

NACIONES UNIDAS

CONSEJO
ECONOMICO
Y SOCIAL



LIMITADO

ST/ECLA/CONF.7/L.2.14
13 de diciembre de 1960

ESPAÑOL
ORIGINAL: INGLES

CATALOGADO

SEMINARIO LATINOAMERICANO SOBRE ENERGIA ELECTRICA

Auspiciado por la Comisión Económica para América Latina, la Dirección de Operaciones de Asistencia Técnica y la Subdirección de Recursos y Economía de los Transportes de las Naciones Unidas, conjuntamente con el Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos.

México, 31 de julio a 12 de agosto de 1961

**PAPEL DESEMPEÑADO POR LA INVESTIGACION DE OPERACIONES EN EL
ANALISIS DE PROBLEMAS COMPLEJOS DE ADMINISTRACION
EN UNA GRAN EMPRESA ELECTRICA DE
SERVICIO PUBLICO**

por

William Shelsen

NOTA: Este texto será revisado editorialmente.

INDICE

	<u>Páginas</u>
1. Introducción	1
2. Investigación de operaciones en la Ontario Hydro	1
3. Programación óptima del "Conjunto Beck"	2
a) Modelo físico	2
b) Valor de la energía	3
c) Solución de la programación dinámica	4
4. Administración de inventarios	6
a) Control científico de inventarios	7
b) Análisis hipotético	10
c) Normas de pedidos para bodegas zonales	12
d) Recopilación centralizada de datos	13
e) Informes especiales de administración	13
5. Política de reposición de vehículos	14
a) Recolección de datos	15
b) Análisis de costos de los vehículos	15
c) Intervalo óptimo de reposición	16
d) Política de reposición dinámica	17
e) Ejecución	18
6. Conclusión	19
Anexo	20
Definición de investigación de operaciones	20
Proyectos típicos de investigación de operaciones	21
Características de la investigación de operaciones	21
a) Personal administrativo	22
b) Organización	22
c) Técnicas	23
BIBLIOGRAFIA	25

1. Introducción

La administración eficiente de las empresas comerciales está haciéndose cada vez más difícil a medida que sus dimensiones y grado de complejidad aumentan. A causa de esta tendencia, los administradores han estimulado la formación de especialistas cuya misión consiste en prestar asesoría independiente y circunstanciada en campos de interés específicos para la compañía. En concordancia con este desarrollo, ha surgido hace poco un nuevo tipo de personal de administración, cuyo campo de actividad se denomina "investigación de operaciones".

2. Investigación de operaciones en la Ontario Hydro

Comisión de Energía Hidroeléctrica de Ontario (Hydro-Electric Power Commission of Ontario) es el nombre oficial de la empresa eléctrica de servicio público de propiedad fiscal que atiende el 90 por ciento de las necesidades de la provincia de Ontario. La Ontario Hydro, como se la denomina más comúnmente, atiende un territorio de unas 250 000 millas cuadradas, con clientes directos e indirectos que sobrepasan los 1 800 000. Su activo asciende a un total de 2 500 millones de dólares y su personal está integrado por unas 16 000 personas. Están en operación sesenta y seis centrales hidroeléctricas y dos centrales térmicas principales alimentadas a carbón. Hay en construcción tres centrales hidráulicas más, dos centrales térmicas a carbón y dos centrales term nucleares. En 1959 se produjeron 32 300 millones kWh con una demanda máxima de 5.6 millones kWh y se recibieron 213 millones de dólares por concepto de venta.

La Ontario Hydro ha hecho uso permanente de la investigación de operaciones, por espacio de más de cinco años, aunque con anterioridad se había ensayado algo parecido. El Grupo de Investigación de Operaciones consta de un ingeniero mecánico, un matemático y un ingeniero electricista. Primitivamente, el grupo estaba formado por un ingeniero, un matemático y un físico. En la mayor parte de los estudios, el grupo permanente se ha visto reforzado por otro personal de diversas categorías, por ejemplo, un ingeniero industrial, un economista, un experto en abastecimiento, un ingeniero electrónico y un programador de computadores. El equipo más numeroso ha constado de cinco personas y el estudio más largo que han realizado ha durado doce meses. El grupo, pese a estar ubicado en la División de Investigación, trabaja en colaboración estrecha con el administrador, para quien se ejecuta el estudio.

/En los

En los estudios del grupo se ha hecho un amplio uso de las tarjetas perforadas y de los computadores electrónicos (IBM 650, Univac II) para facilitar el trabajo. Sin estas máquinas, la esfera de la investigación habría quedado considerablemente reducida a causa de la necesidad del vasto empleo del cómputo en la solución de modelos matemáticos y en la elaboración de datos obtenidos. Ocasionalmente, el cómputo manual mediante una calculadora de escritorio ha resultado ser más conveniente y menos costosa que el cómputo a máquina.

Hasta la fecha, el grupo ha acometido once investigaciones de operaciones, desde la predicción de los niveles del lago hasta la programación económica del sistema de la Ontario Hydro en la región meridional de la provincia. Se hará una descripción breve de tres de estos estudios, en la esperanza de que permitirán una comprensión más específica de los principios y práctica de la investigación de operaciones.

3. Programación óptima del "Conjunto Beck"

Las extensas instalaciones generadoras montadas en las cataratas del Niágara por la Ontario Hydro son bien conocidas. Su capacidad total está muy por encima de los dos millones de kW, y suministra más de la mitad de la producción de la Ontario Hydro. Traducida a términos monetarios, la producción anual vale más de 65 millones de dólares. En términos de capacidad humana, esta producción equivale a la energía muscular de 100 millones de hombres. En esta forma no puede haber duda de la importancia de estas fuentes de energía ni del nivel de eficiencia en que se hallan. Una característica sorprendente de la instalación es el empleo del almacenamiento por bombeo como medio para formar una reserva de energía durante la noche, cuando la demanda es baja, y de suministrar energía en el día, cuando la demanda es elevada. La disposición y la compleja estructura de las instalaciones de almacenamiento por bombeo se reproducen en el gráfico I.

a) Modelo físico

En el primer plano de la fotografía es posible ver dos grandes centrales generadoras, denominadas centrales generadoras N° 1 y N° 2 de Sir Adam Beck.

/Hacia la

Hacia la derecha, se encuentra el estanque de almacenamiento por bombeo con su central de generación y bombeo. En la parte izquierda superior está la bocatoma desde el alto del río Niágara, desde donde el agua es conducida a través de un canal y túneles a la cámara de carga común de las dos centrales Beck. El agua de la cámara de carga puede ser bombeada hacia el estanque de almacenamiento por la central de generación y bombeo, o, alternativamente, se la puede descargar, a través de la central de generación y bombeo, hacia la cámara de carga. Todas estas instalaciones obedecen a la denominación de "Conjunto Beck".

En el Gráfico II se pueden observar algunas de las actividades de "construcción de modelos" del equipo de investigación de operaciones. Este diagrama es un modelo simplificado, pero bastante realista, del conjunto Beck para su empleo en el desarrollo de un modelo matemático. El modelo gráfico es más revelador que la fotografía (Gráfico I). Del diagrama se desprende claramente que el caudal a través del conducto depende del desnivel entre el río y la cámara de carga, y de que existe un límite superior para dicho caudal. El nivel de la cámara de carga puede variarse mediante un aumento o una disminución de la descarga a través de las centrales Beck o por medio de la operación de bombear o descargar agua en la central de generación y bombeo. El agua descargada desde el almacenamiento, mediante la central generadora y de bombeo, es también descargada a través de las centrales Beck, de modo que el agua se utiliza dos veces. También es preciso anotar que la eficiencia de las diversas centrales varía con los niveles de descarga y de agua. En su explotación puede considerarse una rica variedad de combinaciones. En suma, el nombre de conjunto Beck es bien merecido.

b) Valor de la energía

Consideremos ahora una curva típica de demanda diaria de energía para el sistema de Ontario Meridional (Gráfico III). Como era de esperar, la demanda por la noche es baja, se eleva en forma aguda en las primeras horas de la mañana, se mantiene elevada hasta el mediodía, aunque declina algo, y reanuda gradualmente su tendencia ascendente hasta lograr su punto culminante alrededor de las 5 p.m., cuando los consumos de alumbrado, calefacción, cocina y transporte alcanzan su máximo. A medida que la noche se acerca, la demanda disminuye.

/El costo

El costo de producción de energía sigue una trayectoria algo similar, como lo ilustra el Gráfico IV. Los guarismos que aquí aparecen son supuestos y no representan los costos de la Ontario Hydro, pero reflejan la tendencia general. Por la noche, los recursos de energía hidráulica son satisfactorios para atender la demanda, y su costo de producción es bajo. Durante períodos de mayor demanda, es necesario utilizar unidades termoeléctricas. Para las demandas máximas resulta, a veces, más económico, aunque más costoso por kWh, comprar cierta cantidad de energía a otras compañías interconectadas más bien que poner en marcha unidades termoeléctricas por un período breve.

c) Solución de la programación dinámica

Contando con estos dos elementos, un modelo del conjunto Beck y un valor supuesto de la energía, queda por resolver cuál es la mejor forma de explotar las centrales. La respuesta la da la "programación dinámica". No disponemos aquí del espacio suficiente para pasar revista a la teoría de la programación dinámica. Sin embargo, podemos decir que ella consiste, en su parte esencial, en una forma matemática de decidir sobre las mejores resoluciones que deben adoptarse dentro de una variedad de posibilidades, en un período determinado.

En el caso del conjunto Beck, se programa diariamente para las centrales una pauta hora por hora, de modo que existen veinticuatro puntos de decisión en el momento de resolver sobre las descargas a través de las centrales. El número de posibilidades de explotación para cada hora excede fácilmente de cincuenta. En esta forma, las maneras de programar operaciones de centrales en el curso de un día sobrepasan los mil cuatrillones de posibilidades. La solución de este enorme problema, la que sólo puede obtenerse merced a la programación dinámica, está ilustrada en los Gráficos V a VII.

El Gráfico V señala las descargas a través de la central de generación y bombeo y de las centrales Beck, para cada hora del día. El régimen de bombeo o generación es afectado por el valor de la energía, de manera que el bombeo se efectúa durante el período de bajo valor y el sistema

/de generación

de generación, durante los períodos de alto valor energético. Obsérvese también que el desvío de agua hacia el almacenamiento reduce la descarga a través de las centrales Beck.

El Gráfico VI muestra el efecto de las descargas anteriores sobre los niveles en el estanque de almacenamiento y en la cámara de carga. El estanque de almacenamiento se llena completamente durante el período de baja tarifa y es descargado en el período de alta tarifa. Obsérvese particularmente las fluctuaciones en el nivel de la cámara de carga. La Cámara de carga se conduce como una instalación de almacenamiento que transfiere energía desde un intervalo de un valor dado a otro de valor más elevado. En esta forma, el nivel de la cámara de carga se eleva durante la transición de un período de una milésima a otro de dos milésimas, y de un período de dos milésimas a otro de cuatro milésimas. La tercera fluctuación se produce cuando las centrales Beck no están en condiciones de descargar desde la cámara la totalidad del agua que se está desplazando desde el embalse a dicha cámara al régimen máximo posible durante el período de valor más elevado. El nivel de la cámara de carga se eleva, almacenando el agua adicional y aumentando la altura de caída en las centrales Beck.

El Gráfico VII ilustra la producción resultante de las tres centrales y su producción combinada. Durante el bombeo, la central de generación y bombeo absorbe energía de las centrales Beck, de modo que la producción combinada es baja. Como era de esperar, la producción máxima de las centrales se produce durante el valor de la punta de carga.

La solución indicada en las tres figuras proporciona el modo óptimo de explotación para el conjunto Beck, siendo simbólico los respectivos guarismos del valor de la energía. En la actualidad se sigue trabajando en la elaboración de métodos de programación hidráulico-térmica que proporcionen cifras exactas del valor de la energía y, en esta forma, posibiliten el empleo económico más eficaz del conjunto Beck.

4. Administración de inventarios

La Ontario Hydro es una gran consumidora de materiales y mercaderías en una escala que abarca desde los lápices hasta las palas a vapor. Como parte de su sistema de abastecimiento, existe en Toronto una gran bodega central denominada "almacenes centrales", y asimismo se cuenta con más de un centenar de bodegas zonales más pequeñas ubicadas estratégicamente en toda la extensión de la provincia. Básicamente, ambos tipos de bodega llevan existencias de artículos corrientes empleados en cantidades substanciales. Los inventarios de estos artículos se aproximan a los 5 millones de dólares en los almacenes centrales y a 3 millones en las bodegas zonales. Los despachos de los almacenes centrales son del orden de los 15 millones de dólares al año.

Se comisionó a un equipo de investigación de operaciones para estudiar todas las fases de la distribución de los abastecimientos normales con el objeto de determinar la posibilidad de introducir mejoras substanciales en un sistema que ya estaba atendiendo las necesidades de la Ontario Hydro con eficacia y economía razonables. El equipo comenzó por el estudio de los elementos presentes en el sistema de aprovisionamiento, tramitación de las compras, operaciones de almacenamiento, requisitos de contabilidad, fuentes de informaciones, teoría del inventario. Se procedió a determinar la duración de los procesos de adquisición (el tiempo que transcurre desde la preparación de una compra hasta la entrega de la mercadería a los almacenes centrales), la frecuencia de los pedidos a los almacenes centrales, los costos de adquisición, costos de almacenaje, número de pedidos pendientes, saldos de existencias en los almacenes centrales y en las bodegas zonales, atrasos en el transporte y una gran cantidad de otros rubros significativos. En este estudio se contemplaban dos clases de pedidos: (1) pedidos recibidos por los almacenes centrales desde las bodegas zonales, que son atendidos con cargo a las existencias en dichos almacenes centrales; y (2) órdenes de compra entregadas a fabricantes por el Departamento de Adquisiciones en representación

/de los

de los almacenes centrales. Las informaciones recogidas fueron estudiadas, comparadas, analizadas, discutidas, vueltas a analizar, etc. Por último, se preparó un informe de unas 400 páginas en que se resumían los datos recogidos, se reseñaban los análisis y se presentaban treinta y una recomendaciones. Con pocas excepciones, las sugerencias del informe fueron aceptadas por la administración una vez sometido el informe a una concienzuda revisión y a un análisis minucioso.

a) Control científico de inventarios

Entre las recomendaciones principales se encontraba una proposición relativa a la adopción de ciertos métodos científicos para el control de los inventarios. Este aspecto particular del estudio puede ser de interés por cuanto ejemplifica dos métodos característicos de la investigación de operaciones. Primero, la solución de un problema de las ciencias físicas se transfirió a un problema comercial. Segundo, el "análisis hipotético" demostró ser útil en cuanto a la predicción de la eficacia de la solución buscada.

Considérese por un momento las fluctuaciones del nivel de los inventarios para un artículo determinado en una situación de almacenamiento ideal (véase Gráfico VIII). Partiendo desde un punto en donde se recibe un nuevo despacho de mercaderías en la bodega, las existencias decrecen gradualmente a medida que se despachan las órdenes. Cuando el saldo en existencia se reduce a cero, llega un despacho de mercaderías solicitadas con anterioridad. El ciclo de consumo y reposición se repite. Puesto que en un sistema perfecto no varían de un ciclo a otro ni el régimen de consumo ni el proceso de adquisición, existe un funcionamiento continuado del sistema. ¿Cabría una reducción en el costo? Evidentemente, los costos de almacenaje podrían reducirse manteniendo inventarios menores. Los cobros por interés serían inferiores y una bodega más pequeña se traduciría en un costo de arrendamiento menor. No obstante, sería preciso colocar órdenes de compra con mayor frecuencia, de modo que los costos de adquisición se elevaran.

/Ahora dirijamos

Ahora dirijamos nuestra atención desde este problema netamente comercial a uno análogo de ingeniería, ilustrado en el Gráfico IX. ¿Cuál es el espesor de aislamiento más económico que se puede emplear en una cañería de vapor? A mayor espesor de aislamiento corresponde un mayor costo de instalación, pero esto nos da también una menor pérdida de calor. El espesor más económico ilustrado por la curva superior del Gráfico IX es aquel que resulta del costo combinado mínimo anual de aislamiento y de pérdida de calor.

De manera semejante, existe una cantidad económica o pedido óptimo que reduce a un mínimo el costo total anual de adquisición y almacenaje. El costo de adquisición aquí empleado comprende los costos de órdenes de compra, inspección y descarga. El costo de almacenaje comprende el gasto del edificio, el interés sobre el capital inmovilizado en el inventario, pérdidas por desuso y gastos similares. Como lo muestra el Gráfico X, los costos anuales de adquisición bajan a medida que el tamaño de los pedidos crecen. El costo anual de almacenaje aumenta porque el saldo medio en existencia es más alto. El pedido óptimo, ilustrado por la línea vertical, es aquella cantidad por la cual el costo total de adquisición y almacenaje es mínimo.

Una fórmula para calcular el pedido óptimo la cual da directamente la cantidad correcta, es la siguiente:

$$\text{Pedido óptimo} = \sqrt{\frac{2YP}{H}},$$

en donde

Y = consumo anual del artículo, en dólares

P = costo de adquisición por orden de compra, en dólares

H = costo anual de almacenaje como fracción del valor promedio de inventario.

La influencia de esta fórmula sobre los pedidos óptimos puede ilustrarse por medio de un caso hipotético. Por ejemplo, con un consumo anual de \$ 320 000, un costo de adquisición de \$ 15 por orden y un costo de almacenaje de 15 por ciento del valor promedio de inventario, el pedido

/óptimo es

Óptimo es de \$ 8 000. Para un consumo anual de \$ 3 200, este pedido es de \$ 800; es decir, para la centésima parte del consumo, el pedido óptimo se reduce a un décimo.

Considérese un cuadro más realista de la fluctuación del saldo en existencia como se ilustra en el Gráfico XI. La cantidad del pedido es igual al pedido óptimo, pero el régimen de consumo ya no es constante y la duración del proceso de compra varía. Lo importante es recordar que se debe prestar consideración especial a la circunstancia de que tanto los procesos de compra como los regímenes de consumo son variables. Estas variaciones pueden corregirse si se escoge el momento oportuno para colocar las órdenes, de manera que las mercaderías de reposición lleguen antes de que las existencias estén agotadas.

Se debe pedir nuevamente un artículo tan pronto como la existencia potencial (la cantidad real de existencia con que se cuenta junto con la cantidad ya pedida a los fabricantes, menos los pedidos pendientes de las bodegas zonales), es equivalente al nivel de reposición, como lo indica la ecuación siguiente:

$$\text{Nivel de reposición} = (L + S + I)W,$$

en donde

L = adelanto promedio de compra en semanas

S = existencia prudente en semanas

I = retardo informativo en semanas

W = consumo semanal promedio

$L \times W$ es el consumo previsto durante el período de espera de la entrega por parte del fabricante; $S \times W$ es la cantidad equivalente a varias semanas de consumo necesario para atender a las variaciones en la duración del proceso de compra y del consumo; $I \times W$ es la cantidad necesaria para atender el consumo desde el momento en que el saldo en existencia alcanza el límite crítico hasta que el encargado del control de existencia se da cuenta de ello. El nivel de reposición no es constante, ya que varía con los cambios en el consumo, plazo de entrega, saldo de seguridad de existencia y atraso informativo.

/El nivel

El nivel correcto de existencia de seguridad es importante, puesto que su magnitud ejercerá una influencia considerable en épocas de escasez. Utilizando la teoría de las probabilidades, es posible determinar una relación razonable entre la magnitud de la seguridad de existencia para cualquier artículo determinado y la frecuencia de períodos de escasez.

En cuanto al atraso informativo, se debe tener presente que en los almacenes centrales hay en existencia unas 10 000 clases de artículos. Se prepara un informe semanal sobre los saldos en existencia de estos artículos. Por consiguiente, un encargado de las existencias que revise el informe puede obtener datos sobre los saldos existentes hasta con una semana de atraso.

El atraso informativo puede estimarse en este caso como una semana.

b) Análisis hipotético

Las normas para el pedido óptimo y el nivel de reposición que se acaban de exponer, forman la base del sistema científico que se recomienda para los pedidos de los almacenes centrales. En esta etapa sería razonable formular la siguiente pregunta: ¿Hasta qué punto soportan bien los resultados de la aplicación de estas nuevas normas una comparación con los resultados obtenidos de acuerdo al sistema anterior? Los nuevos procedimientos han estado en uso desde hace sólo poco tiempo, de modo que los resultados de hoy no pueden todavía ser cotejados con los resultados de ayer. Además, las circunstancias cambian, de manera que los regímenes de consumo son diferentes y los plazos de entrega son más cortos o largos que antes. La respuesta a la pregunta anterior la proporcionó el método del "análisis hipotético".

Al aplicar el análisis hipotético, se hizo un estudio de los registros de existencias de numerosos artículos típicos de consumo corriente. Se registraron los saldos en existencia para cada semana durante un período de tres años; se anotaron los pedidos internos de los artículos por cada semana de los tres años y se determinó el plazo de entrega de cada orden de adquisición. Al desarrollar la hipótesis, se aplicaron las normas de /formulación de

formulación de pedidos a cada uno de estos artículos. Se tomaron como puntos de partida los saldos en existencia reales al comienzo del período de tres años. Se supuso que los mismos pedidos eran recibidos en los almacenes centrales y que los plazos de entrega eran iguales a los del pasado. La sola diferencia entre lo que realmente sucedió en el pasado y lo que ocurrió hipotéticamente se derivó de la aplicación de las nuevas normas sobre formulación de pedidos. En la hipótesis se colocó una orden de compra de pedido óptimo en cada caso en que los niveles potenciales en existencia descendían al nivel de reposición. El pedido óptimo no era constante en estos cálculos, sino una variable computada sobre la base de los niveles de precio, las tasas de consumo, los costos de adquisición y los costos de almacenaje. Todos estos factores variaron durante el período de tres años. Además, se estudiaron los efectos de la seguridad de existencia para dos, cuatro y seis semanas. En esta forma se obtuvo una comparación válida entre los saldos en existencia reales durante el período de tres años y lo que ellos habrían sido si se hubiesen aplicado las nuevas normas de formulación de pedidos. El Gráfico XII es una reproducción de la información típica dada por el computador y representa la conducta inventarial hipotética de un solo artículo a través de un año dentro del período de tres años.

El Gráfico XIII presenta una comparación de saldos de existencia reales e hipotéticos para uno de los artículos estudiados, una clase específica de alambre de cobre. Se puede observar que el saldo en existencia promedio es inferior en la hipótesis basada en una seguridad de existencia para seis semanas, y las semanas de escasez son menos. El saldo en existencia medio real era de 124 000 libras contra un saldo en existencia medio hipotético de 100 000, y hubo en realidad 17 semanas de escasez de existencia contra cinco semanas de escasez hipotética de existencia. Para ser justos con el personal de aprovisionamiento de la Ontario Hydro, se debe tomar en cuenta que una huelga en una de las principales firmas proveedoras fue la causante de la escasez de cobre.

/c) Normas

c) Normas de pedidos para bodegas zonales

Sobre la base de los resultados obtenidos con el análisis hipotético y otras formas de análisis, el equipo de investigación de operaciones demostró que se podían lograr economías substanciales mediante el empleo de los procedimientos propuestos sobre normas de pedidos. Para las bodegas zonales pequeñas, se elaboró un procedimiento más sencillo. Las normas de pedidos propuestas para los almacenes zonales son las siguientes:

Nivel de reposición: las órdenes deberán colocarse cuando el saldo en existencia desciende a 1/13 del consumo del año anterior, esto es, cuando queda para un consumo medio de cuatro semanas.

Pedido óptimo: los pedidos óptimos aparecen en la siguiente tabla:

<u>Consumo del año anterior</u> <u>(Valor en dólares)</u>	<u>Pedido óptimo</u> <u>(Consumo de la semana)</u>
0 a 100	52
101 a 1 000	18
1 001 a 10 000	6
10 001 a más	2

En el caso de las bodegas zonales, los plazos de entrega son cortos y relativamente constantes, ya que los pedidos son formulados a los almacenes centrales. También el atraso informativo es de importancia mínima. De aquí que sea posible permitir que las existencias zonales desciendan a niveles bastante bajos, ya que se cuenta con los almacenes centrales para apurar las reposiciones. En el procedimiento indicado, los saldos en existencia descienden al nivel de cuatro semanas de consumo antes de enviar pedidos a los almacenes centrales, y la cantidad que se solicite dependerá del consumo del año anterior. En los casos en que el consumo del año anterior haya sido inferior a \$ 100, se prepara una sola orden para una provisión destinada al año completo. En los casos en que el consumo del año anterior haya sido elevado, sobre \$ 10 000, los pedidos se hacen para un consumo de dos semanas. Se especifican las cantidades apropiadas para los consumos anuales intermedios.

/d) Recopilación

d) Recopilación centralizada de datos

Para el funcionamiento de ambos sistemas de control de inventarios, se necesita contar con cifras exactas y al día sobre los saldos en existencia, consumo y plazos de entrega para todos los artículos en las diversas ubicaciones. Se han establecido instalaciones y procedimientos centralizados y perfeccionados para la elaboración de los datos y, por consiguiente, para garantizar una ejecución exacta de las normas de pedidos. Las informaciones sobre los movimientos de inventario en las zonas son perforadas sobre cintas de papel, las que luego se despachan por correo a la sección tabuladora de los almacenes centrales. Más de cinco mil entregas de material se atienden cada día, preparándose informes de inventario a intervalos frecuentes para uso en las oficinas regionales y en la oficina principal.

e) Informes especiales de administración

Un elemento de importancia en el nuevo sistema de control de inventarios es la preparación de informes especiales destinados a todas las esferas de la administración que estén relacionadas con la operación de aprovisionamiento, hasta llegar al Gerente General mismo. Estos informes proporcionan informaciones concisas y al día sobre los saldos en existencia, consumo, cambios en los saldos en existencia, saldos en existencia propuestos y reducciones potenciales de existencias para las categorías más importantes de artículos.

El Gráfico XIV, que se refiere a la administración de inventarios, es una muestra de un informe de esta naturaleza. La mitad superior de este informe proporciona datos numéricos sobre los inventarios del mes anterior, en tanto que la mitad inferior contiene un gráfico. Sobre este gráfico se traza mensualmente la curva de relación de control de inventarios. La relación se obtiene de la siguiente expresión:

$$\text{Relación} = \frac{\text{Saldo real en existencia} - \text{saldo económico de inventarios}}{\text{Saldo real en existencia}} \times 100 \text{ por ciento}$$
$$= \frac{\text{Reducción potencial de existencias}}{\text{Saldo real en existencia}} \times 100 \text{ por ciento}$$

/Es evidente

Es evidente que si la existencia real llega a ser equivalente al saldo económico calculado de inventario, la relación de control de inventario llega a cero.

Se establece un margen de tolerancia para fluctuaciones razonables en el consumo y en los saldos en existencia mediante la incorporación en el cuadro de límites de control de menos de 25 por ciento y más de 25 por ciento. Cuando la relación de control de inventarios queda dentro de estos límites, se considera que el almacenaje ha alcanzado un funcionamiento económico controlado. En cambio, si la relación queda fuera de estos límites, se impone hacer la verificación correspondiente a fin de determinar el tipo de acción que se necesita para dejar las operaciones del almacén dentro de la zona de funcionamiento controlado.

La eficacia de todo el programa administrativo inventarial está bien ilustrada por el Gráfico XV, que se refiere al inventario económico. Aun cuando, para fines de presentación pública, se han eliminado las cifras verdaderas, la fuerte y progresiva reducción de inventarios, lograda sin sacrificio de la calidad del servicio, habla por sí misma.

5. Política de reposición de vehículos

¿Cuándo se debe reponer un vehículo? Este problema es importante para la Ontario Hydro, cuya flota consta de 2 500 vehículos de variadas clases y cuyo funcionamiento tiene lugar bajo condiciones diversas. A pesar de que son muchas las soluciones propuestas para este problema fundamental del funcionamiento de una flota, son pocas las que resisten un análisis lógico. Asimismo, una determinada política que ha demostrado ser satisfactoria para una flota, es casi seguro que no será la mejor para una organización fiscal como la Ontario Hydro, diferente por sus objetivos financieros, tasas tributarias, tasas de interés y disponibilidades de capital.

El problema de perfeccionar un método científico que facultase a la Comisión para establecer la política óptima de reposición de vehículos, se le ha asignado a un equipo de investigación de operaciones. Este equipo especial constaba de un físico, un matemático y un ingeniero mecánico, todos ellos con antecedentes en esta clase de estudios. El

/paso inicial

paso inicial en la investigación del problema fue una reunión con el personal encargado de la administración de la flota. Se analizó la naturaleza del problema y se prefijaron ciertos objetivos y condiciones.

a) Recolección de datos

A fin de posibilitar la creación de una política conveniente de reposición de vehículos, se necesitaban informaciones básicas sobre factores tales como el método existente de funcionamiento de la flota, los tipos de registros de rendimiento, el sistema de contabilidad de costo por vehículo y la categoría y conveniencia de las reparaciones. Para obtener estas informaciones, el equipo conversó con el personal administrativo del garaje central, el contador de una región típica, algunos de los mecánicos de servicio, las personas que usan los vehículos, los contadores de costos, el agente de adquisición de vehículos y con muchas otras personas que teman parte en la compleja tarea de manejar una gran operación. Todas las fuentes de datos apropiados para el estudio fueron ubicadas y se examinó la validez de las informaciones disponibles. En esta etapa no se dio nada por sentado y todas las informaciones fueron cotejadas en los casos en que esto fue posible.

Como era de esperar, este estudio de las operaciones de la flota puso en descubierto muchos aspectos que eran secundarios respecto del problema principal de la reposición de los vehículos, pero sobre los cuales era de interés para la administración contar con las informaciones pertinentes. Aunque estos beneficios secundarios no serán analizados, se les mencionan aquí porque en una seria investigación de operaciones existe la conveniencia de disponer de la mayor cantidad posible de informaciones antes de resolver el problema principal.

b) Análisis de costos de los vehículos

Una vez que los datos y observaciones hubieron sido consolidados y analizados, se adoptó el siguiente criterio para la solución: "Para el vehículo típico de cada grupo de vehículos similares con uso similar, el costo medio acumulativo hasta la edad óptima de reposición debe ser inferior al costo medio acumulativo hasta cualquiera otra edad de reposición posible." Este criterio quedó sometido a la limitación de que no se comprarían vehículos usados para fines de reposición. Al determinar

/el costo

el costo total de explotación del vehículo, hay muchos factores, directos e indirectos que considerar. Sería extremadamente difícil desde un punto de vista operacional y contable obtener buenos datos en relación con todos ellos. Afortunadamente, se puede demostrar que los factores de costo que varían en relación directa con el tiempo o con el kilometraje no necesitan ser considerados, desde que serán esencialmente los mismos para los vehículos nuevos y viejos en un servicio similar. Muchos costos como los de pago de patentes y seguros son directamente proporcionales al tiempo, en tanto que el desgaste de los neumáticos y el consumo de gasolina y aceite son directamente proporcionales al kilometraje. En ausencia de datos específicos, se presume que los accidentes son de naturaleza fortuita, sin acusar preferencia por vehículos nuevos o viejos.

Por último, se concedió máxima importancia a los factores siguientes en la determinación de la edad óptima de reposición: derroche de capital, interés, reparaciones e inutilidad. El desuso se incluyó en el análisis por la medida en que se reflejaba en los valores de derroche de capital. Los costos asociados con el factor de inutilidad fueron considerados como aquellos en que se incurre cuando un vehículo no está en condiciones de prestar servicios por no encontrarse en buen estado de funcionamiento. Entre los costos indirectos del mal estado de funcionamiento se encuentran el efecto adverso en la buena voluntad del cliente, la pérdida de la venta de energía a causa de los atrasos en la prestación de servicios, las horas-hombre y las horas-máquina de inactividad. Estos últimos son difíciles de expresar cuantitativamente, pero su importancia fue reconocida por la introducción del factor de inutilidad.

c) Intervalo óptimo de reposición

Al considerar los diversos factores ya mencionados, es necesario pensar en un vehículo hipotético cuyos costos son el término medio para vehículos similares de una flota. Se puede trazar un gráfico (XVI) que contemple los costos de derroche de capital, interés y reparaciones durante cada año de la vida útil del vehículo; por el momento, se omite la consideración de los costos reales que surgen de la inutilidad del vehículo.

/Se observará

Se observará que el derroche de capital (proveniente de las cifras del mercado) y el interés decrecen con la edad, en tanto que los costos de reparaciones tienden a aumentar. Con los mismos datos de costo como base, se pueden trazar en el gráfico puntos que representen el costo promedio acumulativo hasta cada año de edad del vehículo. Se da como edad correcta de reposición la edad que se traduce en el costo promedio mínimo acumulativo.

En este diagrama, basado en cifras puramente arbitrarias, la edad de reposición óptima es de seis años, aunque el vehículo hipotético había alcanzado su costo anual mínimo en el cuarto año. Para lograr una solución completa, el gráfico debe ser trazado de nuevo, introduciendo ahora los costos de inutilidad. La edad óptima de reposición puede entonces establecerse de acuerdo con los cuatro factores considerados. Esto es lo que se ha hecho en el Gráfico XVII, en donde los costos de inutilidad de cada año de la vida útil del vehículo hipotético han sido agregados a los otros costos significativos, derroche de capital, interés y reparaciones. Así se determinó que la edad óptima de reposición era de cinco años, puesto que el costo promedio acumulativo es un mínimo para esta política de reposición.

d) Política de reposición dinámica

Este sistema de determinación de la edad óptima de reposición presenta un serio inconveniente en cuanto requiere datos que se remontan a varios años. Con los rápidos cambios que ha experimentado nuestra economía, los valores de recuperación y los costos de reparación anteriores no son fidedignos como base de pronóstico para costos futuros. Afortunadamente, es posible, valiéndose de un método dinámico, salvar estas dificultades y obtener una solución que ponga de manifiesto tanto el derroche de capital como los costos de reparación en el momento en que se haga el estudio. La base para este método es la siguiente:

1. Para cada grupo de vehículos similares con kilometraje relativamente iguales, se obtienen los costos de derroche de capital, interés, reparaciones e inutilidad solamente por el año anterior.

/2. La

2. La edad óptima de reposición para este grupo se determina enseguida, como ya se esbozó, con excepción de la hipótesis siguiente: los costos previstos para cada año futuro de la vida útil del vehículo están mejor representados por los costos correspondientes del año anterior para vehículos similares de edad equivalente. Por ejemplo, el costo promedio de reparación del año anterior, para camiones que se encontraban en su tercer año de servicio, se emplea para pronosticar los costos futuros en el tercer año de la vida de un camión.

En este caso es posible trazar gráficos ilustrativos de la edad óptima de reposición. Los parámetros son la edad del vehículo y el kilometraje promedio anual. Las curvas se basarán en su totalidad sobre los datos más recientes, de antigüedad inferior a un año, y proporcionarán a la administración una base claramente definida para una política de reposiciones.

Otra característica importante del sistema analítico reside en la forma de los datos sobre costos de reparación. Esto se ha adoptado con vistas a descubrir cambios significativos en los costos de reparación. Mediante el uso de técnicas estadísticas apropiadas, se puede establecer si los costos de reparación se deben a cambios en las operaciones del garaje o simplemente a un error de muestreo. El sistema de control permite también descubrir aquellos vehículos cuyo costo de reparaciones excede mucho del promedio.

e) Ejecución

La política expuesta de reposición de vehículos se adoptó hace años, pero su ejecución exigió amplios cambios en los métodos existentes de recolección y de análisis de datos de las operaciones de flota. Se ha logrado ahora una utilización efectiva de la nueva política, y los indicios actuales señalan en forma concluyente la obtención de economías substanciales en el costo de funcionamiento de la flota de la Ontario Hydro.

El Gráfico XVIII muestra algunos resultados reales obtenidos en 1958 para dos clases de vehículos en la flota. La utilidad del análisis como ayuda para la administración de una flota en cuanto a resolver sobre la edad de reposición más satisfactoria, es evidente. La decisión sobre

/estos dos

estos dos casos fue de cinco y ocho años respectivamente como edades óptimas de reposición. La cifra de diez años indicada por el análisis fue desechada en razón de la escasa existencia de vehículos en los grupos de edad más viejos; los datos para estos años fueron, por consiguiente, algo imprecisos para su empleo en la predicción de los costos futuros.

La experiencia con esta política ha subrayado la necesidad de eliminar aquellos costos en exceso y llegar al punto económico de reposición, el que tiene validez cuando se cuenta con una planta fija de personal y de instalaciones. En esta circunstancia, una evaluación realista de los costos asociados con el punto económico de reposición, en concordancia con los costos normales predeterminados, puede indicar que la curva de promedio acumulativo debe ser más baja para el total de la vida útil de la clase de vehículo representado.

6. Conclusión

Los tres estudios expuestos son ejemplos típicos de la forma en que la investigación de operaciones ha ayudado a la administración de la Ontario Hydro a resolver complejos problemas operacionales. Las compañías eléctricas se encuentran generalmente frente a la necesidad de hacer análisis objetivos y amplios que les permitan tomar decisiones importantes, y a emplear procedimientos científicos destinados a conseguir óptimos resultados de operaciones específicas de envergadura. En tales casos, es preciso que la administración considere seriamente la utilidad y conveniencia de emplear la investigación de operaciones como alternativa de otros métodos de estudio, como ser, las asignaciones departamentales o paneles de comité.

Anexo

Definición de investigación de operaciones

La investigación de operaciones es una actividad bastante nueva que necesita ser definida. Es preciso darse cuenta que la definición amplia del concepto "campo científico" no es fácil; por ejemplo, resulta difícil definir pronta y adecuadamente los términos "física" o "química". La definición más antigua y de aceptación más general de investigación de operaciones es la de C. Kittel, uno de sus primeros cultores, quien expresa: "la investigación de operaciones es un método científico para suministrar a los departamentos ejecutivos una base cuantitativa para sus decisiones".

La siguiente definición, más pragmática, ha sido propuesta por E. O. Boshell, Presidente de la Westinghouse Air Brake:

"El proceso de analizar y revisar minuciosamente la actividad comercial y su medio ambiente es una forma de investigación. Cuando este proceso entraña el empleo de métodos científicos reconocidos satisface mi manera de entender lo que es investigación de operaciones".

Tal como lo sugieren estas dos definiciones, la diferencia esencial entre investigación de operaciones y otras investigaciones científicas está en la característica especial de los fenómenos que se estudian.

En lugar de estudiar las reacciones nucleares, la emisión electrónica, o las hormonas de las plantas, el cientista se ocupa de la conducta de los hombres y de las máquinas en el trabajo, de una actividad comercial, de una modalidad de producción industrial.

/Proyectos de

Proyectos típicos de investigación de operaciones

Una manera de dar una visión introspectiva de los campos de la actividad de la investigación de operaciones consiste en examinar los títulos de algunos documentos publicados recientemente sobre la materia:

- "Adquisición de materias primas en un mercado fluctuante"
- "La programación lineal resuelve problemas de refinación y mezcla de la gasolina"
- "Sobre la determinación de la capacidad generadora óptima de reserva en un servicio eléctrico de utilidad pública"
- "Problemas de la congestión en las carreteras"
- "El problema del vendedor viajero"

Este último título se refiere a una situación en que un vendedor o un muestrario ambulante debe recorrer numerosas ciudades en el cumplimiento de una misión comercial. El problema consiste en establecer el itinerario que reduce al mínimo la distancia total por recorrer.

- "Sobre la mejor distribución de recursos limitados"
- "La confianza que merece el sistema como función de su edad: efectos del empleo de la componente intermitente y de la conservación periódica"
- "Atención por orden de llegada en el caso de clientes impacientes y empleados indiferentes"

Este estudio se ocupa de un problema bastante generalizado, el de una cola que ahuyentará a los clientes potenciales si pasa de determinada longitud y los empleados no prestan atención al orden de llegada de los clientes.

- "Estudio de planeamiento y control financieros"
- "Aplicación de la teoría del servomecanismo en el estudio del control de producción"
- "El efecto del esfuerzo de promoción en las ventas"
- "Un modelo de distribución de las materias primas para las plantas de altos hornos"
- "Criterios para la selección de recursos hidráulicos"

Características de la investigación de operaciones

Los títulos indicados más arriba dan solamente una somera idea de la extensa gama de actividades militares y comerciales que forman las materias que aborda el estudio de la investigación de operaciones. ¿Qué otra cosa hay, además de la materia, que caracterice la investigación de operaciones?

/a) Personal

a) Personal administrativo

Una de las características será el tipo de persona que es dable encontrar en estas actividades. En la mayoría de los casos contará con antecedentes científicos en ingeniería, física, biología, matemáticas, química o de alguna otra especialización. Ocasionalmente, nos encontraremos con un economista, psicólogo o contador. Estos científicos contarán con los requisitos de competencia necesarios. Su preparación académica será, por lo general, muy superior a la de un bachiller. Habrán estado varios años al servicio del gobierno o de la industria en la investigación y desarrollo de proyectos de esta clase. En esta forma, antes de tomar parte en proyectos de investigación de operaciones, habrán demostrado su aptitud para resolver problemas difíciles en sus respectivos campos científicos. Además, tendrán profundamente grabadas las características de cualquier científico o ingeniero de primera clase, sentido de la curiosidad, respeto por la medición y pasión por la objetividad.

b) Organización

La forma de organización para la investigación de operaciones es otro aspecto esencial. La investigación de operaciones se ejecuta casi siempre a base de un trabajo de equipo, cuyos miembros, en diferentes niveles de instrucción, le dedican una jornada completa al proyecto. La variedad de talentos permite al equipo enfocar un problema desde diferentes puntos de vista, garantiza la posibilidad de utilizar todas las habilidades necesarias en la solución del problema y estimula el análisis crítico antes de darla a conocer a la administración. A menudo, por lograr una mayor eficiencia, el equipo es ampliado mediante la inclusión de una persona familiarizada con las operaciones reales en estudio. En todo caso, es indispensable establecer un enlace estrecho con el administrador a cargo de las operaciones, tanto para garantizar la precisión y adecuación de los términos de referencia del equipo como para proporcionar la orientación de la administración respecto a materias de política general. Debe existir siempre confianza y respeto mutuos entre el administrador y el equipo. Una vez planteado el problema, cada equipo queda en libertad

/por recibir

por recibir la información necesaria en cualquier parte de la organización y disponer del tiempo suficiente para clasificar y analizar los datos obtenidos.

c) Técnicas

El tercer elemento fundamental de la investigación de operaciones reside en las técnicas empleadas en la solución de los problemas comerciales. Cualesquiera de los procedimientos matemáticos y experimentales de un problema puramente físico están disponibles. La técnica más usual y conveniente en la iniciación de cualquier estudio es la recolección de datos estadísticos y su análisis correspondiente. Los datos abarcarán tanto los aspectos financieros como los operacionales. El muestreo y la teoría de la probabilidad son a menudo, indispensables en esta etapa, porque permiten la obtención de resultados útiles de informaciones limitadas. Posteriormente, se empleará el método del modelo homólogo para establecer la comparación física o matemática del sistema comercial en estudio. Aunque es frecuente el uso de "modelos" en la labor científica y de ingeniería, dicho término se emplea poco; en cambio, nos referimos a cosas tan familiares como las ecuaciones, la ley de Ohm, los diagramas de válvulas y las cartas de flujo sin pensar en ellos como modelos.

Otra técnica que se ha perfeccionado hace muy poco es la denominada "programación lineal". Es un procedimiento matemático para encontrar la mejor solución a ciertos problemas lineales. Un problema típico es determinar la manera más económica de mezclar varias materias primas con diferentes costos de adquisición y diferente composición. También existe el problema a la inversa, o sea, la producción de componentes en una refinería a base de determinadas partidas de petróleo con el objeto de obtener el máximo de utilidad de los productos refinados.

Una técnica bastante antigua, pero que ha logrado considerables avances en el último tiempo, es la "teoría del orden de llegada". Esta forma de análisis mostró su utilidad por primera vez en el diseño de equipo de tableros telefónicos para responder a una demanda prevista de la clientela. Las colas constituyen un espectáculo corriente en toda la sociedad, en restaurantes, aeropuertos, fábricas, caminos, en todas partes.

La teoría del orden de llegada ayudará a resolver el problema del número de empleados que se contratará, el número de vías, de operarios, etc. Un suplemento muy reciente y poderoso de la teoría del orden de llegada es el método "Monte Carlo". Ahora se puede resolver la mayoría de los problemas de atención por orden de llegada, a un costo razonable, combinando el método "Monte Carlo" con computadores electrónicos de alta velocidad.

El "método de transporte" es otra técnica que goza de aceptación general a causa de su utilidad directa. Este método facilita la disposición más económica de embarques de las fábricas a las bodegas, de estas últimas a los clientes o de los yacimientos petrolíferos a los puertos de descarga. Los datos necesarios emprenden la cantidad de material disponible en cada punto de origen y en cada lugar de destino, y los costos de flete o embarque entre ambos.

Se cuenta también con otras técnicas, como la "programación dinámica" y el "análisis hipotético", pero, como ya se dijo, un equipo de investigación de operaciones utilizará cualquier procedimiento matemático o físico aplicable a un problema particular. Por ejemplo, se sabe de éxitos conseguidos por equipos que han empleado algo tan complejo como la aritmética corriente en la solución de problemas sumamente difíciles.

El empleo de las matemáticas no debe considerarse como un medio revolucionario para resolver problemas comerciales, sino más bien, como una forma preferida del equipo para plantear un problema a fin de entenderlo mejor y hallarle la solución adecuada. Como resultado de su preparación científica y de sus antecedentes de investigadores, los componentes del equipo están en condiciones de analizar cualquier problema en forma objetiva y flexible. Buscarán, en un libre intercambio de ideas y de análisis, el elemento verdadero que les permitirá llegar a una recomendación aceptable.

En un máximo grado, las recomendaciones deberán basarse en una evaluación cuantitativa de la situación y en un cálculo también cuantitativo de los resultados que se piensa obtener. El administrador sintetizará enseguida el análisis del equipo y lo computará con otros factores realmente intangibles - política, moral, tradición - antes de llegar a su decisión definitiva.

BIBLIOGRAFIA

1. C. Kittel, "The Nature and Development of Operations Research", Science, 7 de febrero de 1947, págs. 150-153.
2. E.O. Boshell, "Operations Research - Top Management Tool", Dun's Review and Modern Industry, marzo de 1956, págs. 49-51.
3. B. Bernholtz, W. Shelton y O. Kesner, "A Method of Scheduling Optimum Operations of Ontario Hydro's Sir Adam Beck-Niagara Generating Station", Power Apparatus and Systems, diciembre de 1958, págs. 981-991.

LEYENDAS PARA LAS FIGURAS DE LOS INFORMES SOBRE EL "PAPEL DESEMPEÑADO
POR LA INVESTIGACION DE OPERACIONES EN EL ANALISIS DE PROBLEMAS
COMPLEJOS DE ADMINISTRACION EN UNA GRAN EMPRESA
ELECTRICA DE SERVICIO PUBLICO"

GRAFICO I CENTRALES GENERADORAS DEL NIAGARA DE SIR ADAM BECK.

GRAFICO II MODELO DEL CONJUNTO BECK.

- A. Río Niágara alto
- B. Estanque de almacenamiento
- C. Central de generación y bombeo
- D. Cámara de carga de las centrales Beck
- E. Centrales generadoras Beck

GRAFICO III DEMANDA DIARIA DE ENERGIA.

GRAFICO IV VALOR DE LA ENERGIA CONSUMIDA.

GRAFICO V PROGRAMA OPTIMO DE DESCARGA.

- A. Embalse de almacenamiento de descarga
- B. Centrales Beck de descarga

GRAFICO VI PROGRAMA OPTIMO DE NIVELES DE AGUA.

- A. Niveles de embalse de almacenamiento
- B. Niveles de la cámara de carga de las centrales Beck

GRAFICO VII PROGRAMACION OPTIMO DE GENERACION ELECTRICA

- A. Producción de la central de generación y bombeo
- B. Producción de las centrales Beck
- C. Producciones combinadas

GRAFICO VIII MODELO IDEAL DE PROCEDIMIENTO INVENTARIAL

- A. Plazo de entrega
- B. Punto de reposición
- C. Cantidad del pedido

/GRAFICO IX

GRAFICO IX ESPESOR OPTIMO DE AISLACION TERMICA.

- A. Costo de pérdida de calor
- B. Amortización de costos de aislamiento
- C. Costo total
- D. Espesor económico

GRAFICO X ILUSTRACION GRAFICA DEL PEDIDO OPTIMO.

- A. Costo de adquisición
- B. Costo de almacenaje
- C. Costo total anual

GRAFICO XI SISTEMA INVENTARIAL TIPICO CON VARIABLES DE CONSUMO Y PLAZO DE ENTREGA.

- A. Plazo de entrega
- B. Nivel de reposición
- C. Cantidad del pedido
- D. Existencia de seguridad

GRAFICO XII INFORMACION DADA POR EL COMPUTADOR OBTENIDA DEL ANALISIS HIPOTETICO MOSTRANDO EL EFECTO DE NUEVAS NORMAS DE PEDIDOS EN EL COMPORTAMIENTO INVENTARIAL.

- A. Semana
- B. Pedidos a los almacenes centrales
- C. Despacho de los almacenes centrales
- D. Ordenes no despachadas
- E. Nivel actual de existencia
- F. Nivel de existencia potencial
- G. Nivel de reposición
- H. Cantidad del pedido óptimo
- I. N° de orden de compra
- J. Cantidad pedida
- K. N° orden de compra
- L. Cantidad recibida

GRAFICO XIII COMPARACION DE SALDOS REALES E HIPOTETICOS DE ALAMBRE DE COBRE

GRAFICO XIV INFORMES INVENTARIALES DE ADMINISTRACION

/GRAFICO XV

- GRAFICO XV GRAFICO INVENTARIAL ECONOMICO PARA TODAS LAS REGIONES COMBINADAS.
- A. Nivel real de saldos
 - B. Nivel inventarial económico
- GRAFICO XVI COSTO HIPOTETICO ANUAL PROMEDIO Y COSTO PROMEDIO ANUAL ACUMULADO PARA TIPO PARTICULAR DE VEHICULOS.
- A. Reparaciones
 - B. Interés
 - C. Desperdicio de capital
 - D. Promedio acumulado
- GRAFICO XVII COSTOS HIPOTETICOS ANUALES PROMEDIOS Y COSTOS PROMEDIOS ANUALES, INCLUYENDO COSTO DE INUTILIDAD.
- E. Reparaciones + interés + desperdicio de capital
 - F. Inutilidad
 - D. Promedio acumulado
- GRAFICO XVIII COSTO PROMEDIO REAL ANUAL Y COSTO PROMEDIO ANUAL ACUMULADO, INCLUYENDO COSTO DE INUTILIDAD, PARA DOS TIPOS DE VEHICULOS.
- F. Inutilidad
 - A. Reparaciones
 - B. Interés
 - C. Desperdicio de capital
 - D. Promedio acumulado

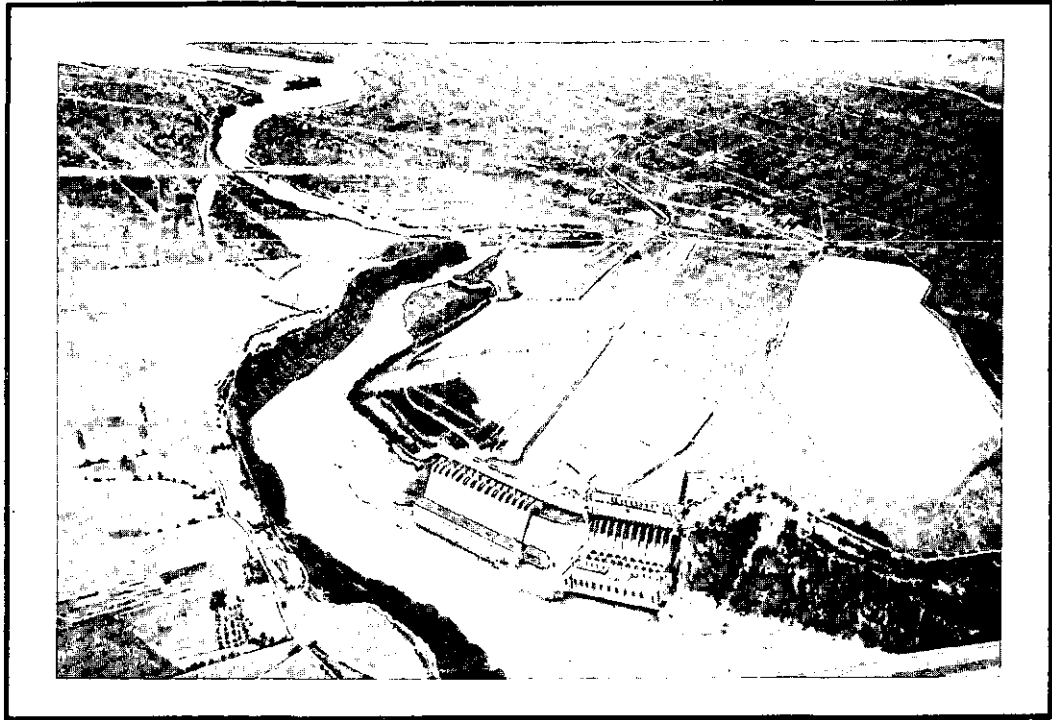


FIGURE 1

SIR ADAM BECK-NIAGARA
GENERATING STATIONS

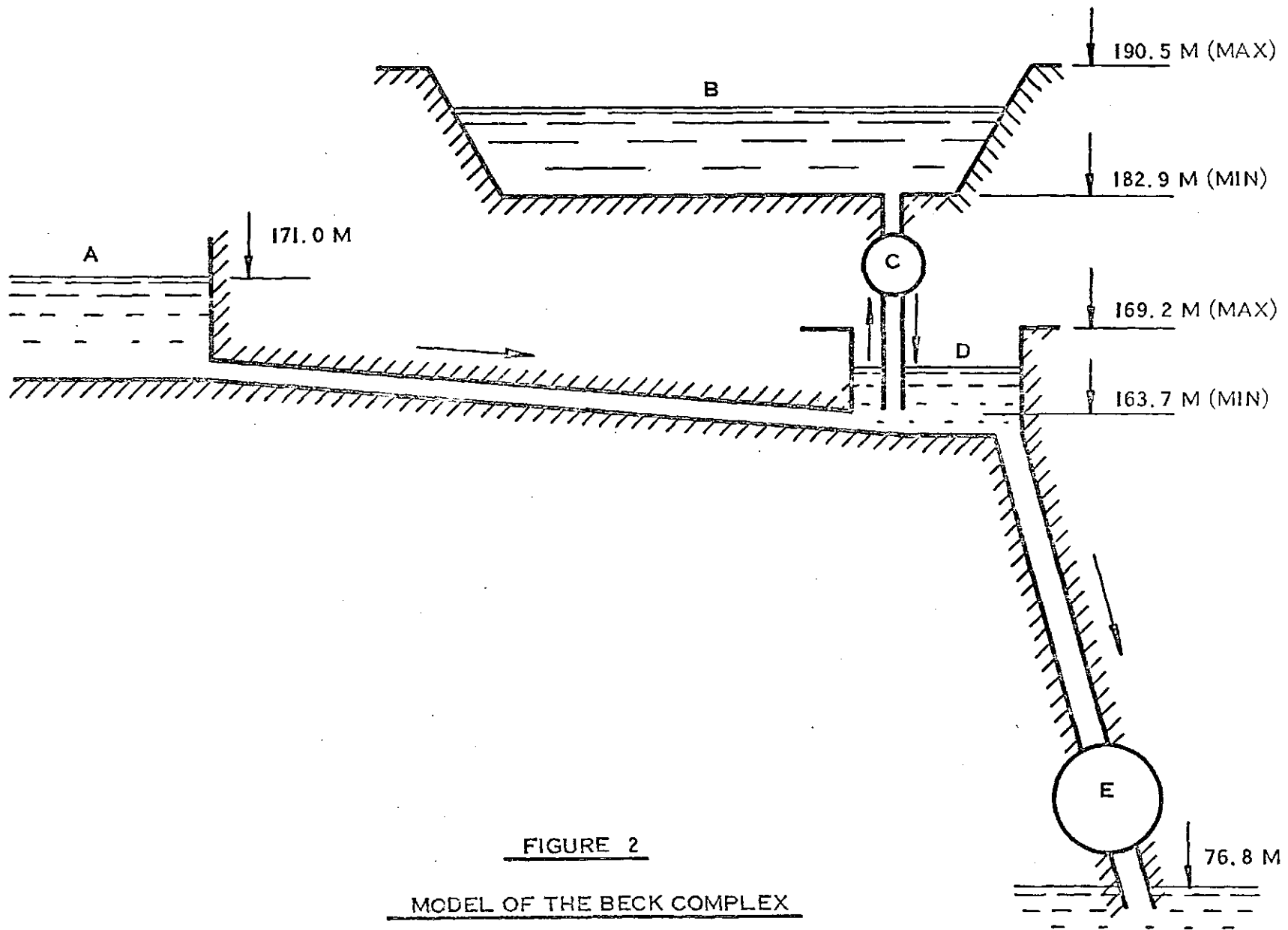


FIGURE 2

MODEL OF THE BECK COMPLEX

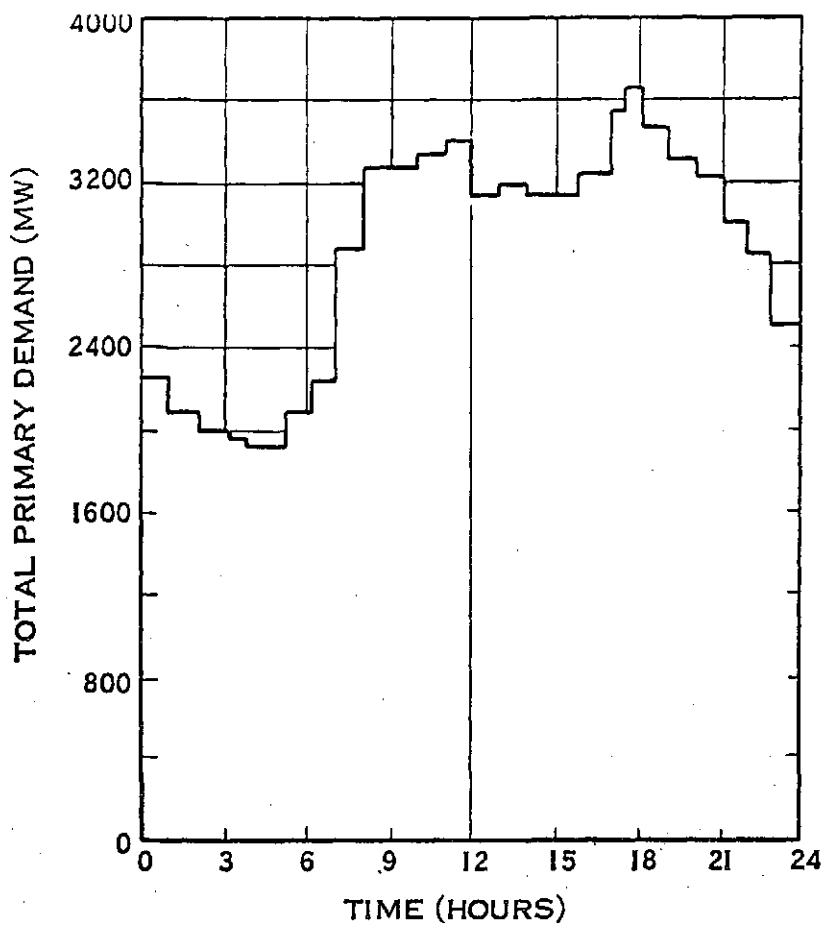


FIGURE 3

POWER DEMAND OVER A DAY

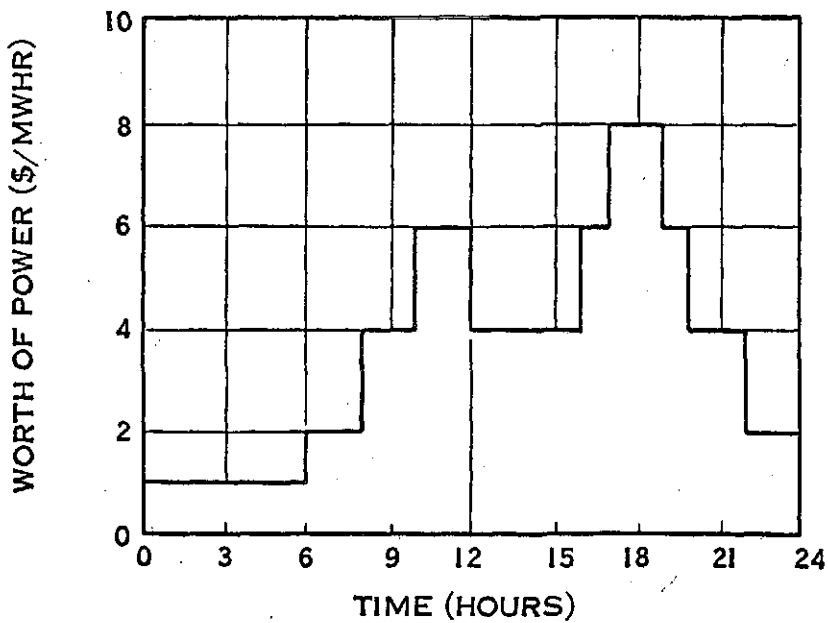


FIGURE 4

ASSUMED WORTH OF POWER

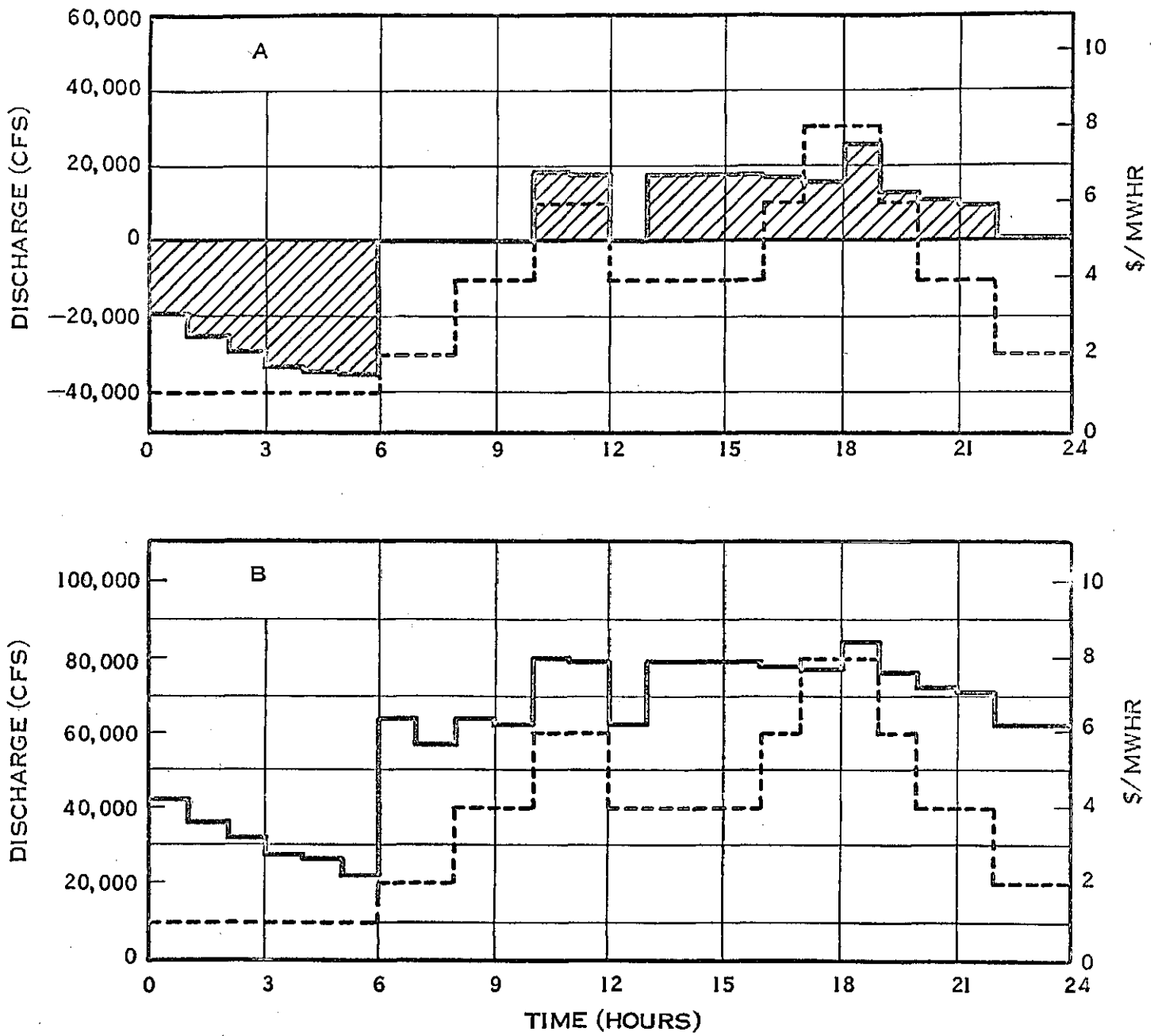


FIGURE 5

OPTIMUM SCHEDULE OF DISCHARGES

1 CFS = 0.02832 M³/SEC

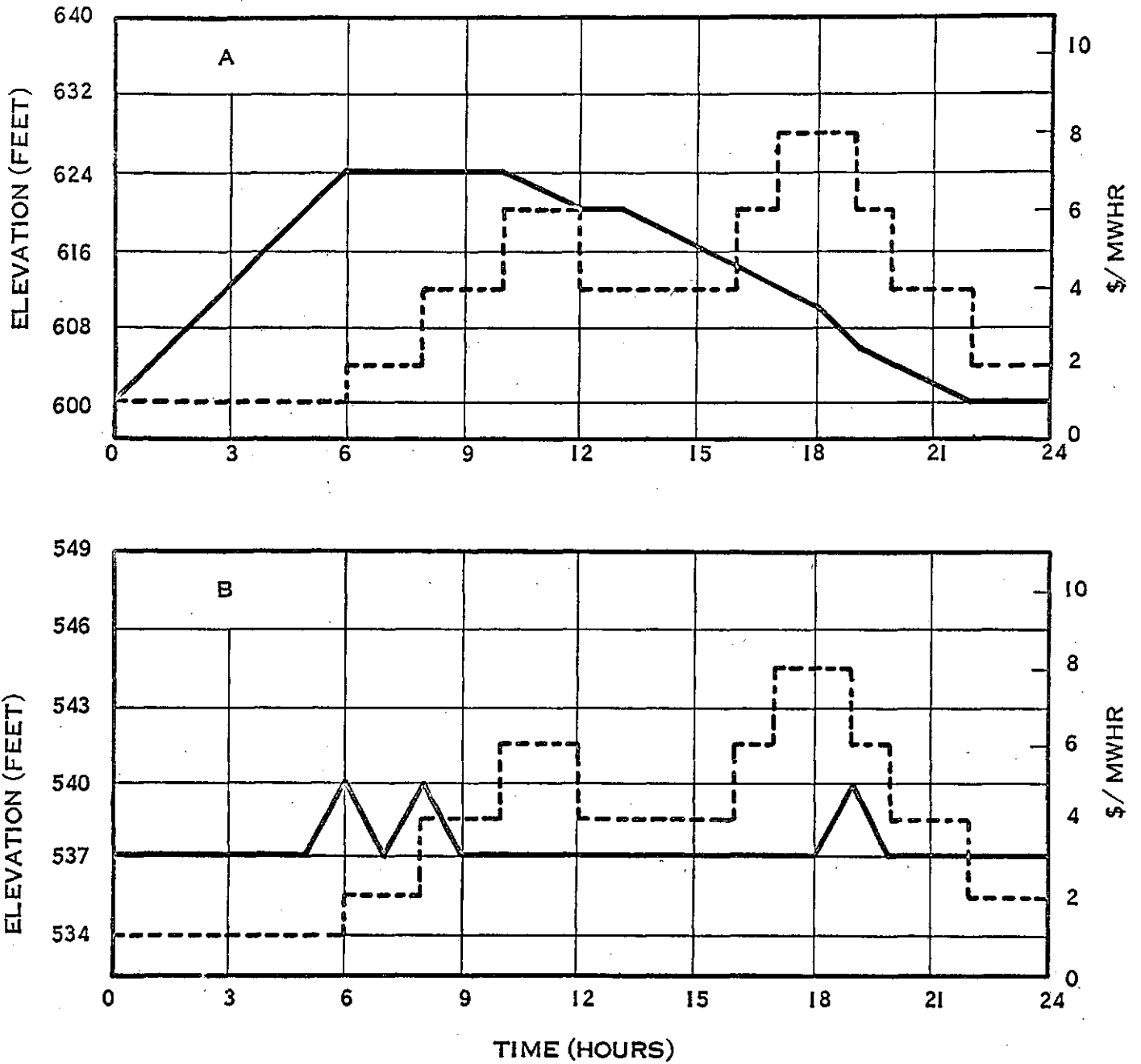


FIGURE 6

OPTIMUM SCHEDULE OF WATER LEVELS

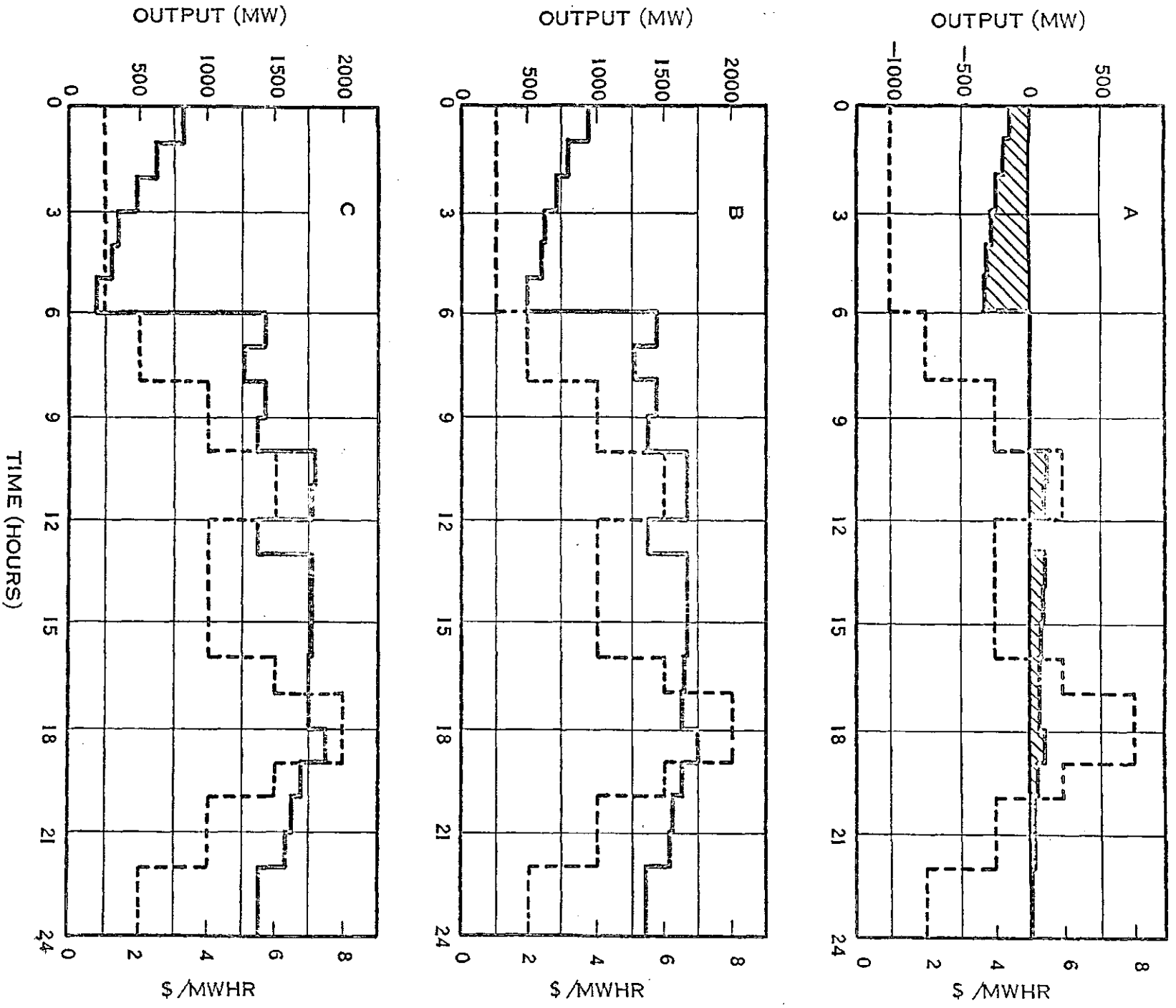


FIGURE 7

OPTIMUM SCHEDULE OF ELECTRICAL GENERATION

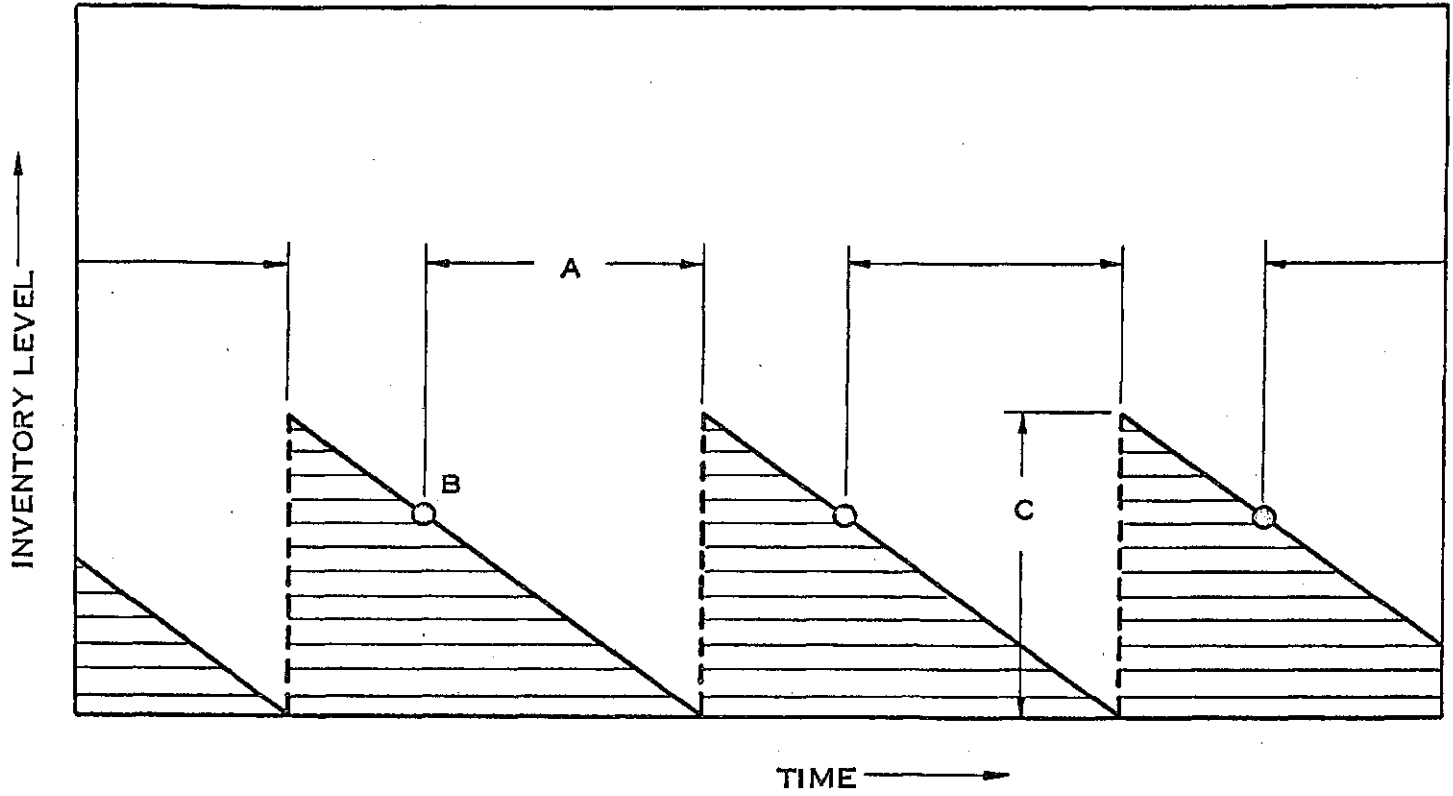


FIGURE 8

MODEL OF IDEAL INVENTORY BEHAVIOUR

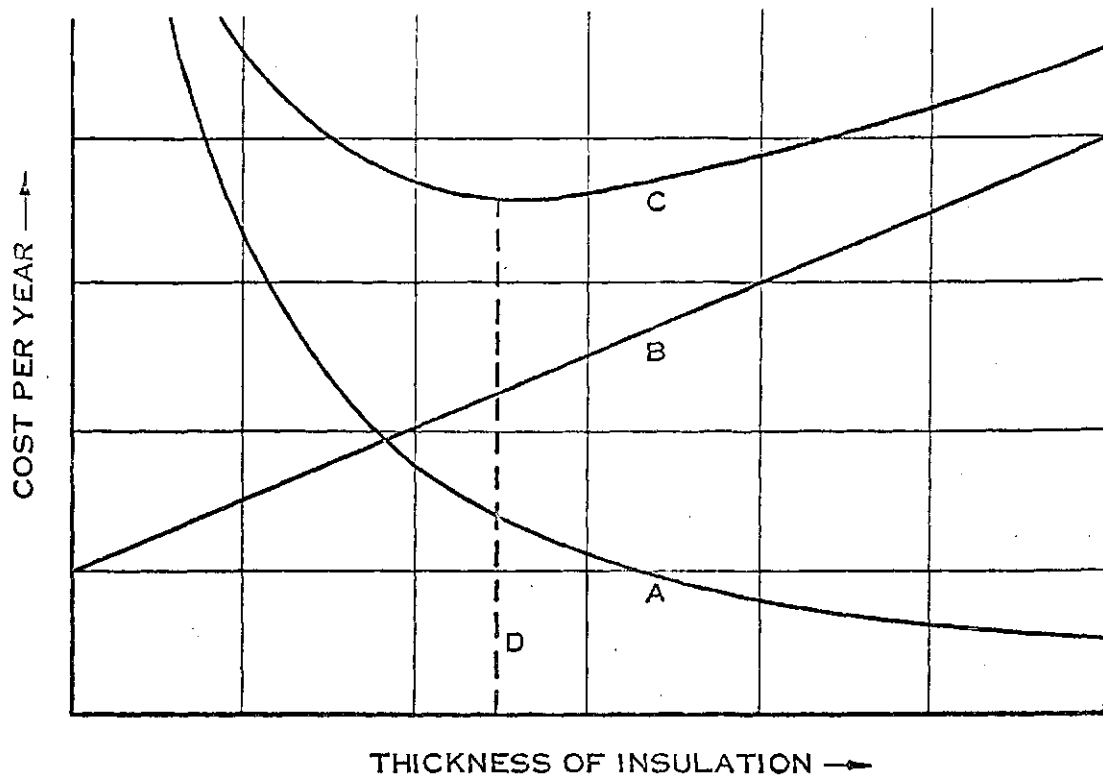


FIGURE 9
OPTIMUM THICKNESS OF THERMAL INSULATION

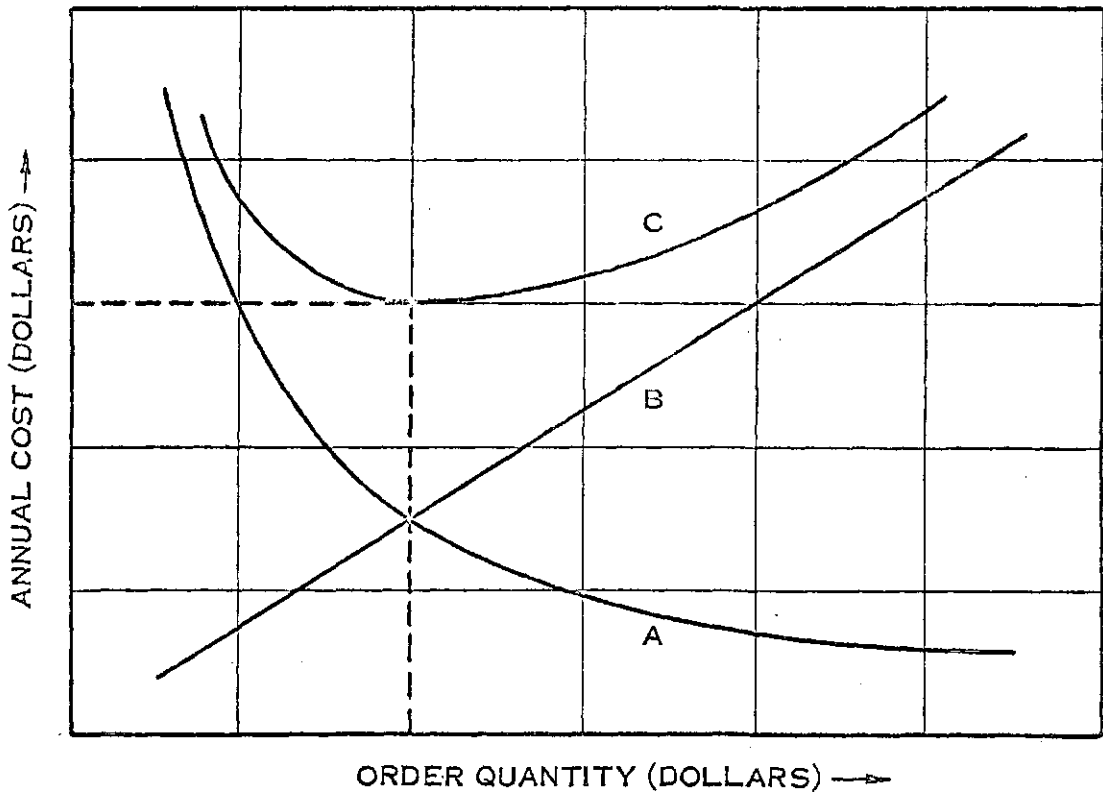


FIGURE 10
GRAPHICAL ILLUSTRATION OF ECONOMIC ORDER QUANTITY

STOCK LEVEL

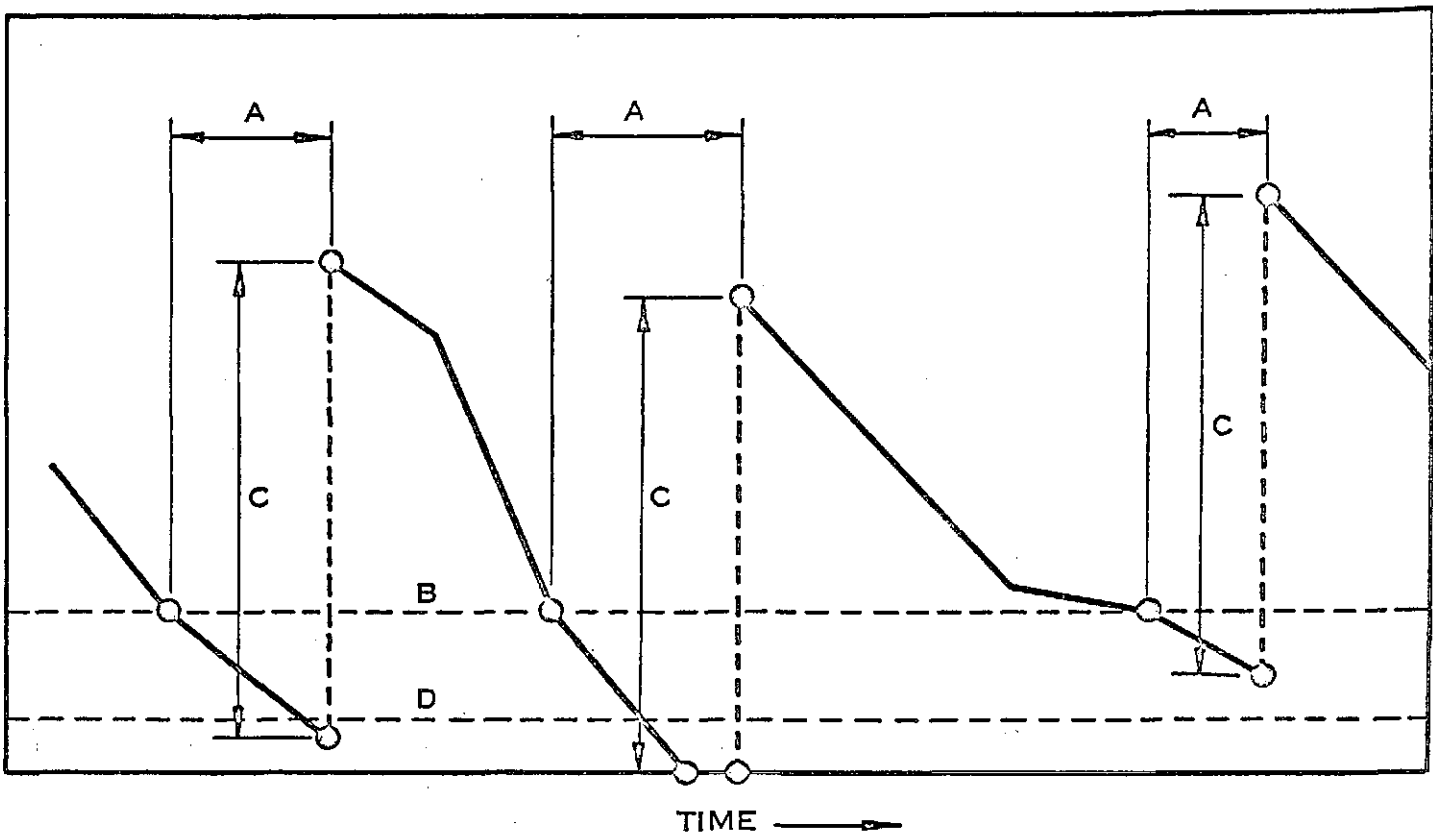


FIGURE II

TYPICAL INVENTORY SYSTEM WITH
VARIABLE USAGE AND VARIABLE LEAD TIMES

YEAR : 1955

MATERIAL : COPPER WIRE

SAFETY STOCK : 6 WEEKS

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
JAN 1	10689	10689		96718	228718	216029	18800	33	22000	27	22000
JAN 2	10347	10347		130371	218371	216029	18800			28	22000
JAN 3	4399	4399		125972	213972	216029	18800			29	44000
JAN 4	9803	9803		116169	222969	216029	18800	34	18800		
JAN 5	6590	6590		109579	216379	216029	18800				
FEB 1	8234	8234		101345	208145	216029	18800	35	18800	30	22000
FEB 2	12264	12264		133081	214681	216029	18800			31	22000
FEB 3	7616	7616		125465	225865	216029	18800	36	18800		
FEB 4	7486	7486		139979	218379	216029	18800			32	22000
MAR 1	2003	2003		137976	216376	216029	18800				
MAR 2	6643	6643		131333	209733	216029	18800				
MAR 3	9681	9681		121652	218852	216029	18800	37	18800		
MAR 4	5318	5318		157134	213534	216029	18800			33	22000
										34	18800
APR 1	5598	5598		151536	226736	221746	19000	38	18800		
APR 2	8378	8378		143158	218358	221746	19000				
APR 3	5835	5835		137323	231523	221746	19000	39	19000		
APR 4	6489	6489		149634	225034	221746	19000			36	18800
APR 5	12321	12321		156113	212713	221746	19000			35	18800
MAY 1	15063	15063		141050	216650	221746	19000	40	19000		
MAY 2	13742	13742		127308	221908	221746	19000	41	19000		
MAY 3	10886	10886		116422	211022	221746	19000				
MAY 4	10055	10055		106367	219967	221746	19000	42	19000		
JUN 1	11430	11430		94937	227537	221746	19000	43	19000		
JUN 2	22527	22527		110010	205010	221746	19000			37	18800
JUN 3	27650	27650		101360	196360	221746	19000	44	19000	38	18800
JUN 4	18224	18224		83136	216136	221746	19000	45	38000	39	19000
JUL 1	13091	13091		70045	222045	230100	19400	46	19000		
JUL 2	30052	30052		39993	211393	230100	19400	47	19400		
JUL 3	14581	14581		25412	216212	230100	19400	48	19400		
JUL 4	23656	23656		20756	211956	230100	19400	49	19400	43	19000
JUL 5	22215	20756	1459		209141	230100	19400	50	19400		
AUG 1	19200	20659		17341	228741	230100	19400	51	38800	45	38000
AUG 2	18131	17341	790		230010	230100	19400	52	19400		
AUG 3	17650	18440		560	231760	230100	19400	53	19400	44	19000
AUG 4	13950	13950		5610	217810	230100	19400			42	19000
SEP 1	16050	16050		8560	221160	230100	19400	54	19400	41	19000
SEP 2	35748	8560	27186		204812	230100	19400	55	19400		
SEP 3	24736	19000	32924		218876	230100	19400	56	38800	40	19000
SEP 4	15000	38800	9124		223276	230100	19400	57	19400	47	19400
										52	19400
OCT 1	13150	22274		16526	229526	246862	17800	58	19400	51	38800
OCT 2	10100	10100		25826	237226	246862	17800	59	17800	48	19400
OCT 3	10529	10529		15297	244497	246862	17800	60	17800		
OCT 4	19600	19600		15097	242697	246862	17800	61	17800	50	19400
OCT 5	16755	16755		17342	243742	246862	17800	62	17800	46	19000
NOV 1	5610	5610		69932	255932	246862	17800	63	17800	49	19400
										53	19400
										54	19400
NOV 2	25413	25413		44519	230519	246862	17800				
NOV 3	10307	10307		34212	238012	246862	17800	64	17800		
NOV 4	5038	5038		48574	250774	246862	17800	65	17800	55	19400
DEC 1	18119	18119		88655	232655	246862	17800			56	38800
										57	19400
DEC 2	19691	19691		86764	230764	246862	17800	66	17800	62	17800
DEC 3	4250	4250		119714	244314	246862	17800	67	17800	58	19400
DEC 4	7861	7861		129653	254253	246862	17800	68	17800	59	17800
				79721						63	17800

FIGURE 12

COMPUTER OUTPUT DATA OBTAINED FROM SIMULATION ANALYSIS

SHOWING THE EFFECT OF NEW ORDERING RULES ON INVENTORY BEHAVIOUR

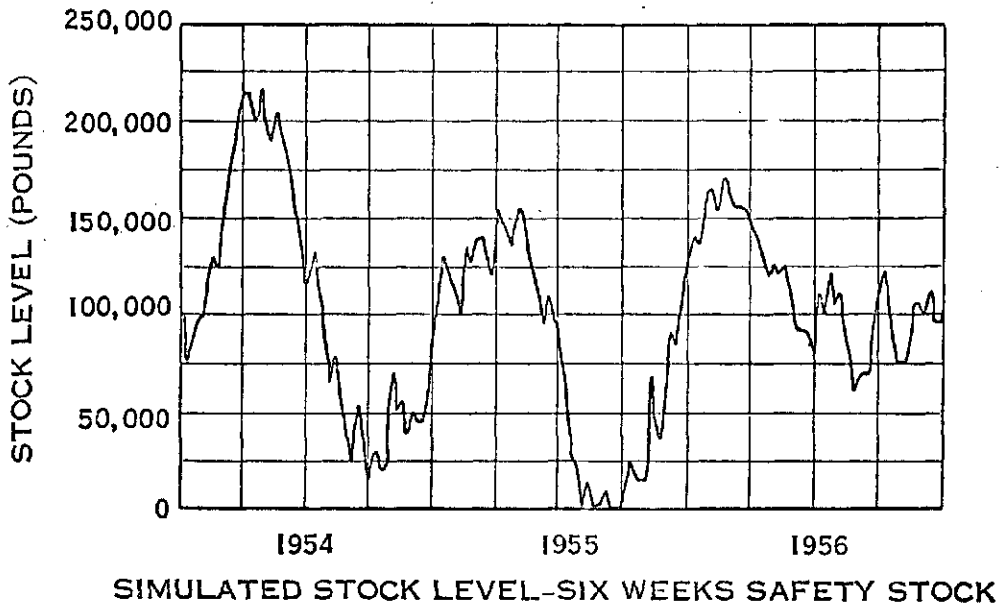
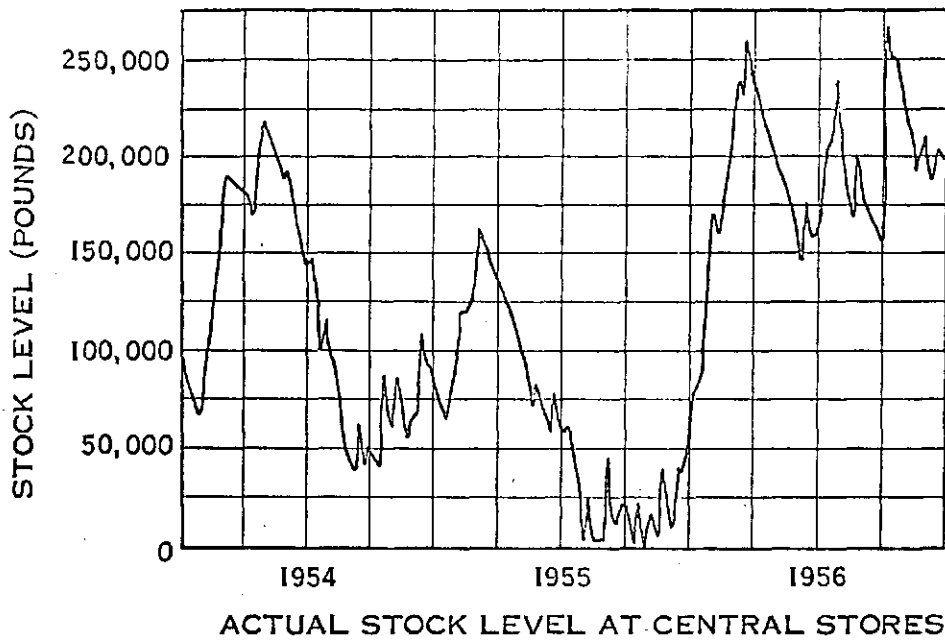


FIGURE 13
COMPARISON OF SIMULATED AND ACTUAL STOCK
LEVELS OF COPPER WIRE

1 POUND = 0.4536 KG

INVENTORY MANAGEMENT REPORT

FROM THE OFFICE OF MANAGER SUPPLY CONTROL

LOCATION

MONTH July 1960

TYPE OF MATERIAL	MONTH'S USAGE	MONTH'S CHANGE IN STOCK	STOCK LEVEL	ECONOMIC INVENTORY LEVEL	POTENTIAL STOCK REDUCTION	INVENTORY CONTROL RATIO
	\$	\$	\$	\$	\$	%
GENERAL MATERIAL	67,138	-7,907	137,619	135,100	2,519	2
POLES	333 11,904	-3,466	950 34,216	28,300	5,916	17
TRANSFORMERS	79 15,926	2,174	382 86,239	49,500	36,739	43
TOTAL \$	94,968	-9,199	258,074	212,900	45,174	17

INVENTORY CONTROL RATIO

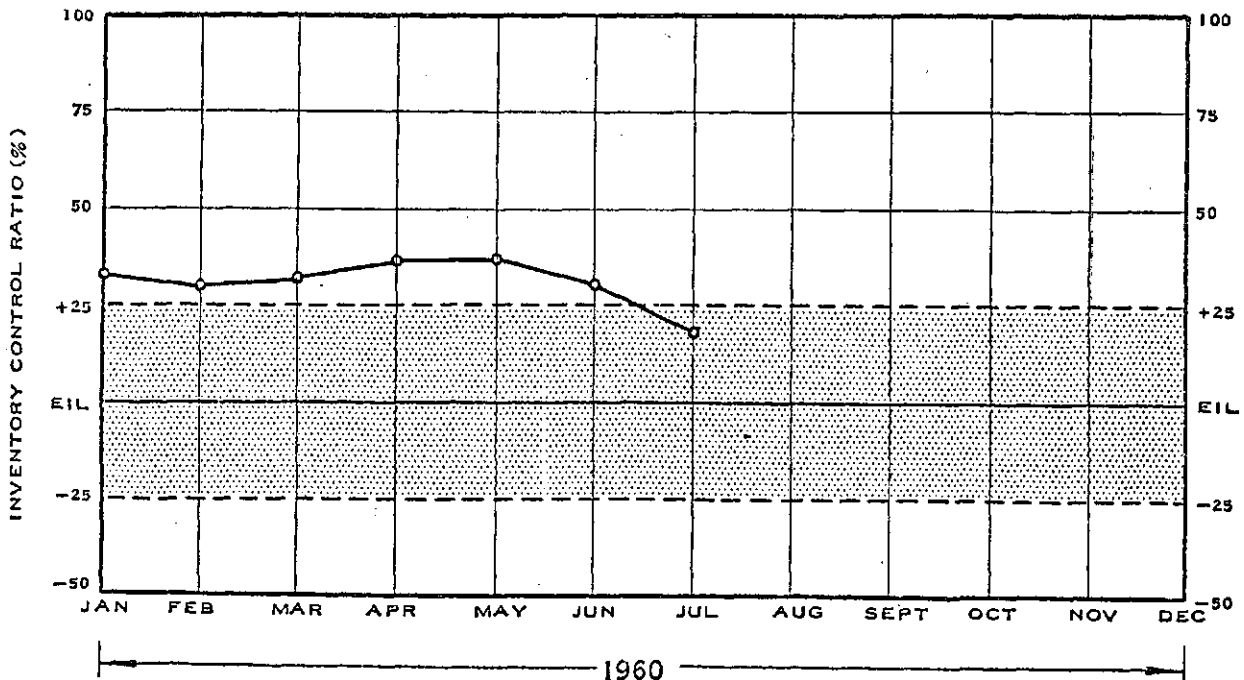


FIGURE 14 INVENTORY MANAGEMENT REPORT

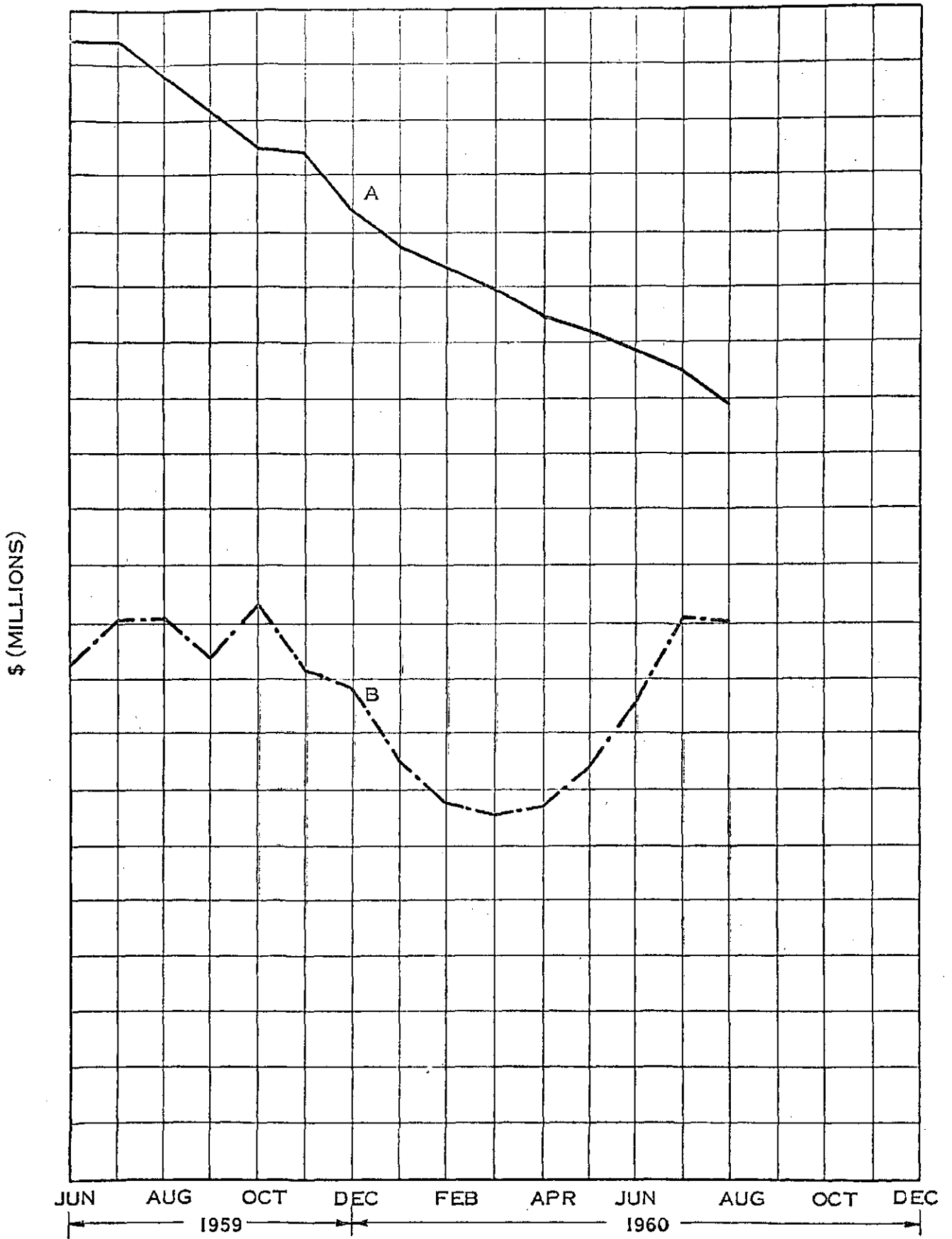


FIGURE 15

ECONOMIC INVENTORY CHART ALL REGIONS COMBINED

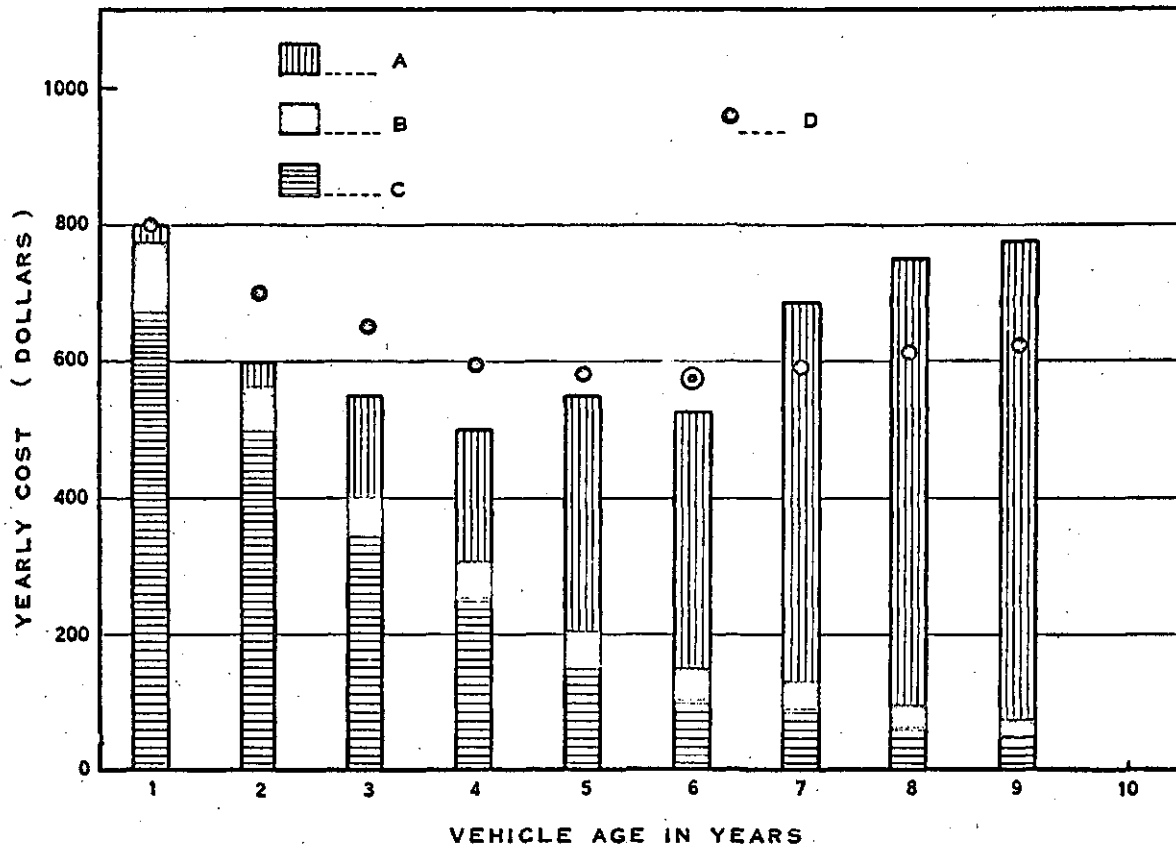


FIGURE 16

HYPOTHETICAL AVERAGE ANNUAL COSTS AND
ACCUMULATED AVERAGE ANNUAL COSTS
FOR A PARTICULAR CLASS OF VEHICLES

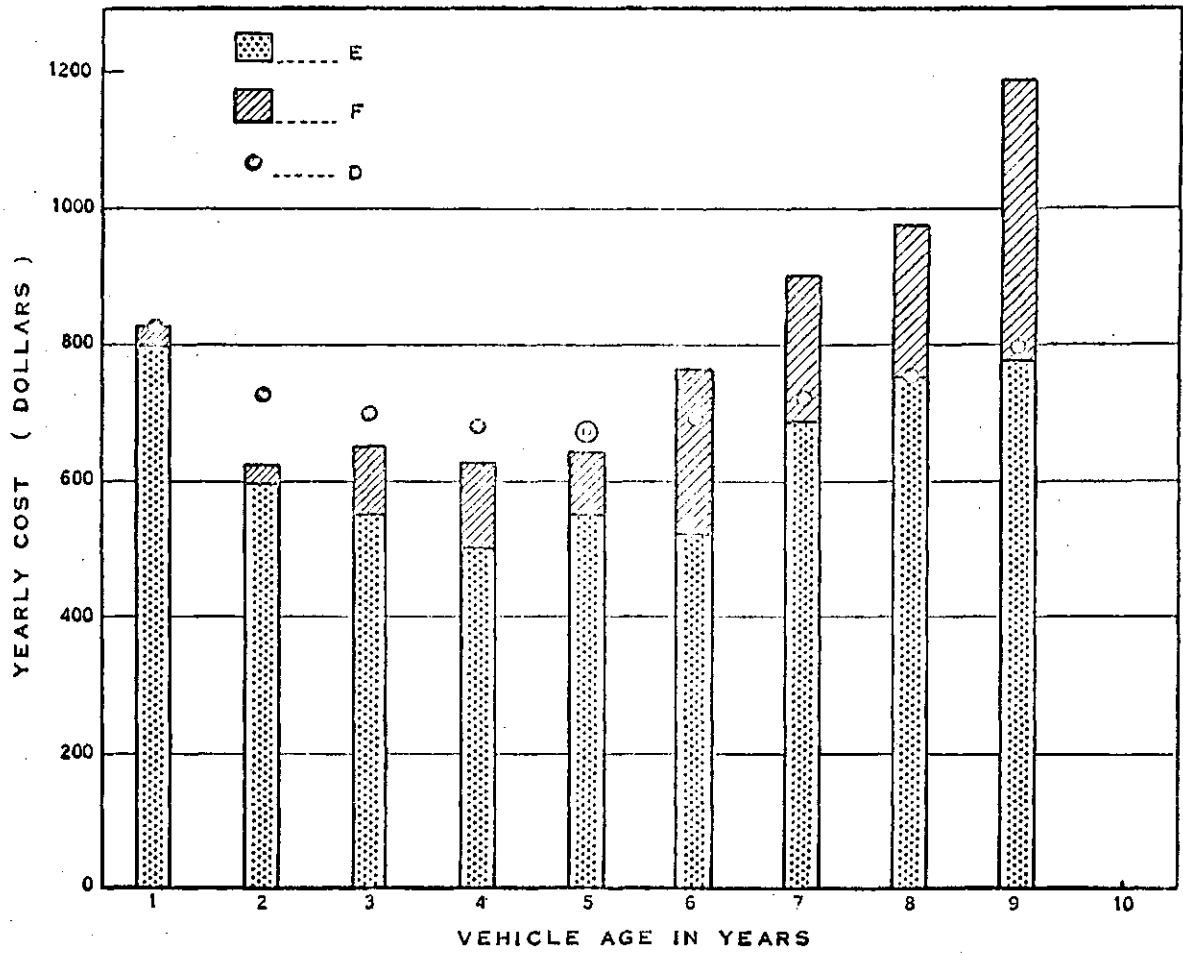


FIGURE 17

HYPOTHETICAL AVERAGE ANNUAL COSTS AND
ACCUMULATED AVERAGE ANNUAL COSTS,
INCLUDING UNSERVICEABILITY COSTS

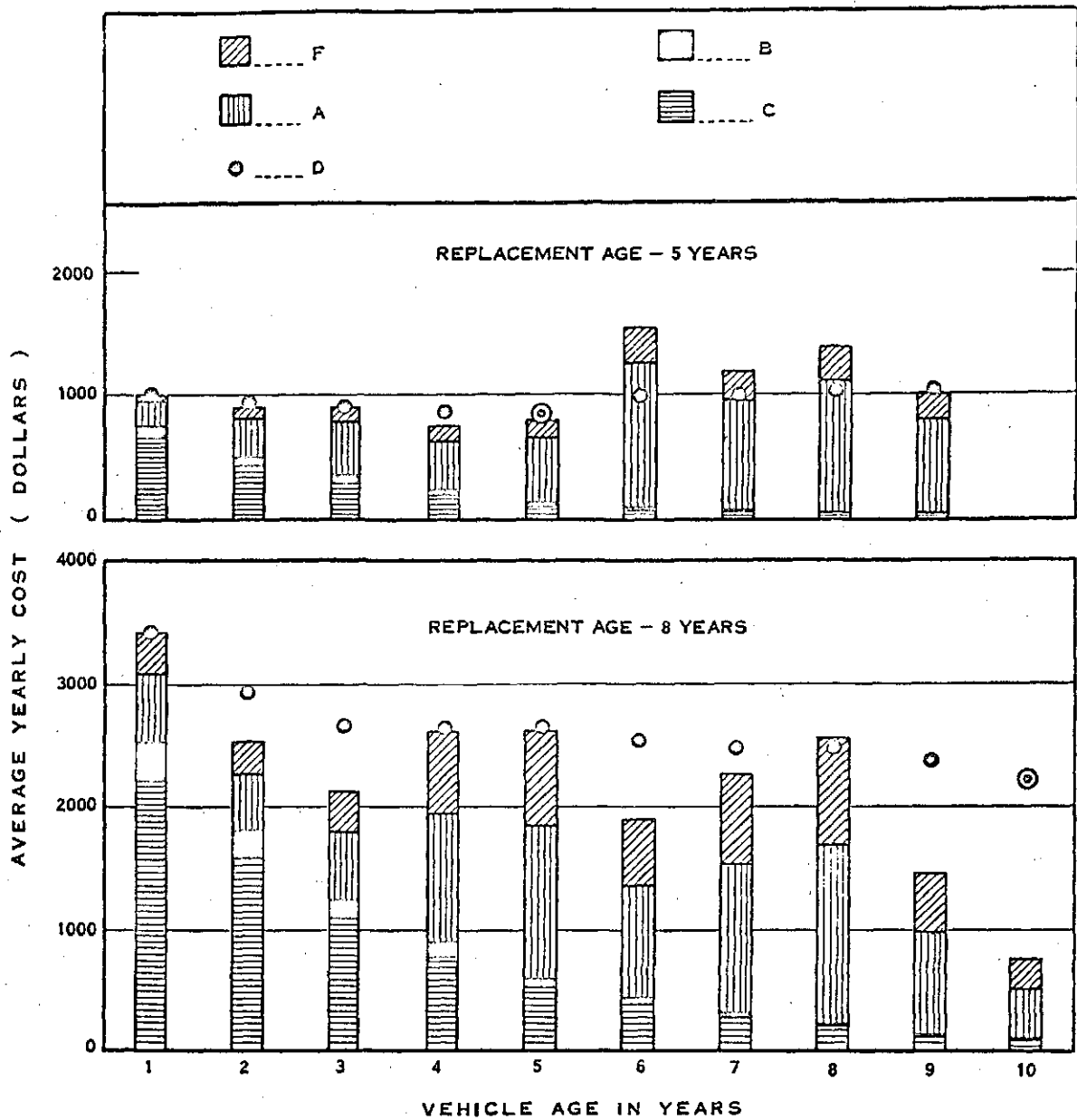


FIGURE 18

ACTUAL AVERAGE ANNUAL COSTS AND ACCUMULATED
AVERAGE ANNUAL COSTS, INCLUDING UNSERVICEABILITY
COSTS, FOR TWO CLASSES VEHICLES

