

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Desde hace años, la ciudad de México ha presentado problemas de transporte público y congestionamiento de la red vial.

Para la segunda mitad del siglo XX, en la zona centro de la ciudad se concentraba el 40 por ciento del total diario de viajes realizados dentro de la ciudad. En este lugar y sus alrededores circulaban 65 de las 91 líneas existentes de autobuses y transportes eléctricos de pasajeros, además de los automóviles particulares. El tránsito vehicular en las horas pico era más lento que el andar a pie de una persona.

El Sistema de Transporte Colectivo surge con el propósito de construir, operar y explotar un tren rápido con recorrido subterráneo para el transporte público del Distrito Federal, y desde la inauguración de su primera línea en 1969 ha proporcionado un servicio continuo. Sin embargo, el crecimiento de la ciudad ha hecho indispensable la construcción de nuevas rutas de transporte procurando proveer formas accesibles de movilidad en la ciudad.

1.1 Situación actual de la línea A

Una de las líneas del sistema que ha presentado más problemas por asentamientos diferenciales desde su construcción en 1990 es la línea A que corre a lo largo de la calzada Ignacio Zaragoza en el oriente de la ciudad.

Estos hundimientos se han debido a varios factores. Por una parte son causados por la extracción de agua del subsuelo causando desecación, también por la heterogeneidad de los

materiales como arcilla, roca y tezontle, primordialmente; pero principalmente son debidos a la influencia geológica del cerro del Peñón Viejo.

Esta situación ha causado socavones en la plataforma y deformaciones en los rieles por lo que se han llevado a cabo medidas preventivas como la reducción de la velocidad de los trenes, bajando de 75 a 35 km/h en promedio, y labores de mantenimiento periódicas que aseguren la estabilidad de la vía.

Para detectar anomalías debido a deformaciones en los elementos de contacto (rieles y ruedas), el personal del Metro realiza mediciones periódicas de las vibraciones que experimentan los trenes a lo largo de toda la línea. Con base en dichas mediciones, se puede determinar las zonas de inter-estaciones que presentan anomalías en la superestructura.

El área responsable de realizar estas mediciones y su correspondiente análisis es la Gerencia de Ingeniería y Nuevos Proyectos por medio del laboratorio Eléctrico Electrónico.

Antes del trabajo que aquí se presenta, las mediciones se llevaban a cabo mediante el uso de acelerómetros piezoresistivos y un registrador de datos. El registrador de datos era de grandes dimensiones, y el equipo de acondicionamiento solo estaba diseñado para la utilización de cinco sensores. Además, la información registrada se analizaba manualmente, y la ubicación de las zonas en la línea donde se presentaban las anomalías tenía que ser estimada por el personal del laboratorio. A finales de 2010 este equipo dejó de funcionar, y se requirió un equipamiento que permitiera continuar con esta tarea.

Con el objetivo de ayudar a la localización de fallas geométricas y estructurales en las vías y en las ruedas de los trenes, el trabajo que aquí se presenta planteó el diseño e implementación de un sistema que realizara la medición de las vibraciones a las que se encuentran sometidos los trenes durante sus recorridos diarios, empleando acelerómetros piezoeléctricos y herramientas de instrumentación virtual en un equipo de adquisición en tiempo real; que llevara a cabo un análisis en tiempo real con el cual se consiguiera una rápida identificación de los segmentos de vía que necesiten ser revisados, y que el análisis detallado que se realiza posteriormente, además de ser rápido y sencillo, proporcione la ubicación real del lugar dónde se presentan las anomalías.

1.2 Metodología

Para el desarrollo del sistema de adquisición, medición y análisis de vibraciones se ha utilizado un controlador de automatización programable CompactRIO.

Primeramente se realizaron las operaciones necesarias para ponerlo en funcionamiento. Se instaló el software LabVIEW en una computadora (PC) de desarrollo. Le fue asignada una dirección IP (*Internet Protocol*) tanto a la PC de desarrollo como al controlador, y posteriormente con la PC de desarrollo y por medio de cable Ethernet, se instaló en el controlador el software necesario para su funcionamiento. Luego se verificó el éxito de la configuración al realizar pruebas de arranque y comunicación.

Luego de verificar la configuración, se procedió con el desarrollo del propio sistema de medición. Primero se determinó la arquitectura general del sistema, y posteriormente se inició su programación. El desarrollo se realizó enteramente mediante programación gráfica y tuvo una estructura de máquinas de estado anidadas.

Posteriormente a la programación, se realizó la instalación del programa en el controlador para que la operación de éste fuera autónoma, sin necesitar de la PC de desarrollo.

Con la programación e instalación finalizada, se realizaron pruebas de laboratorio con equipo de generación de señales a manera de simulación, para detectar posibles fallas y efectuar la calibración del equipo.

A las pruebas de laboratorio siguieron las pruebas en campo que sirvieron como puesta a punto del sistema y para verificar la confiabilidad de la información y el análisis mostrado por el equipo de monitoreo.

Con base en la metodología previa llevada a cabo por el personal del laboratorio en este tipo de pruebas, se estableció el procedimiento para realizar la instrumentación de los trenes para estas mediciones y, posteriormente, para realizar el análisis de la información recabada.

Posterior al procedimiento de adquisición de señales y al análisis rápido que brinda el monitoreo, los registros obtenidos fueron analizados en su totalidad para detectar las zonas donde se registraron fuertes vibraciones. Para ello se desarrolló un convertidor de datos, con el cual la información obtenida de las mediciones fue transformada para que pudiera ser accedida por software comercial.

Al finalizar el análisis, se pudo determinar la calidad de la marcha de los trenes, así como las zonas que necesitan ser inspeccionadas para realizar el mantenimiento preventivo correspondiente.

1.3 Contribución

Con el sistema de adquisición y análisis que se plantea en este trabajo, se reduce el equipamiento necesario para realizar las mediciones y el análisis de vibraciones a solamente un controlador, una batería, los acelerómetros necesarios y una computadora portátil.

Permite ampliar el número de canales de medición de las vibraciones, pudiéndose emplear desde 8 acelerómetros con la programación realizada en este trabajo, y hasta 16 acelerómetros si se habilitan los módulos inactivos con los que cuenta actualmente el equipo, a diferencia de los cinco acelerómetros soportados por el sistema utilizado anteriormente, con lo que se consigue corregir el método utilizado hasta el momento para la determinación de las vibraciones, haciendo que la información obtenida sea mayor y más confiable.

El análisis que se realiza en tiempo real, y que puede ser monitoreado en campo, proporciona la información de los puntos de mayor vibración, el espectro de frecuencias, la magnitud de las aceleraciones horizontales, verticales y transversales del tren y el cadenamiento correspondiente a dichos desplazamientos.

Los resultados de un análisis posterior más profundo proporcionan mayor información sobre los desplazamientos verticales, transversales y longitudinales del tren en sus diferentes inter-estaciones, pudiendo establecer la ubicación de las anomalías y la calidad de la marcha del tren en dichas zonas.

El procedimiento de medición de vibraciones a nivel de suspensión y la información entregada, resultan ser un punto de partida para futuros estudios en esta materia.

Y no menos importante es que se facilita la labor del personal que realiza la instrumentación de los trenes y el análisis de los resultados.

1.4 Estructura de la tesis

La presente tesis se compone de cinco capítulos.

El Capítulo 1 es la Introducción al trabajo.

El Capítulo 2, proporciona el marco de referencia para familiarizarse con la terminología ferroviaria. Se habla de los esfuerzos a los que se someten los trenes y de las vibraciones generadas a consecuencia de la interacción rueda-carril. Además, se expone la manera en cómo son medidas dichas vibraciones y el equipo de instrumentación utilizado para registrarlas. Por último, se indica el equipamiento disponible para el nuevo sistema de adquisición, medición y análisis.

En el Capítulo 3 se hace una descripción detallada del equipo empleado para el sistema diseñado. Se explica el funcionamiento del controlador y de sus componentes, así como la forma en que fue configurado y puesto en operación. En este capítulo se establece la terminología que será empleada en los capítulos siguientes, dedicados a la programación y operación del controlador.

El Capítulo 4 trata de la construcción e instalación de los programas desarrollados para su operación en el controlador. Se incluyen los diagramas de bloques de los programas creados, así como la descripción y explicación detallada del código programado.

El Capítulo 5 está dedicado a las pruebas del sistema, tanto en el laboratorio como en campo, al análisis de las mediciones y a los resultados de dicho análisis. Inicialmente se describen las pruebas de calibración realizadas en el laboratorio bajo condiciones controladas; posteriormente se explican la instrumentación y las pruebas realizadas a bordo de uno de los trenes que prestan el servicio al público, para finalmente llevar a cabo el análisis de las mediciones realizadas y la interpretación de los resultados obtenidos, con los cuales se determina la calidad de la marcha de los trenes.

Por último se presentan recomendaciones y las Conclusiones obtenidas tanto por el desarrollo realizado como por el alcance y la utilidad del sistema para otros estudios.

En el Apéndice se presenta a detalle el procedimiento a seguir para modificar las tasas de muestreo del sistema desarrollado.

