

Simulación Montecarlo aplicada a un problema de acarreo en el minado superficial

Montecarlo Simulation applied to a surface mine haulage problem

Oswaldo Ortiz Sánchez¹

RECIBIDO: 20/10/2015 - APROBADO: 22/12/2015

RESUMEN

Este estudio presenta una aplicación del método Montecarlo de muestreo estadístico de variables aleatorias que influyen en el comportamiento de un modelo de acarreo minero. Dos variables importantes de ciclo de acarreo son las llegadas de cargas desde los frentes de avance a un punto de transferencia y las salidas de estas cargas desde la estación de transferencia a los botaderos de estéril. Ambas variables se estiman aleatoriamente, utilizando números aleatorios de una distribución de probabilidad. La estimación de estas variables nos permite dimensionar la flota de acarreo y el tamaño de la estación de transferencia analizando tres posibles casos.

Palabras clave: Montecarlo, simulación, dígito aleatorio, variable aleatoria, transferencia, botadero de estéril.

ABSTRACT

This study shows an application of the Monte Carlo simulation system of statistical sampling of two important probabilistic variables of the haulage cycle in surface mining. Arrivals of loads from advancing faces to a transference station and haulage of loaded units from the transferring point to a dumping area. These two unknown variables are estimated from random numbers taken from a probability distribution. Once these probabilistic variables are determined, the equipment and facility dimensions are dimensioned. Three possible solutions are analyzed in Cases I, II and III: Haulage equipment size, transference station size and work force required.

Key words: Montecarlo, simulation, random number, transference station, dumping area.

¹ Docente Escuela Académica Profesional de Ingeniería de Minas, UNMSM. E-mail: osoos1990@gmail.com

I. INTRODUCCIÓN

Una de las principales actividades de la minería es el manipuleo de materiales y entre ellos está el acarreo minero. Pero el diseño balanceado, eficiente y adecuado de un sistema de acarreo es complejo por el gran número de variables interrelacionadas y desconocidas que intervienen. En estos casos, el factor que no se conoce con certeza se considera una variable aleatoria. La toma de datos de estas variables es costosa y en la mayoría de veces solo se pueden registrar sus promedios. Valores reales específicos podrían no estimarse con exactitud.

El comportamiento de una variable aleatoria se describe mediante una distribución de probabilidad y una simulación con este tipo de variable se conoce como método Montecarlo, a causa de las ruletas de Montecarlo, que son dispositivos para generar eventos inciertos o aleatorios. Actualmente (Eppen G.D y otros, 2000, p. 509), los métodos Montecarlo se usan en diversidad de problemas, tales como la evaluación de integrales complicadas, estudios de crecimiento de población, diseño de reactores nucleares, cálculo numérico en que los estados sucesivos de un sistema se determinan en el tiempo y otros donde se tiene el desarrollo de un proceso aleatorio. Una aplicación importante del método es en el incremento de precisión o técnicas de reducción de la varianza (Hillier F.S. y otros, 1997, p. 920).

La simulación Montecarlo requiere sucesión de números aleatorios que se obtienen de una distribución que generalmente no es uniforme. No hay métodos para generar números aleatorios directamente con una distribución específica, pero sí se puede generar números aleatorios con una distribución uniforme. Una aplicación importante del método es la obtención de muestras de cierto tamaño para parámetros seleccionados de alternativas (Blank L. y otro, 2006, p. 721). Estos parámetros que se supone varían con una distribución de probabilidad establecida, garantizan la toma de decisiones bajo riesgo.

En el acarreo minero que tiene componentes discretos, los métodos Montecarlo nos dan una forma donde las ocurrencias probabilísticas, como demoras, paradas, interrupciones, etc., se pueden simular, siendo por lo tanto una técnica de selección de números aleatorios a través de alguna distribución de probabilidad para aplicarlo en un proceso de simulación para generar valores de variables aleatorias (García Dunna E. y otros, 2006, p. 18).

I.1. Componentes de sistema

La Figura N° 1 presenta los componentes de un sistema de acarreo formado por estación de transferencia, 10 frentes de avance y carguío, el área de descarga del material que, para este caso, se trata de un botadero de estéril, la vía de acceso a los puntos de carguío y botadero.

Los carros vacíos y cargados se estacionan en el punto de transferencia. Si están vacíos, van a uno de los 10 frentes activos de avance y carguío. Los carros cargados son halados a la estación de transferencia, donde un equipo de tracción los lleva a los botaderos de estéril.

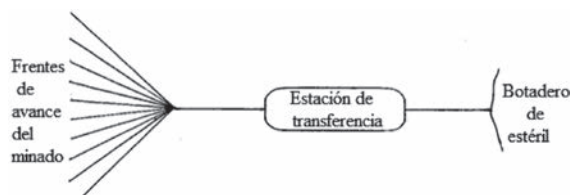


Figura N° 1. Arreglo de un sistema de acarreo de estéril en el minado superficial

I.2. Información disponible

Para el sistema de la Figura N° 1 se tienen los siguientes datos:

Capacidad de la estación de transferencia: 10 carros cargados y 10 vacíos.

Una unidad cargada debe cambiarse por otra vacía. El equipo tractor puede llevar 5 unidades cargadas. El sistema trabaja 400 minutos/guardia con hora de 50 minutos efectivos ($50/60 \times 100 = 83\%$ de eficiencia) en guardia de 8 horas.

Tiempo de viaje ida y regreso: 20 minutos. En el frente de avance se tiene 10 puntos de operación, donde cada punto de carguío puede despachar 10 unidades/día. Esto hace una capacidad de operación de 100 cargas y también de la vía 100 unidades.

Las unidades de acarreo cargadas llegan al punto de transferencia en forma aleatoria. Igualmente el equipo de tracción no siempre tendrá 5 unidades cargadas para el acarreo al botadero.

I.3. Tipo de simulación

Es un sistema de simulación aleatoria, en el sentido de que no se espera que las unidades de acarreo cargadas lleguen a la estación de transferencia en secuencia ordenada y que además el equipo de tracción tenga siempre 5 unidades cargadas para acarreo al echadero.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Proceso de simulación

Para obtener una solución del problema podemos dividir la guardia de 400 minutos en 20 periodos de 20 minutos cada uno y luego programar al azar las llegadas de las unidades de carguío desde los puntos de carga a la estación de transferencia. Estas llegadas pueden elegirse mediante una tabla de números aleatorios generados por un proceso aleatorio, programando la secuencia del modo siguiente:

1. Seleccionamos un frente de avance
2. Elegimos una tabla de número aleatorios seleccionados al azar (Scheaffer R.L. y otro, 1993, p.640).
3. De una lista de dígitos cuyos números se toma de una tabla probabilística, se elige números de 01 a 20.

4. Cuando se intercepta un número se marca un aspa en el punto de ocurrencia de la fila y columna. Los otros 9 espacios en la fila de la tabla se llenan de mismo modo.

La Tabla N° 1 presenta la simulación de una guardia de 8 horas, donde se tiene 10 frentes de minado (eje de ordenadas) y 20 periodos de 20 minutos cada uno (eje de abscisas).

Las restricciones de la Tabla N° 1 consisten en que el número de cargas de cada frente en una guardia de 8 horas no debe exceder de 10 y el número de cargas haladas por el tractor no puede ser superior a 5.

El proceso se repite por lo menos 500 veces, representando 5 días de operación en 100 periodos de 20 minutos cada uno. Tablas N° 2 al 6 dan los detalles para las restantes 4 guardias de simulación.

III. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Análisis de casos

Los cálculos se centran en estimaciones de a) capacidad de la estación de transferencia y el número de unidades de acarreo cargadas que se requieren para satisfacer los requerimientos del sistema y b) costo de las modificaciones del equipo y de operaciones.

3.2. Análisis del caso I

Se modificará la capacidad de la estación de transferencia si es necesario, manteniendo fija la vía principal de acarreo.

La Tabla N° 6 presenta la simulación de acarreo durante 5 días, que se preparó según las tablas N° 1 al 6. Esta tabla muestra principalmente lo siguiente: a) número de unidades de acarreo cargadas que llegan a la estación en cada periodo de 20 minutos (llegadas), b) número de unidades en la estación antes de iniciar el acarreo (en estación), c) número de unidades cargadas que se toman de la estación (tomadas), d) número de unidades que quedan en la estación (sobrantes en estación).

El caso I muestra la situación en que no se pone límite a la capacidad de la estación y el personal de acarreo trabaja sobretiempo para retirar de la estación las cargas sobrantes al final de cada guardia.

3.2.1. Modelo numérico y aplicación al caso I

Los requerimientos de sistema podemos expresarlos en términos matemáticos, para lo cual se establecen los siguientes símbolos:

N_a = Número de unidades cargadas que llegan al punto de transferencia (Llegadas).

N_s = Número de unidades cargadas en la estación de transferencia en cualquier momento (En estación).

N_t = Número de unidades cargadas acarreadas desde la estación de transferencia (Tomadas).

N_r = Número de unidades cargadas que quedan en la estación de transferencia (Sobrantes en estación).

N_p = Número de unidades en los frentes de avance.

N_{tu} = Número total de unidades requeridas por el sistema.

C_{tp} = Capacidad de estación de transferencia.

C_{te} = Capacidad en unidades vacías de la estación de transferencia.

Por lo tanto:

$$N_{tu} = N_t(\text{máx.}) + N_s(\text{máx.}) + N_p$$

$$C_{tp} = N_s(\text{máx.})$$

$$C_{te} = N_{tu} - N_s(\text{mín.}) - N_p$$

Reemplazando los datos de la Tabla N° 6 en estas fórmulas se tiene:

$$N_s(\text{máx.}) = 15, N_t(\text{máx.}) = 5, N_p = 10, N_s(\text{mín.}) = 1$$

$$N_{tu} = 5 + 15 + 10 = 30$$

$$C_{tp} = 15$$

$$C_{te} = 30 - (1 + 10) = 19$$

Lo cual nos indica que el caso I (plan I) requiere 30 unidades para carga, capacidad para estacionar 15 unidades en la estación de transferencia, o sea, incrementar la capacidad del punto de transferencia en 5 unidades de carga y capacidad para estacionar 19 unidades vacías, o sea, incrementar la capacidad de estacionamiento para unidades vacías del punto de transferencia en 9 unidades vacías. Adicionalmente, se deberá asegurar el pago de sobretiempo a la guardia de acarreo, ya que se tiene que retirar las unidades sobrantes al final de cada guardia, con el objeto de asegurar el normal funcionamiento del sistema durante la guardia siguiente.

3.3. Análisis del caso II

Como puede verse, el caso I se encuentra sobrecargado, por lo que debe presentarse alguna alternativa de solución. Se analizan casos II y III.

Una alternativa deseable sería no pagar sobretiempo al personal de la guardia de acarreo y, en su lugar, tener mayor número de unidades de carguío e incrementar la capacidad de la estación de transferencia.

Para este cálculo puede usarse la misma información de llegadas de cargas, como en el caso I, ejecutando los cálculos de la misma manera, lo que significa construir una tabla usando números aleatorios con dígitos del 01 al 20 y repetir las tablas N° 1 al 6 para las condiciones resultantes del análisis del caso I y luego aplicar las fórmulas deducidas para el caso I a la nueva tabla N° 6 resultante para el caso II. Debido a que todo este proceso es una repetición del caso I, a continuación se presentan los resultados únicamente.

Máximo número de unidades en la estación de transferencia $N_s = 21$.

Número de unidades de carguío dejados en la estación de transferencia al final de cada guardia, después del tercer día $N_r = 10$.

Estas 10 unidades cargadas que se dejan en el área de transferencia se debe a la deficiente capacidad de acarreo de los tres primeros días. Se encontró que el sistema está

balanceado después del tercer día y los resultados obtenidos pueden resumirse del modo siguiente:

$$N_{tu} = 5 + 21 + 10 = 36$$

$C_{tp} = N_s(\text{máx}) = \text{Capacidad de la estación de transferencia} = 21$

$$N_s(\text{mín.}) = 9$$

$C_{te} = \text{Capacidad de la estación de transferencia en unidades vacías} = 36 - (9 + 10) = 17$

De lo anterior se deduce, por lo tanto, que el caso II requiere 36 unidades de acarreo y además hay que incrementar la capacidad de la estación de transferencia para acomodar a 11 unidades adicionales cargadas y 7 unidades adicionales vacías.

3.4. Análisis del caso III

Una alternativa adicional es incrementar la capacidad del botadero de estéril y del equipo de acarreo para alcanzar una operación eficiente y al más bajo costo unitario.

Para el análisis de este caso se deberá preparar otra tabla, como aquellas de los casos I y II, usando la misma información de llegadas al área de transferencia.

Para este caso se asume que la capacidad de acarreo se incrementa a 6 unidades en lugar de 5, que es la cifra que se usó para los casos I y II. Se asume además que no se requiere personal adicional para el sistema.

Se usan los números aleatorios como en los casos I y II y siendo los cálculos repetitivos como en el caso I, no se presentan estas tablas.

Los resultados que se obtienen se resumen a continuación:

Unidades cargadas dejadas en la estación de transferencia en el tercer día de operación $N_r = 3$

Número máximo de unidades en el punto de transferencia $N_s = 10$

Número total de unidades requeridas por el sistema $N_{tu} = 6 + 10 + 10 = 26$

Capacidad de la estación de transferencia $C_{tp} = N_s(\text{máx}) = 10$ unidades

Capacidad de la estación de transferencia en unidades vacías $C_{te} = 26 - (1 + 10) = 15$

De lo anterior puede verse que el caso III requiere 26 unidades de acarreo. Se debe además incrementar la capacidad de la estación de transferencia para recibir 5 unidades vacías adicionales ($10 + 5 = 15$). Paralelamente debe incrementarse la capacidad del botadero de estéril o

los frentes de echadero de estéril y del equipo que lleva al convoy de carros cargados (equipo con motor de mayor potencia).

IV. CONCLUSIONES

- El método de muestreo estadístico Montecarlo nos permite seleccionar números aleatorios mediante una distribución de probabilidad para aplicarlo en simulación.
- Variables indeterminadas de un proceso de simulación pueden evaluarse mediante métodos Montecarlo, debiendo elegir una función de probabilidad. Una de estas variables es el número de unidades cargadas que llegan a la estación de transferencia.
- Mediante muestreo Montecarlo se simulan las llegadas de carros cargados de acuerdo con una distribución de probabilidad que representa una demanda real.
- Fijada la variable aleatoria en el tiempo, puede procederse al dimensionamiento de flota.
- Como podemos deducir, simulación no ofrece directamente un valor óptimo sino que nos presenta alternativas sobre las cuales deberán tomarse decisiones.

V. AGRADECIMIENTOS

A la Escuela de Ingeniería de Minas y al Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, por el apoyo en la publicación de la presente investigación

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Blank L. and Tarquin A., (2006). Ingeniería económica, Sexta edición. Editorial McGraw-Hill Interamericana Editores S.A., México.
2. Eppen G.D., Gould F.T., Schmidt C.P., Moore J. H., Weatherford L. R. (2000). Investigación Operativa en la ciencia administrativa, Quinta edición, Editorial Pearson Education, México, p. 508-510.
3. García Dunna E., García Reyes H., Cárdenas Barrón L. E., (2006). Simulación y análisis de sistemas con PROMODEL. Primera edición. Editorial Pearson Education, México.
4. Hillier F. S., Lieberman G. J., (1997). Introducción a la investigación de operaciones. Sexta edición. Editorial McGraw-Hill Interamericana Editores S. A., México.

Tabla Nº 1. Simulación de primera guardia de 8 horas. Acarreo de estéril a botaderos

Periodo/Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	T		
Frentes de avance del minado	1	X	X	X			X		X		X		X	X				X		X		10	
	2	X	X	X		X		X		X		X						X	X		X	10	
	3		X			X	X	X	X		X	X		X			X	X				10	
	4	X	X	X	X		X			X				X		X	X				X	10	
	5			X		X	X	X		X	X		X			X				X	X		10
	6	X	X	X	X			X		X		X		X	X		X						10
	7		X			X	X		X		X		X			X				X		X	10
	8	X		X	X		X	X		X				X	X	X						X	10
	9	X	X			X	X	X	X		X		X			X				X			10
	10		X	X	X	X	X			X		X		X	X			X					10
Llegada a estación		6	8	7	4	6	8	6	4	6	5	4	4	6	3	5	4	4	4	3	3		
En estación		6	9	11	10	11	14	15	14	15	15	14	13	14	12	12	11	10	9	7	5		
Tomado de est.		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
Quedan en estac.		1	4	6	5	6	9	10	9	10	10	9	8	9	7	7	6	5	4	2	0		

Leyenda: T = Nº de cargas de un frente/guardia
 Un periodo = 20 minutos, una guardia = 20 periodos de 20 minutos c/u = 400 minutos.

Tabla Nº 2. Simulación de segunda guardia de 8 horas. Acarreo de estéril a botaderos

Periodo/Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	T	
Frentes de avance del minado	1	X	X	X		X	X		X		X					X		X				10
	2	X	X	X			X		X		X	X		X						X		9
	3	X	X		X		X	X	X	X			X	X					X			10
	4	X		X	X	X		X	X					X		X				X		9
	5		X	X	X			X	X	X		X				X			X	X		10
	6	X		X		X		X	X			X				X			X	X	X	10
	7	X	X	X			X		X		X			X		X	X				X	10
	8	X	X		X	X			X	X		X				X				X	X	10
	9		X	X		X		X		X	X			X				X		X		10
	10	X		X				X	X		X			X			X		X	X	X	10
Llegada a estación		8	7	8	4	5	4	3	10	6	4	3	4	3	2	2	7	0	6	8	4	
En estación		8	10	13	12	12	11	9	14	15	14	12	11	9	6	3	7	2	6	9	8	
Tomado de est.		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	2	5	5	5		
Quedan en estac.		3	5	8	7	7	6	4	9	10	9	7	6	4	1	0	2	0	1	4	3	

Leyenda: T = Nº de cargas de un frente/guardia
 Un periodo = 20 minutos, una guardia = 20 periodos de 20 minutos c/u = 400 minutos

Tabla Nº 3. Simulación de tercera guardia de 8 horas. Acarreo de estéril a botaderos

Periodo/Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	T	
Frentes de avance del minado	1	X	X		X		X	X		X		X	X		X	X					10	
	2	X	X	X			X	X		X		X		X				X		X	10	
	3	X		X		X		X	X		X		X		X		X	X			10	
	4	X	X		X		X		X	X	X	X							X	X		9
	5	X	X		X			X	X	X		X	X	X		X						10
	6	X		X		X			X	X	X		X				X	X	X			10
	7	X			X			X	X		X	X				X		X	X	X		10
	8	X	X		X	X			X	X			X		X		X				X	10
	9	X	X	X		X		X		X	X			X				X		X		10
	10	X		X	X		X	X	X		X		X		X		X					10
Llegada a estación		10	6	5	6	4	3	7	8	6	7	4	6	3	4	3	5	4	4	3	2	
En estación		10	11	11	12	11	9	11	14	15	17	16	17	15	14	12	12	11	10	8	5	
Tomado de est.		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
Quedan en estac.		5	6	6	7	6	4	6	9	10	12	11	12	10	9	7	7	6	5	3	0	

Leyenda: T = Nº de cargas de un frente/guardia
 Un periodo = 20 minutos, una guardia = 20 periodos de 20 minutos c/u = 400 minutos

Tabla Nº 4. Simulación de cuarta guardia de 8 horas. Acarreo de estéril a botaderos

Periodo/Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	T	
Frentes de avance del minado	1	X		X	X			X	X		X				X	X			X	X	10	
	2	X		X	X					X			X	X	X	X	X			X	10	
	3		X	X	X			X	X		X	X	X		X				X		10	
	4			X	X	X	X				X			X	X	X			X		9	
	5	X	X			X	X		X	X	X			X		X	X		X		10	
	6			X		X			X	X	X	X	X		X	X			X		10	
	7			X	X	X				X	X			X	X		X	X	X		10	
	8			X		X	X	X	X		X			X	X		X	X		X	10	
	9	X	X			X	X		X	X	X					X	X				X	10
	10	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X			X		X				10
Llegada a estación		5	3	1	8	7	6	4	3	6	7	8	3	2	5	8	7	4	3	5	4	
En estación		5	3	1	8	10	11	10	8	9	11	14	12	9	9	12	14	13	11	11	10	
Tomado de est.		5	3	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
Quedan en estac.		0	0	0	3	5	6	5	3	4	6	9	7	4	4	7	9	8	6	6	5	

Leyenda: T = Nº de cargas de un frente/guardia
 Un periodo = 20 minutos, una guardia = 20 periodos de 20 minutos c/u = 400 minutos

Tabla N° 5. Simulación de quinta guardia de 8 horas. Acarreo de estéril a botaderos

Periodo/Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	T		
Frentes de avance del minado	1			X	X	X	X	X				X	X	X		X				X		10	
	2		X		X		X				X	X	X	X	X		X				X		10
	3	X				X		X	X		X	X		X		X					X	X	10
	4			X		X	X		X		X	X		X			X				X	X	9
	5		X	X		X		X						X	X		X	X	X	X			10
	6	X	X		X		X		X		X	X	X			X		X					10
	7		X		X		X		X		X			X		X		X					10
	8	X	X		X					X	X	X		X	X	X					X		10
	9	X		X		X	X	X		X					X	X					X		10
	10		X		X	X	X		X			X	X	X	X		X						10
Llegada a estación		3	6	5	4	6	8	5	4	3	6	7	4	8	7	4	6	3	3	6	2		
En estación		3	6	6	5	6	9	9	8	6	7	9	8	11	13	12	13	11	9	10	7		
Tomado de est.		3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	2	5	5	5			
Quedan en estac.		0	1	1	0	1	4	4	3	1	2	4	3	6	8	7	8	6	4	5	2		

Leyenda: T = N° de cargas de un frente/guardia

Un periodo = 20 minutos, una guardia = 20 periodos de 20 minutos c/u = 400 minutos

Tabla Nº 6. Resumen de la simulación de 5 días de 8 horas cada uno

Pi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	M	N	P
1 1 2 3 4	6	8	7	4	6	8	6	4	6	5	4	4	6	3	5	4	4	4	3	3	8	3	6
	6	9	11	10	11	14	15	14	15	15	14	13	14	12	12	11	10	9	7	5	15	5	12
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	1	4	6	5	6	9	10	9	10	10	9	8	9	7	7	6	5	4	2	0	10	1	7
2 1 2 3 4	8	7	8	4	5	4	3	10	6	4	3	4	3	2	2	7	0	6	8	4	8	0	5
	8	10	13	12	12	11	9	14	15	14	12	11	9	6	3	7	2	6	9	8	15	2	10
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	3	5	8	7	7	6	4	9	10	9	7	6	4	1	0	2	0	1	4	3	10	0	5
3 1 2 3 4	10	6	5	6	4	3	7	8	6	7	4	6	3	4	3	5	4	4	3	2	10	2	6
	10	11	11	12	11	9	11	14	15	17	16	17	15	14	12	12	11	10	8	5	10	7	12
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	5	6	6	7	6	4	6	9	10	12	11	12	10	9	7	7	6	5	3	0	12	0	7
4 1 2 3 4	5	3	1	8	7	6	4	3	6	7	8	3	2	5	8	7	4	3	5	4	8	1	5
	5	3	1	8	10	11	10	8	9	11	14	12	9	9	12	14	13	11	11	10	14	1	10
	5	3	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	1	5
	0	0	0	3	5	6	5	3	4	6	9	7	4	4	7	9	8	6	6	5	9	0	5
5 1 2 3 4	3	6	5	4	6	8	5	4	3	6	7	4	8	7	4	6	3	3	6	2	8	2	6
	3	6	6	5	6	9	9	8	6	7	9	8	11	13	12	13	11	9	10	7	10	7	9
	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	0	1	1	0	1	4	4	3	1	2	4	3	6	8	7	8	6	4	5	2	5	2	4
A	7	6	5	5	5	6	5	6	5	6	5	4	6	4	4	6	3	4	5	3			
B	7	8	8	9	10	11	11	12	12	13	13	12	13	11	10	11	9	9	9	7			
C	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5			
D	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8	8	7	8	6	5	6	5	4	4	2			

Leyenda: Números 1, 2, 3, 4, 5 = Resumen de tablas 1, 2, 3, 4, 5. Llegadas = 1, En estación = 2, Tomados = 3
 Sobrantes en estación = 4. A, B, C, D son promedios de 1, 2, 3, 4. M, N, P = Mayor, Menor, Promedio respectivamente. Pi = periodos 1- 20.