



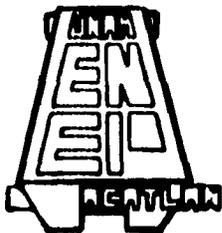
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ACATLAN"

CONFIABILIDAD Y PRONOSTICO
DE FALLA DE LOS
TORNIQUETES DEL S.T.C. - METRO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
**LICENCIATURA EN MATEMATICAS
APLICADAS Y COMPUTACION**
P R E S E N T A
C. MARQUEZ MARTINEZ MIGUEL D.



MEXICO, D. F.

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLÁN"

DIVISION DE MATEMATICAS E INGENIERIA
PROGRAMA DE ACTUARIA Y M.A.C.

SR. MIGUEL DAVID MARQUEZ MARTINEZ
Alumno de la carrera de M.A.C.
P r e s e n t e .

Por acuerdo a su solicitud presentada con fecha 4 de mayo de 1995, me complace notificarle que esta Jefatura tuvo a bien asignarle el siguiente tema de tesis: "CONFIABILIDAD Y PRONOSTICO DE FALLA DE LOS TORNIQUETES DEL S.T.C.-METRO", el cual se desarrollará como sigue:

INTRODUCCION

CAP. I Origen del Metro.
CAP. II Generalidades del S.T.C.-Metro.
CAP. III Marco Teórico.
CAP. IV Análisis de Confiabilidad.
CAP. V Pronóstico
CONCLUSIONES.
BIBLIOGRAFIA.

Asimismo, fue asignado como Asesor de Tesis: ACT. MARIA DEL CARMEN GONZALEZ VIDEGARAY.

Ruego a usted tomar nota que en cumplimiento de lo especificado en la Ley de Profesiones, deberá presentar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito básico para sustentar Examen Profesional, así como de la disposición de la Coordinación de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de tesis el título del trabajo realizado. Esta comunicación deberá imprimirse en el interior de la misma.

A T E N T A M E N T E
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Acatlán, Edo. Méx. marzo 8 de 1996.

ACT. LAURA MARÍA RIVERA BECERRA
Jefe del Programa de Actuaría
y M.A.C.

cg'



TEMA DE TESIS:
CONFIABILIDAD Y PRONÓSTICO
DE FALLA DE LOS
TORNIQUETES DEL S.T.C.-METRO.

ALUMNO:
C. MÁRQUEZ MARTÍNEZ MIGUEL D.

DIRECTOR DE TESIS
ACT. MA. DEL CARMEN GONZÁLEZ
VIDEGARAY





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS
PROFESIONALES

"ACATLAN"

CARRERA:

LICENCIATURA EN MATEMÁTICAS
APLICADAS Y COMPUTACIÓN



***CONFIABILIDAD Y PRONOSTICO
DE FALLA DE LOS TORNIQUETES
DEL S.T.C.-METRO***

AGRADECIMIENTOS

A Papá y Mamá :

Por el cariño, comprensión, amor, apoyo, consejos, regaños, confianza, presiones, desvelos, enojos y todos esos detalles que han ayudado a mi formación y que nos han traído hasta aquí, son lo máximo, los quiero mucho chicos. Gracias por todo, espero no defraudarlos nunca.

A Malú y Mario :

Por su apoyo (llegue hermanita, llegue)

A Mercury y Cía. :

Que algún día superen este trabajo y vuelen tanto como su imaginación les permita.

A mis abuelitos :

Por su preocupación y valiosos consejos.

A mis tíos José Luis y Liz :

Por ser siempre un ejemplo a seguir. Por todo su respaldo e interés recibido desde mis primeros estudios; no tengo con que agradecerles tanto, más que con éste trabajo, espero les guste. Gracias mil.

A Esther :

Por ser una de las personas que me motivaron y ayudaron a finalizar este proyecto con amor, cariño y comprensión, haciendo que cada etapa del mismo tuviera más sentido. Gracias por estar en el lugar indicado en el instante preciso.

T.A. TAZ.

A LMy Marien :

Te debo una, eres la mejor en Word y Power Point. Gracias por las ideas y la ayuda desinteresada. Eres una gran amiga.

A la Act. Ma. del Carmen González Videgaray :

Por el interés y seriedad con que tomó el proyecto desde sus inicios

A mis familiares y amigos :

Por sus valiosos comentarios y porras.

A las autoridades del D.S.C. :

Por las facilidades otorgadas para la elaboración de este trabajo.

A los amigos del D.S.C. :

Por su interés en el desarrollo del proyecto.

Y por último :

A todas aquellas personas que nunca creyeron en mí y no pensaron en esta fecha, han sido parte importante en esta superación que día a día se forja y culmina en momentos como este.

Miguel David Márquez Martínez

**CONFIABILIDAD Y PRONOSTICO DE FALLA DE LOS
TORNQUETES DEL S.T.C.-METRO**

| | |
|---|-----------|
| Introducción | ix |
| | |
| I.- Origen del METRO. | 1 |
| 1.1 Antecedentes | 2 |
| 1.2 El proyecto METRO. | 5 |
| | |
| II.- Generalidades del S.T.C.-METRO | 9 |
| 2.1 Características de la red. | 10 |
| 2.1.1. Grupos de líneas. | 10 |
| 2.2. Transportación. | 19 |
| | |
| III.- Marco teórico. | 21 |
| 3.1. Conceptos sobre Confiabilidad. | 22 |
| 3.1.1. ¿Qué es la Confiabilidad?. | 22 |
| 3.2. Estructuras básicas. | 27 |
| 3.2.1. Sistemas en serie. | 27 |
| 3.2.2. Sistemas en paralelo. | 29 |
| 3.2.3. Sistemas serie-paralelo. | 31 |
| 3.3. ¿Qué es una falla?. | 33 |
| 3.3.1. Fallas y Tiempo Promedio de Falla. | 33 |
| 3.4. Confiabilidad y Procesos Estocásticos. | 41 |
| 3.4.1. Conceptos de Procesos Estocásticos. | 41 |
| 3.4.2. Modelos de Confiabilidad. | 43 |
| 3.5. Series de Tiempo. | 46 |
| 3.5.1. Nociones | 46 |
| 3.6. Metodología Box-Jenkins. | 50 |

INDICE

| | |
|--|------------|
| IV.- Análisis de Confiabilidad. | 53 |
| 4.1. Planteamiento del problema. | 54 |
| 4.2. Desarrollo. | 58 |
| 4.3. Interpretación de resultados.. | 81 |
| | |
| V.- Pronóstico. | 84 |
| 5.1. Desarrollo. | 85 |
| 5.2. Interpretación de resultados. | 99 |
| | |
| Conclusiones. | 100 |
| | |
| Apéndice A. | 104 |
| | |
| Apéndice B. | 107 |
| | |
| Apéndice C. | 110 |
| | |
| Apéndice D. | 113 |
| | |
| Bibliografía. | 117 |

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

Desde épocas muy remotas el hombre ha tenido la necesidad de transportarse, ya sea para trabajar, comerciar o comunicarse. Con el pasar de los años esta necesidad se ha incrementado volviéndose una costumbre, sin que mucha gente le de su verdadero valor .

En ciudades como la nuestra, en donde el ritmo de vida es intenso, el "Metro" es un sistema de transporte capaz de mover con eficacia, rapidez y seguridad a 4,406,291 millones de usuarios diarios en promedio, haciendo siempre todo lo posible para no interrumpir sus labores.

Hay que tomar en cuenta que diariamente se dan en kilómetros recorridos lo equivalente a dos vueltas y media a la Tierra y se transporta a tanta gente día a día como a la población total de las ciudades de Puebla, Monterrey, Guadalajara, Morelia y Querétaro juntas. Parece increíble pero es cierto.

Pero, ¿qué pasa cuando algunas de las áreas no son atendidas con la eficacia que se requiere?. Esto se llega a notar más cuando los equipos tienen una actividad alta, por ejemplo:

Cuantas veces ha llegado a pasar que la entrada está saturada porque algunos de los curiosos aparatitos donde día tras día introducimos el boleto, no

INTRODUCCIÓN

funciona, aparte de la larga fila, apretones y molestias, existe la pérdida de tiempo.

Así pues, con tan interesantes y a veces conflictivos acontecimientos, el estudio de estas máquinas llamadas oficialmente como "torniquetes", podría revelar algunos aspectos importantes del servicio que prestan. Para esto se utilizarán dos técnicas que permitirán conocer si los trabajos que se practican en el S.T.C.-Metro en el área de mantenimiento son las adecuadas, éstas son la teoría de la Confiabilidad y la Metodología Box-Jenkins (para el pronóstico en el tiempo), con la primera al valerse del modelado usando Cadenas de Markov, se puede representar el esquema de lo ocurrido en las estaciones y darse un análisis preciso al pasar de las horas y con la segunda determinar la existencia de algún patrón de comportamiento entre las fallas, al analizar su tendencia, varianza y variación estacional.

Así mismo, se evaluará el análisis de decisiones de modo que se permita mejorar las condiciones de operación, para que dicha operabilidad esté de acuerdo a los exigencias que día a día este sistema de transporte masivo presenta.

I. ORIGEN DEL METRO

ANTECEDENTES

A través del tiempo, la Ciudad de México, se ha visto matizada de los más variados sistemas de transporte, acorde a su crecimiento y demanda, desde aquellos carruajes tirados por caballos de principio de siglo, hasta los automóviles de hoy en día.

En el siglo XIX se podían ver los canales que conectaban el centro de la ciudad con lugares como la Merced o Jamaica (se tiene que recordar que la ciudad no siempre ha tenido el mismo semblante), repletos de embarcaciones, portando flores, víveres y personas, los elegantes carruajes corriendo por las empedradas calles, en el constante ir y venir de los pasajeros.

Debido al crecimiento constante que sufre la ciudad de México, a finales de este siglo surge la necesidad de crear el primer ferrocarril urbano que corría desde Empedradillo -hoy se llama del Monte de Piedad, ubicada en el centro histórico- hasta la Fuente de Tlaxpana -donde tuerce el acueducto que trae por este rumbo el agua desde Chapultepec pasando por la catedral-, ésta es una de las primeras respuestas a la demanda del movimiento de la población.

Pero no sería hasta el año 1900 cuando se construiría el primer sistema

formal de transporte: los tranvías. Su competidor más fuerte no surgiría si no 17 años más tarde: los camiones de pasajeros.

En los treinta años siguientes de 1917 a 1946 se presencia un importante crecimiento del número de unidades y de rutas de camiones de pasajeros en la ciudad, en la que se establece una competencia abierta entre los autobuses y los tranvías, que contaban desde 1917 con 14 líneas y 343 Km.

Pero los autobuses poco a poco fueron ganando terreno a los tranvías, gracias a su flexibilidad ya que respondían a las necesidades del constante crecimiento de las zonas industriales residentes en la periferia de la ciudad, trayendo consigo un aumento en la población deseosa de trabajar en estas zonas.

Es importante hacer notar la participación de las empresas privadas en el desarrollo tanto de los autobuses como de los tranvías, ya que con el constante crecimiento de la mancha urbana, el gobierno no puede mantener su participación total por lo que opta por consecionar el servicio de las rutas.

Al mismo tiempo del desarrollo de autobuses y tranvías, empieza a darse auge al uso del más moderno concepto de transporte: el automóvil, que vendría a cambiar totalmente la modalidad del transporte para algunos sectores de la

sociedad (burguesía), pero sin llegar a dar respuesta a las grandes masas trabajadoras.

Durante la década de los 60's la ciudad de México consolida su carácter metropolitano asentándose 1,922,800 habitantes en los alrededores del Distrito Federal(en la periferia). En estas condiciones el Área Metropolitana de la Ciudad de México (A. M. C. M.) provocaba para 1967, ocho millones de viajes diarios, en condiciones de vialidad deficiente, de un centro congestionado de prácticamente imposible circulación en horas pico y un transporte colectivo fundamentado en líneas de autobuses y taxis colectivos¹ no estructurados como "sistemas" de transporte con problemas de operación y rentabilidad.

Así, el Estado poco a poco empieza a intervenir hasta llegar a nacionalizar los tranvías, pero esta intervención estatal directa sería elevada a su máxima expresión varios años más tarde con la planeación y culminación del Sistema de Transporte Colectivo Metro (STC-Metro).

¹Para 1975 serían 25,329 los automóviles de servicio público (12286 sitio, 3383 peseros, 6160 libres y 3500 minitaxis)

EL PROYECTO METRO

Ante la situación que la capital del país vivía, el Gobierno de la República, creó el organismo público descentralizado, con personalidad jurídica y patrimonio propio denominado Sistema de Transporte Colectivo Metro, cuyo objeto es la construcción, operación y explotación de un tren rápido con recorrido subterráneo y superficial para el transporte colectivo en el Distrito Federal.

Este organismo celebró contratos con la empresa mexicana Ingeniería de Sistemas de Transporte Metropolitano y con las compañías francesas Société General de Tracción et d'Exploitation, para que de manera solidaria y mancomunada elaboraran el proyecto y prestaran la asesoría técnica.

En la ejecución de la obra hay que resaltar la participación de la empresa Ingenieros Civiles Asociados (I. C. A.) como parte importante de la planeación del transporte en general y del Metro en particular.

En 1958 ICA inicia sus estudios sobre transportes de pasajeros² y aunado a la experiencia de la empresa, caracterizó la situación del transporte de la siguiente manera:

1. Una demanda excesiva, consecuencia de la falta de zonificación.

² Este trabajo se denominó "Estudio de Vías Rápidas para la Ciudad de México", cabe resaltar la importancia de los estudios realizados en otros países sobre transportación masiva.

2. La operación de numerosas líneas de autobuses y transporte eléctrico sin ninguna coordinación.
3. La escasa planeación que provocaba que más del 75% de las líneas llegaran al primer cuadro de la ciudad ocasionando serios congestionamientos.
4. La falta de terminales adecuadas para los servicios de transporte urbanos, suburbano y foráneo.
5. Los equipos existentes anticuados o excesivamente usados de operación lenta, deficiente e incómoda.
6. La ausencia de continuidad de algunas avenidas y calles importantes³.
7. La velocidad de los autobuses y trolebuses en el centro de la ciudad es menor incluso a la de una persona caminando⁴.
8. La inversión de cuatro millones de horas hombre por día en el transporte.
9. La ubicación de gran número de terminales de autobuses en el centro de la ciudad.

Con estas consideraciones se perfiló la conclusión de ICA en el sentido de que la alternativa para el transporte masivo de pasajeros no podía ser por la vía superficial y por tanto se propuso el tren metropolitano subterráneo.

Para la construcción del Metro se tomaron en cuenta cuatro puntos centrales:

⁴ Problema que aún persiste

³ Problema que aún persiste

1. El hundimiento general del Valle de México
2. La factibilidad económica y financiera
3. El análisis de las líneas y el volumen de los vehículos
4. El desplazamiento de los pasajeros.

Una vez resueltos estos obstáculos y aprobada la idea Metro por el gobierno capitalino y por el gobierno federal, la siguiente etapa consistió en adecuar la idea específica de líneas a las necesidades antes mencionadas de refuncionalización del espacio productivo y de la generación de consenso del Estado mexicano.

Los principios fundamentales del proyecto, según ICA fueron los siguientes:

1. Corresponder con las corrientes establecidas de mayores volúmenes de pasajeros y cubrir las zonas de mayor densidad demográfica.
2. Dar servicio a las zonas más congestionadas eliminando en gran parte los medios de transporte de superficie.⁵
3. Abarcar los centros de actividades principales de la metrópoli
4. Ahorro de tiempo por medio de líneas lo más rectas posibles e interconexiones múltiples.

⁵ Se cumplió en partes

5. Preservación del centro monumental e histórico de la ciudad.
6. El trazo de las líneas no podría perjudicar o anular vías de transportación existente.
7. Evitar el ingreso de los autobuses suburbanos y foráneos al centro de la ciudad de la capital⁶.
8. Eliminar las líneas de tranvías que penetraban a la zona céntrica, destinando las unidades de estas rutas a reforzar el servicio de las líneas que se conservarían.
9. Irrigar al máximo la zona central con la red de trenes rápidos, de manera que la mayor parte del público de dicha zona tuviera acceso a una estación del metro con corto recorrido a pie.

A partir de la resolución de construir el metro de la Ciudad de México, la capital del país ya no sería la misma. Los cambios que fundamentalmente en lo físico se advierten de entonces a la fecha se han tenido que ver, casi todos ellos y de alguna manera con el Sistema de Transporte Colectivo Metro.

⁶ Se cumplió en partes

II. GENERALIDADES DEL STC-METRO

CARACTERÍSTICAS DE LA RED

GRUPOS DE LÍNEAS

Se estudiaron catorce alternativas de posibles trazos concluyéndose que la red en la primera etapa tendría tres líneas con 42.2 km. De longitud: la línea 1, de este a suroeste, del cruce de la Calzada Ignacio Zaragoza y Río Churubusco a las minas de Arena (al norte de la Unidad Santa Fe, entre ésta y la Av. Observatorio) con 19 estaciones - 18 subterráneas y una superficial - la línea 2 de sur a noroeste , del cruce de la Calzada de Tlalpan y Av. Taxqueña a la Glorieta de las Calzadas Legaria y México Tacuba, con 22 estaciones - 10 estaciones superficiales y 12 subterráneas; la línea 3 de norte a sur, del conjunto urbano Nonoalco-Tlaltelolco a las calles de Dr. Pasteur.

Para 1993 el Metro de la Ciudad de México cuenta con una red compleja en servicios de 158 km. y 135 estaciones diseminadas en gran parte de las zonas más densamente pobladas de AMCM.

Así las nueve líneas (contando la línea A) operan en la red, con las siguientes distancias de servicio entre las estaciones terminales.

- | | |
|-----------------------------------|--------|
| • Línea 1 Observatorio-Pantitlán | 18.828 |
| • Línea 2 Cuatro Caminos-Taxqueña | 23.431 |

GENERALIDADES DEL S.T.C. - METRO

| | |
|--|--------------------|
| • Línea 3 Indios Verdes-Universidad | 23.609 |
| • Línea 4 Martín Carrera-Santa Anita | 10.747 |
| • Línea 5 Politécnico-Pantillán | 15.675 |
| • Línea 6 El Rosario-Martín Carrera | 13.947 |
| • Línea 7 El Roserio-Barranca del Muerto | 18.894 |
| • Línea 9 Tacubaya-Pantillán | 15.300 |
| • Línea A Pantillán-La Paz | 17.000 |
| Total | 158.000 km. |

Los períodos de construcción del Metro se corresponden con diferencias importantes en la concepción del S.T.C. en términos de su utilización como herramientas de planeación.

La construcción del Metro en sus tres primeras líneas, busca resolver dos problemas distintos, aunque vinculados entre sí. Por un lado, pretende incidir en el problema de transportación masiva de la población; por el otro va dirigido a descongestionar el tránsito de vehículos en algunas de las principales avenidas y calles del centro, de esta forma se posibilita el retiro de autobuses de las mismas¹. Secundariamente, ayuda a dignificar el Centro Histórico de la Ciudad, al disminuir el tráfico de vehículos y la contaminación atmosférica y auditiva a esa

¹ Objetivos no cumplidos en su totalidad.

CAPÍTULO II

zona además de permitir el acceso a la población citadina a diversos lugares comerciales, culturales, políticos, administrativos e históricos.

El segundo periodo se caracteriza por la construcción de las líneas 4, 5, 6 y 7 además de la ampliación de las tres primeras principalmente de la 3. Las nuevas líneas interconectan seis de los ocho centros urbanos que establece el Programa de Reordenación Urbana y Protección Ecológica del DDF (PRUPE), estos son Tizapán, Tacubaya, Tacuba, Azcapotzalco, Tepeyac y Pantillán, con la característica adicional de no tocar el Centro Histórico de la Ciudad de México.

El último periodo con las líneas 8, 9 y A tiene la tendencia a descongestionar las líneas 1, 2 y 3 que presentan problemas de saturación, que además beneficiará directamente la población que reside en las zonas centro y suroeste de la Ciudad.

SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO (METRO)

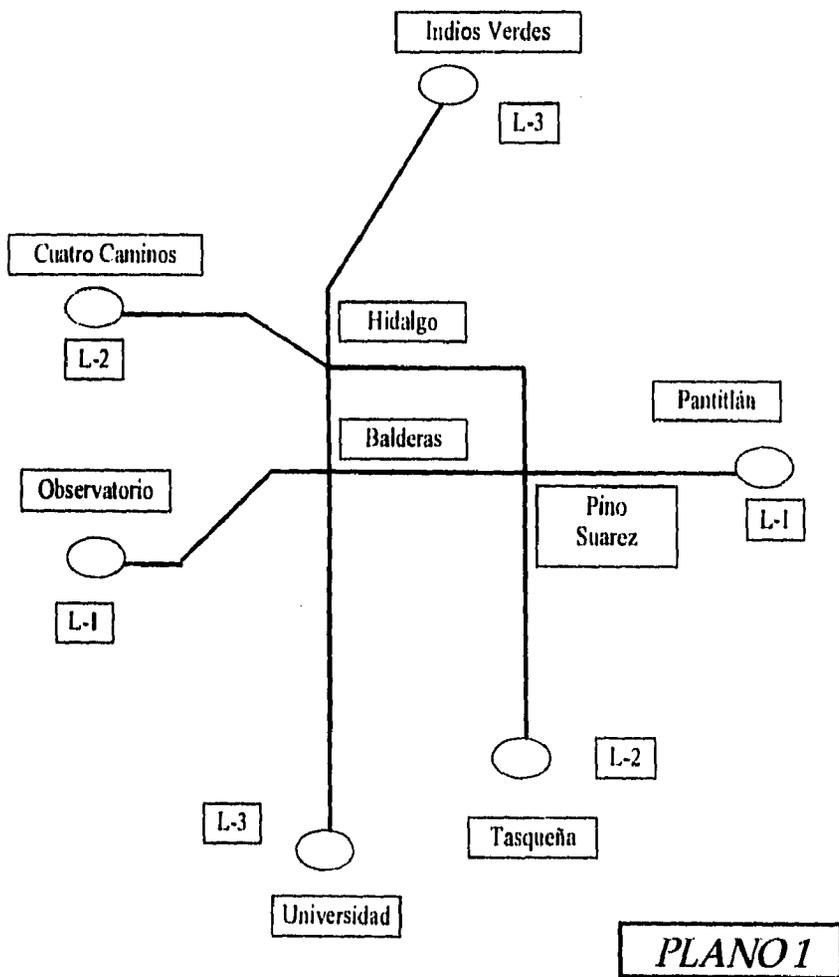
INAUGURACIÓN DE LÍNEAS Y AMPLIACIONES HASTA 1987

| LÍNEA | TRAMO | FECHA |
|-------|-------------------------|--------------|
| • 1 | Zaragoza-Chapultepec | 4 sep. 1969 |
| • 1 | Chapultepec-Juanacatlán | 11 abr. 1970 |
| • 2 | Tacuba-Pino Suárez | 14 sep. 1970 |

GENERALIDADES DEL S.T.C. - METRO

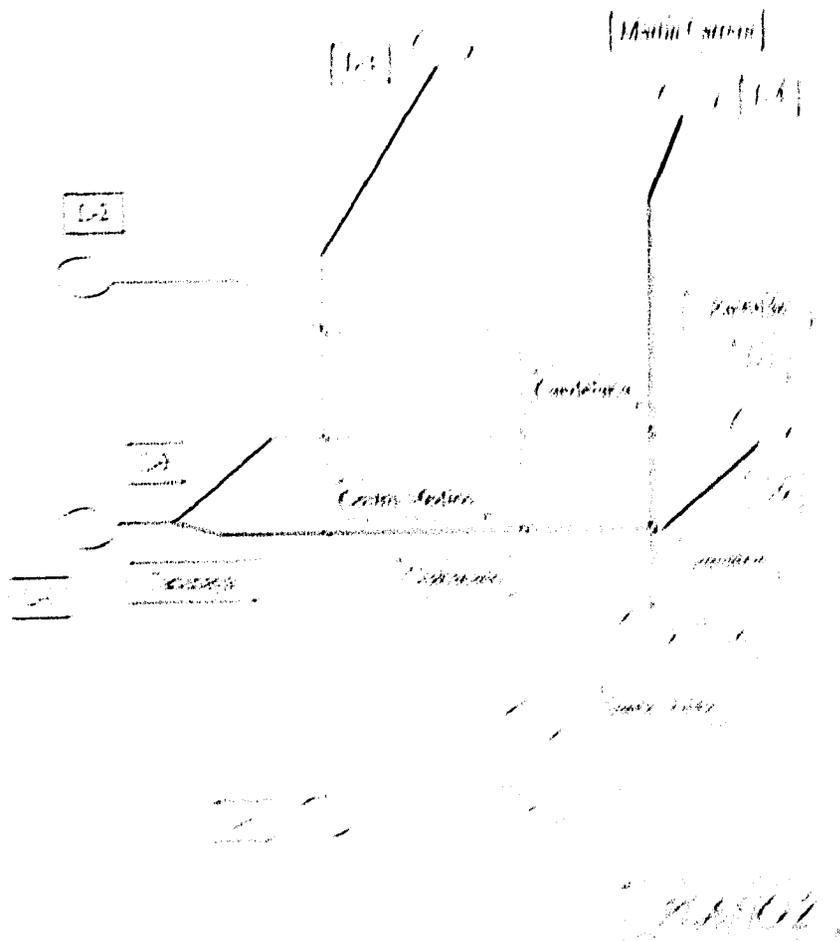
| | | |
|-----|------------------------------|--------------|
| • 3 | Tlaltelolco-Hospital Gral. | 20 nov. 1970 |
| • 1 | Juanacatlán-Tacubaya | 20 nov. 1970 |
| • 1 | Tacubaya-Observatorio | 20 nov. 1970 |
| • 3 | Tlaltelolco-La Raza | 25 ago. 1972 |
| • 2 | Pino Suarez-Taxqueña | 1 ago. 1978 |
| • 3 | La Raza-Indios Verdes | 1 dic. 1979 |
| • 3 | Hosp. Gral-Cen. Méd. | 7 jun. 1980 |
| • 3 | Centro Médico-Zapata | 25 ago. 1980 |
| • 4 | Martín Carrera-Candelaria | 25 ago. 1981 |
| • 5 | Pantillán-Cons. | 19 dic. 1981 |
| • 4 | Candelaria-Santa Anita | 26 may. 1982 |
| • 5 | Consulado-La Raza | 1 jul. 1982 |
| • 5 | La Raza-Politéc. | 30 ago. 1982 |
| • 3 | Zapata-Univers. | 30 ago. 1983 |
| • 6 | El Rosario-IMP | 21 dic. 1983 |
| • 1 | Pantillán-Zaragoza | 22 ago. 1984 |
| • 2 | Cuatro Caminos-Tacuba | 22 ago. 1984 |
| • 7 | Tacuba-Auditorio | 20 dic. 1984 |
| • 7 | Auditorio-Tacubaya | 23 ago. 1985 |
| • 7 | Tacubaya-Barranca del Muerto | 19 dic. 1985 |
| • 6 | IMP-Martín Carrera | 21 jun. 1986 |
| • 9 | Pantillán-Centro Médico | 26 ago. 1987 |

De esta forma pueden distinguirse tres tipos de líneas. El primero formado por las líneas 1, 2 y 3, tiene la característica de atravesar la ciudad de la periferia media a otro de características similares de ubicación, pasando precisamente por el Centro Histórico de la Ciudad (plano 1).

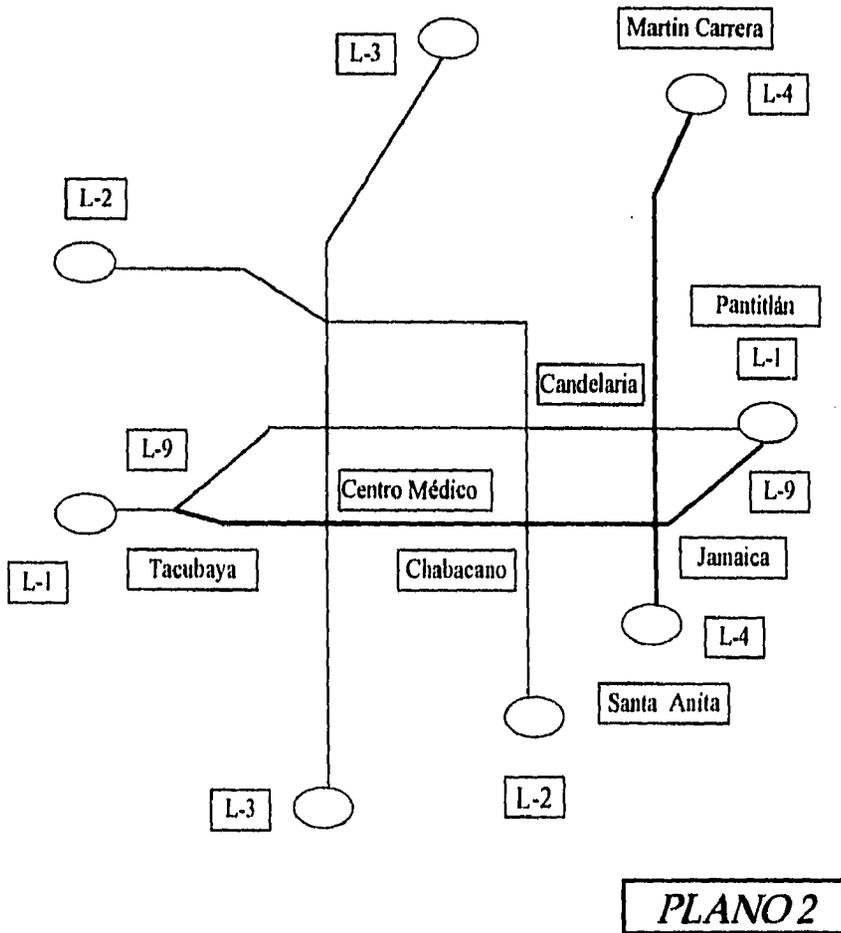


GENERALIDADES DEL SUELO MPIO

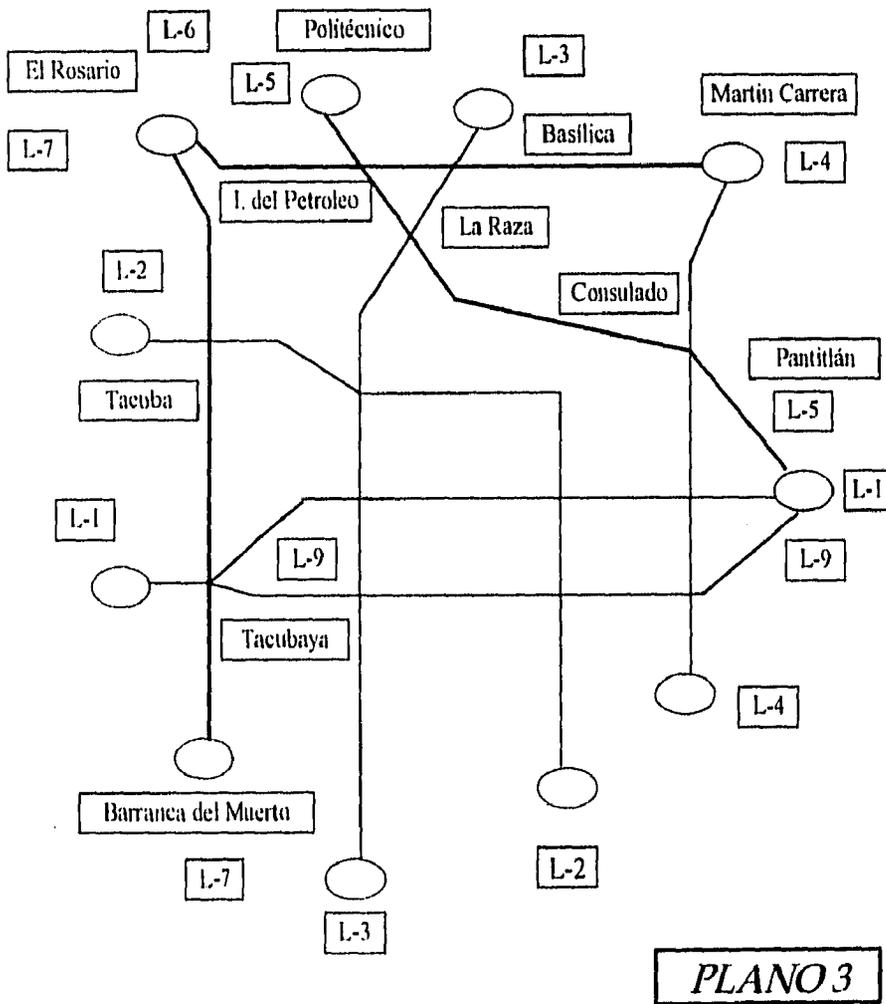
El segundo grupo está integrado en la actualidad por los lotes 4 y 5, los cuales se va de un punto de la periferia media a un punto estratégico para el desarrollo de la ciudad (plano 2)



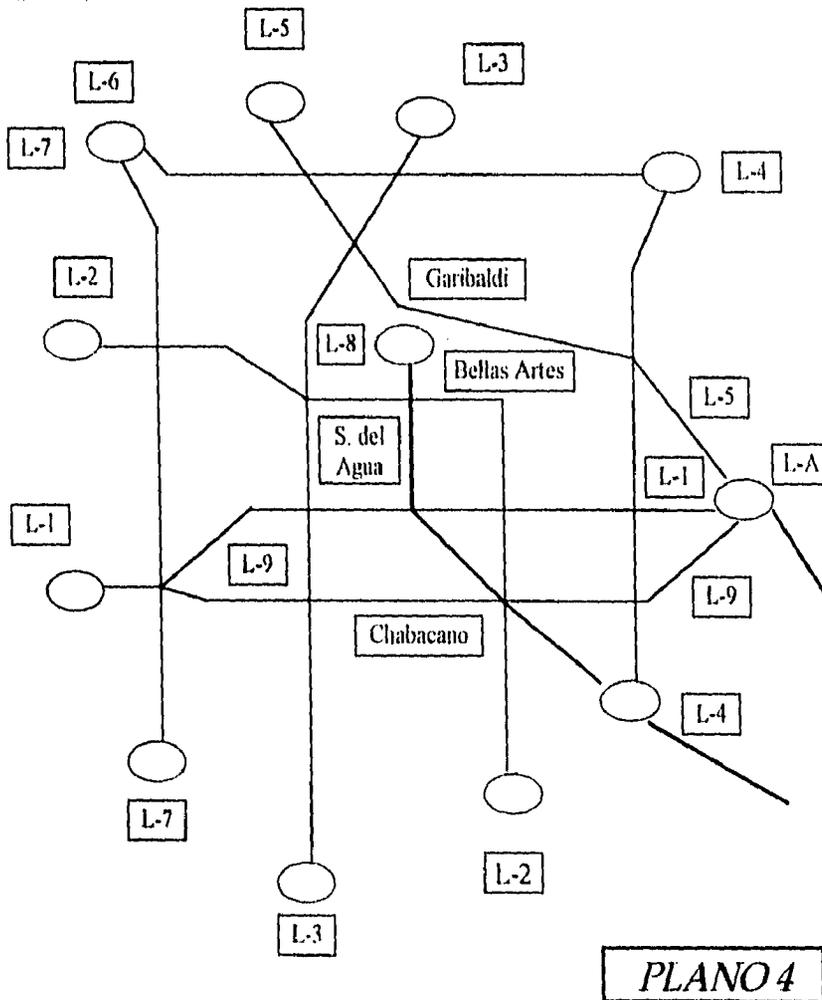
El segundo grupo está integrado en la actualidad por las líneas 4 y 9. Su recorrido va de un punto de la periferia media a un punto cercano pero no interno de la ciudad (plano 2).

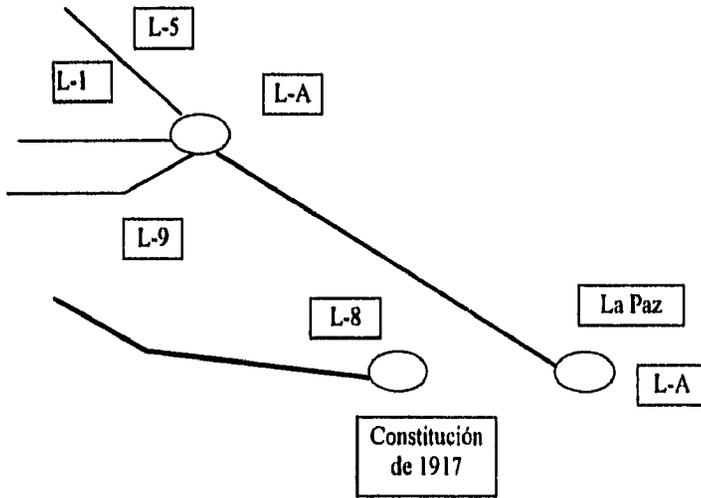


El tercer grupo de líneas está constituido por las líneas 5, 6 y 7. Estas líneas se ubican en las inmediaciones de Circuito Interior y conectan zonas de la periferia media (plano 3)



En la actualidad se planea un nuevo grupo de líneas que tienen la característica de intercomunicar al Estado de México con el Distrito Federal, estas se denotan por letras , como la línea A (que entró en funcionamiento en 1991) (plano 4).





PLANO 4

Así, actualmente en entrelazamiento de las líneas que constituyen el Metro de la Ciudad de México conforman un esquema fundamentalmente radial complementado con arcos de la periferia media.

TRANSPORTACIÓN

El STC constituye el medio más eficaz del transporte urbano.

La gran aceptación con que cuenta por parte de los habitantes de la Ciudad de México ha permitido, que en sus 23 años de servicio, se haya brindado atención a casi 22 millones de pasajeros, resultando una tasa media anual de crecimiento superior al 11%.

Durante 1993, el Metro atendió el desplazamiento de 1,421.6 millones de pasajeros en las 9 líneas de la red, con un promedio de 4,406,291 en días laborables. Ambas cifras son menores en un 1%, en relación con el volumen de pasajeros que utilizaron este servicio en 1992 que fue de 1,436.1.

Se estima que este comportamiento obedece, en gran medida, al actual esquema de transporte público en la zona metropolitana de la Ciudad de México, donde a partir de 1990 los servicios colectivos concesionados, específicamente en las combis y microbuses han crecido en forma significativa captando una parte de la demanda del transporte debido a los mínimos precios diferenciales y al trazo de sus rutas que tienen mayor cercanía al origen o destino de los usuarios.

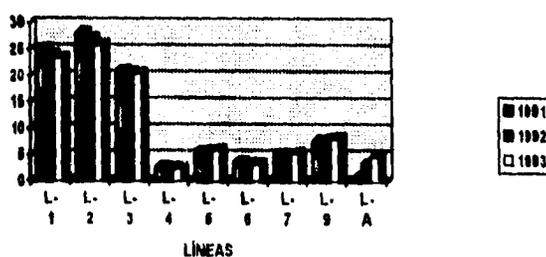
Además del hecho anterior, también influye la saturación que presentan las

líneas 1, 2 y 3, principalmente en las horas pico (5:00 a 10:00 y 17:00 a 21:00 hrs.), lo que ha propiciado que una parte de los usuarios opten por otros medios.

Con respecto a la distribución de usuarios de la red, la participación de las líneas 1, 2 y 3 tuvo una variación al disminuir el porcentaje de pasajeros transportados del 71.7% registrado en 1992 al 69.8% de 1993. Por su parte, las líneas 5, 7, 9 y "A" incrementaron su proporción del 22.4% al 24.4% en el mismo lapso, y las dos líneas (4 y 6) restantes mantuvieron niveles similares de participación en el número de usuarios atendidos con respecto a 1992.

En 1993 la línea que más contribuyó en la tarea de transportación fue la 2 con un equivalente del 25.9% del total.

PARTICIPACIÓN DE LAS LÍNEAS EN LA AFLUENCIA TOTAL



III . MARCO TEÓRICO

CONCEPTOS SOBRE CONFIABILIDAD

¿QUE ES LA CONFIABILIDAD?

En el lenguaje de uso cotidiano la palabra confiable (también conocida como fiable) se interpreta como algo con 100% de seguridad, pero en las matemáticas no es tan sencillo, esto involucra toda una teoría a veces difícil de entender y a la que normalmente no se da importancia en la vida diaria.

Si no existiera el análisis de confiabilidad o fiabilidad en productos electrónicos (televisores, radios, transistores, computadoras, etc.) ó mecánicos (manijas, poleas, bandas, etc.), ¿qué seguridad se tendría al comprar un aparato de que éste no falle a la primera?, sin embargo, aunque a alguna persona le ha ocurrido esto, el número de casos es mínimo, lo cual representa pocas pérdidas para el producto y confianza para el cliente.

Este análisis se vuelve mas estricto dependiendo de los fines a que se asigne, ya que lo mismo puede echar a perder el lanzamiento de un vuelo espacial como hacerlo todo un éxito.

Las siguientes definiciones van a aclarar un poco más lo que en el lenguaje técnico se entiende por confiabilidad:

- Es el proceso de pronosticar, basándose en la información disponible sobre las tasas de fallo.¹

- Es la probabilidad de que un sistema (artículo, aparato, equipo u organización) realice su propósito adecuadamente definido, por un tiempo específico bajo las condiciones de operación que se tengan.

Así pues, la confiabilidad se ha convertido en una herramienta indispensable en el desarrollo industrial y tecnológico, capaz de elevar la calidad de lo producido (siempre y cuando se aplique en un proceso), ahorrando costos innecesarios de fabricación.

Es razonable pensar que los esquemas de aparatos electromecánicos (objeto de esta investigación) no son fáciles de analizar ya que debido a la interacción existente entre los componentes, se requieren de métodos no muy generales que a menudo son muy teóricos.

El primer paso en el análisis de confiabilidad de un sistema es analizar al sistema y decidir la relación de los eventos componentes.

¹ Bertram L. Amstadter. Matemáticas de la fiabilidad, Barcelona, México Reverte, pp. 165

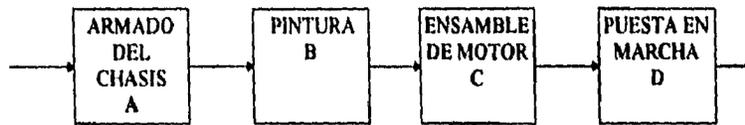
Para esto existen tres diferentes técnicas: modelos matemáticos, técnicas de simulación y el método de las cotas (determinación de valores límites)². El primer método es el más usado ya que casi todos los sistemas pueden describirse matemáticamente. Cuando un análisis matemático resulta muy complicado, se recurre a las técnicas de simulación en donde se realizan un gran número de cálculos iterativos sobre una base éxito/fallo.

En el caso del método de las cotas, es un medio para determinar valores límite dentro de los cuales se encuentra la confiabilidad de los componentes. Es tan seguro como el modelo matemático y sin ser tan complicado como el segundo.

Para el desarrollo del presente trabajo se utilizaron modelos matemáticos, los cuales reconocen 3 estructuras básicas que son: circuitos en serie, circuitos en paralelo y la combinación de ambos. Estas formas serán explicadas más adelante, pero antes de proseguir hay que establecer la nomenclatura y simbología a usar:

Al analizar los sistemas siempre es más fácil basarse en diagramas de bloques, en donde cada bloque representa una unidad del mismo, cabe recalcar que cada bloque es estocásticamente independiente. Aquí, por ejemplo, se utilizará un breve esquema de la producción de automóviles para tener una idea más clara de lo anteriormente dicho y ayudar a comprender la nomenclatura:

² Bertram L. Amstadler. Matemáticas de la Fiabilidad, Barcelona, México Reverte, pp. 183



- R=La confiabilidad del sistema. Cada bloque tiene una probabilidad tanto de éxito como de falla, por lo que confiabilidad del sistema se obtiene de análisis de la probabilidad de éxito, es decir, que el carro quede listo para venderse.
- F=Evento de que el sistema falle (Circuito abierto). Por algún motivo dentro de proceso el producto no sea terminado.
- F^c =Evento complemento de que el sistema no falle (Circuito cerrado). Sin contratiempos en la producción.
- F_x=Evento de que el bloque x este mal (disp. abierto). Que al pintar el auto no se logre la calidad requerida.
- F_x^c=Evento de que el bloque x este bien (disp. cerrado), Que el armado del chasis en particular este correcto.
- Q=La inconfiabilidad del sistema. Es la probabilidad de falla de todo el proceso, es decir, que el auto por algún motivo no este listo.

$$p_x = P\{ F_x^c \}$$

$$q_x = P\{ F_x \}$$

$$R = P\{ F^c \}$$

$$Q=P(F)=1-P(F^c)=1-R$$

Por lo tanto, ahora que ya se tiene una idea mas clara de la confiabilidad y su entorno, se realizará un reconocimiento a las estructuras básicas de los sistemas.

ESTRUCTURAS BÁSICAS DE LOS SISTEMAS.

SISTEMAS EN SERIE

Antes de definir formalmente lo que es un sistema en serie, sería prudente volver al ejemplo del diagrama del armado de los coches, en donde se puede ver como si algún elemento del proceso no esta bien, se interrumpe la cadena de la producción y el auto no esta terminado, esto en palabras es un sistema en serie.

De una manera formal se puede decir que para que la serie sea eficaz, cada uno de los elementos debe estar trabajando correctamente, por lo que estos sistemas se relacionan mediante el conector " y " (" \cap "), entonces el conjunto relación de interés es la ocurrencia conjunta de los eventos de los diferentes subexperimentos, bajo el supuesto de ser eventos independientes.

Es decir el conjunto de interés:

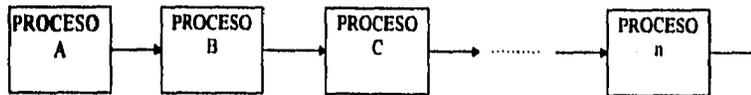
$$\{A\} = \{A_1, A_2, A_3, \dots, A_n\}$$

entonces el conjunto relación intersección es.

$$P(A) = P(A_1, A_2, A_3, \dots, A_n) = \prod_{i=1}^n p(A_i)$$

(Ley multiplicativa de probabilidad)

En bloques se representa como: ...



donde

$$x=1,2,3,4 \Rightarrow R= P (F^c)$$

$$= P(F_1^c, F_2^c, F_3^c, \dots, F_n^c)$$

$$= (P_1, P_2, P_3, P_4, \dots, P_n)$$

$$Q= P (F)$$

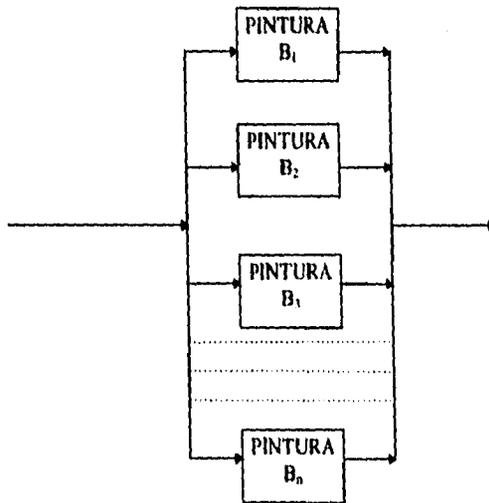
$$= 1 - P (F^c)$$

$$= 1 - (P_1, P_2, P_3, P_4, \dots, P_n)$$

SISTEMAS EN PARALELO

Retomando la analogía de proceso de producción de los autos, conoceremos otra configuración básica en el análisis de los componentes de un sistema, la conexión en paralelo.

Si en lugar de tener un solo un proceso de pintado se tiene varios, cuando uno de ellos falle no se detendrá la producción, si no que solo se tendrá que cambiar de lugar de trabajo sin tener que detener la fabricación de los coches como se muestra en la siguiente gráfica:



Este sistema funciona satisfactoriamente si uno ó mas de estos componentes funciona correctamente, ya que ningún elemento interfiere con otro.

La confiabilidad del sistema se calcula como:

$$R = P\{ F_1^c \cup F_2^c \cup F_3^c \dots \cup F_n^c \}$$

$$Q = P\{ F_1 F_2 F_3 \dots F_n \} = q_1 q_2 q_3 \dots q_n$$

$$R = 1 - Q = 1 - q_1 q_2 q_3 \dots q_n$$

$$R = P\{ F_1^c \cup F_2^c \cup F_3^c \dots \cup F_n^c \}$$

$$R = P\{ F_1^c \cup F_1 F_2^c \cup F_1 F_2 F_3^c \dots \}$$

La relación de los circuitos en paralelo es mediante el conector "o" ("U"), entonces el conjunto relación de la unión queda como:

$$(A) = \{ A_1 \cup A_2 \cup A_3 \cup \dots \cup A_n \} = \bigcup_{i=1}^n A_i$$

(Ley aditiva de probabilidad)

SISTEMAS SERIE-PARALELO

Pero, ¿que pasa en el caso de que se tenga un proceso de fabricación de autos con una estructura compleja, conformada por sistemas en serie y paralelo? El análisis se complica, pero se puede llegar a un buen resultado. La figura A.1. y A.2. muestran algunos de los casos más comunes de este tipo.

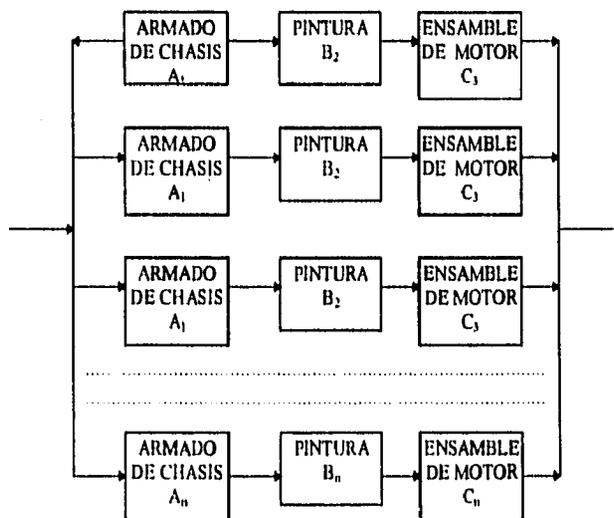


FIGURA A.1

En la figura A.1 se calcula primero la confiabilidad en serie y luego en paralelo quedando como sigue:

$$Q = P(F_1 \cup F_2 \cup F_3) \cap (F_1 \cup F_2 \cup F_3) \cap (F_1 \cup F_2 \cup F_3) \cap (F_1 \cup F_2 \cup F_3) \dots$$

$$= (q_1 + q_2 + q_3) \dots$$

En la figura A.2 se produce al revés

$$Q = (F_1 \cap F_2 \cap F_3) \cup (F_1 \cap F_2 \cap F_3)$$

$$= (q_1 \cdot q_2 \cdot q_3) + (q_1 \cdot q_2 \cdot q_3) \dots$$

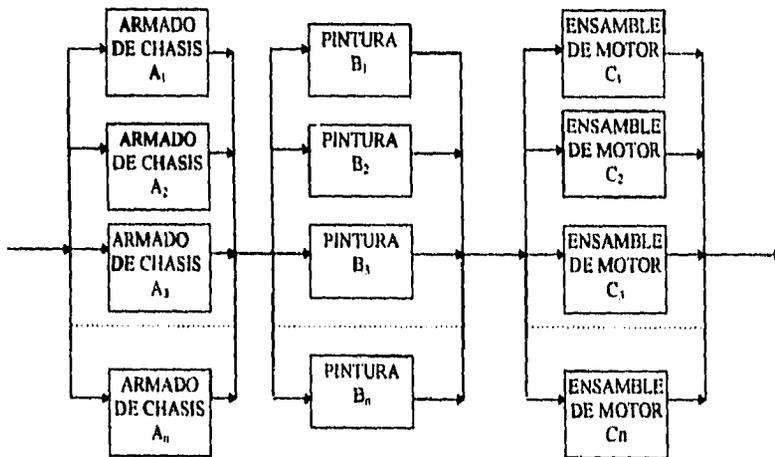


FIGURA A.2

¿QUÉ ES UNA FALLA?

FALLAS Y TIEMPO PROMEDIO DE FALLA

Para el estudio de un sistema se necesita tomar en cuenta su estado en un tiempo determinado, es decir, si opera o no correctamente en un instante dado.

Es necesario saber las condiciones de operación del equipo (atmosférica, si es de trabajo continuo o por intervalo, etc.) para poder fijar o establecer una tasa promedio de fallas en la cual basa los cálculos de la confiabilidad real del sistema operante.

Antes de seguir adelante es necesario comprender el concepto de falla:

Falla o avería: hecho después del cual el artículo, elemento, aparato, dispositivo o sistema, deja de cumplir total o parcialmente sus funciones.

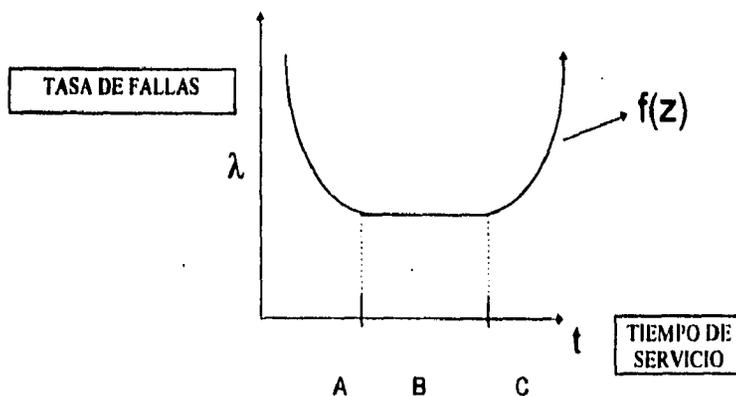
Las causas de una avería pueden ser por su origen de dos tipos: exógenas y endógenas: las primeras se asocian a características fuera del sistema y las segundas se asocian con ciertas características inherentes al sistema.

Las fallas pueden ser también clasificadas por una serie de índices, los principales de estos están señalados en la siguiente tabla:

MARCO TEÓRICO

| Índice de clasificación ³ | Tipo de fallo |
|--|--|
| Según el grado de la influencia en la capacidad de trabajo | Falla total Falla incompleta o parcial |
| Según el carácter físico de la aparición del fallo | Falla catastrófica Falla paramétrica |
| Según el carácter del proceso de aparición | Falla repentina Falla gradual |
| Según el tiempo de existencia del fallo | Falla estable Falla temporaria Falla alternante (intermitente) |
| Debido a otros fallos | Falla independiente Falla dependiente |

Intuitivamente el promedio de falla es el número de fallas ocurridas en un lapso de tiempo, denotado típicamente como λ . Para aclarar este concepto se puede observar la siguiente gráfica, que es un modelo general de la típica función real de vida, conocida como "la curva de tina de baño".



³ Sotkov, Boris Stepanovich, Fundamentos de la teoría y del cálculo de fiabilidad de elementos y dispositivos de automatización y técnica de cálculo, ed Mir, pp. 18

CAPÍTULO III

Donde:

$f(Z)$ = es llamada función promedio de fallas, las unidades de esta función son fallas por tiempo.

λ = promedio de fallas.

t = tiempo.

La región A corresponde al período de primeras fallas (mortalidad infantil) durante la depuración. Como esta depuración continúa, la tasa de riesgo baja.

La región B corresponde al tiempo de vida útil del componente. Durante este período las fallas son aleatorias y la tasa de función es constante, corresponde a un decremento en la función de densidad exponencial.

La fase C corresponde a la fase de fatiga, durante la cual la tasa de riesgo se incrementa rápidamente con el tiempo.

Para obtener la función promedio de falla $z(t)$ partimos de:

$$R(t) = \frac{N_o(t)}{N} = \frac{N_o(t)}{N_o(t) + Nf(t)}$$

donde:

$N_o(t)$ = Componentes en funcionamiento en el tiempo t

$Nf(t)$ = Componentes que fallaron en el tiempo t

$N = N_o(t) + Nf(t)$

La inconfiabilidad:

$$Q(t) = \frac{N'(t)}{N} = \frac{N'(t)}{N_0(t) + N'(t)}$$

$$R(t) = 1 - Q(t)$$

⇒

$$R(t) + Q(t) = \frac{N_0(t) + N'(t)}{N_0(t) + N'(t)}$$

sustituyendo :

$$R(t) = 1 - \frac{N'(t)}{N}$$

derivando con respecto al tiempo:

$$\frac{\partial R(t)}{\partial t} = - \frac{1}{N} \frac{\partial N'(t)}{\partial t}$$

$$\lambda = \frac{\partial N R(t)}{\partial t} = - \frac{N \partial R(t)}{\partial t}$$

En un tiempo t hay $N_o(t)$ componentes operando, dividiendo $\frac{\partial Y(t)}{\partial t}$ por

$N_o(t)$ nosotros obtenemos la función promedio de falla:

$$z(t) = -\frac{1}{N_o(t)} \frac{\partial Y(t)}{\partial t}$$

Para obtener el grado de confiabilidad partimos de la función promedio de falla:

$$z(t) = \frac{1}{N_o(t)} \frac{\partial Y(t)}{\partial t} = \frac{N}{N_o(t)} \frac{\partial R(t)}{\partial t}$$

Pero si se recuerda que:

$$R(t) = \frac{N_o(t)}{N}$$

⇒

$$\frac{N}{N_o(t)} = \frac{1}{R(t)}$$

∴

$$\lambda = -\frac{1}{R(t)} \frac{\partial R(t)}{\partial t}$$

$$\lambda \partial(t) = -\frac{\partial R(t)}{R(t)}$$

$$\int_0^t \lambda \partial(t) = -\int_1^R \frac{\partial R(t)}{R(t)} = -\ln R(t)$$

$$\ln R(t) = -\int_0^t \lambda \partial(t)$$

Resolviendo para $R(t)$ y conociendo que $t=0$, $R(t)=1$ nosotros obtenemos

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda \partial(t)} = \exp\left[-\int_0^t \lambda \partial(t)\right]$$

Si se especifica que λ es constante el exponente se cambia :

$$-\int_0^t \lambda \partial(t) = -\lambda t$$

⇒

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

entonces la confiabilidad es conocida como la función exponencial del parámetro λ , siempre y cuando el porcentaje de falla sea constante (fase B). Sin embargo si nos encontramos en alguna de las otras fases A ó C, el promedio de fallas varía en el tiempo conforme a la siguiente expresión:

$$\lambda(t) = \exp((k)(t))$$

Es necesario tomar en cuenta que esta distribución no engloba la totalidad de los eventos que podrían darse, pero facilita el tratamiento de situaciones más generales, además de que es la única con la propiedad de falta de memoria.

El tiempo promedio de falla (TPDF) es el tiempo esperado que el sistema podría operar antes de que ocurra la primera falla denotado por:

$$TPDF = \sum_{i=1}^N \frac{t_i}{N} = \frac{1}{\lambda}$$

donde:

t_i = tiempo de trabajo correcto del i -ésimo elemento

N = número de elementos de lote que se experimenta.

MARCO TEÓRICO

El tiempo promedio de reparación (TPDR) es el promedio de tiempo para reparar el sistema, cabe mencionar que este es muy difícil de estimar y se obtiene mediante experimentación de un conjunto de fallas.

$$TPDR = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{N} = \frac{1}{\mu}$$

donde μ = número de reparaciones en cierta unidad de tiempo. (Reparaciones por hora)

LA CONFIABILIDAD Y LOS PROCESOS ESTOCÁSTICOS

CONCEPTOS

Antes de entrar a la teoría de los modelos de confiabilidad es necesario tener nociones de algunos conceptos importantes en el desarrollo de éstos, especialmente de lo que corresponde a procesos estocásticos.

Un proceso estocástico se define como: Sea X_t ó $X(t)$ una variable aleatoria que representa el estado de un sistema en el momento t , donde al conjunto de valores que toma t se le conoce como espacio paramétrico y al conjunto de valores que toma X_t se le llama espacio de estados.

Además, es conveniente recordar que un Proceso de Markov es un sistema estocástico para el cual la ocurrencia de un estado futuro depende del estado inmediatamente anterior y únicamente de él, es decir:

$$P\{\xi T_n = X_n / \xi T_{n-1} = X_{n-1}, \dots, \xi T_0 = X_0\} = P\{\xi T_n = X_n / \xi T_{n-1} = X_{n-1}\}$$

Por otro lado, Matriz de transición o matriz estocástica es aquella cuyos elementos o componentes son las probabilidades de transición p_{ij} , donde los

renglones corresponden a los estados de origen y las columnas a los del destino, esta matriz es, por lo tanto de $N \times N$, donde N es el número de estados. Las probabilidades p_{ij} deben satisfacer las condiciones siguientes:

$$\sum_j p_{ij} = 1 \quad \text{para toda } i$$

$$p_{ij} \geq 0 \quad \text{para toda } i \text{ y toda } j$$

Sea π_t el vector que contiene las probabilidades de que el sistema se encuentre en cada uno de los estados posibles en el momento t , es decir:

$$\pi_t = [P(X_t = E_1), P(X_t = E_2), \dots, P(X_t = E_N)]$$

donde N =número de estados en S .

Una vez definidos estos conceptos fundamentales, pasaremos a los modelos de confiabilidad en los cuales se usarán los procesos estocásticos y en particular los procesos de Markov, como herramientas esenciales.

MODELOS DE CONFIABILIDAD

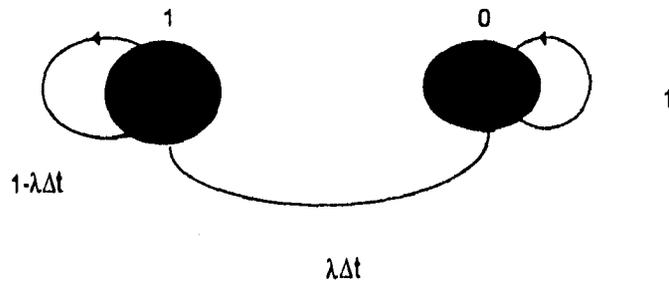
Como se ha visto la confiabilidad de un sistema depende de muchos factores y poder representarla adecuadamente sin ser superficial es bastante difícil sin contar con el tiempo que nos llevaría diseñarlo y probarlo (lo cual resultaría bastante pesado).

Pero no hay que preocuparse tanto, ya que existen dos técnicas de análisis: la combinatoria y la de Markov.

Para el análisis del sistema se utilizará el segundo ya que el primero se complica mucho con los sistemas grandes (los bloques y la ecuación de confiabilidad pueden ser bastante complejos). Además de ser difícil modelar el proceso de reparación que usualmente se da en los sistemas, por esta razón usaremos los modelos de Markov.

Entonces, si representamos la transición de un estado a otro, en un ejemplo de 2 estados

MARCO TEÓRICO



Utilizando la matriz de transición:

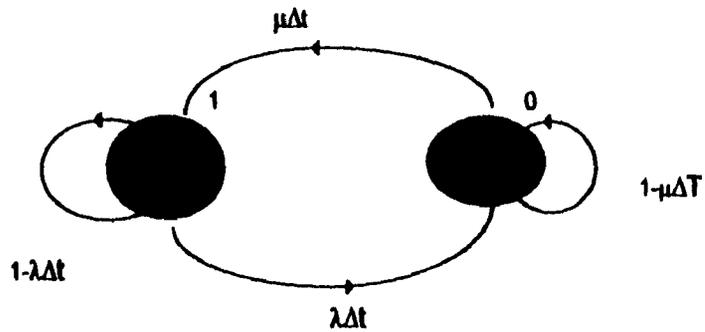
ESTADO INICIAL

$$\text{ESTADO FINAL} \quad P^t = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 - \lambda\Delta t & 0 \\ \lambda\Delta t & 1 \end{bmatrix}$$

el modelo es:

$$\begin{bmatrix} P_1(A_t) \\ P_0(A_t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - \lambda\Delta t & 0 \\ \lambda\Delta t & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Ahora en un modelo de mantenimiento, se representa como el diagrama siguiente:



quedando la matriz de transición:

$$\begin{array}{c}
 \boxed{\text{ESTADO INICIAL}} \\
 \\
 \boxed{\text{ESTADO FINAL}} \quad P^t = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1-\lambda\Delta t & \mu\Delta t \\ \lambda\Delta t & 1-\mu\Delta t \end{bmatrix}
 \end{array}$$

\Rightarrow

$$\begin{bmatrix} P_1(\Delta t) \\ P_0(\Delta t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1-\lambda\Delta t & \mu\Delta t \\ \lambda\Delta t & 1-\mu\Delta t \end{bmatrix}^n \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Se pueden representar tantos casos diferentes y complicados como se quiera.

SERIES DE TIEMPO

NOCIONES

A través del tiempo la experiencia que adquirimos nos enseña muchas cosas, por ejemplo, no tomar las cosas a la ligera, no invertir en la bolsa de valores si el país está en crisis, tener cuidado al cruzar la calle, etc., ya que no es necesario ser experto para pronosticar que de todo lo anterior saldrá un desastre. En cambio, hay eventos que son difíciles y necesarios de conocer: la venta de un nuevo modelo de zapato, comportamiento de fallas de un aparato electrónico, la producción aproximada de maíz, la temperatura mensual, etc. Para todo esto se necesita conocer el fenómeno y realizar un análisis que nos pueda decir que es lo que probablemente suceda corriendo el mínimo de riesgo.

Con lo anterior se resalta la importancia de la secuencia ordenada de observaciones mejor conocida como serie de tiempo. Las series de tiempo ocurren en una gran variedad de campos: económicos, agrícolas, en los negocios, en la ingeniería, etc.. inclusive en las Ciencias Sociales, la lista de áreas es muy grande.

Una serie de tiempo bien analizada nos puede ayudar a pronosticar la venta del nuevo modelo de zapato, fallas de un aparato electrónico, la producción de maíz etc..

Hay que tomar en cuenta que las observaciones en una serie están relacionadas o son dependientes, y el orden de estas es muy importante. Por lo tanto es necesario manejar una técnica que no sobrepase los puntos anteriores ya que de esto depende la eficiencia del pronóstico.

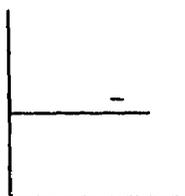
Una serie de tiempo tiene 4 componentes fundamentales:

1. Tendencia.
2. Ciclos.
3. Variación estacional
4. Fluctuaciones irregulares.

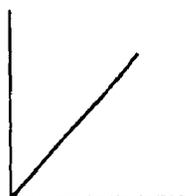
1. Tendencia.- Es el comportamiento sistemático de los datos esta puede ser creciente, descendente o constante

Estas tendencias pueden darse por varios factores como:

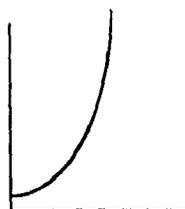
- Cambios tecnológicos en la industria.
- Incremento en la población.
- Inflación.



Tendencia constante



Tendencia creciente



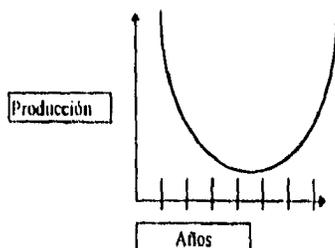
Tendencia exponencial creciente



Tendencia exponencial decreciente

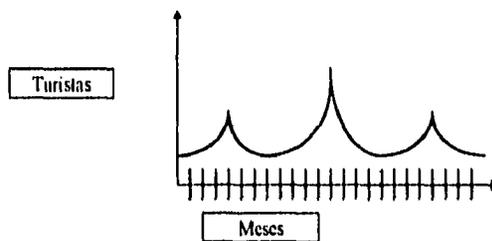
2. Ciclos.- Es un comportamiento periódico o repetitivo con periodos mayores a un año.

Un ejemplo de estos ciclos es el "ciclo económico", representado por las fluctuaciones en el tiempo causadas por los periodos recurrentes de prosperidad y recesión.



3. Variación estacional.- Es el comportamiento periódico o repetitivo con un periodo de un año como máximo.

Ejemplos de estos son los periodos vacacionales de Semana Santa y Navidad que año con año se repiten.

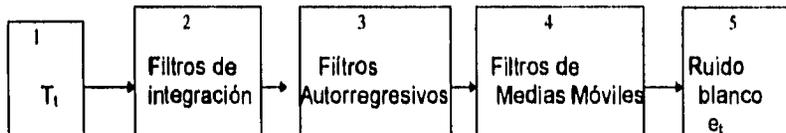


4. Fluctuaciones irregulares.- Son aquellos movimientos erráticos en una serie de tiempo que no siguen ningún patrón regular. Estas fluctuaciones son causadas por eventos "inusuales" que no pueden ser pronosticadas : temblores, accidentes, huracanes, guerras.

Estas fluctuaciones también pueden ser causadas por error por parte del analista, al realizar la captura de los datos.

METODOLOGÍA BOX-JENKINS.

Para lograr los objetivos de esta investigación se utilizará la metodología Box-Jenkins la cual consiste en extraer los movimientos predecibles de los datos observados. Es necesario ajustar la serie de tiempo a un modelo matemático ARIMA (modelo autorregresivo con medias móviles y con diferencias consecutivas y estacionales), lo cual se logrará mediante el uso de 3 filtros lineales, precisamente porque la filosofía del método consiste en detectar las distintas componentes usando los filtros correspondientes, hasta obtener residuales no predecibles cuyo comportamiento tiene poca influencia en el resultado final⁴ :



Los objetivos de los filtros son:

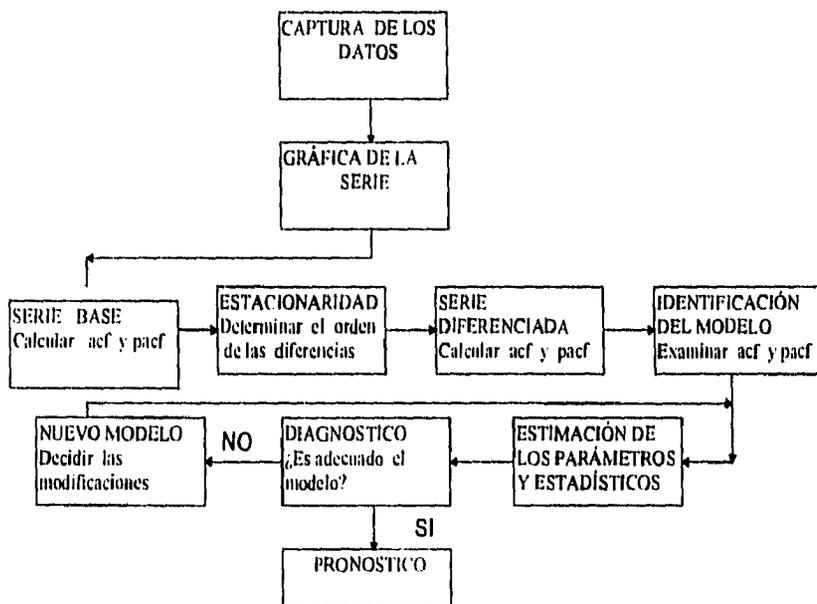
- Con el primero se logra una serie estacionaria para ajustar a un modelo ARMA (modelo autorregresivo con medias móviles) (2).
- Con el segundo se permite explicar a las variables en función de sus valores anteriores en el tiempo (3).

⁴ Para mayor referencia al método y su desarrollo ver González Videgaray M. Modelos de decisión con Procesos Estocásticos II (Metodología Box-Jenkins) U.N.A.M. 1990

MARCO TEÓRICO

- Con el tercero se permite explicar a la variable a través de choques o variaciones aleatorias, es decir, variables aleatorias sucesivas en el tiempo. (4).
- Los residuales son variables aleatorias idénticamente distribuidas como $N(0, \sigma^2)$ mejor conocido como ruido blanco (5).

A continuación se presenta un diagrama secuencial del método:



Donde acf es la función de la autocorrelación que mide la correlación entre una variable aleatoria $X(t)$ y una misma variable pero k unidades de tiempo antes o después y $pacf$ es la función parcial de autocorrelación que mide el exceso de correlación, es decir, verifica si la inclusión de una siguiente variable mejora el ajuste del modelo.

Cabe recalcar que es necesaria la experiencia del analista tanto en el desarrollo del pronóstico como del fenómeno, para lograr un modelo final, sencillo y bueno, capaz de satisfacer las necesidades planteadas.

IV ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El S.T.C. (Metro) tiene en las líneas 1, 2 y 3 la mayor afluencia de usuarios que en el resto del sistema, por lo que el uso de los torniquetes es más consistente en estas áreas, produciéndose un desgaste mayor en el equipo.

En el organigrama laboral existe un departamento, conocido como "peaje", que se encarga de las composuras y mantenimiento de estos aparatos; dicho departamento se encuentra dividido en dos bases¹, situadas en las estaciones Jamaica y Chabacano, la primera se encarga de las líneas 1, 4, 5 y 6; mientras que la segunda de las líneas 2, 3, 7 y 9. Se trabaja en dos turnos: mañana y tarde, contando con un número de 16 técnicos en Chabacano y 12 en Jamaica en cada turno por base, dando un total de 56 en todo el departamento.

Para poder prestar atención a cada línea sin descuidar alguna estación se reparte el personal de la siguiente manera en un turno :

| CHABACANO | JAMAICA |
|----------------|----------------|
| L-2 8 PERSONAS | L-1 5 PERSONAS |
| L-3 6 PERSONAS | L-4 2 PERSONAS |
| L-7 3 PERSONAS | L-5 2 PERSONAS |
| L-9 2 PERSONAS | L-6 2 PERSONAS |

Tabla de distribución de personal

¹ Mejor conocidas como permanencias

Más una persona en la permanencia que recibe los reportes. (Claramente se ve que las líneas 1, 2 y 3 reciben mayor atención que las 5 restantes.)

Para facilitar las labores de los técnicos, cada línea se divide en tramos es decir, por lo general se divide a la mitad y en algunas ocasiones en 3 como en las líneas 1, 2 y 3.

En dichas líneas (1, 2, 3) deben de existir 3 técnicos de mantenimiento y 2 técnicos de línea: el técnico de mantenimiento (o de alta categoría) se encarga únicamente de dar mantenimiento al equipo, por lo general tiene de 21 a 33 torniquetes a su cargo, mientras que el técnico de línea (o de baja categoría), se dedica a las fallas de día, más 1 ó 2 mantenimientos de limpieza (mucho más sencillos que el preventivo) dependiendo la línea donde se encuentre.

Debemos aclarar que el mantenimiento preventivo es cíclico y sufre cambios o atraso cuando falta personal de línea y el personal de mantenimiento tiene que cubrir el tramo.

En las líneas 4, 5, 6, 7, 8 y 9 actualmente el personal es menor debido a que el equipo es mucho mas nuevo y son líneas menos conflictivas que las demás.

En el caso de este trabajo se realizará el análisis para las estaciones Cuatro Caminos (CCA) y Zócalo (ZOC) debido a 3 razones fundamentales :

CAPÍTULO IV

- La información para este trabajo fue proporcionada por la permanencia Chabacano.
- Entre las líneas y estaciones que se manejan los casos CCA y ZOC son muy interesantes por la variedad de fallas que presentan y la gran afluencia de usuarios.
- La cooperación de los técnicos que trabajan en dichas estaciones favorece la realización de este estudio.

Por lo que de aquí en adelante se presentan datos únicamente de la permanencia de Chabacano (líneas y estaciones especificadas) y el equipo especificado torniquetes unitarios²

La repartición de estaciones que Chabacano maneja con respecto a L-2 es la siguiente:

- En el turno de la mañana se cubren:

| TRAMO 1 | TRAMO 2 | TRAMO 3 |
|------------|--------------|----------------|
| TASQUEÑA | PINO SUAREZ | REVOLUCIÓN |
| GRAL ANAYA | ZÓCALO | PANTEONES |
| ERMITA | BELLAS ARTES | CUATRO CAMINOS |
| CHABACANO | SAN COSME | |

Distribución de estaciones por tramo en el turno de la mañana

² Esto es por que los aparatos de abono presentan otras características diferentes

- En el turno de la tarde:

| TRAMO 1 | TRAMO 2 | TRAMO 3 |
|------------|-----------------|----------------|
| TACUBA | PORTALES | HIDALGO |
| CUITLAHUAC | NATIVITAS | ALLENDE |
| POPDTLA | VILLA DE CORTES | SAN ANTONIO A. |
| NORMAL | XOLA | VIADUCTO |
| COLEGIOM. | | |

Distribución de estaciones por tramo en el turno de la tarde

Se puede observar que en cada tramo en la mañana se encuentra:

- 1 estación con afluencia alta 2 con regular y 1 de baja.
- 1 estación " " " " " " 1 " " " " " 2 " " "
- 1 estación " " " " " " 1 " " " " " 1 " " "

Según las políticas del departamento se deben de cubrir en 11 días 21 torniquetes.

Todo lo anterior prueba que esta es una empresa organizada y compleja, donde no se pueden dar el lujo de dejar muchas fallas por la importancia que el equipo tiene para el sistema, por lo tanto, el poder realizar un análisis de las políticas de mantenimiento que el S.T.C. practica en sus torniquetes, valiéndonos de la teoría de la confiabilidad, determinará si estas son las correctas o si es necesario buscar otra alternativa. Para este fin se analizarán los casos CCA y ZOC. (Por las razones antes expuestas.)

DESARROLLO

Después de realizar un análisis estadístico (Apéndice B) las fallas que los torniquetes presentan se pueden clasificar en 3 categorías:

- Fallas electrónicas
- Fallas mecánicas
- Fallas de ambos

De esta forma se puede determinar que el sistema se encuentra en serie, ya que de la falla de alguno de estos componentes no se obtiene el mismo resultado, representado en bloques queda como sigue:



El primer paso es conocer el número de horas efectivas de servicio de los torniquetes de línea 2:

| Día | Horario | Horas efectivas de servicio |
|---------|--------------------|-----------------------------|
| VIERNES | 5 A.M. -12:30 A.M. | 19:30 X OIA |
| SÁBADO | 6 A.M. -1:30 A.M. | 19:30 X OIA |
| DOMINGO | 7 A.M. -12:30 A.M. | 17:30 X OIA |

Horas efectivas de servicio

ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD

Dando por semana un total de 134:30 hrs .

En el tiempo que se realizó el muestreo (8 meses) hubo :
34 semanas, 4 días hábiles y 1 domingo, que sumados dan un total de 4668 hrs,
30 min.

Para poder trabajar en las mismas unidades se realiza la siguiente
conversión:

$$4668 \text{ hrs, } 30 \text{ min} = 4668.5$$

Este análisis se realizó mes por mes resultando:

| | ENERO | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE |
|---|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|
| A | 594.3 | 538 | 596.3 | 594.3 | 594.3 | 577 | 594.3 | 596.3 | 577 |
| B | | | | | | | | | |
| C | | | | | | | | | |
| E | | | | | | | | | |
| F | | | | | | | | | |
| G | | | | | | | | | |
| H | | | | | | | | | |
| I | | | | | | | | | |

Horas de servicio efectivo por mes

Ahora en cada mes las fallas se suscitaron de la siguiente manera:

| CLASIFICACION | TIPO | RECURSOS | PLAZO | FAVORABLE | DEFECTOS |
|---------------|------|----------|-------|-----------|----------|
| A | 28 | 43 | 3 | 7 | 74 |
| B | 28 | 83 | 2 | 7 | 113 |
| C | 30 | 35 | 0 | 5 | 65 |
| E | 34 | 35 | 1 | 8 | 70 |
| F | 28 | 39 | 1 | 5 | 68 |
| G | 35 | 36 | 0 | 3 | 71 |
| H | 40 | 40 | 1 | 7 | 81 |
| I | 32 | 41 | 2 | 4 | 75 |

Tabla de fallas por mes

Obteniendo el T.P.D.F. (tiempo promedio de falla) de cada mes :

$$\lambda_A = 0.14802$$

$$\lambda_B = 0.25464$$

$$\lambda_C = 0.12740$$

$$\lambda_E = 0.14802$$

$$\lambda_F = 0.13518$$

$$\lambda_G = 0.14129$$

$$\lambda_H = 0.16093$$

$$\lambda_I = 0.15771$$

ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD

En total de 8 meses:

$$\lambda_r = 0.15808$$

En el caso CCA (Cuatro Caminos) se registraron 143 fallas de las cuales hubo:

- 10 falsas alarmas
- 9 pendientes

dando un total de 124 fallas reales. (para checar mejor lo anterior se presenta la siguiente tabla de desglose por mes)

| MES | F. MEC | F. ELÉCT. | F. AMBAS | TOTAL | T.P.D.F. |
|--------------|--------|-----------|----------|-------|-----------------------|
| A | 3 | 14 | 1 | 18 | $\lambda = 0.0302775$ |
| B | 2 | 12 | 1 | 15 | $\lambda = 0.0278810$ |
| C | 1 | 9 | 0 | 10 | $\lambda = 0.016764$ |
| D | 0 | 16 | 0 | 16 | $\lambda = 0.026913$ |
| E | 3 | 11 | 0 | 14 | $\lambda = 0.024263$ |
| F | 6 | 13 | 0 | 19 | $\lambda = 0.031959$ |
| G | 3 | 18 | 0 | 21 | $\lambda = 0.035205$ |
| H | 5 | 6 | 0 | 11 | $\lambda = 0.019064$ |
| TOTAL | 23 | 99 | 2 | 124 | $\lambda = 0.0265609$ |

Tabla de fallas por mes de la estación Cuatro Caminos

El T.P.D.F. en piezas mecánicas

$$\lambda = 0.00492663$$

CAPÍTULO IV

El T.P.D.F. en piezas electrónicas

$$\lambda = 0.0212059$$

El T.P.D.F producto de ambas

$$\lambda = 0.0004284$$

por lo tanto la línea de torniquetes tiene un T.P.D.F de

$$\lambda = 0.0265609$$

Para obtener la confiabilidad en una semana de la línea de torniquetes se utiliza:

$$R(t) = \exp(-\lambda)(t)$$

Sustituyendo:

$$R(134.5) = \exp(-0.0265609)(134.5) = 0.02808720$$

En el análisis mes por mes:

a) $R_A(134.5) = 0.017037751$

b) $R_B(134.5) = 0.023517875$

c) $R_C(134.5) = 0.10489892$

d) $R_D(134.5) = 0.026788$

e) $R_E(134.5) = 0.0382570$

f) $R_G(134.5) = 0.013589124$

ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD

g) $R_H(134.5)=0.008781812$

h) $R_i(134.5)=0.0769878$

En el análisis por torniquete (por bloques):

| MES | F. MEC | F. ELEC | F. OBRAS | TOTAL | λ |
|---------|--------|---------|----------|-------|----------------------|
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | $\lambda = 0.00149$ |
| 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | |
| 3 | 0 | 0 | 1 | 1 | |
| 4 | 1 | 2 | 0 | 3 | $\lambda = 0.002704$ |
| 5 | 0 | 3 | 0 | 3 | |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 7 | 1 | 2 | 0 | 3 | $\lambda = 0.00142$ |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 9 | 1 | 0 | 0 | 1 | |
| 10 | 0 | 1 | 0 | 1 | $\lambda = 0.00142$ |
| 11 | 0 | 1 | 0 | 1 | |
| 12 | 0 | 2 | 0 | 2 | $\lambda = 0.00170$ |
| 13 | 0 | 3 | 0 | 3 | |
| 14 | 0 | 1 | 0 | 1 | $\lambda = 0.00142$ |
| 15 | 1 | 0 | 0 | 1 | |
| 16 | 1 | 9 | 3 | 13 | $\lambda = 0.00700$ |
| 17 | 2 | 11 | 3 | 16 | |
| 18 | 0 | 2 | 0 | 2 | |
| 19 | 0 | 1 | 0 | 1 | $\lambda = 0.001027$ |
| 20 | 1 | 2 | 0 | 3 | |
| 21 | 1 | 1 | 0 | 2 | $\lambda = 0.002704$ |
| 22 | 0 | 1 | 0 | 1 | |
| 23 | 0 | 1 | 0 | 1 | |
| 24 | 0 | 2 | 0 | 2 | |
| TOTALES | 23 | 99 | 2 | 124 | |

Análisis de la estación Cuatro Caminos torniquete por torniquete

CAPÍTULO IV _____

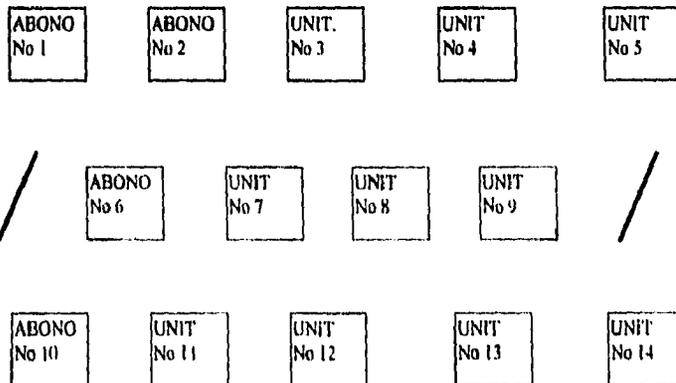
De lo que concluimos que nuestra confiabilidad por línea en ocho meses y por mes baja considerablemente (claro, sin tomar en cuenta el mantenimiento que se le da), ya que el mantenimiento actúa como control.

Esto lo podemos justificar fácilmente si revisamos las fallas que se susciten en una semana. Por ejemplo:

En la semana del 9 al 15 de enero se presentaron :

| DÍA | FALLAS |
|-----------|--------|
| Domingo | 0 |
| Lunes | 1 |
| Martes | 3 |
| Miércoles | 0 |
| Jueves | 0 |
| Viernes | 0 |
| Sábado | 1 |

Dando un total de 5 fallas, que si se dejaran así pararian parcialmente la estación ya que esta se compone de 14 torniquetes (10 unitarios y 4 abonos) distribuidos de la siguiente manera:



Imaginar 5 torniquetes (unitarios) funcionando para una estación que tiene de entrada aproximada a la semana de 1,228,087 de personas, es una locura.

Tomando en cuenta torniquete por torniquete en el mismo lapso de tiempo, la confiabilidad queda como sigue:

$$R_3(134.5)=0.817409$$

$$R_4(134.5)=0.687668$$

$$R_5(134.5)=0.749687$$

$$R_7(134.5)=0.917274$$

$$R_8(134.5)=0.668157$$

$$R_9(134.5)=0.749687$$

$$R_{11}(134.5)=0.707749$$

$$R_{12}(134.5)=0.386491$$

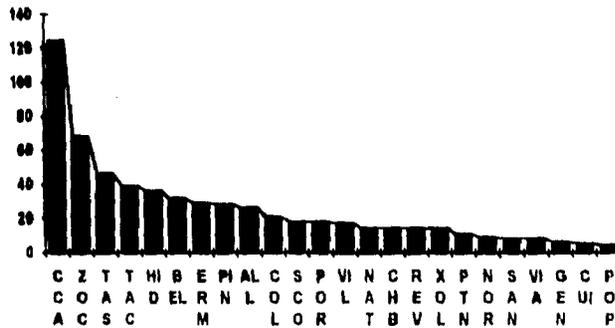
$$R_{13}(134.5)=0.771682$$

$$R_{14}(134.5)=0.687668$$

Analizando bloque por bloque (3-5, 7-9, 11-14) se puede concluir que se encuentran en un estado estable en promedio; a excepción del número 12, cada elemento por separado también tiene una confiabilidad aceptable³.

³ Ver apéndice C donde se realiza un análisis en particular de dicho aparato.

FALLAS POR ESTACIONES

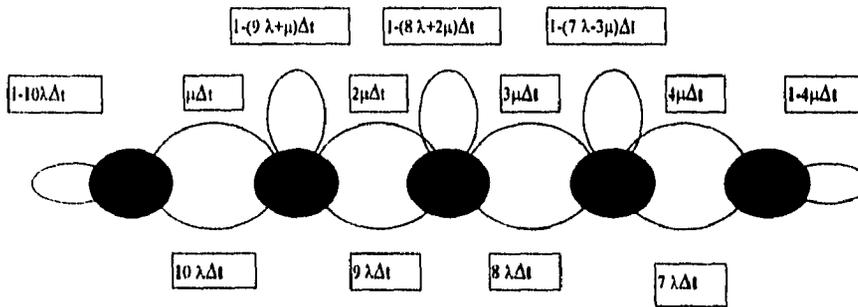


Para representar el sistema de línea utilizaremos una cadena de Markov ya que como se mencionó en el capítulo pasado es más fácil realizar el modelado además de que dicha técnica permite conocer adecuadamente la evolución del sistema con respecto al tiempo.

Para este caso se tomará en cuenta que al fallar más de 3 torniquetes el sistema no funcionara adecuadamente.

La tasa de mantenimiento se obtiene en base a que el mantenimiento de los 14 aparatos (abonos y unitarios), más otros 7 aparatos⁴ tarda en repetirse o dar vuelta completa al ciclo en dos semanas (269 hrs)

⁴ Recordar que a cada técnico le tocan 2 estaciones, por lo regular una de alta afluencia con una de baja o una de alta con una de media



| | 10 | 9 | 8 | 7 | 0 |
|----|-------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------|
| 10 | $1 - 10\lambda\Delta t$ | $\mu\Delta t$ | 0 | 0 | 0 |
| 9 | $10\lambda\Delta t$ | $1 - (9\lambda + \mu)\Delta t$ | $2\mu\Delta t$ | 0 | 0 |
| 8 | 0 | $9\lambda\Delta t$ | $1 - (8\lambda + 2\mu)\Delta t$ | $3\mu\Delta t$ | 0 |
| 7 | 0 | 0 | $8\lambda\Delta t$ | $1 - (7\lambda + 3\mu)\Delta t$ | $4\mu\Delta t$ |
| 0 | 0 | 0 | 0 | $7\lambda\Delta t$ | $1 - 4\mu\Delta t$ |

Los estados de la cadena de Markov representan el número de torniquetes que se encuentran funcionando. Por ejemplo el estado 8 significa que de 10 aparatos 8 funcionan correctamente. El estado cero indica que para menos de siete torniquetes, la línea es considerada fuera de funcionamiento.⁵ Cabe mencionar que en el sistema la probabilidad de pasar del estado 10 al 8 no es considerada ya que es mínima, porque que el sistema es pseudomantenido, ya que al reportarse una falla es atendida de inmediato lo que no permite en gran parte que se acumulen las dificultades.

⁵ Por la importancia de la estación, en la permanencia Clubacarro se considera que menos de 7 torniquetes funcionando es una situación muy delicada.

CAPÍTULO IV

Ya establecida la cadena de Markov y su respectiva matriz de transición proseguiremos al desarrollo del análisis en diferentes lapsos de tiempo.

Se realizarán pruebas para $P=2$ hrs.

$$P=135 \text{ hrs.}$$

$$P=594 \text{ hrs.}$$

$$P=4668 \text{ hrs.}$$

y sustituyendo los valores de:

$$\lambda=0.02656$$

$$\mu=21/269=0.078066914 \approx 0.07807$$

en la matriz de transición anterior, queda como sigue:

| | 10 | 9 | 8 | 7 | 0 |
|----|--------|---------|---------|---------|---------|
| 10 | 0.7344 | 0.07807 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 0.2656 | 0.68289 | 0.15614 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0.23904 | 0.63138 | 0.23421 | 0 |
| 7 | 0 | 0 | 0.21248 | 0.57987 | 0.31228 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0.18592 | 0.68772 |

Utilizando el programa del apéndice D, se llevarán a cabo las pruebas y los resultados se visualizan a continuación.

ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD

CONFIABILIDAD

DIGITE EL NUMERO DE PASOS => 2

DIGITE LA DIMENSIÓN DE LA MATRIZ => 5

DIGITE LOS VALORES DE LA MATRIZ

| | | | | |
|--------|---------|---------|---------|---------|
| 0.7344 | 0.07807 | 0 | 0 | 0 |
| 0.2656 | 0.68289 | 0.15614 | 0 | 0 |
| 0 | 0.23904 | 0.63138 | 0.23421 | 0 |
| 0 | 0 | 0.21248 | 0.57987 | 0.31228 |
| 0 | 0 | 0 | 0.18592 | 0.88772 |

« MATRIZ DE CONFIABILIDAD EN EL TIEMPO »

| | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 0.5800787520 | 0.1106478303 | 0.0121898498 | 0.0000000000 | 0.0000000000 |
| 0.3764322240 | 0.5243978497 | 0.2052101178 | 0.0365685484 | 0.0000000000 |
| 0.0634890240 | 0.3141831008 | 0.4857293508 | 0.2836868625 | 0.0731390988 |
| 0.0000000000 | 0.0507912192 | 0.2573664000 | 0.4440732553 | 0.3958430052 |
| 0.0000000000 | 0.0000000000 | 0.0395042816 | 0.2356703328 | 0.5310178960 |

DESEAS OBTENER LA CONFIABILIDAD EN OTRO TIEMPO ? <S,N>

S

EN QUE PERIODO DESEAS OBTENER TU MATRIZ ---> 135

« MATRIZ DE CONFIABILIDAD EN EL TIEMPO »

| | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 0.0583134243 | 0.0583134237 | 0.0583134232 | 0.0583134228 | 0.0583134225 |
| 0.1983866448 | 0.1983866436 | 0.1983866428 | 0.1983866421 | 0.1983866416 |
| 0.3037168128 | 0.3037168124 | 0.3037168123 | 0.3037168121 | 0.3037168121 |
| 0.2755379697 | 0.2755379705 | 0.2755379712 | 0.2755379718 | 0.2755379722 |
| 0.1640451469 | 0.1640451497 | 0.1640451505 | 0.1640451511 | 0.1640451515 |

DESEAS OBTENER LA CONFIABILIDAD EN OTRO TIEMPO ? <S,N>

S

EN QUE PERIODO DESEAS OBTENER TU MATRIZ ----> 594

« MATRIZ DE CONFIABILIDAD EN EL TIEMPO »

| | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 0.0583134232 | 0.0583134232 | 0.0583134232 | 0.0583134232 | 0.0583134232 |
| 0.1983866427 | 0.1983866427 | 0.1983866427 | 0.1983866427 | 0.1983866427 |
| 0.3037168122 | 0.3037168122 | 0.3037168122 | 0.3037168122 | 0.3037168122 |
| 0.2755379713 | 0.2755379713 | 0.2755379713 | 0.2755379713 | 0.2755379713 |
| 0.1640451506 | 0.1640451506 | 0.1640451506 | 0.1640451506 | 0.1640451506 |

DESEAS OBTENER LA CONFIABILIDAD EN OTRO TIEMPO ? <S,N>

S

EN QUE PERIODO DESEAS OBTENER TU MATRIZ ---> 4668

« MATRIZ DE CONFIABILIDAD EN EL TIEMPO »

| | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 0.0583134232 | 0.0583134232 | 0.0583134232 | 0.0583134232 | 0.0583134232 |
| 0.1983866427 | 0.1983866427 | 0.1983866427 | 0.1983866427 | 0.1983866427 |
| 0.3037168122 | 0.3037168122 | 0.3037168122 | 0.3037168122 | 0.3037168122 |
| 0.2755379713 | 0.2755379713 | 0.2755379713 | 0.2755379713 | 0.2755379713 |
| 0.1640451506 | 0.1640451506 | 0.1640451506 | 0.1640451506 | 0.1640451506 |

En el caso Zócalo (ZOC) se realizó el mismo análisis resultando un total de 82 reportes de fallas, de los cuales hubo:

- 9 falsas alarmas.
- 5 pendientes.

Dando un total de 68 fallas reales

| MES | F MEC | F ELECT | F AMBAS | TOTAL | λ |
|--------------|-------|---------|---------|-------|------------|
| A | 1 | 0 | 0 | 1 | λ=0.001682 |
| B | 3 | 12 | 1 | 16 | λ=0.02973 |
| C | 3 | 1 | 0 | 4 | λ=0.00670 |
| D | 1 | 6 | 0 | 7 | λ=0.01177 |
| E | 2 | 5 | 1 | 8 | λ=0.01386 |
| F | 3 | 4 | 0 | 7 | λ=0.001177 |
| G | 7 | 7 | 0 | 14 | λ=0.02347 |
| H | 3 | 7 | 1 | 11 | λ=0.01906 |
| TOTAL | 23 | 42 | 3 | 68 | λ=0.014565 |

Tabla de fallas por mes de la estación Zócalo

El T.P.D.F. de piezas mecánicas

$$\lambda_M = 0.0049266$$

El T.P.D.F. de piezas eléctricas

$$\lambda_E = 0.008996$$

ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD

El T.P.D.F. del producto de ambas

$$\lambda_A = 0.00064260$$

∴ el T.P.D.F. de la línea de torniquetes es :

$$\lambda_T = 0.014565$$

En el análisis torniquete por torniquete:

| TORN. | MES | F. MEC. | F. ELECT. | F. AMBAS | TOTAL | T.P.D.F. |
|----------------|-----|-----------|-----------|----------|-----------|----------------------|
| 109 | B | 1 | 1 | 0 | 5 | $\lambda = 0.001071$ |
| | C | 0 | 1 | 0 | | |
| | H | 1 | 0 | 0 | | |
| 111 | A | 1 | 0 | 0 | 12 | $\lambda = 0.002570$ |
| | B | 0 | 5 | 0 | | |
| | E | 0 | 1 | 0 | | |
| | G | 1 | 1 | 0 | | |
| | H | 1 | 1 | 0 | | |
| | I | 0 | 1 | 0 | | |
| 112 | B | 1 | 3 | 0 | 19 | $\lambda = 0.004089$ |
| | E | 1 | 2 | 0 | | |
| | F | 0 | 3 | 1 | | |
| | G | 0 | 2 | 0 | | |
| | H | 2 | 2 | 0 | | |
| | I | 0 | 2 | 0 | | |
| 113 | B | 1 | 1 | 0 | 7 | $\lambda = 0.001499$ |
| | E | 0 | 2 | 0 | | |
| | H | 0 | 1 | 0 | | |
| | I | 0 | 1 | 0 | | |
| | F | 1 | 1 | 0 | | |
| 114 | F | 2 | 1 | 0 | 6 | $\lambda = 0.001285$ |
| | H | 0 | 1 | 0 | | |
| | I | 0 | 1 | 0 | | |
| 117 | F | 1 | 0 | 0 | 2 | $\lambda = 0.000428$ |
| | I | 1 | 0 | 0 | | |
| | | | | | | |
| 118 | F | 0 | 1 | 0 | 3 | $\lambda = 0.000642$ |
| | H | 1 | 0 | 0 | | |
| | I | 1 | 0 | 0 | | |
| 119 | B | 0 | 2 | 1 | 14 | $\lambda = 0.002898$ |
| | C | 3 | 0 | 0 | | |
| | E | 2 | 1 | 0 | | |
| | G | 0 | 0 | 0 | | |
| | H | 0 | 2 | 0 | | |
| | I | 1 | 1 | 1 | | |
| TOTALES | | 23 | 42 | 3 | 68 | |

Análisis de la estación Zócalo torniquete por torniquete

Para obtener la fiabilidad en una semana de la línea de torniquetes :

$$R(t)=\exp(-\lambda)(t)$$

sustituyendo:

$$R(t)=\exp(-0.001682)(134.5)=0.79753$$

en el análisis mes por mes:

a) $R_A(134.5)=0.797535$

b) $R_B(134.5)=0.01833$

c) $R_C(134.5)=0.40610$

d) $R_D(134.5)=0.20534$

e) $R_E(134.5)=0.15502$

f) $R_G(134.5)=0.20534$

g) $R_H(134.5)=0.04256$

h) $R_I(134.5)=0.07702$

A primera instancia nos parecería que la confiabilidad es muy alta sin embargo, comparando el número de fallas y la confiabilidad de la línea con los datos obtenidos en CCA, se puede observar que es casi la mitad, es decir es proporcional!

Checando la distribución de la línea:

| | | | | | |
|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| ABONO No 108 | ABONO No 109 | UNIT. No 110 | UNIT No 111 | UNIT No 112 | UNIT No 113 |
|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|

| | | | | | |
|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| ABONO No 114 | ABONO No 115 | UNIT No 116 | UNIT No 117 | UNIT No 118 | UNIT No 119 |
|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|

Como se observa son dos bloques con un total de 12 torniquetes (4 abonos y 8 unitarios).

Tomando en cuenta torniquete por torniquete en el lapso de tiempo de una semana, la confiabilidad queda como sigue:

$$R_{110}(134.5)=0.795499$$

$$R_{111}(134.5)=0.707749$$

$$R_{112}(134.5)=0.578520$$

$$R_{113}(134.5)=0.817409$$

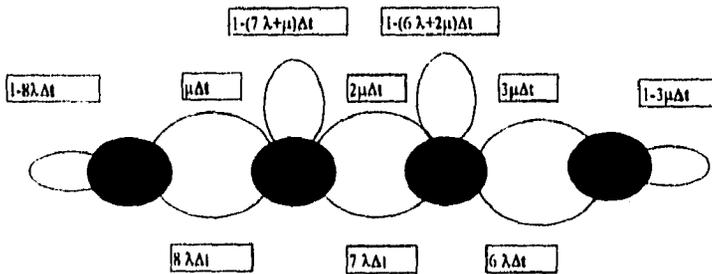
$$R_{116}(134.5)=0.841278$$

$$R_{117}(134.5)=0.94405$$

$$R_{118}(134.5)=0.917274$$

$$R_{119}(134.5)=0.668157$$

Ahora representando el sistema de línea por medio de las cadenas de Markov se utilizará un criterio parecido, excepto que en lugar de 10 unitarios sólo tenemos 8 y para el estado cero consideramos menos de 6 torniquetes funcionando.



$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{c} 8 \\ 7 \\ 6 \\ 0 \end{array} \left[\begin{array}{cccc}
 8 & 7 & 6 & 0 \\
 1-8\lambda\Delta t & \mu\Delta t & 0 & 0 \\
 8\lambda\Delta t & 1-(7\lambda+\mu)\Delta t & 2\mu\Delta t & 0 \\
 0 & 7\lambda\Delta t & 1-(6\lambda+2\mu)\Delta t & 3\mu\Delta t \\
 0 & 0 & 6\lambda\Delta t & 1-3\mu\Delta t
 \end{array} \right]
 \end{array}$$

Ya establecida la cadena de Markov y su respectiva matriz de transición proseguiremos al desarrollo del análisis, también en diferentes lapsos de tiempo.

ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD

Se realizaran pruebas para $P=2$ hrs.

$P=135$ hrs.

$P=594$ hrs.

$P=4668$ hrs.

y sustituyendo los valore de:

$$\lambda=0.01457$$

$$\mu=0.07806691 \approx 0.07807$$

en la matriz de transición queda como sigue:

| | 8 | 7 | 6 | 0 |
|---|---------|---------|---------|---------|
| 8 | 0.88344 | 0.07807 | 0 | 0 |
| 7 | 0.11656 | 0.81994 | 0.15614 | 0 |
| 6 | 0 | 0.10199 | 0.75644 | 0.23421 |
| 0 | 0 | 0 | 0.08742 | 0.76579 |

Utilizando el programa del apéndice D se llevan a cabo las pruebas y los resultados se visualizan a continuación

CONFIABILIDAD

DIGITE EL NUMERO DE PASOS => 2

DIGITE LA DIMENSIÓN DE LA MATRIZ => 4

DIGITE LOS VALORES DE LA MATRIZ

| | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| 0.88344 | 0.07807 | 0 | 0 |
| 0.11656 | 0.81994 | 0.15614 | 0 |
| 0 | 0.10199 | 0.75644 | 0.23421 |
| 0 | 0 | 0.08742 | 0.76579 |

« MATRIZ DE CONFIABILIDAD EN EL TIEMPO »

| | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 0.7895860728 | 0.1329828766 | 0.0121898498 | 0.0000000000 |
| 0.1985459728 | 0.6973261614 | 0.2461359732 | 0.0365695494 |
| 0.0118679544 | 0.1807749962 | 0.6086008304 | 0.3565214883 |
| 0.0000000000 | 0.0089159658 | 0.1330733466 | 0.6069089623 |

DESEAS OBTENER LA CONFIABILIDAD EN OTRO TIEMPO ? <S,N>

S

EN QUE PERIODO DESEAS OBTENER TU MATRIZ ----> 135

ANALISIS DE CONFIABILIDAD

« MATRIZ DE CONFIABILIDAD EN EL TIEMPO »

| | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 0.2609425195 | 0.2609423937 | 0.2609422837 | 0.2609422043 |
| 0.3895919739 | 0.3895919562 | 0.3895919407 | 0.3895919295 |
| 0.2544797533 | 0.2544798388 | 0.2544799135 | 0.2544799675 |
| 0.0949857532 | 0.0949858113 | 0.0949858621 | 0.0949858987 |

DESEAS OBTENER LA CONFIABILIDAD EN OTRO TIEMPO ? <S,N>

S

EN QUE PERIODO DESEAS OBTENER TU MATRIZ ---> 594

« MATRIZ DE CONFIABILIDAD EN EL TIEMPO »

| | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 0.2609423806 | 0.2609423806 | 0.2609423806 | 0.2609423806 |
| 0.3895919544 | 0.3895919544 | 0.3895919544 | 0.3895919544 |
| 0.2544798477 | 0.2544798477 | 0.2544798477 | 0.2544798477 |
| 0.0949858174 | 0.0949858174 | 0.0949858174 | 0.0949858174 |

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

DESEAS OBTENER LA CONFIABILIDAD EN OTRO TIEMPO ? <S,N>

S

EN QUE PERIODO DESEAS OBTENER TU MATRIZ ----> 4668

« MATRIZ DE CONFIABILIDAD EN EL TIEMPO »

| | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 0.2609423806 | 0.2609423806 | 0.2609423806 | 0.2609423806 |
| 0.3895919544 | 0.3895919544 | 0.3895919544 | 0.3895919544 |
| 0.2544798477 | 0.2544798477 | 0.2544798477 | 0.2544798477 |
| 0.0949858174 | 0.0949858174 | 0.0949858174 | 0.0949858174 |

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Después de analizar las diferentes corridas se observa en el caso Cuatro Caminos que:

- En el periodo de 2 horas todos los estados tienen una probabilidad alta de permanecer en sus mismos lugares iniciales, con una variación en los demás, esto significa que no se presentan grandes cambios y todo queda casi igual a través del tiempo .
- A las 135 hrs (una semana) la cadena tiende un poco al estado 8, es decir inicializar en cualquier estado y establecerse en 8 equipos funcionando, también los estados 9 y 7 empiezan a tomar mayor juego, es necesario seguir la evolución de los mismos.
- Al filo de las 594 hrs (aproximadamente un mes) la probabilidad de encontrarse en los estados 8 y 9 disminuye, por el contrario la del estado 7 sigue en aumento.
- Por último a las 4668 hrs (ocho meses) la probabilidad se centra en los estados 8 y 7 que sería lo normal⁶, mientras que los estados 9 y 0 tienen menor posibilidad.

⁶ Considerado así por los técnicos que laboran en CCA

En conclusión se puede afirmar que en la estación Cuatro Caminos la fiabilidad se va a encontrar dentro de los límites de los estados 8 y 7 con una tendencia hacia este último. Si el departamento de peaje quisiera mejorar estas probabilidades sería interesante que modificaran su programa de mantenimiento, ya que no estamos tomando en cuenta que su programa se ve alterado por varios factores como son: vacaciones, incapacidades, emergencias, faltas, etc. que de una u otra manera trastornan los roles. Sería más prudente que el equipo se encontrara en los estados 9 y 8 para que así, en caso de tener cualquier tipo de contrariedad no se llegue a niveles tan bajos de operabilidad que sean difíciles de controlar (todo esto tomando en cuenta que estamos hablando de la segunda estación mas conflictiva del sistema)

En el caso Zócalo se desprende lo siguiente:

- En el periodo de 2 hrs. los estados tienen una probabilidad aceptable de permanecer en sus mismos lugares iniciales, aunque cada vez decrece un poco, es decir no se suscitan cambios muy notorios en comparación con el estado inicial.
- A la semana, es decir 135 hrs. la confiabilidad varía bastante, el estado con mayor probabilidad en la cadena es el séptimo, aunque hay que esperar la reacción de los demás.

ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD

- A las 594 hrs se sigue manteniendo el séptimo estado como el más estable, los estados 8 y 6 disminuyen ligeramente.
- A los ocho meses casi no se registra variación, la cadena sigue establecida en el estado 7, hay que tomar en cuenta que las posibilidades de caer en 8 y 6 son iguales, con una tendencia más ligera a la alta de este último.

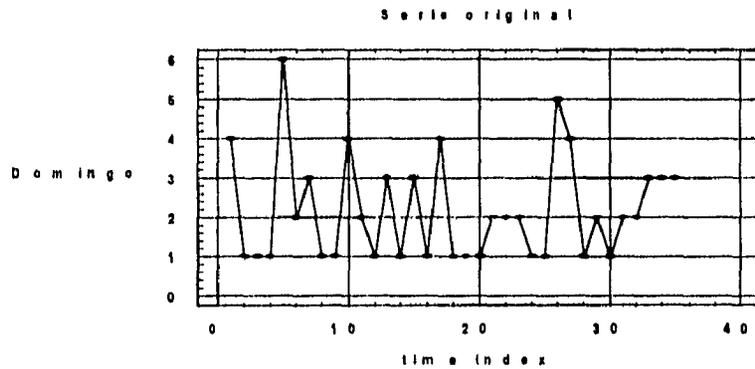
Para Zócalo existe una mayor estabilidad que en Cuatro Caminos, la línea se comporta bien, la fiabilidad se conserva y no baja rápidamente, es importante resaltar que en esta estación se tienen casi la mitad de fallas que en CCA por lo que es más controlable.

V PRONÓSTICO

DESARROLLO

Después de los resultados que arrojó el análisis de confiabilidad, lo más seguro es que existan algunas dudas o comentarios en cuanto a la relación existente entre fallas, ésta es la razón de este capítulo en donde se cuestiona :

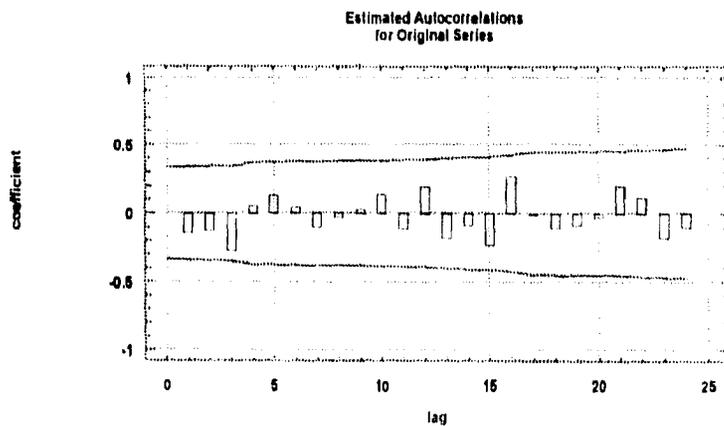
¿Existe relación alguna de las fallas de una semana con las de la semana siguiente? o ¿hay dependencia entre días?, es decir, ¿un sábado con el siguiente sábado? ¿Tienen algún efecto en el resultado final? Para despejar estas dudas el análisis se empezará tomando la relación entre días (se estudiaron los casos de los días domingo y miércoles por un motivo: los datos recolectados de todos los días de la semana son muy parecidos, por lo que al azar se obtuvieron los días mencionados) y después entre las semanas, es decir, los datos de cada semana comparados con los de la siguiente semana y así sucesivamente.



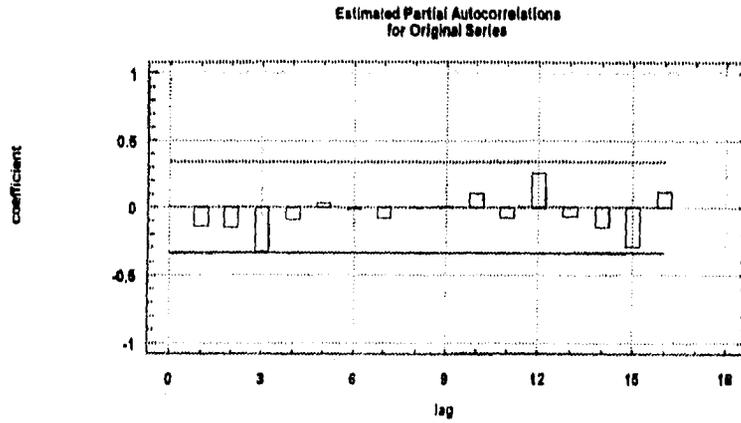
Fallas de los torniquetes en día domingo

En la gráfica del día domingo (gráfica anterior) se puede observar una varianza mas o menos constante, tendencia nula y sin fluctuación estacional.

Al observar los estimadores de las autocorrelaciones (ACF's) y de las autocorrelaciones parciales (PACF's) de la serie transformada, presentan el comportamiento de un ruido blanco. Se podría pensar en un modelo tentativo ARMA(0,0).



ACF estimada



PACF estimada

```

Estimation begins.....
Initial:  RSS = 60.9714  b = 2.17143
Final:    RSS = 60.9714  ..stopped on criterion 1

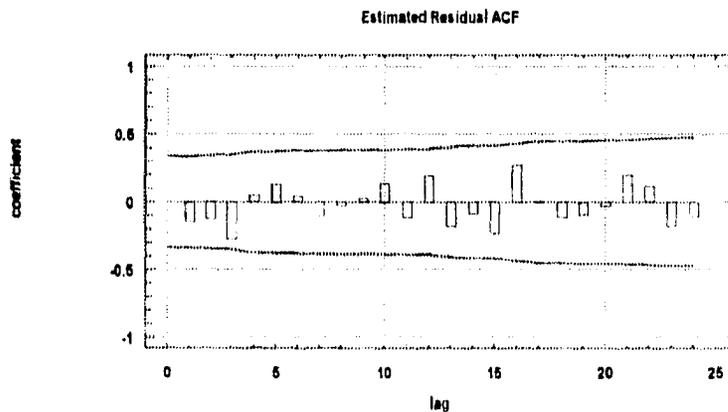
-----
Summary of Fitted Model for:  YESIS1.domingo
-----
Parameter  Estimate  Std.error  T-value  P-value
-----
MEAN       2.17143  .22635    9.59303  .00000
CONSTANT   2.17143
-----

Estimated white noise variance = 1.79328 with 34 degrees of freedom.
Estimated white noise standard deviation (std err) = 1.33913
Chi-square test statistic on first 17 residual autocorrelations = 13.2396
with probability of a larger value given white noise = 0.655164
Backforecasting: no          Number of iterations performed: 1
    
```

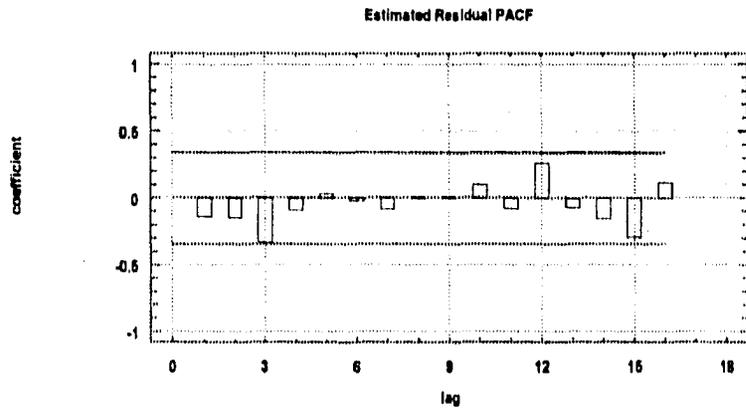
Pantalla del Statgraphics con los resultados del análisis de las fallas de los días domingo

El paso siguiente es comprobar esto. Se realizan pruebas de T-Student para conocer si los parámetros son significativos y la de Box-Pierce para comprobar si se comporta como ruido blanco, saliendo positivas en este caso ambas (Tabla anterior); Esto es el valor de T-value debe de ser mayor que 2 y la probabilidad de ruido blanco mayor a 0.05.

Para completar esta información se obtienen las gráficas ACF's y PACF's de los residuales y la correspondiente al periodograma integral.

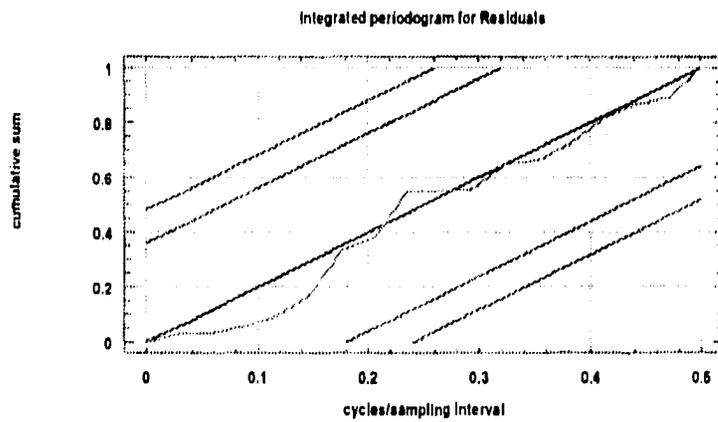


ACF de residuales del modelo



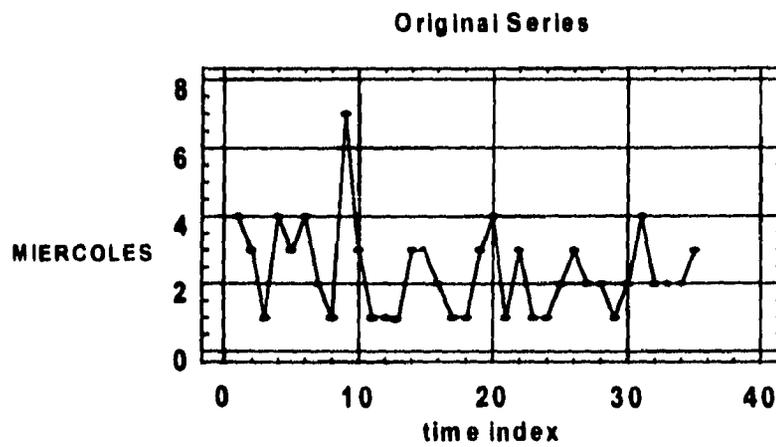
PACF de residuales del modelo

Se observa un comportamiento de ruido blanco en las gráficas de los residuales ACF's y PACF's, mientras que el periodograma tiene un buen ajuste. Entonces se puede afirmar que el modelo es adecuado, por lo tanto se utilizará un ARMA(0,0).



Periodograma integral de residuales del modelo

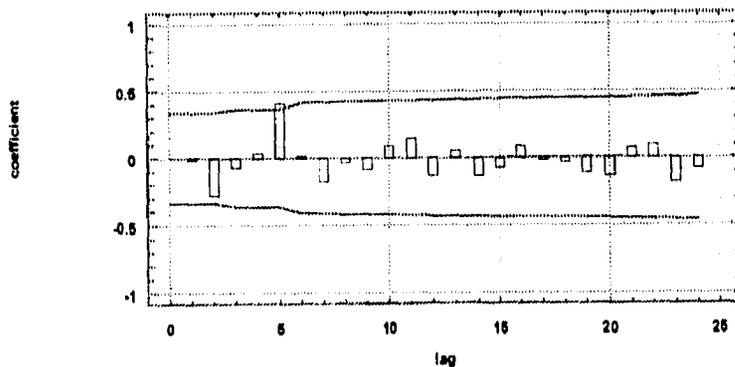
Analizando los datos de los días miércoles se observa una varianza mas ó menos constante y al igual que la serie anterior no presenta ni tendencia, ni fluctuaciones estacionales .



Fallas de los torniquetes en días miércoles

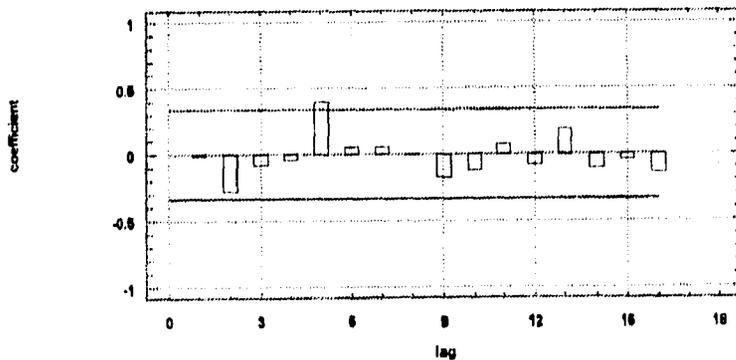
Se obtienen las gráficas ACF's y PACF's de las autocorrelaciones; reflejando también un comportamiento de ruido blanco, por lo que se podría pensar en un modelo ARMA (0,0).

Estimated Autocorrelations
for Original Series



ACF estimados

Estimated Partial Autocorrelations
for Original Series



PACF estimado

En las pruebas T-Student y Box-Pierce se reflejan resultados positivos, por lo que podría ser lógico pensar en el modelo anterior como fuerte candidato.

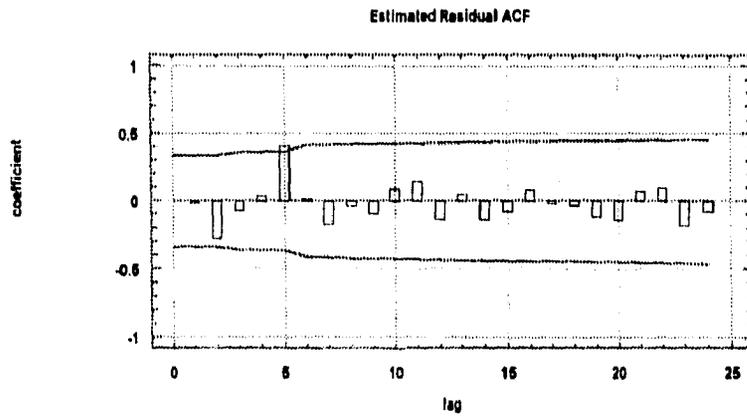
```
Estimation begins....
Initial:  RSS = 60.1714  b = 2.37143
Final:    RSS = 60.1714  ... stopped on criterion 1

-----
Summary of Fitted Model for: TESIS1.miercoles
-----
Parameter  Estimate  Std error  T-value  P-value
MEAN       2.37143   .22486     10.54601 .00000
CONSTANT   2.37143

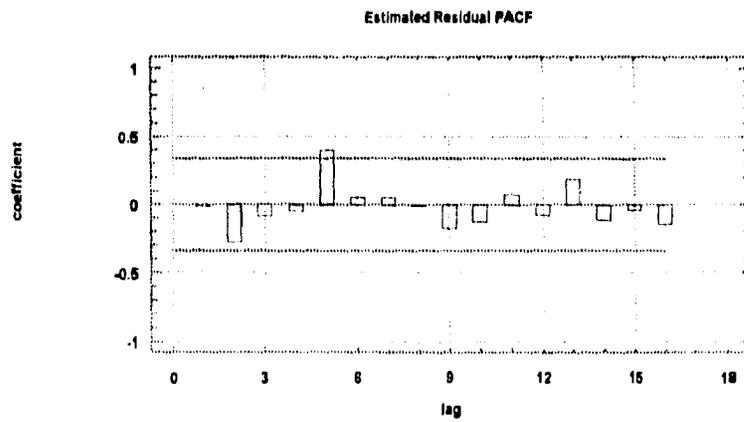
-----
Estimated white noise variance = 1.76975 with 34 degrees of freedom.
Estimated white noise standard deviation (std err) = 1.33032
Chi-square test statistic on first 17 residual autocorrelations = 12.9259
with probability of a larger value given white noise = 0.678165
Backforecasting: no           Number of iterations performed: 1
```

Pantalla del Statgraphics con los resultados del análisis de las fallas de los días miércoles

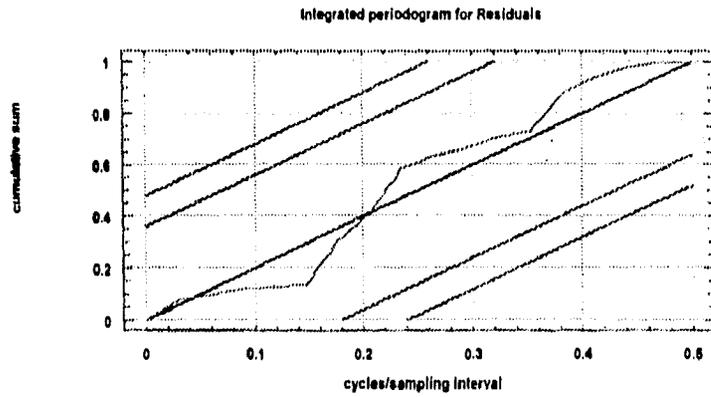
Las gráficas ACF's y PACF's de los residuales y la del periodograma integral se muestran a continuación.



ACF de residuales del modelo



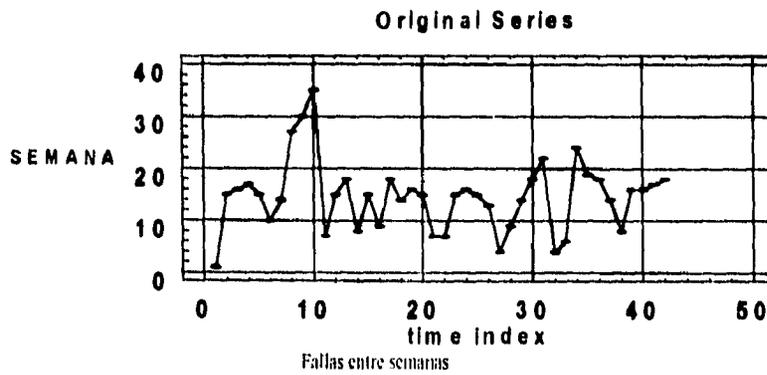
PACF de residuales del modelo



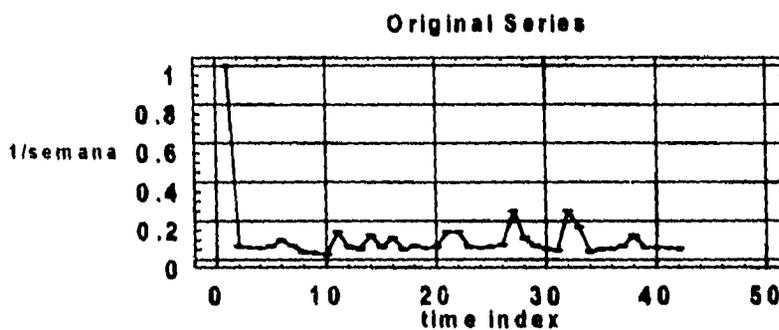
Periodograma integral de residuales del modelo

El comportamiento es el de ruido blanco, tanto en las primeras dos gráficas como en la tercera, el ajuste concuerda con lo anterior.

Para el segundo caso (relación entre semanas) existe cierta heteroscedasticidad, es decir, la varianza no es constante porque cambia con el tiempo, en la gráfica original por lo que se le aplican transformaciones.

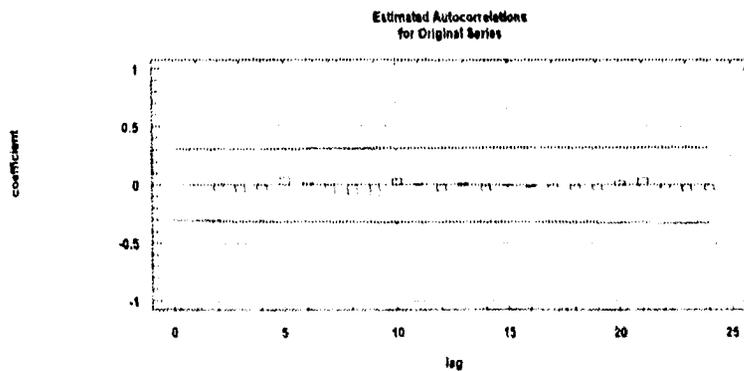


El recíproco de la serie original cumple con ser la que genera un valor menor en la suma del cuadrado de los errores. Quedando una varianza constante, tendencia nula y sin fluctuaciones estacionales.

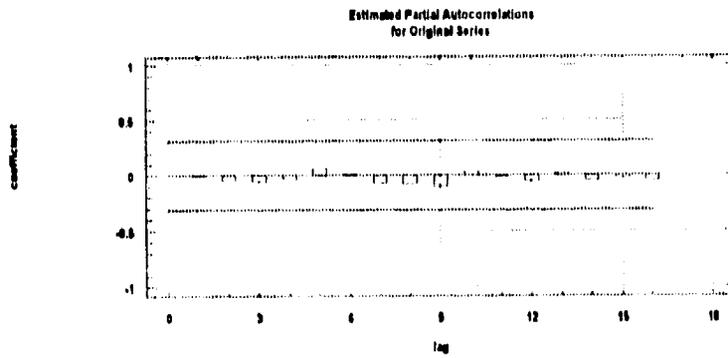


Recíproco de la serie original

En las gráficas de ACF's y PACF's del modelo se muestra el comportamiento de un ruido blanco, también como en los casos anteriores se piensa en un ARMA(0,0).



ACF estimados del modelo



PACF estimados

Al aplicar las pruebas T-Student y Box-Pierce presentan resultados positivos.

```

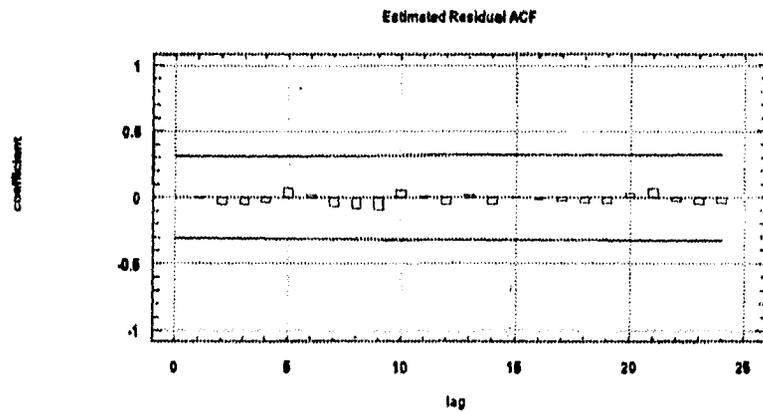
Estimation begins....
Initial:  RSS = 0.919048  b = 0.105795
Final:    RSS = 0.919048  .. stopped on criterion 1

-----
                Summary of Fitted Model for: 1/TES1 semana
-----
Parameter  Estimate  Std error  T-value  P-value
MEAN       10579    02310     4.57944  00004
CONSTANT   .10579
-----

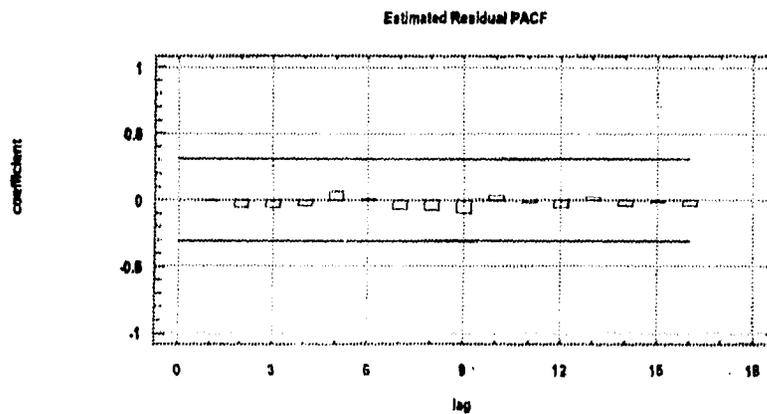
Estimated white noise variance = 0.0224158 with 41 degrees of freedom
Estimated white noise standard deviation (std err) = 0.149719
Chi-square test statistic on first 20 residual autocorrelations = 1.89828
with probability of a larger value given white noise = 1

Backforecasting no          Number of iterations performed: 1
    
```

En las gráficas ACF's y PACF's los residuales denotan el clásico comportamiento de ruido blanco, es decir, permanecen dentro de los intervalos¹ y el periodograma integral demuestra el mejor ajuste para un ruido blanco .

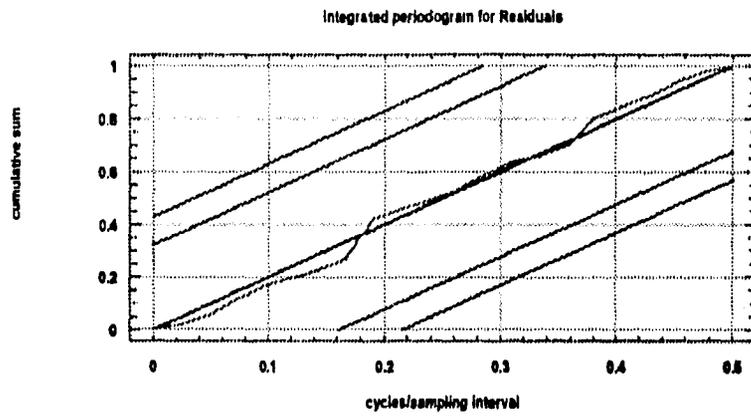


ACF de residuales del modelo



¹ Para mayor información ver González Videgaray M. Modelos de decisión con Procesos Estocásticos II U.N.A.M. 1990

PACF de residuales del modelo



Periodograma Integral de residuales del modelo

El modelo correcto es el ARMA(0,0)

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para el análisis de los días domingo y miércoles se concluye que no existe relación entre ellos, es decir, las fallas que se presentan un domingo no tienen relación con las del siguiente domingo, lo mismo ocurre en los días miércoles y con los demás días de la semana. Con esto se comprueba que las fallas no están relacionadas y por lo tanto no tienen un patrón estable a seguir independientemente del día que se trate, es decir, se encontró que no hay relación causal entre fallas.

Por lo que respecta al caso de las fallas de una semana, no tienen relación con las de la siguiente semana, en pocas palabras, son eventos aleatorios independientes con distribución normal, además de media y varianza constantes, como se demostró en las pruebas de hipótesis Portmanteau, en los intervalos de confianza para las funciones de autocorrelación y autocorrelación parcial (ACF y PACF), a través de los estadísticos "t" de las medias y en el análisis de estacionaridad.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

De las dos pruebas realizadas a los torniquetes en esta investigación vale la pena retomar en forma global los siguientes puntos:

- Para estaciones con un alto índice de afluencia, las técnicas de mantenimiento se encuentran por debajo de lo esperado, es decir, la tasa de falla se encuentra muy por encima de la tasa de mantenimiento debido al número de torniquetes y al número de usuarios que entran diariamente (anualmente entran un promedio de 35,703790 usuarios).
- Para estaciones con una afluencia media o baja el plan es el adecuado ya que la entrada que reciben no es muy alta (aproximadamente unos 20,000,000 de usuarios).
- Las fallas no presentan ningún patrón en especial, que determine su comportamiento. De hecho, resultaron ser variables aleatorias independientes distribuidas como normales.
- El descuido en la atención de los datos que se generan día tras día, dificulta el análisis y el estudio de las fallas.

CONCLUSIONES

- El personal en ocasiones no se da abasto en un día cargado aún sin ausencias, ahora tomando en cuenta vacaciones, enfermedades y/o faltas esto se complica más.

Después de vivir un poco algunas de las carencias y problemas que anteriormente se describen sería interesante proponer algunas opciones para mejorar el servicio, que en determinado momento aligerarían el problema en lo que se busca una solución cien por ciento adecuada:

- Llevar a través de registros, una base de datos de las fallas, en las que se podrían incluir campos como: número de torniquete, día, hora, estación, persona que reporta, fallo que presenta, compostura y hora, además de observar mejor los detalles que a simple vista no llegan a resaltar (ver apéndice C), se obtendrían con mayor frecuencia y rapidez los reportes estadísticos.
- Si la distribución del personal no es adecuada, buscar que sea lo más cercano a esto. En caso de no cubrir correctamente las necesidades de las líneas a pesar de encontrarse en la distribución óptima, contratar más personal.

CONCLUSIONES

- Sería importante un estudio de control de calidad de las piezas electrónicas, que son las que presentan mayor incidencia al fallo, caso concreto los optos¹, que contiene uno de los más altos índices de falla, siendo que es una parte básica de los torniquetes(entrada de la información).
- Debe de realizarse un estudio para saber si la distribución de los torniquetes por estación es la adecuada

Debido a la situación que vive el país, sería mas fácil que el S.T.C.-Metro mejorara el análisis de sus datos estadísticos, en lugar de dedicarse a la contratación de personal (que buena falta le hace). Esta política es normal en un país en crisis, pero para poder resolver sus problemas de mantenimiento tiene que cubrir ambos puntos tarde o temprano, de otra manera la situación se desbordará debido al constante crecimiento de la red y por ende de sus necesidades.

¹ Pieza electrónica que sirve para lectura del boleto

APÉNDICE A

DESCRIPCIÓN DEL TORNIQUETE

Los torniquetes de entrada y salida (eléctrico) marca CROUZET están constituidos por un corte de acero inoxidable. El aspecto general y las dimensiones se muestran en la figura 1.

Las características que debe tener la alimentación externa hacia los torniquetes son las siguientes :

ALIMENTACIÓN:

TENSIÓN: 220 VCA +/- 10%

FRECUENCIA : 60hz +/- 5%

Cada cofre está equipado con un tripode de control de pasaje que efectúa una rotación de 120 grados con cada paso efectuado.

El sistema de los torniquetes de entrada, está constituido por los siguientes ensambles:

- Un lector que lee y arrastra los boletos de transporte.
- Una platina de base, que soporta el rack electrónico, fuente de alimentación y un circuito de comando motor.
- Una platina de conmutación que realiza la recepción y distribución del voltajes

APÉNDICE A

- Un sistema electrónico que funciona con base en un microprocesador CI 8085 INTEL en fase II y el CI 8031 en fase IV, los cuales aseguran el tratamiento lógico de diferentes tipos de boletos y generan las diferentes órdenes y alarmas .
- Un mecanismo: que contiene asociado un sistema eléctrico basado en mini-ruptores los cuales controlan el bloqueo y antigiro del tripode, así como el conteo de entradas y salidas.
- Un bote recolector de boletos tratados.

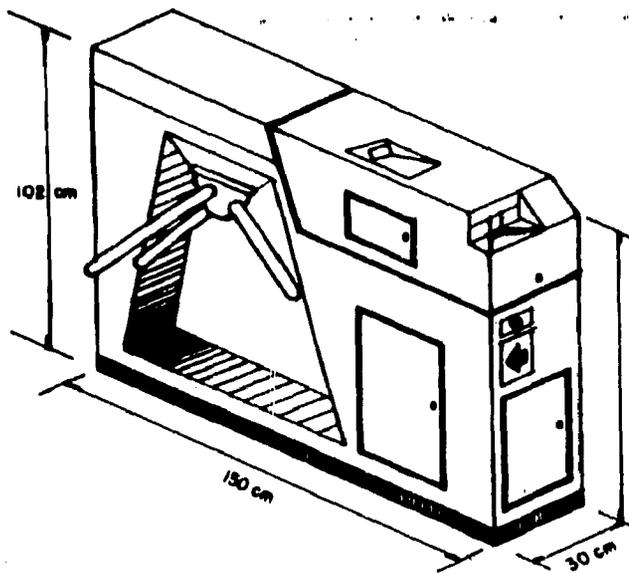


Figura 1

APÉNDICE B

BASES DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico del presente trabajo se realizó utilizando las hojas de los reportes conocidas como "sábanas". Dicha información fue vaciada en una base de datos, la cual se realizó en Dbase III y presenta el siguiente formato:

MENÚ DEL REGISTRO DE FALLAS

- 1.-INTRODUCIR UNA FALLA
- 2.-CAMBIAR UNA ENTRADA PARA CORREGIR UN ERROR
- 3.-VER SI SE HA HECHO UN REPORTE EN ESPECIAL
- 4.-LISTADO DE FALLAS
- 5.-SALIR

INDIQUE SU ELECCIÓN

INTRODUCCION DE DATOS

NUMERO DE FALLA 5

DÍA MES

TORNIQUETE ESTACIÓN

FALLA

REPARACIÓN

Una vez llena la base se realizaron los siguientes pasos :

- Análisis de tablas mes por mes¹.
- Establecer el tiempo real de trabajo del equipo².
- A cada mes obtenerle su tiempo promedio de falla λ^2 .
- A cada mes obtenerle el tiempo promedio de falla por tipo de falla¹.
- Checar Cuatro Caminos y Zócalo torniquete por torniquete, mes por mes¹.
- Tratar de conocer los días ó períodos más conflictivos¹.
- Obtener un criterio de discriminación para la clasificación de las piezas de acuerdo a su función dentro del torniquete, cabe aclarar que para dicha clasificación se necesito de la ayuda de los técnicos. Ejemplo:

| PIEZAS ELECTRÓNICAS | |
|---------------------|---------------------|
| VENTILADOR | OPTOS |
| PIRONES | CABEZA DE ESCRITURA |
| TRIPODE | RELEVADORES |
| BRAZO | CORTADORES |
| BANDA | MOTOR |

- Tratar de conocer el tipo de falla más común¹.

¹ Con ayuda del Dbase y prueba de escritorio

² Prueba de escritorio

APÉNDICE C

TORNQUETE 12 (UN CASO PARTICULAR)

Para algunos lectores les parecerá curioso el hecho de dedicarle un apéndice al análisis de un torniquete, pero era necesario para poder demostrar dos puntos que por lo visto el Departamento de Peaje descuida y que podrían evitar muchos problemas:

- Leer mas seguido los reportes
- Analizar la información

Podrían parecer muy severas estas afirmaciones, pero son ciertas y hay información con qué sostenerlas:

| MFS | DIA | FALLA | TOTAL |
|--------------|-----|-------|-----------|
| | 20 | SN 00 | |
| | 21 | SN 00 | |
| | 23 | SN 00 | |
| | 26 | SN 00 | |
| | 27 | SN 00 | |
| | 29 | SN 00 | |
| | 16 | SN 00 | 6 |
| | 25 | SN 00 | |
| | 31 | SN 00 | |
| | 9 | SN 00 | 3 |
| | 11 | SN 00 | |
| | 12 | SN 00 | |
| | 25 | SN 00 | |
| | 27 | SN 00 | |
| | 29 | SN 00 | |
| | 30 | SN 00 | |
| | 31 | SN 00 | |
| | 31 | SN 00 | 9 |
| | 16 | SN 00 | 1 |
| TOTAL | | | 19 |

Tabla de la secuencia de fallas del torniquete 12

APÉNDICE C

En el transcurso de los 7 meses que se tiene de información el torniquete 12 falló 33 veces de las cuales 19 fueron producto de la misma falla (Sñ 00)¹ y en las mismas 19 veces hubo que reprogramar, esto quiere decir que del total el 57.7% fue causado por el mismo problema.

Si hubiera una persona (si existe esta persona, no cumple con su labor) que se encargara de analizar la información podría darse cuenta de esta anomalía. En los demás torniquetes tanto en Cuatro Caminos (CCA) como en Zócalo (ZOC) no se suscita caso parecido. Lo prudente sería mandar checar las posibles causas de esta falla tan continua, lo cual se realizó hasta el día 29 de agosto de 1994, en donde se reportó un cambio de "carta madre"² (una de las posibles causas), ya cuando han transcurrido 3 meses de los mismos reportes, sin embargo, en los días subsecuentes se sigue reportando lo mismo.

Dicho torniquete necesita una revisión completa, pero así como se ve la situación, van a pasar otros tantos meses hasta que alguien preste atención a lo que gritan las estadísticas con respecto a este equipo en especial.

¹ Dependiendo lo que falle en el torniquete, este marca en un tablero especial un número el cual esta relacionado con una pieza en particular.

² Componente electrónico que permite la programación del torniquete.

APÉNDICE D

PROGRAMA

A continuación se presenta el listado completo del programa y un diagrama (en forma general) utilizado para la obtención de la confiabilidad en el tiempo, dicho programa esta realizado en el lenguaje Pascal.

```

PROGRAM MATRICES;
USES
  CRT;
TYPE
  MAT=ARRAY[1..5,1..5] OF REAL;
  MATRIZ=ARRAY[1..5,1..5] OF DOUB
  ARREGLO=ARRAY[1..5,1..5] OF REA
  ARR=ARRAY[1..6] OF MATRIZ;
VAR
  F:ARR;
  A:MAT;
  C,B:MAT;
  B1,D1,D:ARREGLO;
  G,H,I,J,W1,K,L,Q,VAL,N:INTEGER;
  X:REAL;
  R,CON,W:CHAR;

PROCEDURE MARCO;
VAR
  I,J:INTEGER;
BEGIN
  GOTOXY(3,3);WRITE('+');
  FOR I:=4 TO 76 DO
    BEGIN
      GOTOXY(1,3);WRITE('-');
      GOTOXY(1,20);WRITE('-');
    END;
  GOTOXY(1,20);WRITE('+');
  GOTOXY(77,3);WRITE('+');
  FOR J:=4 TO 19 DO
    BEGIN
      GOTOXY(3,J);WRITE('');
      GOTOXY(77,J);WRITE('');
    END;
  GOTOXY(77,20);WRITE('+');
END;

BEGIN
  CL:RSCR;
  MARCO;

```

APÉNDICE D

```

GOTOXY(25,2);WRITE('CONFIABILIDAD');
SOUND(100);DELAY(1000);NOSOUND;
GOTOXY(10,6);WRITE('DIGITE EL NUMERO DE PASOS =>');
GOTOXY(49,6);READ(VAL);
GOTOXY(10,8);WRITE('DIGITE LA DIMENSION DE LA MATRIZ =>');
GOTOXY(49,8);READ(N);
GOTOXY(10,10);WRITE('DIGITE LOS VALORES DE LA MATRIZ');
L:=3;
K:=12;
FOR I:=1 TO N DO
  BEGIN
    FOR J:=1 TO N DO
      BEGIN
        L:=L+11;
        GOTOXY(L,K);READ(A[I,J]);
      END;
    END;

    K:=K+1;
    L:=3;
  END;

  BEGIN
    FOR I:=1 TO N DO           { Inicializa matriz C }
      BEGIN
        FOR J:=1 TO N DO
          BEGIN
            C[I,J]:=0;
          END;
        END;
      END;

    (B:=A;)
    W:='S';
    REPEAT
      B:=A;
      II:=0;
      FOR WI:=1 TO VAL-1 DO
        BEGIN
          BEGIN
            FOR I:=1 TO N DO           { Inicializa matriz C }
              BEGIN
                FOR J:=1 TO N DO
                  BEGIN
                    C[I,J]:=0;
                  END;
                END;
              END;
            END;

          (Multiplica la matriz)
          FOR I:=1 TO N DO
            BEGIN
              FOR J:=1 TO N DO
                BEGIN
                  X:=0;

```

APÉNDICE D

```

        BEGIN
            FOR K:=1 TO N DO
                BEGIN
                    C[I,J]:=(B[I,K]*A[K,J])+C[I,J];
                END;
            END;
        END;
    END;
    FOR I:=1 TO N DO
        BEGIN
            FOR J:=1 TO N DO
                BEGIN
                    B[I,J]:=C[I,J];
                END;
            END;
        END;
    END;

    CLRSCR;
    MARCO;
    GOTOXY(19,2);WRITE(« MATRIZ DE CONFIABILIDAD EN EL TIEMPO »);
    L:=0;
    K:=5;
    FOR G:=1 TO N DO
        BEGIN
            FOR J:=1 TO N DO
                BEGIN
                    L:=L+13;
                    GOTOXY(L,K);WRITE(C[G,J]:12:10);
                END;
            END;
            L:=0;
            K:=K+1;
        END;
    END;

    R:=READKEY;
    CLRSCR;
    MARCO;
    GOTOXY(7,3);WRITE('DESEAS OBTENER LA CONFIABILIDAD EN OTRO TIEMPO ? <S,N>');
    CON:=READKEY;
    GOTOXY(40,6);WRITE(CON);
    IF CON='S' THEN CON:='S';
    IF CON='N' THEN
        BEGIN
            GOTOXY(10,12);WRITE('EN QUE PERIODO DESEAS OBTENER TU MATRIZ ---> ');
            GOTOXY(56,12);READ(VAL);
            W:='S';
        END
    ELSE
        BEGIN
            GOTOXY(37,12);WRITE('');
            W:='N';
            R:=READKEY;
        END;
    UNTIL W='N';
    END.

```

BIBLIOGRAFÍA

Amstadter, Bertram L.
Matemáticas de la fiabilidad: fundamentos, prácticas, procedimientos
Barcelona; México Reverte; 1976

Bazovsky Igor
Reliability theory and practice
Prentice Hall; Englewood Cliffs. N.J.; 1961

Bowerman & O'Connel
Time series and Forecasting
Duxbury Press, USA 1979.

Enciclopedia Práctica del Estudiante.
México I : Geografía, Atlas y Estadísticas Económicas.
Ed. Promexa. México 1992.

"Ferrocarril Urbano"
Tiempo de México, Primera época.
De octubre de 1807 a junio de 1911.
México D.F.
S.E.P. 1984 No. 17
16 de enero de 1871

González Obregón Luis.
Las Calles de México.
Ed. Promexa, México 1983.

González Videgaray M.
Modelo de decisión con Procesos Estocásticos II
(Metodología Box-Jenkins)
U.N.A.M., 1990.

Informe anual 1992 del S.T.C.
Jefatura de Relaciones Públicas y Comunicación Social.
Cd. de México 1993, D.D.F., S.T.C.

Informe anual 1993 del S.T.C.
Jefatura de Relaciones Públicas y Comunicación Social.
Cd. de México 1994, D.D.F., S.T.C.

BIBLIOGRAFÍA

Lloyd, David K.

Reliability: Management, methods and Mathematics.

American Society for Quality Control; Milwaukee Wisconsin; 1984

Makridakis, Wheelwright, Mcgee

Forecasting Methods and applications.

Wiley, 1983.

Navarro Bernardo, et al.

Metro, Metrópoli, México.

México, U.A.M., U.N.A.M., I.I.E.C., 1989.

Ramakumar R.

Engineering Reliability Fundamentals and Applications.

Prentice Hall; Englewood Cliffs, N.J.; 1993

Sotskov, Boris Stepanovich

Fundamentos de la teoría y del cálculo de fiabilidad de elementos y dispositivos de automatización y técnica de cálculo.

Mir, Moscu; 1972.

Wei, William,

Time Series analysis, univariate and multivariate methods.

Addison Wesley, 1990