LA SIMULACION APLICADA A LA TEORIA DE INVENTARIOS

Por: Gabriel I. Torres Avendaño, Ingeniero Industrial
Profesor Depto. de Sistemas y Admón. Fac. de Minas, U.N.

Uno de los problemas que se presenta con mucha frecuencia en la industria pequeña, mediana e incluso en las más grandes y organizadas es el relativo al tratamiento de los inventarios de materias primas y productos tanto terminados como en proceso. Observamos cómo a cada momento se ocasionan parálisis de la producción por falta de una determinada materia prima (tornillos, tuercas, etc.). Inmediatamente se trata de solucionar el problema recurriendo al comerciante más próximo e incurriendo, en la mayoría de las ocasiones, en sobrecostos con tal de subsanar la falla. Es decir, la administración se hace por crisis sin vislumbrarse por ninguna parte el criterio de planeación. Ocurre también que, a pesar de tener algún sistema de movimientos de entradas y salidas de almacén (manual, electrónico, etc.), la información sobre el estado de los inventarios llega muy tarde o es insuficiente, generando el mismo tipo de Administración.

Entonces la pregunta que surge después de algún análisis de esta situación es: ¿Existe algún mecanismo o forma de racionalizar el tratamiento de los inventarios de tal forma que el riesgo de déficit de materias primas sea el mínimo y que no se incurra en excesos? Las pequeñas empresas y las desorganizadas tratarán de establecer sistemas manuales de kárdex como primera respuesta al gran problema, pues la misma sólo da la idea del movimiento y no prevé las fluctuaciones en la demanda de los ítems que conforman los inventarios, además de su eterno atraso. Las empresas más organizadas tratarán de establecer, también como primera aproximación, alguna política empírica de tener un mínimo y un máximo en los niveles de unidades en existencia. Es importante anotar que no sólo se ocasionan problemas por inexistencia sino también por excesos, ya que éstos últimos inciden en la inmovilización de fondos y en muchos casos son causa de iliquidez por fondos estáticos en forma de materias primas, además de aumento de costos por intereses, seguros, bodegaje, etc. Pero estas respuestas primarias son insuficientes y dan origen a otras preguntas:

¿Cuál será la demanda futura?
¿Cuánto se debe pedir?
¿Cuándo se debe pedir?
¿Cuál será el nivel máximo y mínimo del inventario?

La respuesta a estos interrogantes la proporciona la Investigación de Operaciones en la teoría de los Inventarios. La demanda futura lógicamente se puede determinar por medio de proyecciones y pronósticos, lo cual se logra mediante la estadística y modelos de proyección.

Nuestro objetivo es plantear un modelo de inventarios aprovechando la simulación por Monte Carlo, pues considero que el suponer tanto la demanda como el tiempo de anticipación (período de tiempo que transcurre entre la elaboración del período y la llegada del mismo) como variables aleatorias, nos puede proporcionar resultados más ajustados a la realidad. Pero antes es importante hacer algunas consideraciones acerca de los tipos de políticas tradicionales en la teoría de los inventarios.

Dos sistemas de inventarios muy utilizados son:

Sistema de pedido de tamaño fijo.

Sistema de pedido a intervalo fijo

Analicemos el comportamiento de éstos cuando la demanda es de tipo determinístico, constante y se tienen en cuenta tiempos de anticipación.

1. *Tamaño Fijo* (Figura 1)

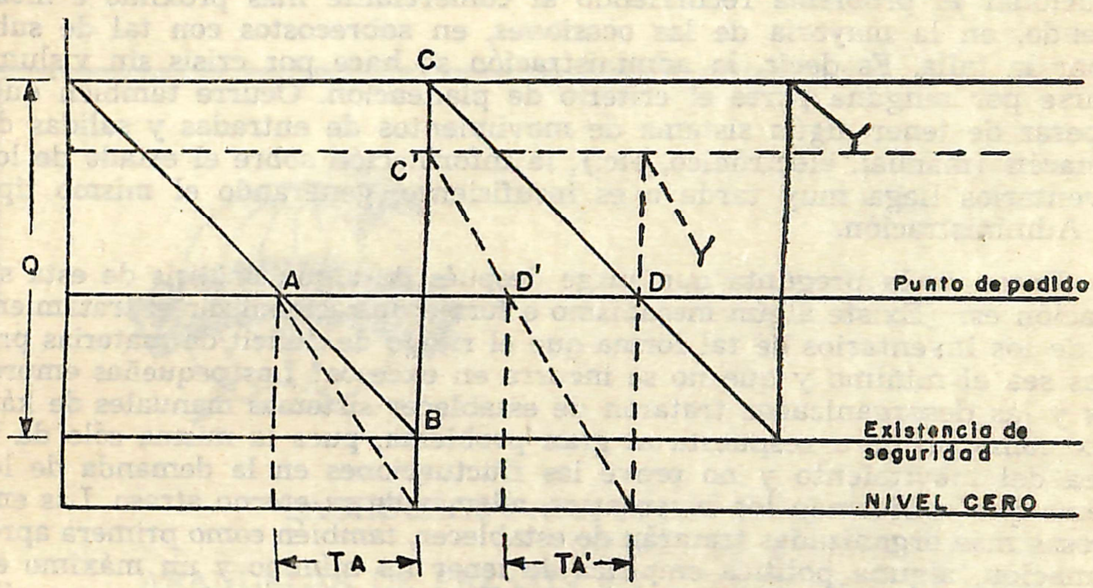

FIGURA I

Al llegar el nivel de inventarios al punto A se emite una orden de aprovisionamiento en una cantidad Q. Pero puede ocurrir el fenómeno que se muestra con líneas punteadas. Entre A y B la demanda se comporta en forma distinta; esto hace que se presente un desfasamiento entre la variación real (-----) y la programada (———). Podemos observar que la existencia de seguridad protege al inventario en cierta magnitud, de situaciones de déficit. Los tiempos T_a y T_a', de anticipación son diferentes para las dos formas de comportamiento del inventario.

2. *Sistema de Intervalo Fijo* (Figura 2)

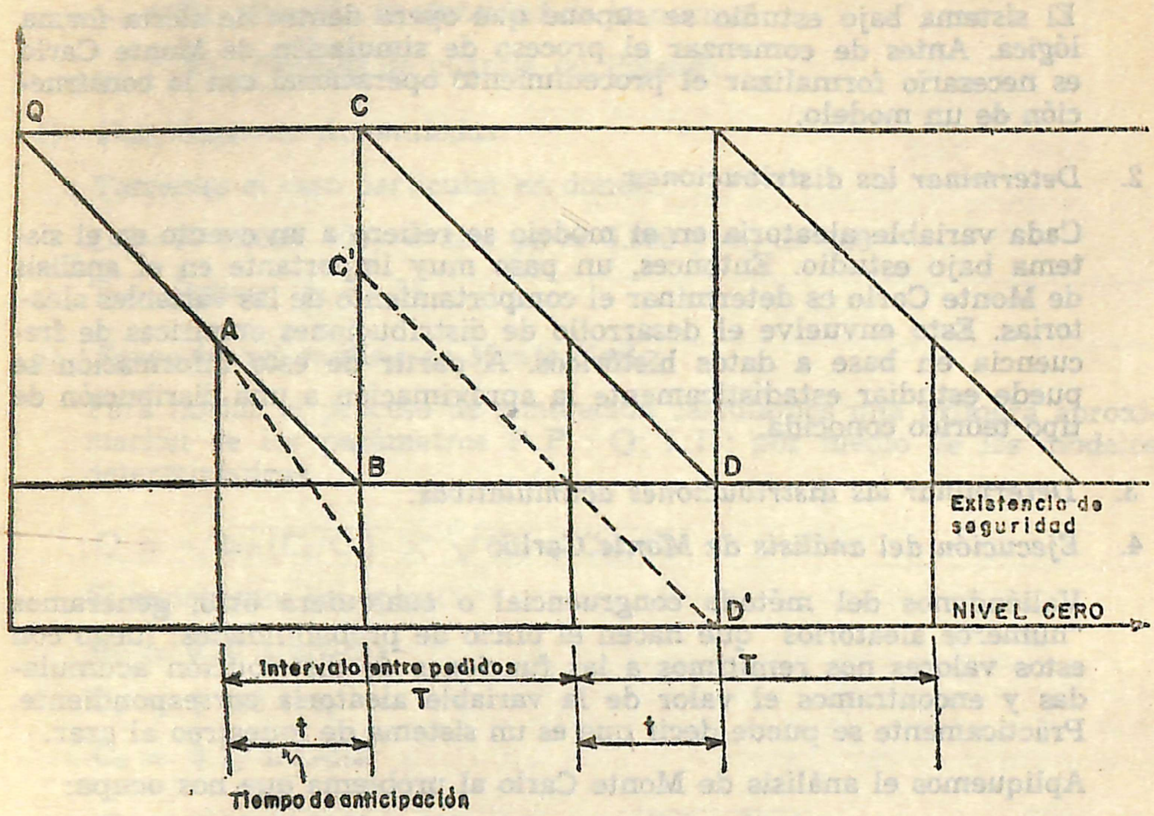

FIGURA 2

En este caso tanto el intervalo entre pedidos como el tiempo de anticipación son constantes. Al llegar el momento de la elaboración del pedido se debe pronosticar la cantidad a pedir de tal forma que el inventario llegue al punto C; puede ocurrir que el pronóstico sea tal que el nivel llegue a C'; entonces podemos hacer pedidos de cantidades diferentes en intervalos iguales de tiempo. Se observa que la existencia de seguridad en este caso, como en el anterior, juega un papel muy importante, pues disminuye el riesgo de déficit.

Las dos políticas anteriores las definimos basados en el supuesto de una demanda de tipo constante y tiempos de anticipación conocidos o un punto de pedido determinado. ¿Qué ocurre si la demanda y el tiempo de anticipación son variables aleatorias?

Para poder analizar el comportamiento de este tipo de problema debemos recurrir a un modelo de simulación y para nuestro caso emplearemos el método de Monte Carlo. ¿En qué consiste?

Análisis de Monte Carlo

Es un modelo usado para explicar el sistema operacional cuando intervienen elementos probabilísticos. Se hace necesario cuando en el medio de decisiones se presentan múltiples variables aleatorias. Pasos a seguir:

1. *Formalizar el sistema lógico*:

El sistema bajo estudio se supone que opera dentro de cierta forma lógica. Antes de comenzar el proceso de simulación de Monte Carlo es necesario formalizar el procedimiento operacional con la construcción de un modelo.

2. *Determinar las distribuciones*:

Cada variable aleatoria en el modelo se refiere a un evento en el sistema bajo estudio. Entonces, un paso muy importante en el análisis de Monte Carlo es determinar el comportamiento de las variables aleatorias. Esto envuelve el desarrollo de distribuciones empíricas de frecuencia en base a datos históricos. A partir de esta información se puede estudiar estadísticamente la aproximación a una disribución de tipo teórico conocida.

3. *Determinar las distribuciones acumulativas*:

4. *Ejecución del análisis de Monte Carlo*:

Valiéndonos del método congruencial o cualquiera otro, generamos "números aleatorios" que hacen el oficio de probabilidades; luego con estos valores nos remitimos a las funciones de distribución acumuladas y encontramos el valor de la variable aleatoria correspondiente. Prácticamente se puede decir que es un sistema de muestreo al azar.

Apliquemos el análisis de Monte Carlo al problema que nos ocupa:

a) *Formalización del sistema lógico*

Variables:

Sean D y T dos variables aleatorias que miden la demanda y el tiempo de anticipación respectivamente.

Parámetros

P.P. = Punto de pedido
I.I. = Inventario inicial
Q. = Cantidad de pedido

Costos que intervienen

C_1 = Costo de almacenamiento por pieza y por unidad de tiempo
C_2 = Costo de preparación de la orden de aprovisionamiento
C_3 = Costo de déficit por pieza y por unidad de tiempo

Queremos encontrar la relación entre costos, variables y parámetros para seleccionar una política óptima de inventario.

b) *Determinación de las funciones de distribución*:

Las funciones dentro del proceso de simulación serán *subrutinas*; por lo tanto, el procedimiento se puede aplicar para cualquier *tipo* de variable: continua o discreta.

En nuestro caso y, para mayor comprensión, supondremos que sean:

— f(D): Función de densidad de la normal

— P(T): Función de cuantía de Poisson

c) *Distribuciones Acumuladas*:

Tomamos el caso particular en donde:

$D \backsim N\ (3.000,\ 400)$ o sea, $\mu_D = 3.000$ y $\partial_D = 400$

$T \backsim$ Poisson $(\mu = 3)$

e) *Ecuación del análisis de Monte Carlo*:

Para iniciar el proceso de simulación calculamos una primera aproximación de los parámetros P.P.; Q; I.I.; por medio de los modelos determinísticos.

$$Q = \sqrt{2\mu_D(C_2/C_1)} \times \sqrt{(C_1 + C_3)/C_3}$$

Si suponemos los cotos:

$C_1 = 0.20$ \$/art-día

$C_2 = \$\ 400$/lote

$C_3 = \$\ 2$/uni.-día

$$Q = \sqrt{(2 \times 3000 \times 400)/0.2} \quad \sqrt{(0.2 + 2)/2}$$

$Q = 3.663$ unidades

—Si asumimos un riesgo de déficit de un 5%, la existencia de seguridad será:

$E.S. = 1.65 \times \partial$

$E.S. = 1.65 \times 400$

$E.S. = 660$ unidades

—El punto de pedido;

$P.P. = \mu_D\ .\ \mu + E.S.$

$P.P. = 3000 \times 3 + 660$

$P.P. = 9.660$ unidades

—Una buena aproxiación para el inventario inicial es:

$I.I. = Q + P.P.$

$I.I. = 13.293$ unidades

—Intervalos de clase para la demanda y el tiempo y sus respectivas probabilidades.

En nuestro caso sabemos que el 99.67% de los valores de la demanda caen dentro de:

$\mu_D \pm 3\sigma_D$

O sea entre:

1680 y 4320

entonces dividimos en intervalos de clase con un salto de 120 (22 intervalos), así:

Intervalos	*Probabilidad*
1680 - 1800	0.0005 - 0.0014
1800 - 1920	0.0014 - 0.0035
. .	. .
. .	. .
. .	. .
4200 - 4320	0.9987 - 0.9995

en forma análoga procedemos con el tiempo.

—A continuación presentamos un listado del programa de simulación por Monte Carlo y los resultados de varias iteraciones en las cuales variamos los parámetros P.P. y Q en incrementos y decrementos de un 10%. Lógicamente en cada iteración existirá una variación del riesgo de déficit.

```
// FOR

      *ONE WORD INTEGERS
      *STANDARD PRECISION

C-ERRS...STNO.C..... F O R T R A N  S O U R C E  S T A T E M E N T S
........ 'IDENTFCN  **COMPILER MESSAGES**

            FUNCTION A1111(X)
            A1111Ñ(1/2.5066)*EXP(-(X**2)/2)
            RETURN
            END

FEATURES SUPPORTED
  ONE WORD INTEGERS
  STANDARD PRECISION

CORE REQUERIMENTS FOR - A1111
  COMMON- O, VARIABLES AND TEMPORARIES- 8,
  CONSTANTS AND PROGRAM- 42

RELATIVE ENTRY PONIT ADDRESS IS OOOC (HEX)

END OF SUCCESSFUL COMPILATION

// DUP

*STORE     WS  UA  A1111
CART ID 3333   DB ADDR  53FB  DB CNT  0004
```

```
// FORTRAN
        *STANDARD PRECISION
        *ONE WORD INTEGERS
........ IDENTFCN  **COMPILER MESSAGES**
            SUBROUTINE ZMPSN  (F,A,B,DEL,IMAX,SI1,S,N,IER)
            SI1ÑO.
            SÑO.
            NÑO
            BAÑB-A
            IF (BA) 20,19,20
      19    IERÑ1
            RETURN
      20    IF (DEL) 22,22,23
      22    IERÑ2
            RETURN
      23    IF (IMAX-1) 24,24,25
      24    IERÑ3
            RETURN
      25    XÑBA/2. +A
            NHALFÑ1
            SUMKÑF (X) *BA*2./3.
            SÑSUMK+ (F (A) +F (B) ) *BA/6.
            DO  28  IÑ2,IMAX
            SI1ÑS
            SÑ (S-SUMK/2.) /2.
            NHALFÑNHALF*2
            ANHLFÑNHALF
            FRSTXÑA+ (BA/ANHLF) /2.
            SUMKÑF (FRSTX)
            XKÑFRSTX
            KLASTÑNHALF-1
            FINCÑBA/ANHLF
            DO 26 KÑ1,KLAST
            XKÑXK+FINC
      26    SUMKÑSUMK+F (XK)
            SUMKÑSUMK*2.*BA/ (3.*ANHLF)
            SÑS+SUMK
      27    IF (ABS (S-SI1) -ABS (DEL*S) ) 29,28,28
      28    CONTINUE
            IERÑ4
            GO TO 30
      29    IERÑO
      30    NÑ2*NHALF
            RETURN
            END
UNREFERENCED STATEMENTS
  27
FEATURES SUPPORTED
  ONE WORD INTEGERS
  STANDARD PRECISION
```

```
CORE REQUIREMENTS FOR - ZMPSN
 COMMON-     O,  VARIABLES AND TEMPORARIES-    24,  CONS-
                                  TANTS AND PROGRAM-  320

RELATIVE ENTRY POINT ADDRESS IS 0025 (HEX)

END OF SUCCESSFUL COMPILATION

// DUP

*DELETE            ZMPSN
D 26 NAME NOT FOUND IN LET/FLET

*STORE      WS  UA  ZMPSN
CART ID 3333   DB ADDR   53FF   DB CNT   0017

// FOR
          *STANDARD PRECISION
          *ONE WORD INTEGERS

                SUBROUTINE A3111 (IMENC,HMED,POISS)
                FACTÑ1
                LMENCÑIMENC+1
                DO 1 JÑ1,LMENC
                FACTÑFACT*J
                IF (J-1) 20,30,20
             30 POISSÑEXP (-HMED)
                GO TO 1
          20    POISSÑPOISS+ (HMED** (J-1) *EXP (-HMED) ) / -
                                                     (FACT/J)
              1 CONTINUE
                RETURN
                END

RELATIVE ENTRY POINT ADDRESS IS OOOD (HEX)

END OF SUCCESSFUL COMPILATION

// DUP

*DELETE            A3111
D 26 NAME NOT FOUND IN LET/FLET

*STORE      WS   UA   A3111
CART ID 3333   DB ADDR   5416   DB CNT   0008

// FOR
          *ONE WORD INTEGERS
          *STANDARD PRECISION
          *IOCS (2501READER,1403PRINTER,TYPEWRITER)

                INTEGER TEMP,TEMPO,W,DDA,PP,Q
                EXTERNAL A1111
                DIMENSION POIS (11),STAR (31)
                READ (8,100) DEL,IMAX,HMED
          100   FORMAT (F6.4,I2,F7.3)
                AÑ-3.6
```

```
      DO 498 IÑ1,31
      BÑ-3.60+I/4.44
      CALL ZMPSN(A1111, A, B, DEL, IMAX, SI1, S, N, IER)
      IF(I-1)400, 401, 400
 401  STAR(I)ÑO.
      GO TO 498
 400  IF(I-31)422, 420, 422
 420  STAR(I)ÑO.999999
      GO TO 498
 422  STAR(I)ÑS
 498  CONTINUE
      DO 376 MÑ1,11
      IMENCÑM-1
      CALL A3111(IMENC, HMED, POISS)
      IF(M-1)620, 621, 620
 621  POIS(M)ÑO.
      GO TO 376
 620  IF(M-11)640, 641, 640
 641  POIS(M)ÑO.999999
      GO TO 376
 640  POIS(M)ÑPOISS
 376  CONTINUE
      READ(8,109)CALMA,NDIAS, SIGMA, HMU, COSRP,
                                     ZCONF, COCEC
 109  FORMAT(F4.2,I3,  F6.2, F8.2, F5.2, F4.2, F6.2)
      DO 466 KMÑ1,20
      CTRUPÑO.
      CTEMIÑO.
      CTALMÑO.
      READ(8,334)INVI,MES,IX,IY,PP,Q
 334  FORMAT(I6,I2,I2,I2,I5,I5)
      WRITE(5,800)HMU,SIGMA,HMED,CALMA,COCEC,
                                         COSRP
 800  FORMAT(1H1,5(/),39X, 'SIMULACION DE INVENTA-
     *RIOS METODO DE MONTECARLO',///,18X, 'LA DE-
     *MANDA SE DISTRIBUYE NORMAL MEDIA', F8.2'
     *DESVIACION ESTANDARD', F6.2,/,18X, 'EL TIEMPO
     *SE DISTRIBUYE POISSON MEDIA', G8.2,/,18X' COSTO
     *ALMACENAMIENTO $',22X, F4.2,'/UNIDAD-DIA',/,18X,
     *COSTO EMISION   $',20X,F6.2,'/PEDIDO',/,18X,' COS-
     *TO RUPTURA    $',21X,F5.2,'/UNIDAD-DIA')
      WRITE(5,803)INVI
 803  FORMAT(18X, 'INVENTARIO INICIAL', 23X,I5, 'UNI-
DADES', 2(/))
      WRITE(5,900)MES
 900  FORMAT(59X, 'PER', I2,///,4X, 'DIA', 6X, 'INICIAL', 4X,
      'ALEAT.', 4 X, 'DEMANDA', 5X, 'FINAL', 5X, 'ALEAT.'
      5X, 'TIEMPOS', 5X, '$ ALM', 9X, '$ EMITEN', 6 X, '$
      ROMPE', 7X, 'TOTAL',//)
      TEMPOÑO
      WÑO
      COSTAÑO
```

```
      DO 1 JÑ1,NDIAS
       ALEATÑRAND (IX)
       DO 2 LÑ1,31
       IF(STAR(L)-ALEAT) 2, 2,302
    2  CONTINUE
  302  TÑSTAR(L)
       DDEÑ(-3.6+L/4.44)*SIGMA+HMU
       DDAÑIFIX(DDE)
       INVFÑINVI-DDA
       IF(INVF) 11,11,80
   11  COSRUÑABS(INVF*COSRP)
       INVFÑO
       IF(W) 73,12,73
   80  IF(INVF-PP) 9,9,10
    9  IF(W) 24,25,24
   24  COSRUÑO
   73  COSEMÑO
       IF (J-TEMPO) 15,16,16
   15  TTÑO
       TEMPÑO
       CALMÑCALMA*INVF
       GO TO 99
   16  INVIÑINVI+Q
       COSRUÑO
       INVFÑINVI-DDA
       WÑO
       GO TO 80
   25  IF(INVF) 48,48,44
   48  COSRUÑABS(INVF*COSRP)
       INVFÑO
       GO TO 12
   44  COSRUÑO
   12  WÑ1
       ALEAPÑRAND(IY)
       DO 17 KÑ1,11
       IF(POIS(K)-ALEAP) 17, 17,501
   17  CONTINUE
  501  TTÑPOIS(K)
       TEMPÑK-1
       TEMPOÑJ+TEMP
       CALMÑCALMA*INVF
       COSEMÑCOCEC
       GO TO 99
   10  TTÑO
       TEMPÑO
       CALMÑCALMA*INVF
       COSEMÑO
       COSRUÑO
   99  COSTOÑCALM+COSEM+COSRU
       CTALMÑCTALM+CALM
       CTRUPÑCTRUP+COSRU
       CTEMIÑCTEMI+COSEM
```

```
      COSTAÑCOSTA+COSTO
      WRITE (5,200) J,INVI,T,DDA,INVF,IT,IEMP,CALM,
                                    COSEM, COSRU, COSTO
  200 FORMAT  (5X,I3,6X,I5,5X,F7.5,5X,I5,5X,I5,5X,F7.5,7X,
     *I2,6X,F8.2,6X,F8.2,5X,F8.2,
      IF (J-NDIAS) 30,31,30
   30 INVIÑINVF
      GO TO 1
   31 WRITE (5,201) CTALM,CTEMI,CTRUP,COSTA
  201 FORMAT (4 (/),10X, 'COSTOS TOTALES POR MES',
                                               4 (20.2))
    1 CONTINUE
      WRITE (5,8888) Q,PP
 8888 FORMAT (10X, 'CANTIDAD OPTIMA A PEDIR', G19.0,
     */,10X, 'PUNTO DE PEDIDO', G26.0)
  466 CONTINUE
      CALL EXIT
      END

FEATURES SUPPORTED
  ONE WORD INTEGERS
  STANDARD PRECISION
  IOCS-
    2501 READER
    1403 PRINTER
    TYPEWRITER

CORE REQUERIMENTS FOR -
  COMMON- O, VARIABLES AND TEMPORARIES- 162, CONS-
  TANTS AND PROGRAM- 1038

END OF SUCCESSFUL COMPILATION

// XEQ
```

INTERVALOS DE CLASE PARA LA DEMANDA Y SU RESPECTIVA PROBABILIDAD

No. Int.	Demanda	Probabilidad
1	1680 - 1800	0.0005 - 0.0014
2	1800 - 1920	0.0014 - 0.0035
3	1920 - 2040	0.0035 - 0.0082
4	2040 - 2160	0.0082 - 0.0179
5	2160 - 2280	0.0179 - 0.0359
6	2280 - 2400	0.0359 - 0.0668
7	2400 - 2520	0.0668 - 0.1151
8	2520 - 2640	0.1151 - 0.1841

(Continúa)

INTERVALOS DE CLASE PARA LA DEMANDA Y SU RESPECTIVA PROBABILIDAD

(*Continuación*)

No. Int.	Demanda	Probabilidad
9	2640 - 2760	0.1841 - 0.2743
10	2760 - 2880	0.2743 - 0.3821
11	2880 - 3000	0.3821 - 0.5000
12	3000 - 3120	0.5000 - 0.6179
13	3120 - 3240	0.6179 - 0.7258
14	3240 - 3360	0.7258 - 0.8160
15	3360 - 3480	0.8160 - 0.8850
16	3480 - 3600	0.8850 - 0.9332
17	3600 - 3720	0.9332 - 0.9641
18	3720 - 3840	0.9641 - 0.9822
19	3840 - 3960	0.9822 - 0.9918
20	3960 - 4080	0.9918 - 0.9966
21	4080 - 4200	0.9966 - 0.9987
22	4200 - 4320	0.9987 - 0.9995

INTERVALOS DE CLASE PARA EL TIEMPO DE REAPROVISIONAMIENTO - PROBABILIDADES

No. Int.	Tiempo	Probabilidad
1	0 - 1	0.0497 - 0.1991
2	1 - 2	0.1991 - 0.4231
3	2 - 3	0.4231 - 0.6472
4	3 - 4	0.6472 - 0.8152
5	4 - 5	0.8152 - 0.9160
6	5 - 6	0.9160 - 0.9664
7	6 - 7	0.9664 - 0.9880
8	7 - 8	0.9880 - 0.9961
9	8 - 9	0.9961 - 0.9988
10	9 - 10	0.9988 - 0.9997
11	10 - 11	0.9997 - 0.9999
12	11 - 12	0.9999 - 1.0000

SIMULACION DE INVENTARIOS METODO DE MONTECARLO

LA DEMANDA SE DISTRIBUYE NORMAL MEDIA 3000.00 DESVIACION ESTANDARD 400.00
EL TIEMPO SE DISTRIBUYE POISSON MEDIA 3.00
COSTO ALMACENAMIENTO $ 0.20/UNIDAD-DIA
COSTO EMISION $ 400.00/PEDIDO
COSTO RUPTURA $ 2.00/UNIDAD-DIA
INVENTARIO INICIAL 13293 UNIDADES
PER 1

Día	Inicial	Aleat.	Demanda	Final	Aleat.	Tiempos	$ Alm.	$ Emite	$ Rompe	Total
1	13293	0.32733	2821	10472	0.00000	0	2094.39	0.00	0.00	2094.39
2	10472	0.32733	2821	7651	0.42319	2	1530.19	400.00	0.00	1930.19
3	7651	0.67495	3181	4470	0.00000	0	894.00	0.00	0.00	894.00
4	8103	0.59034	3091	5012	0.64723	3	1002.40	400.00	0.00	1402.40
5	5012	0.91213	3541	1471	0.00000	0	294.20	0.00	0.00	294.20
6	1471	0.32733	2821	0	0.00000	0	0.00	0.00	2700.00	2700.00
7	3633	0.13066	2550	1083	0.19914	1	216.60	400.00	0.00	616.60
8	4716	0.67495	3181	1535	0.42319	2	307.00	400.00	0.00	707.00
9	1535	0.50128	3001	0	0.00000	0	0.00	0.00	2932.00	2932.00
10	3633	0.13066	2550	1083	0.19914	1	216.00	400.00	0.00	616.60
11	4716	0.13066	2550	2166	0.19914	1	433.20	400.00	0.00	833.20
12	5799	0.41214	2911	2888	0.42319	2	577.59	400.00	0.00	977.59
13	2888	0.59034	3091	0	0.00000	0	0.00	0.00	406.00	406.00
14	3633	0.67495	3181	452	0.91608	5	90.40	400.00	0.00	490.40
15	452	0.32733	2821	0	0.00000	0	0.00	0.00	4738.00	4738.00
16	0	0.50128	3001	0	0.00000	0	0.00	0.00	6002.00	6002.00
17	0	0.87055	3451	0	0.00000	0	0.00	0.00	6902.00	6902.00
18	0	0.75136	3271	0	0.00000	0	0.00	0.00	6542.00	6542.00
19	3633	0.18462	2641	992	0.91608	5	198.39	400.00	0.00	598.40
20	992	0.81698	3361	0	0.00000	0	0.00	0.00	4738.00	4738.00
21	0	0.98781	3902	0	0.00000	0	0.00	0.00	7804.00	7804.00
22	0	0.32733	2821	0	0.00000	0	0.00	0.00	5642.00	5642.00
23	0	0.41214	2911	0	0.00000	0	0.00	0.00	5822.00	5822.00
24	3633	0.32733	2821	812	0.91608	5	162.39	400.00	0.00	562.40
25	812	0.59034	3091	0	0.00000	0	0.00	0.00	4558.00	4558.00
26	0	0.25061	2731	0	0.00000	0	0.00	0.00	5462.00	5462.00
27	0	0.75136	3271	0	0.00000	0	0.00	0.00	6542.00	6542.00
28	0	0.87055	3451	0	0.00000	0	0.00	0.00	6902.00	6902.00
29	3633	0.25061	2731	902	0.64723	3	180.39	400.00	0.00	580.40
30	902	0.32733	2821	0	0.00000	0	0.00	0.00	3838.00	3838.00

COSTOS TOTALES POR MES 8197.79 4400.00 81530.01 94127.78
CANTIDAD OPTIMA A PEDIR 3633
PUNTO DE PEDIDO 9660

SIMULACION DE INVENTARIOS METODO DE MONTECARLO

LA DEMANDA SE DISTRIBUYE NORMAL MEDIA 3000.00 DESVIACION ESTANDARD 400.00
EL TIEMPO SE DISTRIBUYE POISSON MEDIA 3.00
COSTO ALMACENAMIENTO $ 0.20/UNIDAD-DIA
COSTO EMISION $ 400.00/PEDIDO
COSTO RUPTURA $ 2.00/UNIDAD-DIA
INVENTARIO INICIAL 14622 UNIDADES

PER 2

Día	Inicial	Aleat.	Demanda	Final	Aleat.	Tiempos	$ Alm.	$ Emite	$ Rompe	Total
1	14622	0.41214	2911	11711	0.00000	0	2342.20	0.00	0.00	2342.20
2	11711	0.67495	3181	8530	0.64723	3	1706.00	400.00	0.00	2106.00
3	8530	0.13066	2550	5980	0.00000	0	1196.00	0.00	0.00	1196.00
4	5980	0.50128	3001	2979	0.00000	0	595.80	0.00	0.00	595.80
5	6975	0.08871	2460	4515	0.42319	2	903.00	400.00	0.00	1303.00
6	4515	0.08871	2460	2055	0.00000	0	411.00	0.00	0.00	411.00
7	6051	0.32733	2821	3230	0.19914	1	646.00	400.00	0.00	1046.00
8	7226	0.91213	3541	3685	0.42319	2	737.00	400.00	0.00	1137.00
9	3685	0.91213	3541	144	0.00000	0	28.79	0.00	0.00	28.79
10	4140	0.87055	3451	689	0.42319	2	137.80	400.00	0.00	537.80
11	689	0.67495	3181	0	0.00000	0	0.00	0.00	4984.00	4984.00
12	3996	0.59034	3091	905	0.64723	3	181.00	400.00	0.00	581.00
13	905	0.25061	2731	0	0.00000	0	0.00	0.00	3652.00	3652.00
14	0	0.13066	2550	0	0.00000	0	0.00	0.00	5100.00	5100.00
15	3996	0.32733	2821	1175	0.81526	4	235.00	400.00	0.00	635.00
16	1175	0.50128	3001	0	0.00000	0	0.00	0.00	3652.00	3652.00
17	0	0.41214	2911	0	0.00000	0	0.00	0.00	5822.00	5822.00
18	0	0.96434	3722	0	0.00000	0	0.00	0.00	7444.00	7444.00
19	3996	0.81698	3361	635	0.42319	2	127.00	0.00	0.00	527.00
20	635	0.81698	3361	0	0.00000	0	0.00	0.00	5452.00	5452.00
21	3996	0.81698	3361	635	0.81526	4	127.00	400.00	0.00	527.00
22	635	0.59034	3091	0	0.00000	0	0.00	0.00	4912.00	4912.00
23	0	0.50128	3001	0	0.00000	0	0.00	0.00	6002.00	6002.00
24	0	0.67495	3181	0	0.00000	0	0.00	0.00	6362.00	6362.00
25	3996	0.87055	3451	545	0.42319	2	109.00	400.00	0.00	509.00
26	545	0.97870	3812	0	0.00000	0	0.00	0.00	6534.00	6534.00
27	3996	0.75136	3271	725	0.64723	3	145.00	400.00	0.00	545.00
28	725	0.18462	2641	0	0.00000	0	0.00	0.00	3832.00	3832.00
29	0	0.91213	3541	0	0.00000	0	0.00	0.00	7082.00	7082.00
30	3996	0.41214	2911	1085	0.91608	5	217.00	400.00	0.00	617.00
COSTOS TOTALES POR MES				9844.58		4800.00		70830.01	85474.53	
CANTIDAD OPTIMA A PEDIR				3996						
PUNTO DE PEDIDO				10956						

SIMULACION DE INVENTARIOS METODO DE MONTECARLO

LA DEMANDA SE DISTRIBUYE NORMAL	MEDIA	3000.00	DESVIACION ESTANDARD 400.00
EL TIEMPO SE DISTRIBUYE POISSON	MEDIA	3.00	
COSTO ALMACENAMIENTO	$	0.20/UNIDAD-DIA	
COSTO EMISION	$	400.00/PEDIDO	
COSTO RUPTURA	$	2.00/UNIDAD-DIA	
INVENTARIO INICIAL		15951	UNIDADES

PER 3

Día	Inicial	Aleat.	Demanda	Final	Aleat.	Tiempos	$ Alm.	$ Emite	$ Rompe	Total
1	15951	0.59034	3091	12860	0.00000	0	2572.00	0.00	0.00	2572.00
2	12860	0.67495	3181	9679	0.64723	3	1935.80	400.00	0.00	2335.80
3	9679	0.59034	3091	6588	0.00000	0	1317.60	0.00	0.00	1317.60
4	6588	0.18462	2641	3947	0.00000	0	789.40	0.00	0.00	789.40
5	8306	0.59034	3091	5215	0.96649	6	1043.00	400.00	0.00	1443.00
6	5215	0.41214	2911	2304	0.00000	0	460.79	0.00	0.00	460.79
7	2304	0.94282	3632	0	0.00000	0	0.00	0.00	2656.00	2656.00
8	0	0.59034	3091	0	0.00000	0	0.00	0.00	6182.00	6182.00
9	0	0.25061	2731	0	0.00000	0	0.00	0.00	5462.00	5462.00
10	0	0.08871	2460	0	0.00000	0	0.00	0.00	4920.00	4920.00
11	4359	0.03591	2280	2079	0.19914	1	415.79	400.00	0.00	815.80
12	6438	0.97870	3812	2626	0.19914	1	525.20	400.00	0.00	925.20
13	6985	0.18462	2641	4344	0.81526	4	868.80	400.00	0.00	1268.80
14	4344	0.59034	3091	1253	0.00000	0	250.60	0.00	0.00	250.60
15	1253	0.50128	3001	0	0.00000	0	0.00	0.00	3496.00	3496.00
16	0	0.41214	2911	0	0.00000	0	0.00	0.00	5822.00	5822.00
17	4359	0.94282	3632	727	0.19914	1	145.39	400.00	0.00	545.40
18	5086	0.67495	3181	1905	0.19914	1	381.00	400.00	0.00	781.00
19	6264	0.81698	3361	2903	0.81526	4	580.59	400.00	0.00	980.59
20	2903	0.67495	3181	0	0.00000	0	0.00	0.00	556.00	556.00
21	0	0.25061	2731	0	0.00000	0	0.00	0.00	5462.00	5462.00
22	0	0.25061	2731	0	0.00000	0	0.00	0.00	5462.00	5462.00
23	4359	0.75136	3271	1088	0.81526	4	217.60	400.00	0.00	617.60
24	1088	0.67495	3181	0	0.00000	0	0.00	0.00	4186.00	4186.00
25	0	0.75136	3271	0	0.00000	0	0.00	0.00	6542.00	6542.00
26	0	0.32733	2821	0	0.00000	0	0.00	0.00	5642.00	5642.00
27	4359	0.87055	3451	908	0.91608	5	181.60	400.00	0.00	581.60
28	908	0.18462	2641	0	0.00000	0	0.00	0.00	3466.00	3466.00
29	0	0.91213	3541	0	0.00000	0	0.00	0.00	7082.00	7082.00
30	0	0.59034	3091	0	0.00000	0	0.00	0.00	6182.00	6182.00

COSTOS TOTALES POR MES	11685.19	4000.00	73118.01	88803.17
CANTIDAD OPTIMA A PEDIR	4359			
PUNTO DE PEDIDO	11952			

CONCLUSIONES

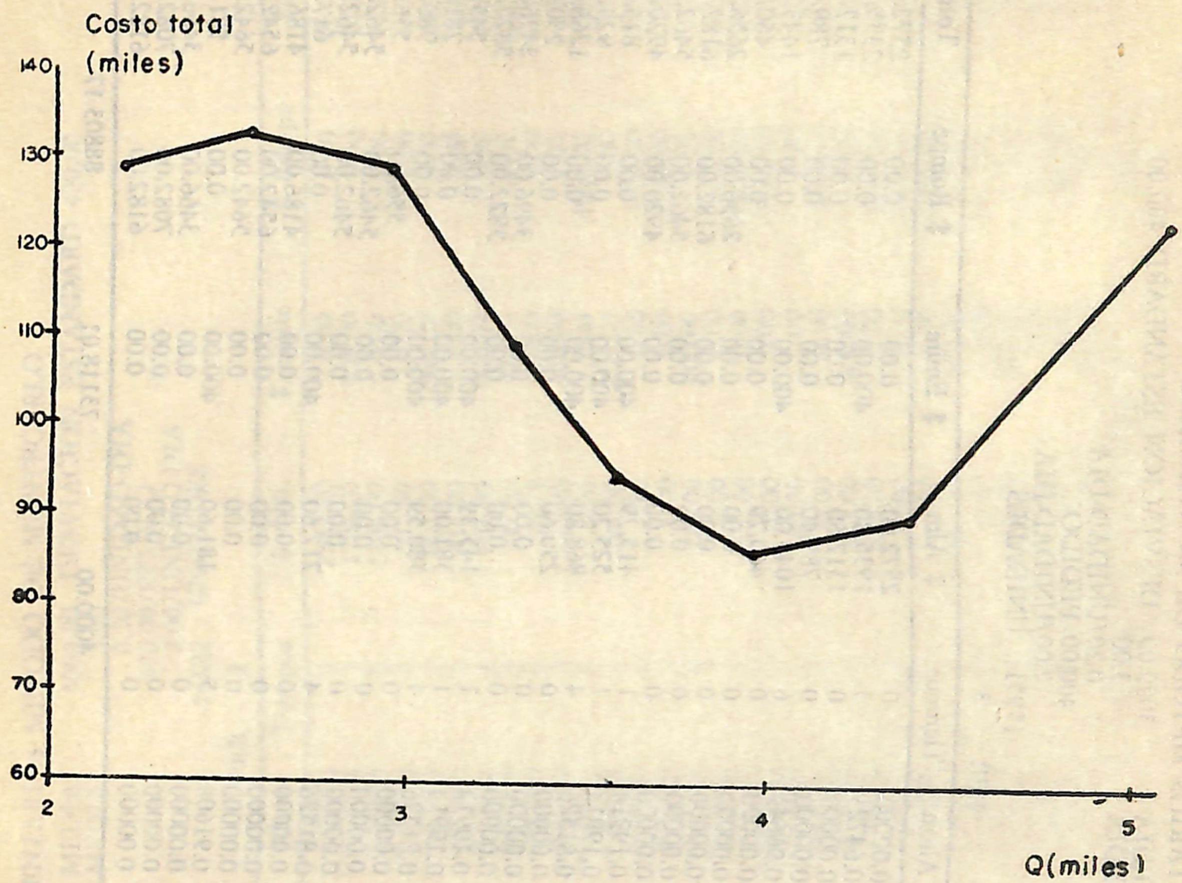

FIGURA 3

1. Observamos en la figura 3 la variación de los costos totales en relación con la cantidad a pedir (Q), tal gráfica tiene cierta analogía con las curvas teóricas para el Modelo de Harrís en el cual la función que se trata de optimizar es:

$$\pi\ (q) = \frac{N}{q} C_2 + \frac{1}{2} \theta \cdot q \cdot C_1 \quad \text{Ver figura 5.}$$

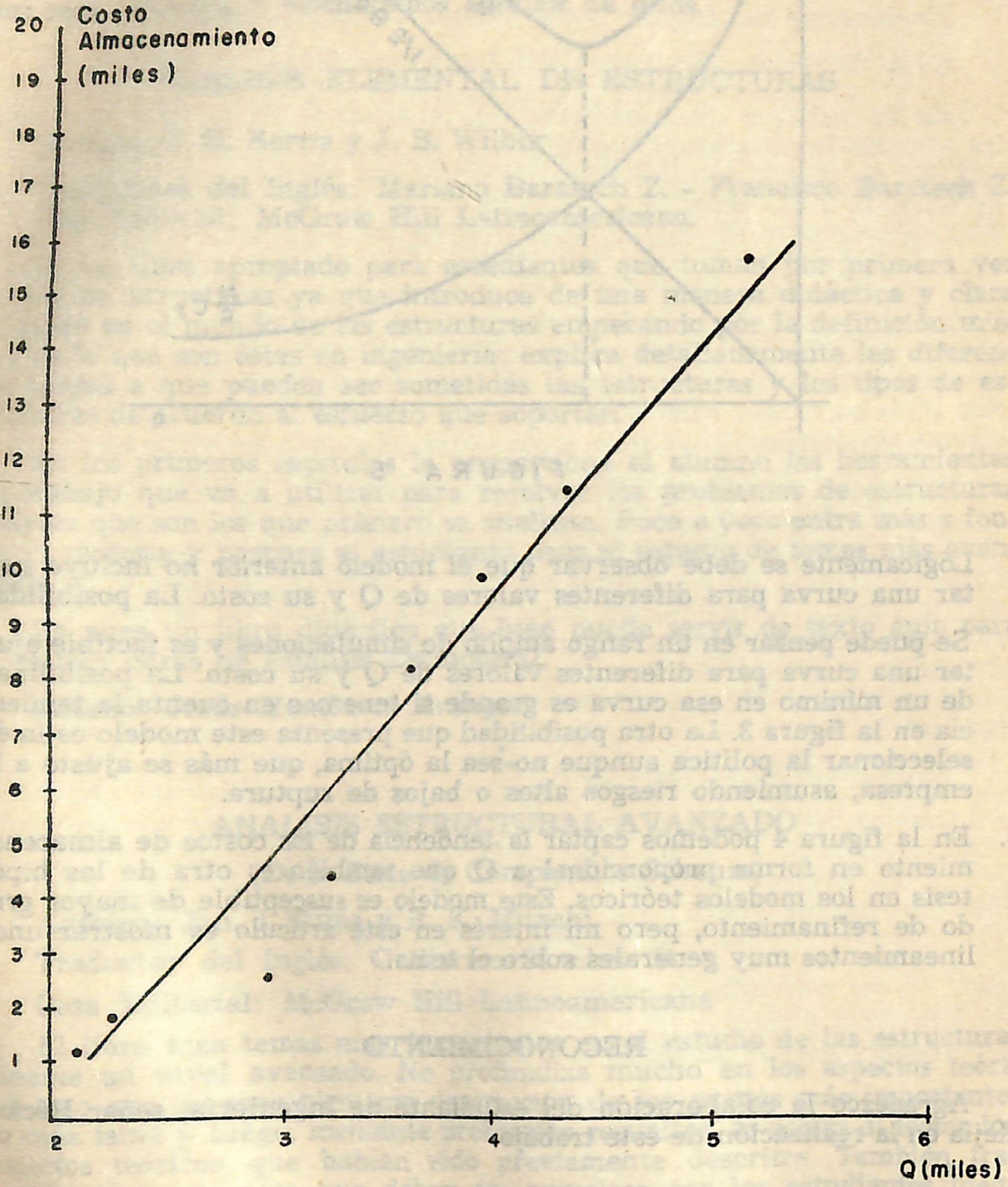
Costo
Almacenamiento
(miles)
20
19
18
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
2
3
4
5
6
Q (miles)

FIGURA 4

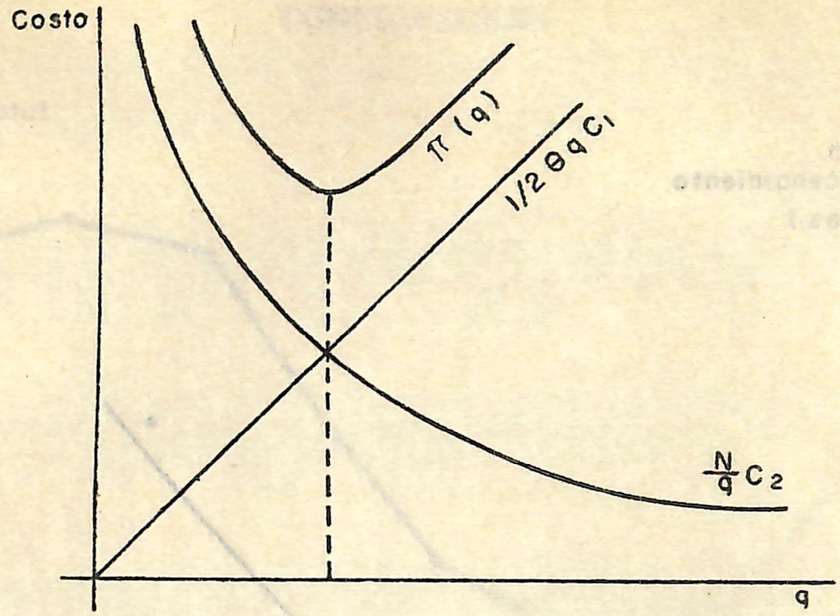

FIGURA 5

Lógicamente se debe observar que el modelo anterior no incluye suptar una curva para diferentes valores de Q y su costo. La posibilidad

Se puede pensar en un rango amplio de simulaciones y es factible ajustar una curva para diferentes valores de Q y su costo. La posibilidad de un mínimo en esa curva es grande si tenemos en cuenta la tendencia en la figura 3. La otra posibilidad que presenta este modelo es la de seleccionar la política aunque no sea la óptima, que más se ajuste a la empresa, asumiendo riesgos altos o bajos de ruptura.

2. En la figura 4 podemos captar la tendencia de los costos de almacenamiento en forma proporcional a Q que también es otra de las hipótesis en los modelos teóricos. Este modelo es susceptible de mayor grado de refinamiento, pero mi interés en este artículo es mostrar unos lineamientos muy generales sobre el tema.

RECONOCIMIENTO

Agradezco la colaboración del estudiante de Ingeniería, señor Héctor Mejía en la realización de este trabajo.