

**ESTIMACION DEL CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA EN EL METRO DE  
SANTIAGO UTILIZANDO TECNICAS ECONOMETRICAS**

Jorge Alberto Araneda Parra  
Departamento de Planificación, Metro S.A.  
Av. Bernardo O'Higgins 1414, Santiago

**RESUMEN**

Después del recurso humano, el principal insumo para la operación del Metro de Santiago corresponde a la energía eléctrica requerida para la tracción de los trenes y el alumbrado y fuerza de estaciones, talleres y edificios.

En este trabajo, a través de una revisión metodológica de los estudios sobre el tema realizados por y para el Metro de Santiago, se pretende establecer una base de conceptualización para el problema de estimación econométrica de modelos de consumo de energía eléctrica y potencia, considerando la naturaleza de los cobros asociados y la información disponible.

## 1. INTRODUCCION

En la actualidad la Empresa de Transporte de Pasajeros Metro S.A, con dos líneas, 37 estaciones y 27,3 km de extensión, cubre las necesidades de transporte de aproximadamente 12,9 millones de usuarios por mes.

El insumo fundamental para alcanzar este nivel de actividades, corresponde a la energía eléctrica necesaria para tracción de trenes, y alumbrado y fuerza de estaciones.

El presente trabajo pretende establecer una base de conceptualización en el planteamiento de una metodología para la aplicación de las técnicas econométricas a la estimación de modelos de consumo de energía eléctrica y potencia, y motivar, a través de los últimos trabajos experimentales realizados con la información disponible hasta hoy, la necesidad de análisis del problema referente al nivel óptimo de potencia a contratar para asegurar un cierto nivel de operaciones.

Ello involucra, en primer lugar, realizar una revisión crítica de los estudios desarrollados por y para el Metro en esta área.

En el capítulo 2 se entrega una descripción de la naturaleza de los cobros y del gasto real que enfrenta Metro S.A en el ítem de energía eléctrica y su relación con la información requerida y registrada por la Empresa. Se revisan, además, las limitaciones que se presentan para efectuar un análisis directo del consumo de recursos físicos (análisis ingenieril).

El capítulo 3 introduce las consideraciones teóricas y prácticas que justifican la necesidad de análisis y modelamiento de los consumos de energía eléctrica.

En el capítulo 4 se presenta una revisión metodológica de la aplicación de estimaciones econométricas al consumo energético de Metro S.A., analizando críticamente la información base utilizada y los supuestos, alcances y limitaciones que presentan los principales resultados obtenidos, para formular una base conceptual bajo la cual orientar la aplicación de estas técnicas a este tipo de problemas.

En él se entregan, además, los últimos avances experimentales realizados, orientados a estimar potencias máximas a alcanzar en función de variables de operación y a determinar el costo incremental en energía para recorrer una vuelta adicional, por línea.

La última sección contiene las principales conclusiones emanadas del trabajo desarrollado, así como las proposiciones de direcciones futuras de trabajo en el área.

## **2. NATURALEZA DE LOS GASTOS DE ENERGIA ELECTRICA**

El gasto real efectuado por concepto de consumo de Energía Eléctrica en el Metro de Santiago, está representado por la factura mensual recibida, de acuerdo al Convenio Tarifario vigente entre Metro S.A y Chilectra Metropolitana por el suministro de Energía y Potencia Eléctrica, el cual tiene una duración anual.

En él se establece que el suministro de energía se efectúa en Alta Tensión (110 KV trifásicos), a través de dos alimentaciones provenientes desde las SS/EE Ochagavía y Renca, registrando los consumos y potencias antes de su ingreso a los dos transformadores de 110/20 KV de la S/E AT del Metro. Para cubrir las necesidades de tracción, se distribuye la corriente en 20 KV trifásicos a las subestaciones de rectificación, transformándola a 600 V, para luego rectificarla a 750 V corriente continua. En el caso de alumbrado y fuerza de las estaciones, talleres y edificios, la energía se distribuye en 20 KV trifásicos a las subestaciones de alumbrado y fuerza, donde se la transforma a 380/220 V, para su uso posterior.

De acuerdo al Convenio Tarifario vigente, Metro S.A. debe cancelar por los siguientes conceptos :

Potencia Contratada : Metro S.A se compromete a que las demandas máximas leidas diarias (potencias registradas cada 15 minutos) derivadas de sus operaciones (alumbrado y tracción) no superen una cierta potencia contratada mensual. El monto mensual a cancelar por este concepto equivale al precio de potencia contratada por el valor vigente para ésta. Por lo tanto, este concepto representa la facturación mínima a cancelar por Metro S.A., teniendo presente que este concepto debe ser cancelado independientemente que Metro S.A. ocupe o no esta potencia. Este costo fijo asciende en la actualidad aproximadamente a 1/3 de la factura mensual a cancelar.

No obstante, si en un mes la demanda máxima diaria registrada, excede la contratada, se cancela una multa igual al precio de potencia vigente por el doble de la diferencia entre la demanda máxima registrada y la potencia contratada.

Si la demanda máxima excede la potencia contratada más de 5 veces en un mes, Metro S.A. está obligado a recontratar una nueva potencia por un periodo de al menos un año, cuyo mínimo es la suma de la potencia contratada vigente más el exceso registrado (si el exceso no supera los 500 KW). En caso contrario, se suma a lo anterior el crecimiento de la demanda en el último año si éste es positivo. Este crecimiento se define como el cuociente entre la demanda máxima registrada en los meses de invierno del último año (Mayo a Septiembre inclusives), con respecto al año anterior.

En la actualidad, considerando ambas líneas y un nivel de operaciones que permite transportar en un día laboral a más de 60.000 pas/hr-punta, la potencia contratada es igual a 25.920 KW, a un precio de 1609,477 \$/KW (Septiembre 1991), IVA incluido.

Energía : corresponde a los cobros asociados a la energía consumida en tracción y en alumbrado y fuerza, durante un periodo mensual, registrada de acuerdo a los medidores de Chilectra en 110 KV y valorizada según el precio por cargo de energía igual a 10,10 \$/KWh (Septiembre 1991), IVA incluido.

Los cargos por potencia y energía son incrementados cada vez que lo hacen los precios de venta de las Empresas Generadoras a Chilectra Metropolitana S.A. para consumos destinados a clientes sin fijación de precios en el Nudo Alto Jahuel-Cerro Navia en 110 KV y a partir de su fecha de vigencia.

Si bien estas facturas representan el gasto real en que incurre la Empresa por concepto de energía eléctrica para la operación, no permiten la desagregación de los mismos por línea ni distinguir entre gastos de tracción y alumbrado.

Otra desventaja para los fines de análisis (ingenieril) de costos, es que los consumos eléctricos para facturación son medidos aproximadamente el día 15 de cada mes, lo cual hace necesario realizar algún tipo de conciliación con los restantes gastos de operación del Metro, los cuales se rigen por meses calendario.

Los datos muestrales de consumos energéticos utilizados, corresponden a la recolección diaria y por línea de los consumos de tracción, alumbrado y máxima demanda leída, desde los medidores de los cables de 20 KV. Existen diferencias de cierta relevancia entre las mediciones internas del Metro y las realizadas por Chilectra, debido principalmente a pérdidas en los transformadores y en línea, a errores en la lectura visual de los instrumentos, dada la baja resolución de éstos, y a errores de calibración de los mismos. Por lo tanto estas lecturas no dan cuenta exacta del gasto real para el Metro por concepto de energía eléctrica.

La ventaja obvia de este registro de consumos es poder separar para fines de análisis tracción y alumbrado por línea, asociándolos a meses calendario.

### 3. JUSTIFICACION DEL MODELAMIENTO DE CONSUMOS ENERGETICOS

De acuerdo a los criterios de eficiencia económica, el modelamiento de la energía eléctrica y de cualquier ítem de costo se enmarca dentro del problema general de costos, en el cual se define la función costo como aquella que minimiza el gasto para producir un vector producto dado  $\mathbf{Y}$ , a precios de factores  $\mathbf{p}$ , dentro de los límites de la factibilidad técnica, todo lo cual se logra a través del ajuste del consumo de factores.

La solución a este problema general, conduce a funciones que reflejan el uso de los factores, las cuales dependerán de los niveles de producción alcanzados y de los precios de éstos.

En el caso del gasto eléctrico, la forma de operación del Metro sugiere una demanda de energía eléctrica independiente en la práctica del precio de factores, ya que no es posible sustituir esta energía por otros insumos, consumiéndose lo necesario para prestar un servicio acorde a estándares de nivel de servicio previamente fijados. Ello pone de relieve el por qué de la modelación de consumos frente a la modelación de gastos en este ítem, considerando que para pasar de consumos a gastos sólo media el precio de factores.

La importancia fundamental del modelamiento del ítem de energía radica en la posibilidad de estimar propiedades microeconómicas fundamentales (costos marginales, consumos marginales, etc) que entregan información vital para ámbitos tales como tarificación, planificación de operaciones, análisis de gestión o formulación presupuestaria.

Dada la estructura de tarificación vigente para el ítem de energía, aparece como conveniente estudiar qué nivel de potencia contratar para optimizar el costo asociado a este concepto para alcanzar un nivel de operaciones prefijado, teniendo en consideración que su subutilización debe ser cancelada de todos modos, y que los excesos sobre la potencia contratada dan origen a multas e incluso a la obligación de modificar el Convenio Tarifario.

#### **4. REVISION METODOLOGICA ESTIMACION DE MODELOS ECONOMETRICOS DEL CONSUMO ENERGETICO EN METRO S.A. : UNA VISION CRITICA**

##### **4.1 Modelación con Información Mensual**

Una de las técnicas para enfrentar el problema de estimación de funciones de costo o de consumo (como es el caso en cuánto a energía eléctrica se refiere), es el uso de series de tiempo y estimaciones econométricas. En este capítulo se efectúa un análisis crítico de la aplicación de este enfoque, a través de sucesivos estudios realizados por y para el Metro de Santiago.

El primer hito a considerar en esta revisión corresponde a Jara-Díaz y Valenzuela (1985), en el cual se sientan las bases conceptuales de la modelación del consumo de tracción, sobre las cuales se han fundado la mayor parte de los trabajos posteriores desarrollados sobre el mismo tema. En este trabajo se modela el consumo de tracción como dependiente de un "efecto recorrido", asociado a un consumo mínimo fijo, representado por los trenes-kilómetros recorridos por el parque de material rodante, y un "efecto peso" correspondiente al mayor consumo de tracción que involucra el transporte de pasajeros entre puntos de la red.

Además, el efecto recorrido es función de la estructura de la red (en particular de la longitud de las líneas), reconociendo también que para la Línea 1, el efecto recorrido es función del efecto peso, dado que la frecuencia de pasada de trenes es proporcional a los flujos de pasajeros transportados.

Utilizando observaciones mensuales de 1976 a 1984 sobre consumo de energía de tracción (Kwh), afluencia de pasajeros por estación (pas/mes) (los cuales posteriormente se agrupan por zonas, determinadas por las sucesivas etapas de construcción del Metro), trenes-kilómetro recorridos y longitud de la red (Km), se genera un sistema de ecuaciones (energía en función de los trenes kilómetro recorridos y las afluencias zonales; trenes-kilómetros recorridos en Línea 1 en función de afluencias zonales y longitud de linea), de la siguiente forma :

$$E_t = \alpha KM_1 + \beta KM_2 + \sum_{i=1}^5 \delta_i Y_i + \mu \quad (1)$$

$$KM_1 = K_1 + \epsilon_1 L_1 + \epsilon_2 L_2 Y \quad (2)$$

donde

$E_t$  corresponde a la energía de tracción,  
 $Y_i$ , con  $i$  de 1 a 5, es la afluencia mensual a la zona  $i$ , para la siguiente clasificación

Zona 1

- 1 San Pablo a La Moneda
- 2 Universidad de Chile a Salvador
- 3 Manuel Montt a Escuela Militar
- 4 Los Heroes a Franklin
- 5 El Llano a Lo Ovalle,

$Y$  es la afluencia mensual a la red,  
 $KM_1$  y  $KM_2$  son los trenes-kilómetros recorridos en las líneas 1 y 2 respectivamente.

$L_1$  y  $L_2$  corresponden a la longitud de las líneas 1 y 2,  
 $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta_i$ ,  $\epsilon_1$  y  $K_j$  son parámetros a estimar y  
 $\mu$  es un término estocástico.

Este sistema se estima econométricamente en forma conjunta, sirviendo principalmente para predecir el consumo en función del recorrido de los trenes frente a una demanda esperada, la obtención de consumos marginales y cuantificar el efecto de la carga en los consumos de tracción. Además, multiplicando convencionalmente por un precio ponderado que considera los consumos y gastos de energía y potencia, permite obtener el gasto asociado.

A pesar de los auspiciosos resultados obtenidos, la modelación y los datos disponibles obligan a ciertas concesiones que dificultan tanto la estimación como la riqueza del análisis que de ésta se desprende. Entre otras, es importante señalar que :

i) Se requiere trabajar con datos agregados mensuales, al no existir una manera confiable de obtener datos de consumo eléctrico para períodos breves (se trata de lecturas manuales sobre un conjunto de medidores con escasa resolución). No obstante en este caso en particular, dado el objetivo fundamental perseguido es la

estimación de costos marginales mensuales para fines de tarificación espacial de la red, este inconveniente no reviste demasiada gravedad.

ii) Para una estructura de la red dada, tanto las variables dependientes como las independientes tienden a mostrar escaso coeficiente de variación, lo cual es subsanado en buena medida al incorporar la información al respecto relativa a las sucesivas extensiones de la red.

iii) Como contrapartida, las extensiones de la red han sido escasas, y su data es de aproximadamente 10 años atrás a la fecha del trabajo, por lo cual la calidad de la información recolectada especialmente para esos primeros años puede ser relativamente defectuosa. Además, no es posible encontrar para esos años información adecuada sobre otras variables de operación que pudiesen ayudar a explicar el fenómeno de consumos de tracción.

iv) Por otra parte, las afluencias a estaciones, agrupadas por zonas, tienden lógicamente a mostrar altas correlaciones entre sí, lo cual introduce problemas de multicolinealidad severos. La ingeniosa manera de agrupar estos flujos, supera en gran parte este problema.

v) La carencia de información sobre distribución de cargas en la red, obliga a reemplazar esta variable por afluencias a la red. Ello supone implícitamente una estructura de viajes constante en la red a lo largo del tiempo (10 años), lo cual es evidentemente un supuesto fuerte, condicionado en la realidad por las sucesivas extensiones de red y el natural desarrollo de la ciudad.

vi) No se incluye una modelación de la potencia contratada en función de la operación, aún cuando su efecto se introduce en la obtención de un precio de energía (ficticio), que permite estimar el costo por este concepto.

El segundo estudio sobre el mismo tema (Jara Diaz - Vigouroux, 1986) está orientado fundamentalmente a estimar costos marginales de operación en la red Metro para fines de tarificación. En él, incluyendo observaciones mensuales adicionales hasta 1985, se entrega una versión mejorada desde el punto de vista de la validez estadística de los coeficientes asociados a los parámetros a determinar para el modelo de tracción con respecto al primer modelo analizado, al agrupar los flujos de las dos primeras extensiones de la red.

Se incluye además un modelo para estimar energía de alumbrado en función de las afluencias por línea y una constante de ajuste, de la siguiente forma :

$$E_a = K + \alpha FL_1 + \beta FL_2 + \mu \quad (3)$$

donde

$FL_i$ , con  $i$  igual a 1 ó 2, es la afluencia mensual de las líneas 1 o 2 respectivamente,  
 $\alpha$ ,  $\beta$ , y  $K$  son parámetros a estimar y  
 $\mu$  es un término estocástico.

No resulta evidente la relación causal existente entre afluencia y alumbrado. El escaso nivel de ajuste de esta ecuación, podría ser un índice de lo señalado. Sin embargo, ello no necesariamente es contrapuesto con el interés primordial de estimar costos marginales.

En líneas generales, el esquema conceptual básico presente en la modelación es mantenido y por lo tanto se mantienen las mismas dificultades esbozadas para el primer modelo analizado.

Un tercer avance en el área, está representado por los modelos presentados en el estudio actualización análisis del sistema tarifario del Metro de Santiago (Dirección General de Metro, 1989), en el cual se incorporaron observaciones hasta Agosto de 1988 y se intentó un modelamiento que permitiese distinguir entre consumos marginales de tracción para períodos punta y fuera de punta.

La modelación por tracción, si bien mantiene la consideración de que el consumo está dado por una combinación del "efecto recorrido" de los trenes (medido a través del kilometraje recorrido mensualmente por los trenes) y el "efecto peso" que corresponde al incremento en el consumo de tracción originado por el transporte de pasajeros (medido a través de la afluencia por línea), relaciona, además, los trenes-kilómetros recorridos a los programas de circulación aplicados por el Metro a través de las sucesivas extensiones experimentadas por la red, los cuales varían según la época del año y el tipo de día (laboral, sábado y festivo).

De esta manera se realizó la siguiente modelación a estimar econométricamente :

$$E_t = \sum_{i=1}^2 \alpha_i KM_i + \sum_{i=1}^2 \beta_i FL_i + \mu \quad (4)$$

$$KM_i = \gamma_i \cdot TL_i \cdot DL \cdot L_i + \delta_i \cdot TSF_i \cdot DSF \cdot L_i + \theta_i \quad i = 1, 2 \quad (5)$$

donde

$TL_i$  son los trenes en línea promedio en día laboral, en períodos punta y fuera de punta, para las líneas 1 y 2 respectivamente,  
 $TSF_i$  son los trenes en línea en día Sábado y Festivo, obtenido como promedio ponderado de los trenes en cada tipo de día,  
 $DL$  es el número de días laborales,  
 $DSF$  el número de días Sábados y Festivos, y  
 $\mu$ ,  $\theta_i$  son términos estocásticos.

Los resultados obtenidos no logran demostrar diferencias significativas entre los consumos marginales asociados a hora punta y fuera de punta, lo cual podría deberse en gran parte a la calidad de la información base utilizada, dado el alto nivel de agregación de los datos fuente.

En lo que respecta a los consumos de energía por alumbrado, reconociendo primeramente el efecto de estacionalidad en los consumos, éstos se hacen depender del número de estaciones de la red, la afluencia de la línea 1, probablemente por un problema muestral, y a los siguientes cambios tecnológicos efectuados para reducir estos consumos :

- i) A partir de Diciembre de 1984, sólo se utiliza una mínima iluminación nocturna de estaciones.
- ii) En Agosto de 1985 se bajaron las luminarias en el tramo Repùblica - Las Rejas. A contar de comienzos de 1983, se cambió el sistema de mantenimiento de luminarias, adoptándose el recambio de éstas sólo si el nivel de luminosidad mínimo considerado así lo aconseja.

La modelación adoptada asume la siguiente forma :

$$E_a = \alpha_1 \delta_{inv} + \alpha_2 \delta_{ver} + \alpha_3 \delta_{tec} + \alpha_4 FL_1 + \alpha_5 NE + \mu \quad (6)$$

donde

$\delta_{ver}$  es una variable dummy estacional verano      1: Diciembre a Marzo  
    0: resto del año,

$\delta_{inv}$  es una dummy estacional invierno      1: Junio a Agosto  
    0: resto del año,

$\delta_{tec}$  es una dummy tecnológica      1: Dic. 1984 - Agos. 1988  
    0: 1976 - Nov. 1984,

NE es el número de estaciones,  
 $\alpha_i$  son parámetros a estimar y  
 $\mu$  es un término estocástico.

Los resultados obtenidos en este campo son alentadores pues aparte de coeficientes robustos, se obtiene una ecuación de alto coeficiente de ajuste.

#### 4.2. Modelación con Información Diaria

Finalmente se presenta un conjunto de modelos que marca un cambio de visión radical en el empleo de la estimación econométrica de consumos eléctricos de tracción, ya que se reconoce la necesidad de

modelar no sólo el consumo sino que separadamente la potencia a alcanzar en las operaciones. Ello significa utilizar información diaria, evidentemente menos agregada que la utilizada en los estudios ya analizados.

Estos modelos sirven para estimar la potencia marginal que agrega la presencia de un tren adicional en hora punta, en función de la frecuencia de pasadas en hora punta por las interestaciones más cargadas de las líneas 1 y 2, así como el significado en términos de consumo de energía de una vuelta adicional en Línea 1 y 2, en función del número de vueltas diarias en L1 y L2.

Este cambio en la modelación permite, entre otras cosas, disponer de mayor flexibilidad en el tamaño muestral a utilizar en las estimaciones, con lo cual se puede estudiar y estimar los niveles de potencia a alcanzar para las condiciones de operación, pudiendo introducir importantes perspectivas en el análisis de potencia óptima a contratar en un sentido de eficiencia económica.

$$P_m = K_1 + \alpha NT_1 + \beta NT_2 + \delta_{res} + \theta \quad (7)$$

donde

$P_m$  es la potencia máxima,

$NT_i$ , con i igual a 1 y 2, es la frecuencia de pasada en hora punta por interestación con mayor carga para las líneas 1 y 2 respectivamente,

$\delta_{res}$  es una variable que recoge la disminución marginal en la potencia por restricción de alumbrado,

$\alpha$ ,  $\beta$ , y  $K_1$  son parámetros a estimar y

$\theta$  es el error estocástico.

$$E_t^i = \alpha_i NV_i + \mu_i \quad i=1,2 \quad (8)$$

donde

$E_t^i$  es la energía de tracción en la línea i,

$NV_i$  es el número de vueltas diarias recorridas por los trenes en la línea i,

$\alpha_i$  es un parámetro a estimar para la línea i y

$\mu_i$  es el término de error en la línea i.

Los resultados obtenidos, no obstante, siguen fuertemente condicionados por la calidad de la información base disponible, en la que la baja confiabilidad de las lecturas de medidores se hace patente. No obstante, es necesario recalcar que el uso de información agregada a nivel mensual no permite de ninguna manera realizar el tipo de análisis como el que indican estos modelos presentados.

Nuevamente tienden a presentarse problemas muestrales debido al escaso coeficiente de variación de las variables involucradas.

A continuación se muestra un resumen de los modelos estimados :

ESTIMACION CONSUMOS DE TRACCION

(Jara - Valenzuela, 1985)

$$\begin{aligned} Et = & 16.31 KM_1 + 6.77 KM_2 + 0.833 \cdot 10^{-3} Y_1 + 0.500 \cdot 10^{-3} Y_2 + 0.832 \cdot 10^{-1} Y_3 \\ & (38.73) \quad (7.11) \quad (0.018) \quad (1.35) \quad (5.07) \\ & + 0.237 Y_4 + 0.334 Y_5 \\ & (2.04) \quad (6.59) \end{aligned}$$

$$\bar{R}^2 = 0.995 \quad D-W = 1.410$$

$$KM_1 = 12334.6 + 10843.5 L_1 + 0.226 \cdot 10^{-3} L_1 Y$$

(1.34) \quad (10.273) \quad (4.58)

$$\bar{R}^2 = 0.950 \quad D-W = 1.149$$

(Jara - Vigouroux, 1986)

$$\begin{aligned} Et = & 16.18 KM_1 + 8.69 KM_2 + 0.02262(Y_1 + Y_2) + 0.08335 Y_3 \\ & + 0.07366 Y_4 + 0.2925 Y_5 \end{aligned}$$

$$\bar{R}^2 = 0.995 \quad D-W = 1.410$$

$$KM_1 = 12334.6 + 10843.5 L_1 + 0.226 \cdot 10^{-3} L_1 Y$$

(1.34) \quad (10.273) \quad (4.58)

$$\bar{R}^2 = 0.9965 \quad D-W = 1.37$$

(Dirección General de Metro, 1989)

$$Et = 16.356 KM_1 + 9.491 KM_2 + 0.048239 F L_1 + 0.078890 F L_2$$

(35.12) \quad (14.99) \quad (3.19) \quad (3.35)

$$\bar{R}^2 = 0.9781 \quad D-W = 1.003$$

$$KM_1 = 19.93 T L_1 \cdot D LAB \cdot L_1 + 55.243 T SF_1 \cdot D SF \cdot L_1$$

(24.45) \quad (15.13)

$$\bar{R}^2 = 0.898 \quad D-W = 1.16$$

$$KM_2 = 32.836 T L_2 \cdot D LAB \cdot L_2 + 74.162 T SF_2 \cdot D SF \cdot L_2$$

(13.39) \quad (8.25)

$$\bar{R}^2 = 0.91 \quad D-W = 0.56$$

$$EtL_1 = 529.88 \cdot N_{vueltas\ L_1} \\ (178.51)$$

$$\bar{R}^2 = 0.988 \quad D-W = 1.728$$

$$EtL_2 = 295.79 \cdot N_{vueltas\ L_2} \\ (168.30)$$

$$\bar{R}^2 = 0.975 \quad D-W = 2.486$$

#### ESTIMACION CONSUMOS DE ALUMBRADO

(Jara - Vigouroux, 1986)

$$E_a = 891.596 + 0.05588FL_1 + 0.02321FL_2 \\ (10.43) \quad (5.15) \quad (0.53)$$

$$\bar{R}^2 = 0.303 \quad D-W = 1.18$$

(Dirección General de Metro, 1989)

$$E_a = 73492\delta_{ver} - 38663\delta_{inv} - 53775\delta_{tec} + 0.026FL_1 + 28.705 \\ (5.21) \quad (-2.74) \quad (-3.97) \quad (3.84) \quad (18.28)$$

$$\bar{R}^2 = 0.946 \quad D-W = 0.60$$

#### ESTIMACION POTENCIA

(Jara - Vigouroux, 1986)

$$Pot = 2127.4 + 572.37 \cdot N_{TrenL_1} + 340.23 \cdot N_{TrenL_2} - 572.43\delta_{res} \\ (3.09) \quad (8.00) \quad (3.91) \quad (-2.74)$$

$$\bar{R}^2 = 0.945 \quad D-W = 1.12$$

(Dirección General de Metro, 1989)

$$Pot = 1951.1 + 543.67 \cdot N_{TrenL_1} + 340.23 \cdot N_{TrenL_2} \\ (2.84) \quad (8.86) \quad (4.01)$$

$$\bar{R}^2 = 0.964 \quad D-W = 1.00$$

## 5.- COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Puede desprenderse de los trabajos presentados que la estimación econométrica es una herramienta efectiva y de gran utilidad en la modelación de consumos eléctricos.

Para lograr mejores resultados, considerando la naturaleza del Convenio tarifario entre Metro S.A. y Chilectra Metropolitana y que los consumos no están condicionados por los precios de factores, debe reconocerse la necesidad de modelar por separado consumos de tracción y alumbrado, y la potencia contratada para definir un nivel óptimo de ésta.

Debe reconocerse en los trabajos realizados que la calidad de la información no es óptima y que además las observaciones tienden a presentar problemas muestrales cuya solución (parcial) hace necesario extender lo más posible la data histórica de éstas, para incorporar las sucesivas extensiones de red.

Ello impide considerar variables de alto interés como el tipo de marcha de trenes, variables de nivel de servicio, programas de circulación, de los cuales, en general, no existe información apropiada para un período tan largo de la historia del Metro.

La agregación mensual de datos involucra problemas serios, si los objetivos perseguidos están relacionados con posibilidad de tarificación temporal, o se relacionan con la necesidad de fijar un nivel óptimo de potencia a contratar.

Una noticia alentadora (Cid y otros, 1991), es el diseño construcción y reciente puesta en servicio de un sistema de adquisición de datos referentes a energía eléctrica para fines de gestión, el cual consta de un conjunto de sensores de pulsos de energía que captan la energía consumida por los medidores internos y los utilizados por Chilectra, para enviarlos a una interfaz programable, la cual consta de filtros de entrada, procedimientos de validación de pulsos, cuenta y transmisión de información vía una puerta serial RS232 a un PC, en forma de archivos ASCII, procesables posteriormente a través de planillas de cálculo, bases de datos o programas en cualquier lenguaje que acepte archivos ASCII como entrada.

Este sistema si bien está concebido para gestionar demanda máxima y tener información confiable de los consumos, contrastable con la usada para facturación por Chilectra, permite generar bases muestrales de indudable interés para modelación econométrica, dado que se superarán con éxito importantes restricciones que invalidaban parcialmente las conclusiones extraídas de los estudios hasta ahora realizadas, entre ellas se cuentan :

- El supuesto de estructura de viajes constante se torna mucho más realista, con lo cual la afluencia representa en mejor forma la carga.

- Permite incorporar nuevas variables a la modelación (principalmente de nivel de servicio, tipo de marcha, etc), las cuales en los estudios analizados, por provenir de series históricas de larga data, o no eran registradas o su registro fue perdido en el tiempo.
- Alta confiabilidad de las variables dependientes : consumos y potencias.
- Posibilidad cierta de desagregación para estudio de los consumos en horario punta y fuera de punta.
- Alta flexibilidad en la elaboración de una base muestral.

El sistema descrito está en pleno funcionamiento a partir de Septiembre de 1991 y se está trabajando ya en el diseño de un plan que permita generar bases de datos adecuadas para continuar con el desarrollo de modelos econométricos en estas áreas.

#### REFERENCIAS

- CID, J., HERRERA, G., MARIN, N., ZIEBOLD, C. (1991) **V Congreso Asociación Latinoamericana de Metros y Subterráneos (ALAMYS)**. 11 - 14 de Noviembre, Sao Paulo. Por Aparecer.
- DIRECCION GENERAL DE METRO (1986) **Estudio Sistema Tarifario Metro de Santiago**, Informe Final.
- DIRECCION GENERAL DE METRO (1989) **Estudio Actualización Análisis del Sistema Tarifario del Metro de Santiago**, Informe Final.
- JARA DIAZ, S.R. y VALENZUELA, A. (1985) Efecto del Flujo en el Consumo de Energía del Metro de Santiago. **Actas del II Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte**. 12 - 14 de Noviembre, Santiago.
- JARA DIAZ, S.R. y VIGOUROUX, C. (1986) Estimación de Costos Marginales de Operación en el Metro de Santiago. **Actas del IV Congreso Panamericano Ingeniería de Tránsito y Transporte**. 1 - 4 de Diciembre, Santiago.