|-------|---------------|
- Reliability Engineer*
- Maintenance Excellence Program, my duties consisted in improving the maintenance tasks of the equipments used in the plant in order to optimize their performance.
- |                        |             |                     |
|------------------------|-------------|---------------------|
| August – December 2005 | Formula SAE | UPR-Mayagüez Campus |
|------------------------|-------------|---------------------|
- Design Team*
- Body System and Fundraising Team Member, responsible for designing and manufacturing the body system of the Formula SAE car competing in 2006 and an active member of the fundraising activities.
- |                    |                            |                     |
|--------------------|----------------------------|---------------------|
| January – May 2005 | Research in Nanotechnology | UPR-Mayagüez Campus |
|--------------------|----------------------------|---------------------|
- Worked with Prof. R. Valentín Rullán in a research studying the behavior of thermoelectric properties in a nanoscale size.
- |                    |             |                     |
|--------------------|-------------|---------------------|
| January – May 2003 | Rumble Bots | UPR-Mayagüez Campus |
|--------------------|-------------|---------------------|
- Design Team*
- Participated in the brainstorming and in the final design of a fighting robot and helped to modify and build the structure of other fighting robots.
- |                |                     |                |
|----------------|---------------------|----------------|
| May- July 2002 | Department of Labor | Carolina, P.R. |
|----------------|---------------------|----------------|
- Summer Job*
- Acquired experiences in general office work in a government office that required teamwork and contact with general public.

## Knowledge and Skills

- Fully bilingual (Spanish and English languages)
- Computer Programs: Microsoft Windows, Words, Power Point, Excel, Project, Pro-Engineering, and basic knowledge in Mac OS, Solid Works, MathCAD, and Mat Lab
- Great sense of teamwork, self-motivated, highly diligent, creative and organized

## Activities and honors

- General Motors Scholarship 2006
- Member of American Society of Mechanical Engineering (ASME) since 2003  
Participated in the ASME Regional Student Leadership and Education Seminar in 2003.
- Member of the Mayagüez Campus Varsity Women Tennis Team during 2002-2004

## Apéndice B: Gráficas<sup>4</sup>

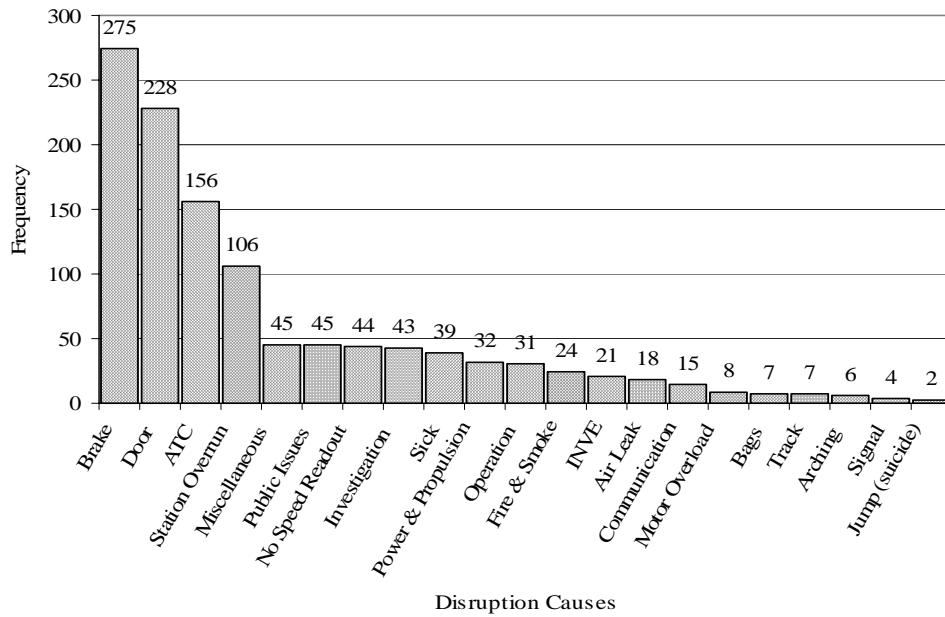


Figura 2. Washington Metro Red Line Incident Frequencies for the 2001

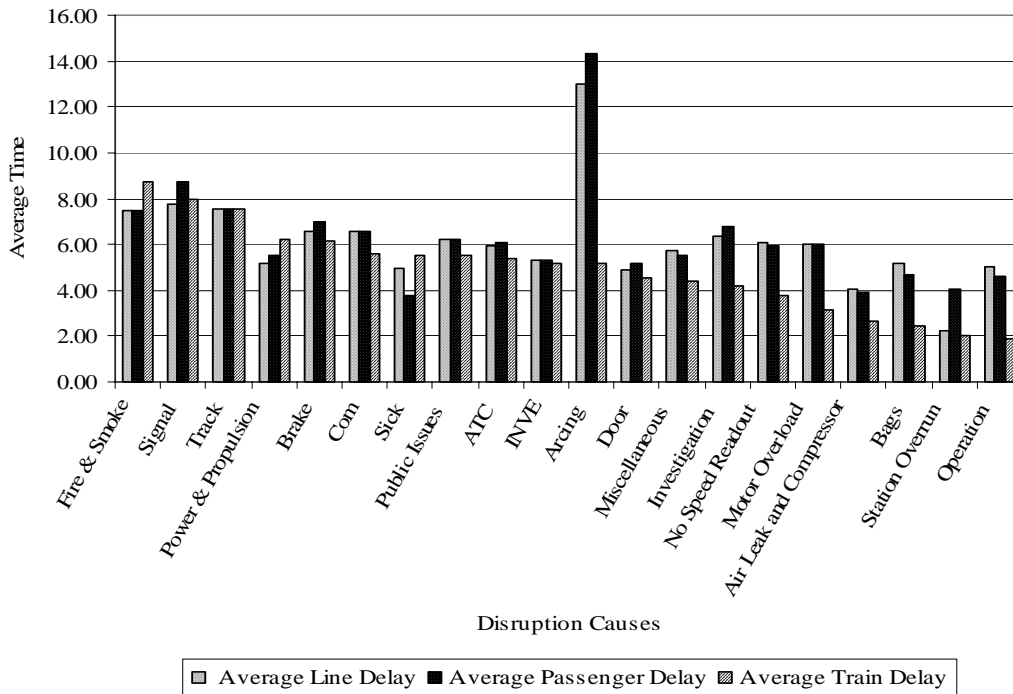


Figura 3. Average Delays Caused by the Disruption

<sup>4</sup> Martinez, F., (2004). *Headway and schedule based operational control logic on heavy rail system: Application to Tren Urbano*

## Apéndice C: Fotos



Figura 3. Vehículos del Tren Urbano.



Figura 4. Tercer riel.



Figura 5. Facilidades de mantenimiento del TU.



Figura 6. Integrantes del Grupo 3 en TU.