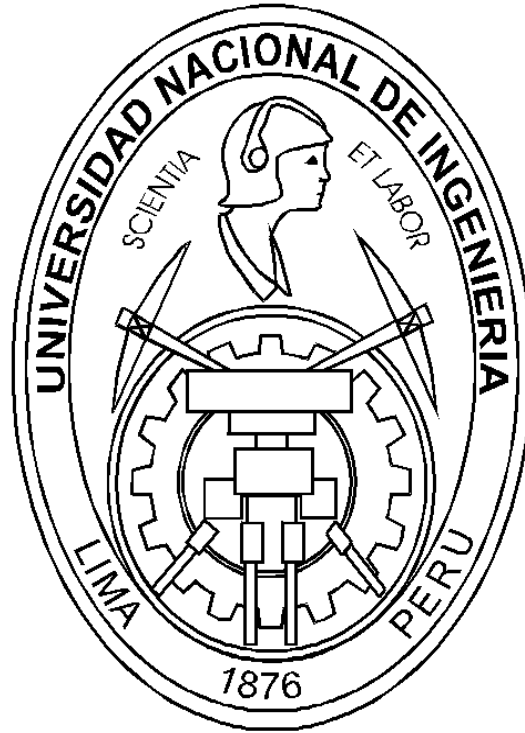


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
SECCIÓN DE POSTGRADO**



**“LA VARIABILIDAD EN LOS PROCESOS DE  
CARGUÍO Y TRANSPORTE”**

**TESIS**

Para optar el grado de maestro con mención en:

**“GESTIÓN Y ADMINISTRACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN”**

Ing. José Luis Vitteri Sarmiento

Lima – Perú  
2007

# VARIABILIDAD EN LOS PROCESOS DE CARGUÍO Y TRANSPORTE

ING. JOSÉ LUIS VITTERI SARMIENTO

Presentado a la Sección de Postgrado de la Facultad de Ingeniería Civil en cumplimiento parcial de los requerimientos para el grado de:

**Maestro en:**

## “GESTIÓN Y ADMINISTRACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN”

DE LA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIARÍA**

MAYO DE 2007

© 2007, José Luis Vitteri Sarmiento. Todos los derechos reservados

El autor autoriza a la UNI a reproducir esta tesis en su totalidad o en parte

**Autor:** Ing. José Luis Vitteri Sarmiento  
Facultad de Ingeniería Civil

**Asesor:** Dr. Javier Arrieta Freyre  
Profesor de Postgrado

**Aceptado por:** Dr. José Carlos Matías León  
Jefe de la Sección de Postgrado

A mis padres Enrique y Consuelo  
que se fueron rodeados de amor.

A mi amada esposa Gyanatti y  
a mis queridos hijos Melissa,  
José Luis y Gabriela.

## ÍNDICE

	<b>Pág.</b>
<b>Índice de Gráficos</b>	<b>vi</b>
<b>Resumen Ejecutivo</b>	<b>vii</b>
<b>Executive Summary</b>	<b>viii</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I: GENERALIDADES</b>	<b>2</b>
1.1. Estado del arte en el movimiento de tierras	3
1.1.1. Operación de excavación – carguío	3
1.1.2. Utilización del cucharón de la excavadora	8
1.1.3. Relación del peso de la excavadora con la carga neta del camión.	10
1.1.4. Variación de la fuerza de penetración y arranque en la punta del cucharón en la excavadora	10
1.1.5. Transporte de materiales	12
1.1.6. Distancia óptima de corte del tractor	14
1.1.7. Relación entre la velocidad de refracción sísmica y la capacidad de penetración del “ripper” de los tractores	16
1.1.8. Consumo de combustible	17
1.2. Nuevas teorías de producción	18
1.2.1. Lean Construction	18
1.3. Causas de la situación actual	21
<b>CAPÍTULO II: LA VARIABILIDAD</b>	<b>24</b>
2.1. Definición de variabilidad	25
2.2. Fuentes de variabilidad	25
2.3. Variabilidad natural	26
2.4. Variabilidad inducida	27
2.4.1. Variabilidad debido a paralizaciones imprevistas	27
2.4.2. Variabilidad debido a paralizaciones previstas	27
2.4.3. Variabilidad por retrabajos	27
2.5. Medidas de variabilidad	28
2.6. Clases de variabilidad	30
2.6.1. Formas probabilísticas de un proceso productivo	31
2.6.2. Prerrequisitos para un proceso productivo estable	35
2.7. Variabilidad en la interacción entre dos procesos productivos	38
2.8. Efectos de la variabilidad en las cadenas de producción	40

<b>CAPÍTULO III: PROCESO DE EXCAVACIÓN – CARGUÍO</b>	<b>46</b>
3.1. Producción teórica de una excavadora	47
3.2. Cuantificación del TP y TNP de una excavadora	48
3.3. Distribución del TNP de una excavadora	49
<b>CAPÍTULO IV: PROCESO TRANSPORTE</b>	<b>51</b>
4.1. Propuesta de medición para el transporte	52
4.2. Histograma de frecuencias de transporte	53
<b>CAPÍTULO V: MEDICIÓN DE LA VARIABILIDAD, SU INFLUENCIA Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN</b>	<b>59</b>
5.1. Variabilidad en el proceso de excavación – carguío	60
5.2. Variabilidad en el proceso transporte	62
5.3. Propuesta para la reducción de la variabilidad y su influencia	66
<b>CAPÍTULO VI: APLICACIONES COMPLEMENTARIAS</b>	<b>69</b>
6.1. Demostración literal del N° de camiones más conveniente	70
6.2. Demostración numérica del N° de camiones más conveniente	73
<b>CAPÍTULO VII: DETERMINACIÓN DEL EQUIPO A UTILIZAR</b>	<b>77</b>
7.1. Excavadora	78
7.2. Camiones	79
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>82</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>87</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>91</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>94</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>98</b>

## Índice de Gráficos

Gráfico 4a Histograma para d=400 Km	53
Gráfico 4b Distancia vs. CV para top soil en periodo seco	55
Gráfico 4c Distancia vs. CV para soft soil en periodo seco	55
Gráfico 4d Distancia vs. CV para waste en periodo seco	56
Gráfico 4e Distancia vs. CV para top soil en periodo de lluvia	56
Gráfico 4f Distancia vs. CV para soft soil en periodo de lluvia	57
Gráfico 4g Distancia vs. CV para waste en periodo de lluvia	57
Gráfico 5.1a Ciclo de carguío vs. peso de excavadora	60
Gráfico 5.2a Coeficiente de variación vs. distancia	66
Gráfico 5.3a, 5.3b, 7.2a, c1 Frecuencia de camiones	67, 68, 79, 83
Gráfico 6a Análisis de casos A y B	72
Gráfico 7.1a, c3 Peso de la excavadora vs. factor de producción	78, 85
Gráfico 7.2b, c2 Producción horaria vs. peso de la excavadora	80, 84
Gráfico c4 Operating weight vs. hp/weight	86

## **RESUMEN EJECUTIVO**

El uso de equipos de movimiento de tierras es de necesidad para todas las obras de infraestructura y las del sector minero, ya sea a tajo abierto o en subterráneo. Los fabricantes de los equipos invierten enormes cantidades de dinero para lograr una mejor performance de los equipos, tanto para reducir el consumo de combustible por HP como para incrementar la producción por unidad de tiempo. Sin embargo, son los propietarios finales de los mismos equipos quienes no invierten en paralelo para instruir a los responsables de las operaciones y menos aun a los operadores. Como consecuencia se puede observar que existe un campo fértil para mejorar la productividad del equipo de movimiento de tierras, lo cual es importante por los beneficios que significa en ahorro para nuestra economía. En el primer capítulo de este trabajo damos un listado, no completo, de los errores más comunes en el uso de equipos de movimiento de tierras.

El concepto de variabilidad, muy difundido en ingeniería industrial, es prácticamente desconocido en construcción civil. Este desconocimiento ha dado como consecuencia que nos acostumbremos a convivir con los resultados indeseados y los consideremos como parte de la operación. Del análisis teórico que presentamos en el capítulo segundo podemos comprender la naturaleza de la variabilidad, sus diferentes características y efectos nocivos en los procesos corriente abajo.

En los capítulos tercero y cuarto calculamos la variabilidad de una operación de carguío y transporte, tal cual se concibe en la actualidad; para finalmente en el capítulo quinto proponer una metodología muy sencilla para eliminar los efectos nocivos de la variabilidad. En realidad nuestra propuesta de calcular el periodo de separación de los camiones obedece a una ley de la naturaleza, ya que todo en ella responde a una secuencia o periodo predeterminado.

Los capítulos finales presentan ejemplos y las conclusiones y recomendaciones derivadas de nuestro estudio, el mismo que es de naturaleza experimental, pero cuyo valor ha sido ampliamente verificado en terreno, habiéndose conseguido con su aplicación importantes reducciones de costo en las operaciones de carguío y transporte.

## **EXECUTIVE SUMMARY**

The use of earth movement equipment is a necessity for all the infrastructure and mining projects – strip or underground mines. The manufacturers largely invest in order to improve their equipment's performance: to reduce the fuel consumption per HP ratio and increase production speed. However, the final equipment owners do not invest to instruct either those in charge of the operations or the equipment operators. Therefore there is a lot of room to improve the earth movement equipment's productivity, which reflects in savings, positive for our economy. In the first chapter we provide a condensed list of the most common mistakes when using earth movement equipment.

The concept of variability, widely spread in industrial engineering, is virtually unknown in civil engineering. We have, then, gotten used to unwanted results and considered them as part of the operation. The theoretical analysis presented in chapter two explains the nature of variability, its different characteristics and negative effects.

In the third and fourth chapter we calculate the variability of a load-and-transport operation, the way is currently performed, and in chapter five we propose a very simple methodology to eliminate the unwanted effects of variability. Actually, our proposal of calculating the time interval in between trucks obeys a law of nature, since everything in nature answers to a predefined sequence.

The final chapters present examples, conclusions and recommendations derived from our study. Although this study is of an experimental nature, its value has been largely verified on site, having reduced the cost of the load-and-transport operations with its application.



## INTRODUCCIÓN

La presente investigación es de NATURALEZA EXPERIMENTAL; las conclusiones presentadas y recomendaciones que se hacen son en base al conocimiento y a la experiencia del autor; y se han puesto en práctica con éxito en distintos proyectos construidos y asesorados por él.

Resulta claro que una de las disyuntivas a las que se enfrenta cualquier responsable de obras de movimiento de tierras es responder a la pregunta clave: ¿Qué y cuántos equipos debemos utilizar? La solución a esta interrogante tendrá impacto no solamente en los costos de operación del proyecto en curso, ya que muchas veces afectará el flujo de caja de la organización. Cuando trabajamos por procesos nos focalizamos en la manera en que el proceso  $i$  afecta al proceso  $i+1$ ; ya sea por la calidad, la cantidad o la oportunidad del lote de transferencia. Lo que muchas veces hemos dejado de lado es el hecho de considerar la influencia de la transmisión de la variabilidad entre los procesos; vale decir, la manera en que la variabilidad de producción del proceso  $i$  afecta al proceso  $i+1$ . Si lo anterior es complicado, lo es mucho más entre procesos que conforman un circuito cerrado, como es el caso de los procesos excavación-carguío y transporte, ya que la variabilidad del proceso de excavación-carguío afectará al proceso de transporte; pero la variabilidad de éste último afectará a su vez el proceso de excavación-carguío. Por lo expuesto, para el presente trabajo vamos a analizar separadamente la optimización del proceso de excavación-carguío tan igual que el de transporte, para finalmente avocarnos en la optimización del conjunto.

***CAPÍTULO I***  
***GENERALIDADES***

En este capítulo revisaremos el estado actual del movimiento de tierras, indicando los problemas y los efectos. Presentaremos el Lean Construcción como una nueva filosofía de producción que puede ayudar a mejorar sustancialmente la situación actual.

### **1.1. Estado del arte en el movimiento de tierras.**

El Movimiento de Tierras se inicia con la Minería y el afán del hombre de extraer minerales útiles de la tierra, en principio hematita y sílex para poder producir pigmentos, armas y herramientas. Este tipo de extracciones se hacían manualmente con una producción mínima; al transcurrir los años se inicia una nueva etapa de explotación con el uso de herramientas como picos y barretas, en las cuales los minerales preciosos son los de mayor explotación debido a la época mercantil, seguidos por los utilitarios como el hierro y el carbón que con el florecer de la industria van adquiriendo mayor demanda, por lo cual son necesarios métodos de explotación masivos tales como el uso de voladuras y posteriormente con el uso de maquinarias pesadas. Este tipo de tecnología es muy costosa por lo que el mejoramiento de su operación es imprescindible, tan es así que se han desarrollado nuevas formas de ejecución y métodos de optimización tales como Lean Construction y Six Sigma.

#### **1.1.1. Operación de excavación - carguío**

En la época primitiva el ser humano hacía la excavación con las manos, después se ayudaba con piedras y más tarde con herramientas fabricadas de los metales que había descubierto.

Ya en el siglo XX y hasta finales de los años '80, el método más difundido para realizar la operación de excavación – carguío era la combinación de: El tractor de corte y el cargador frontal. Si bien es cierto este método aun se emplea, su uso es restringido, pues ha sido ampliamente superado por el uso de las excavadoras lo que se demuestra por ser los equipos más demandados por el mercado.

Los equipos de construcción diseñados para movimientos de tierras son, en su totalidad importados. Si revisamos el costo FOB<sup>1</sup> de los equipos y repuestos, los fletes<sup>2</sup>, seguros de carga, transporte, los costos de importación y tenemos en consideración la composición del costo del combustible, lubricantes y los costos de la mano de obra de los operadores y mecánicos, podemos afirmar que al menos el 75% del costo de la tarifa de un equipo cualquiera de movimiento de tierras es un componente en moneda extranjera; vale decir, que si se utiliza mal un equipo el 75% es enviado al extranjero afectando negativamente a la economía nacional como un todo.

Los propietarios y gerentes de las compañías que se dedican al rubro de movimiento de tierras son concientes de esta realidad por lo que designan a personal experimentado para el manejo de las operaciones de excavación, carga, transporte y en general al movimiento de tierras.

Nuestra experiencia trabajando con personal de oficina y campo nos demuestra que todos tienen deseos de mejorar lo que hacen; sin embargo, hemos podido observar que en el sector de movimiento de tierras se producen grandes pérdidas de dinero<sup>3</sup>. Lo más frustrante es que los expertos en movimiento de tierras toman los errores que hemos observado como parte de la naturaleza de la operación ya que se han acostumbrado a convivir de esa manera.

En las fotos del 1.1.1a al 1.1.1f mostramos lo que ocurre en las zonas de carga en diferentes operaciones que hemos visitado. No importa el lugar, la época o el tamaño de los equipos; los errores se repiten siempre<sup>4</sup> y los mayores costos

---

<sup>1</sup> FOB: Costo del equipo "Free On Board" indica el costo del equipo a bordo del buque en puerto de embarque.

<sup>2</sup> Flete: Precio del transporte del equipo desde puerto de embarque hasta el de destino.

En construcción civil, durante el año 2006 y en un solo proyecto, el de Pampa Melchorita (PERU LNG), se ha movido aproximadamente 17MM de toneladas. Esto ha significado en promedio 680M viajes de camiones volquete con una capacidad de carga de 25 toneladas cada uno. Del mismo modo, podemos deducir que se han realizado no menos de 3.4MMM ciclos de excavación y carga de las excavadoras utilizadas. Si consideramos que cada viaje de camión volquete tiene una duración promedio de 0.25 horas y que el costo horario de operación de un camión alcanza el valor de 35 USD, entonces podremos afirmar que la mejora de tan solo el 1% en el proceso transporte significaría 59,500 USD. En el proceso de excavación y carguío, el ahorro es no menor al 50%, lo cual nos lleva a comprender que en un solo proyecto de los muchos que se ejecutan en el Perú (sin considerar el extranjero) una mejora del 1% puede significar ahorros de hasta 90,000 USD aproximadamente.

<sup>3</sup> Según el boletín del mes de octubre del 2006 del Ministerio de Energía y Minas, la producción anualizada de oro alcanzó la suma de 230MM de gramos. Si consideramos que la gran producción se concentra en minas a tajo abierto como Yanacocha y Barrick (en Ancash y La Libertad) y que en promedio la concentración de oro es de 1.5 gramos por tonelada movida, entonces la cantidad de roca y material que se ha movido en el período bajo estudio en las minas que explotan oro es de aproximadamente 153MM de toneladas. Cantidades enormes también se han movido en las minas que explotan cobre a tajo abierto, tales como Cerro Verde, Cuajote, Toquepala, etc.

<sup>4</sup> Los errores comunes que se mencionan son:

que éstos originan no son considerados como tales, sino inherentes al propio proceso.<sup>5</sup>

En las fotos del 1.1.1a al 1.1.1d observamos operaciones que involucran excavadoras de 30 a 35 toneladas de peso y camiones de 20 a 25 toneladas de carga neta. En la foto 1.1.1e observamos excavadoras de 300 toneladas de peso y camiones de 150 toneladas de carga neta y en la foto 1.1.1f observamos un cargador frontal con capacidad de cuchara de 18 m<sup>3</sup> y camiones de 150 toneladas de carga neta.



Foto 1.1.1a

**01 punto de carga y una cola de 05 camiones en espera.**

El costo por minuto de un camión de 25 toneladas es de 0.58 USD, si consideramos que el camión 1 espera 3 minutos, el camión 2 espera 6, el camión 3 espera 9, el camión 4 espera 12 y el camión 5 espera 15 para ser cargado, la suma hace un total de 45 minutos lo que hacen 26 dólares. El acumulado de horas camión equivale al costo de tener parada la excavadora por 16 minutos (a un costo promedio de 100 USD por hora, tarifas al mes de octubre de 2006).

- a. Colas de camiones.
  - b. Excavadoras esperando.
- Y se tratan con mayor detalle en el Capítulo III

<sup>5</sup> Es común que fenómenos como las colas de camiones y la espera de las excavadoras se consideren naturales y no sean analizadas para eliminarlas.

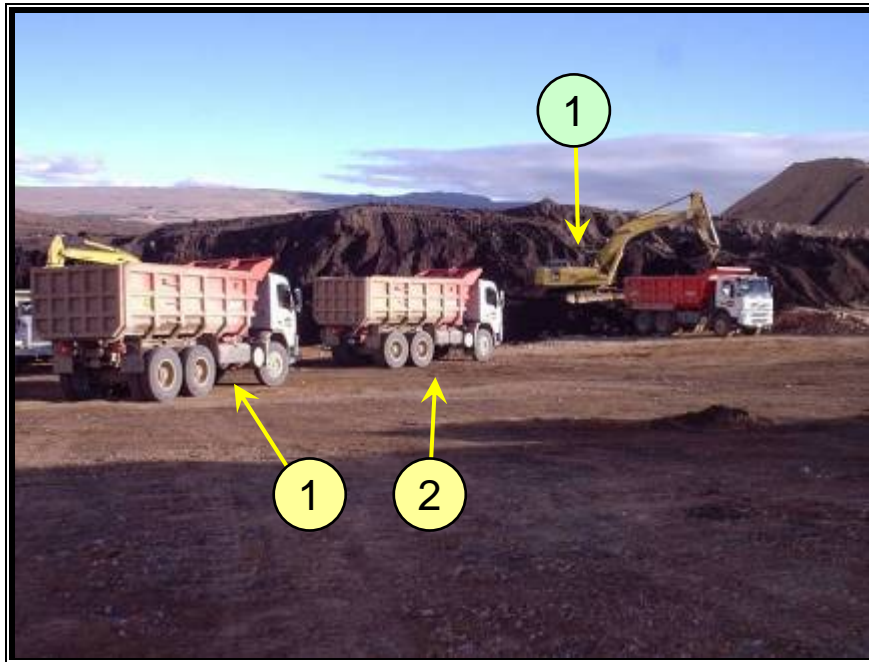


Foto 1.1.1b  
01 punto de carga y una cola de 02 camiones.

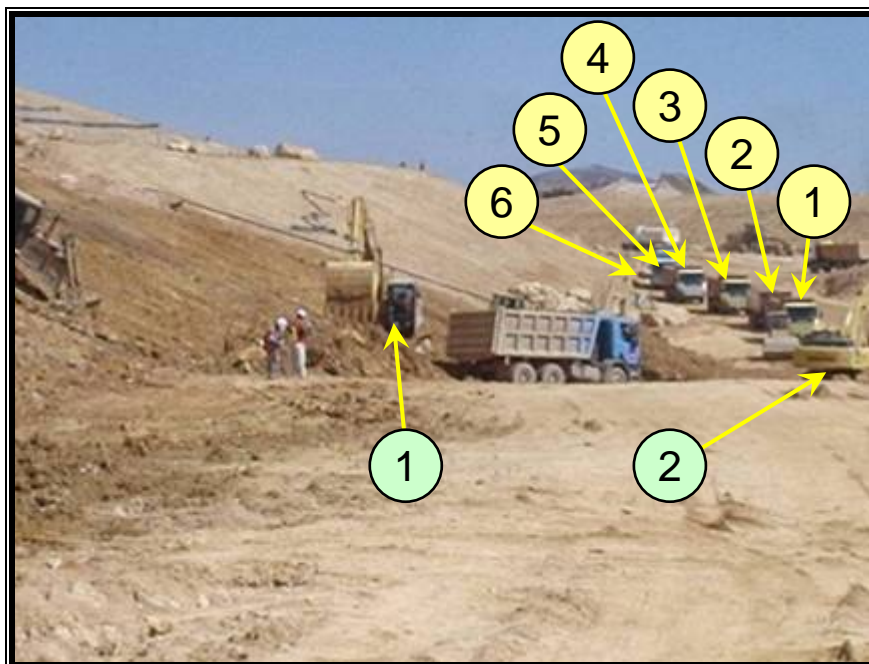


Foto 1.1.1c  
02 puntos de carga y 06 camiones en espera.

El costo por minuto de un camión de 25 toneladas es de 0.58 USD, si consideramos que el camión 1 espera 3 minutos, el camión 2 espera 6, el camión 3 espera 9, el camión 4 espera 12, el camión 5 espera 15 y el camión 6 espera 18 para ser cargado, la suma hace un total de 31.5 minutos ( $63/2$ ) lo que hacen 18.4 USD. El acumulado de horas camión equivale al costo de tener parada la excavadora por 11 minutos (a un costo promedio de 100 USD por hora, tarifas al mes de octubre de 2006).





*Foto 1.1.1d*  
**01 punto de carga y una cola de 02 camiones en espera.**



*Foto 1.1.1e*  
**01 punto de carga y una cola de 01 camión en espera.**  
Los camiones que se muestran en la foto son de 150 toneladas, el costo de cada uno de ellos es de 2.0 millones de dólares y la excavadora de 300 toneladas cuesta 3.5 millones de dólares por lo que no se comprende como se acepta que equipos como éstos tengan tiempos de espera originados por una mala supervisión.



*Foto 1.1.1f*  
**01 punto de carga y una cola de 01 camión en espera.**

Las fotos corresponden a distintas operaciones que se ejecutan en el interior de nuestro país.

La espera de los camiones directamente origina sobre costos en la operación en curso, pero lo que es más pernicioso es el hecho que introducen un error en las operaciones futuras, debido a que las esperas se van a considerar como parte del tiempo total del ciclo de transporte designándose de esta forma mayor número de camiones de los realmente necesarios.

### **1.1.2. Utilización del cucharón de la excavadora.<sup>6</sup>**

El adiestramiento de los operadores se limita al manejo del equipo mas no a la operación en si; por esta razón se desconoce que el ángulo de penetración de

<sup>6</sup> El estudio de este tema no es motivo de la tesis.



los dientes del cucharón de la excavadora debe variar de acuerdo a las características del material a excavar.

Un mal ángulo de penetración del cucharón en material suave origina cucharones mal colmados, lo cual significa más ciclos de excavación. Un mal ángulo de penetración en roca fragmentada originará rotura de dientes del cucharón. Consecuencia: mayores costos por incremento de ciclos y materiales.



*Foto 1.1.2a*

Se muestra como ingresa el cucharón al terreno, de esta forma se logran cucharones poco colmados, de bajo rendimiento.



*Foto 1.1.2b*

Se observa que el cucharón se carga muy por debajo de su capacidad óptima.

Cucharones mal colmados dan lugar a mayor número de ciclos de excavación – carguío, lo cual origina mayor tiempo de uso de la excavadora y del camión por tonelada excavada y cargada. Hechos de esta naturaleza introducen una variabilidad indeseada.

### 1.1.3. Relación del peso de la excavadora con la carga neta del camión.<sup>7</sup>

Generalmente cuando los ingenieros se refieren a un camión lo definen por volumen, como de “15 m<sup>3</sup>”, de “17m<sup>3</sup>” o de “25m<sup>3</sup>”; en cambio los fabricantes de camiones los venden de acuerdo a la capacidad de carga sobre los ejes, la cual está definida en toneladas. Lo mismo sucede con las excavadoras, se refieren a ellas por el tamaño del cucharón y no por su peso. Se debe tener en cuenta que el cucharón es intercambiable.

El peso de la excavadora define el contrapeso y la potencia del motor; por ende la fuerza en la punta del cucharón tiene relación directa con el tamaño de la excavadora, resultando que a un mayor peso le corresponde una mayor potencia, dando como resultado una mayor capacidad de carga por ciclo de carga y si aceptamos que existe un número óptimo de ciclos de carga, entonces debemos aceptar que existe una relación entre el peso de la excavadora y la carga neta del camión. Esta relación es desconocida. La consecuencia de éste error es rotura del sistema de suspensión y la carrocería de los camiones o esperas de los mismos.

### 1.1.4. Variación de la fuerza de penetración y arranque en la punta del cucharón en la excavadora.<sup>8</sup>

La fuerza en las puntas del cucharón varía de acuerdo a la posición de los pistones del brazo y del cucharón de la excavadora.

$$F_B = \frac{\text{Fuerza radial de los dientes obtenida del cilindro del cucharón}}{\text{Fuerza del cilindro del cucharón}} \cdot \left( \frac{\text{Brazo A} \times \text{Brazo C}}{\text{Brazo B}} \right)$$
$$\text{Fuerza del cilindro} = (\text{Presión}) \times (\text{Área del émbolo del cilindro})$$
$$\text{Brazo D} = \text{Radio de la punta del cucharón}$$

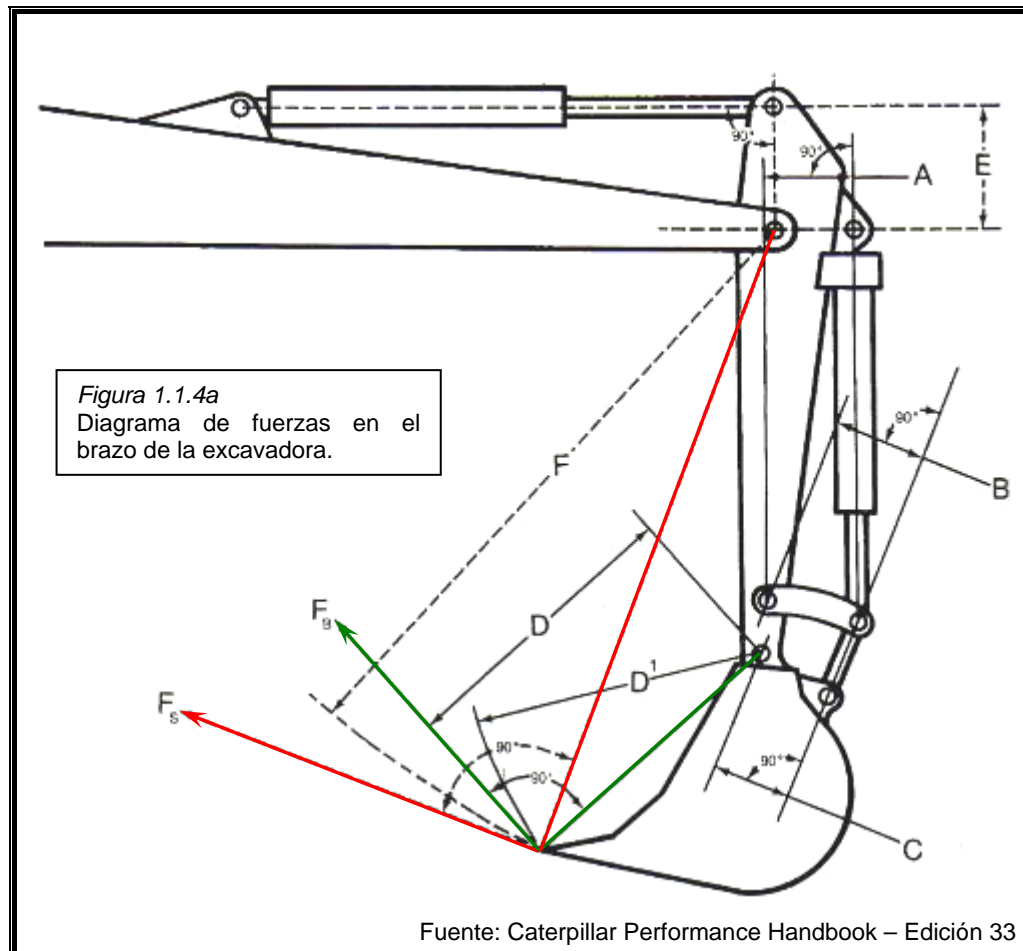
<sup>7</sup> El estudio de este tema no es motivo de la tesis.

<sup>8</sup> Ídem

$F_s = \text{Fuerza radial de los dientes obtenida del cilindro del brazo}$

$$F_s = \frac{(\text{Fuerza del cilindro del brazo}) \times (\text{Longitud del Brazo } E)}{(\text{Longitud del Brazo } F)}$$

$\text{Brazo } F = \text{Radio de la punta del cucharón} + \text{longitud del brazo}$



Su desconocimiento origina costos indeseados por mal uso de los equipos de excavación, ocasionando rotura de los dientes del cucharón y paradas imprevistas para el mantenimiento del cucharón, cucharones poco colmados, mayor número de ciclos de excavación – carguío e incremento del tiempo de cada ciclo.

### 1.1.5. Transporte de materiales.<sup>9</sup>

Existe un desconocimiento de la existencia y la medición del Coeficiente de Resistencia a la Rodadura (CRR) y de la manera como afecta al proceso en su conjunto.



Foto 1.1.5a



Foto 1.1.5b

<sup>9</sup> El estudio de este tema no es motivo de la tesis.

<b>TABLA 1.1.5a</b>				
<b>Terreno</b>	<b>% de resistencia a la rodadura*</b>			
	<b>Neumáticos Telas Radiales</b>		<b>Cadena **</b>	<b>Cadena + Neumáticos</b>
Camino muy duro y liso de hormigón, asfalto frío o tierra, sin penetración ni flexión de los neumáticos.	1.5%	1.2%	0%	1.0%
Camino estabilizado, pavimentado, duro y liso que no cede bajo el peso, regado y conservado.	2.0%	1.7%	0%	1.2%
Camino firme y liso, de tierra o capa ligera, que cede un poco bajo carga o irregular, conservado con regularidad, regado.	3.0%	2.5%	0%	1.8%
Camino de tierra, desigual o que flexiona bajo carga, conservado irregularmente, sin regar flexión o penetración de los neumáticos de 25mm. (1").	4.0%	4.0%	0%	2.4%
Camino de tierra, desigual o que flexiona bajo carga, conservado irregularmente, sin regar, flexión o penetración de los neumáticos de 50mm. (2").	5.0%	5.0%	0%	3.0%
Camino irregular, blando, sin conservación, sin estabilizar flexión o penetración de los neumáticos de 100mm. (4").	8.0%	8.0%	0%	4.8%
Arena o grava suelta	10.0%	10.0%	2%	7.0%
Camino irregular, blando, sin conservación, sin estabilizar flexión o penetración de los neumáticos de 200mm. (8").	14.0%	14.0%	5%	10.0%
Camino muy blando, fangosos, irregular, sin flexión pero con penetración de neumáticos de 300mm. (12").	20.0%	20.0%	8%	15.0%
*Porcentaje del peso combinado de la máquina. **Supone que se ha restado la carga por resistencia para indicar la Fuerza de Arrastre con la Barra de Tiro para condiciones entre buenas y moderadas. Se suma algo de resistencia en casos en que el terreno es demasiado blando.				

Fuente: Caterpillar Performance Handbook – Edición 33

El desplazamiento de los camiones sobre una superficie con un elevado CRR incrementa el consumo de combustible, pues se requiere mayor energía para trasladar la misma carga. Elevados CRR originan mayores tiempos de ciclo de transporte con el siguiente mayor costo por tonelada transportada, aumenta el desgaste de los componentes mecánicos de los camiones e incrementa las paradas imprevistas, introduciendo de esta manera mayor variabilidad a la operación de transporte.

### 1.1.6. Distancia óptima de corte del tractor.<sup>10</sup>

No existe consenso en la definición de la distancia óptima de corte. Cuando la hoja del tractor está llena ya se ha alcanzado la distancia óptima de corte, por lo que se puede afirmar que la distancia óptima de corte del tractor depende de:

- Tipo tractor.
- Tipo de hoja de corte.
- Calidad del material.

Los manuales de los fabricantes definen las curvas de producción, cuyo estudio debería guiar nuestro accionar. En realidad no se usan las cartas dadas por los fabricantes.

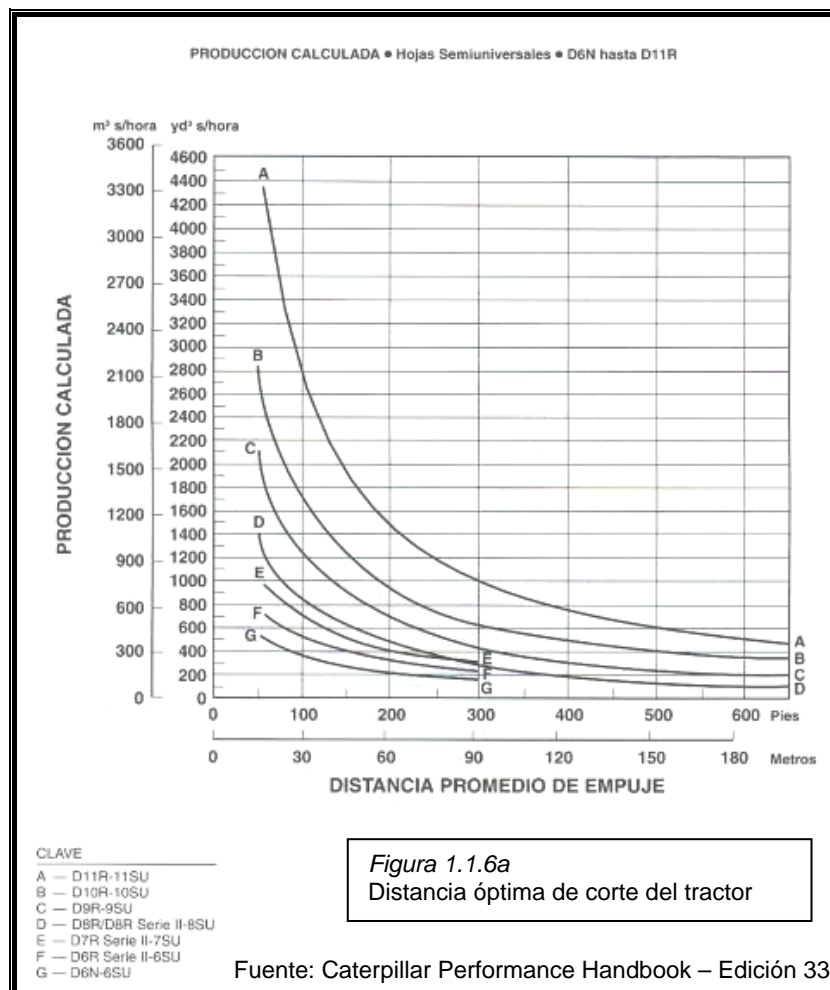


Figura 1.1.6a  
 Distancia óptima de corte del tractor

<sup>10</sup> El estudio de este tema no es motivo de la tesis.

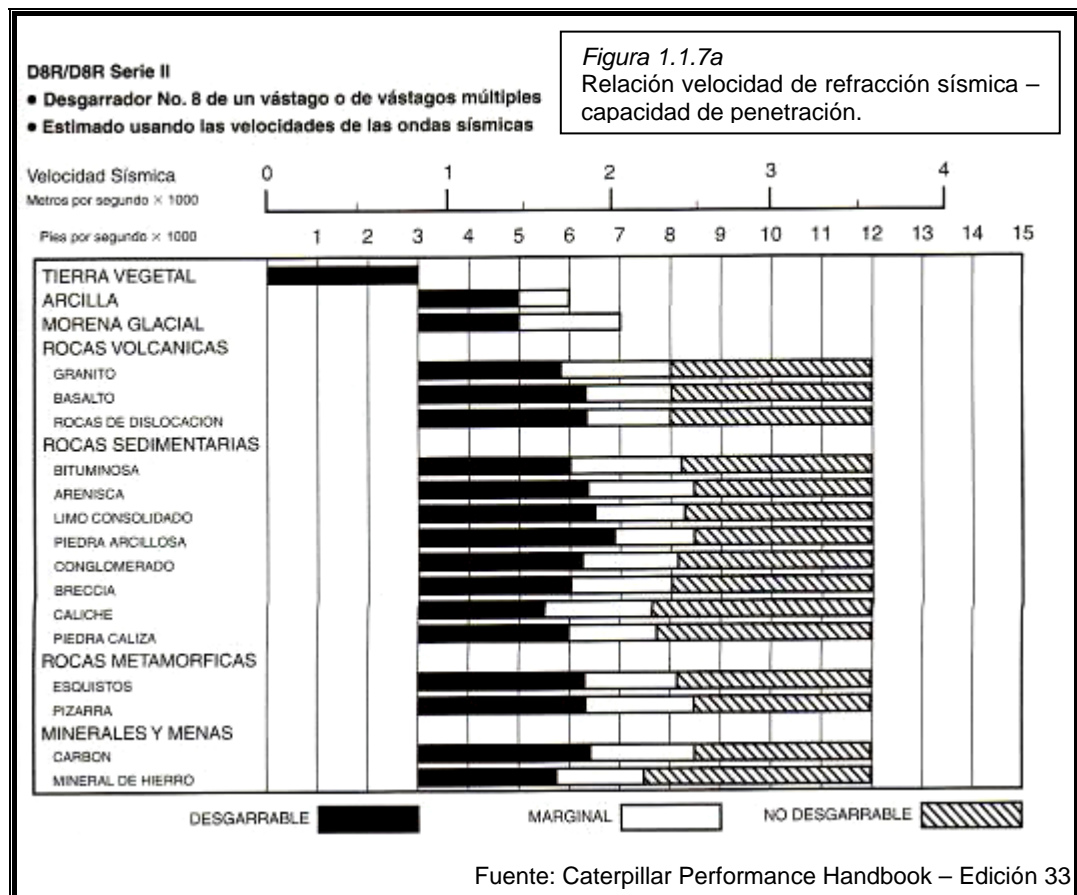
El gráfico muestra las curvas teóricas de ***distancia – producción horaria*** de corte para diferentes tipos de Tractor, todos con hojas Semi-Universales. Similar a este cuadro existen para hojas Universales y Rectas.

El desconocimiento de la distancia óptima de corte origina mucha variación en la producción horaria de cada tipo de tractor para una misma clase de material, con lo cual se incrementan innecesariamente los costos de corte y excavación, ya que el cortar en una longitud mayor que la óptima lo único que aporta es el incremento del consumo de combustible y desgaste de la máquina, debido a que se empuja el material mas no se profundiza con la hoja, porque esta ya está colmada y que el corte adicional tan sólo ocasiona que el material cortado caiga a los extremos de la hoja.



### 1.1.7. Relación entre la velocidad de refracción sísmica y la capacidad de penetración del “ripper” de los tractores.<sup>11</sup>

Este es un factor poco conocido. Rara vez se maneja y hemos podido comprobar que puntas nuevas de los “rippers” de tractores CAT D9 – T se desgastaban totalmente a las 9 horas de uso, debido a que se utilizaban en material que presentaba velocidades de refracción sísmica principales del orden de 2,500 m/seg.



El desconocimiento de esta relación origina el desgaste excesivo de los rippers elevando el costo de mantenimiento de estos y haciendo poco predecible la producción del equipo.

En el uso del ripper tampoco hemos encontrado conocimiento específico de si su uso es perpendicular o paralelo al sentido del corte.

<sup>11</sup> El estudio de este tema no es motivo de la tesis.



### 1.1.8. Consumo de combustible.<sup>12</sup>

Es poco conocido el hecho que existe una relación directa entre el consumo de combustible y el trabajo realizado. Los equipos tienen una potencia máxima nominal, la que es usada total o parcialmente dependiendo de las condiciones de operación. Es muy común que ingenieros expertos consideren el hecho que para el mismo tipo de camión y transportando igual cantidad de toneladas se consume más combustible por unidad de tiempo en distancias cortas.

El consumo de combustible nos puede indicar la forma como se está utilizando un equipo determinado. Su conocimiento nos ayuda a administrar los proyectos.

**TABLA 1.1.8a**

**CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE EXCAVADORAS / HORA**

Modelo	Bajo		Medio		Alto	
	litros	gal. EE.UU.	litros	gal. EE.UU.	litros	gal. EE.UU.
301.5	*	*	*	*	*	*
301.6	*	*	*	*	*	*
301.8	*	*	*	*	*	*
302.5	•	*	*	*	*	*
303.5	*	*	*	*	*	*
304.5	*	*	*	*	*	*
307C	3 - 5	1 - 1½	5 - 8	1½ - 2	7 - 10	2 - 2½
311C	4 - 6	1 - 1½	6 - 9	1½ - 2	9 - 12	2 - 3½
312C	4 - 6	1 - 1½	6 - 9	1½ - 2½	10 - 13	2½ - 3½
313B	4 - 6	1 - 1½	6 - 9	1½ - 2½	10 - 13	2½ - 3½
31 5C	5 - 9	1 - 2	9 - 13	2 - 3½	13 - 15	3½ - 4
31 8C	8 - 12	2 - 3½	12 - 14	3½ - 4	15 - 19	4 - 5
M312	7 - 10	2 - 2½	10 - 14	2½ - 3½	14 - 16	3½ - 4
M315	8 - 12	2 - 3	12 - 16	3 - 4	16 - 19	4 - 5
M318	9 - 13	2½ - 3½	13 - 17	3½ - 4½	17 - 20	4½ - 5½
M320	9 - 13	2½ - 3½	13 - 17	3½ - 4½	17 - 21	4½ - 5½
320C	10 - 14	2½ - 3¾	17 - 20	4½ - 5¼	20 - 23	5½ - 6
322C	12 - 16	3 - 4	20 - 23	5¼ - 6	23 - 27	6 - 7
325C	14 - 19	3¾ - 5	23 - 27	6 - 7	27 - 32	7 - 8½
330C	19 - 24	5 - 6½	29 - 33	7½ - 8¾	34 - 39	9 - 10
345B Serie II	25 - 30	6½ - 8	38 - 42	10 - 11	45 - 50	12 - 13
365B Serie II	33 - 38	8¾ - 10	50 - 55	13 - 14½	60 - 67	16 - 18
385B	43 - 48	11¼ - 12¾	62 - 68	16 - 18	71 - 78	18¾ - 20½
5090B	43 - 48	11¼ - 12¾	62 - 68	16 - 18	71 - 78	18¾ - 20½
5110B	69 - 74	18 - 19	84 - 89	22 - 24	103 - 108	27 - 28
5130B	91 - 95	24 - 25	110 - 114	29 - 30	129 - 132	34 - 35
5230B	163 - 193	43 - 51	193 - 204	51 - 54	208 - 227	55 - 60

\*No hay suficiente información.

NOTA: El consumo de combustible para los modelos 320C a 385B incluye funcionamiento en vacío de acuerdo con la definición del factor de carga. Los consumos de combustibles incluidos en la edición 32 de este Manual de Rendimiento no tenían en cuenta el tiempo de funcionamiento en vacío.

**GUÍA DEL FACTOR DE CARGA**

**Alto:** La mayoría del trabajo en aplicaciones de tendido de tubos en suelos duros de roca. Excavación del 90 al 95% de la jornada.

**Medio:** La mayor parte de las aplicaciones en trabajos de alcantarillas para urbanizaciones, con lecho de arcilla natural. Excavación del 60 al 85% de la jornada. Aplicaciones de carga de troncos.

**Bajo:** La mayoría de los trabajos en servicios generales o urbanos en marga arenosa. Excavación durante menos del 50% de la jornada. Aplicaciones de manejo de chatarra.

Fuente: Caterpillar Performance Handbook – Edición 33

<sup>12</sup> El estudio de este tema no es motivo de la tesis.

Un bajo consumo horario de combustible en una excavadora, con seguridad nos va a indicar que se está usando por debajo de su capacidad, y por lo tanto deberemos ponerla bajo observación para determinar la causa:

- Falta de pericia del operador.
- Falta de camiones.
- Excesivo traslado.

## **1.2. Nuevas teorías de producción**

### **1.2.1. Lean Construction**

Lo más importante de esta nueva filosofía de producción radica en la observación de que hay dos aspectos en todos los sistemas productivos:

- Conversión
- Flujo

Lauri Koskela en 1992 propuso 11 principios para mejorar la eficiencia del flujo de procesos:

1. Reducir el WASTE (actividades que no agregan valor)
2. Incrementar el valor del producto a través de una consideración sistemática de los requerimientos del cliente
3. Reducir la variabilidad.
4. Reducir los tiempos de ciclo
5. Reducir el número de pasos
6. Incrementar la flexibilidad del producto de salida
7. Incrementar la transparencia del proceso.
8. Focalizarse en el control del proceso completo
9. Mejoramiento continuo del proceso
10. Balancear la mejora de los flujos con la mejora de la conversión.
11. Benchmark.

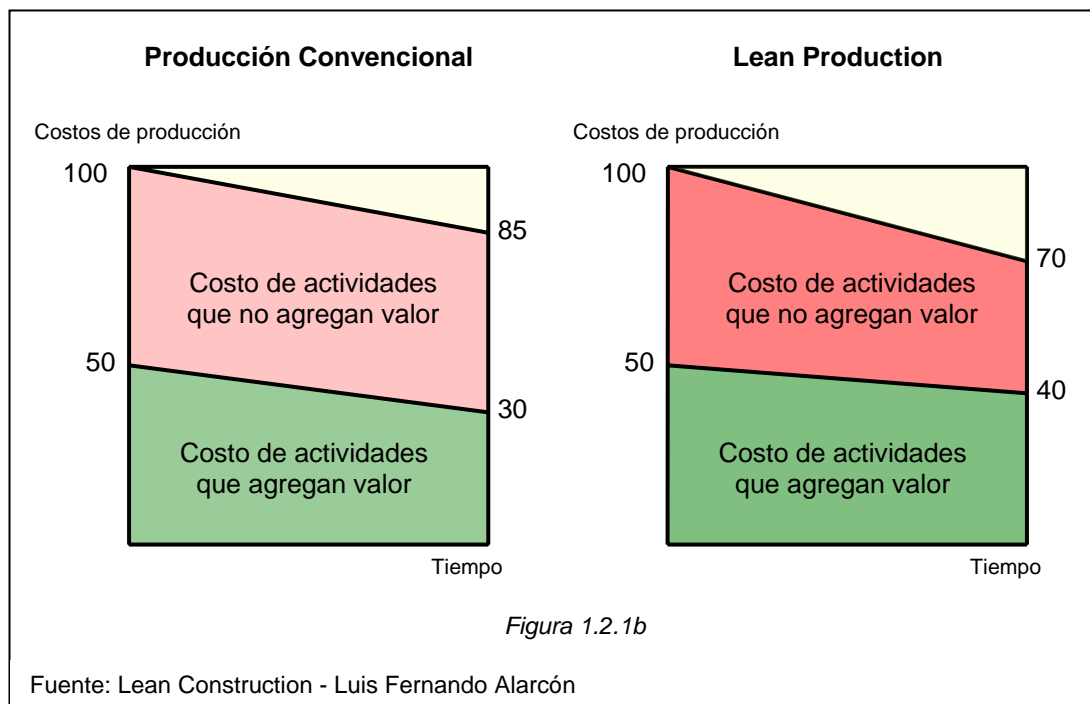
También ha propuesto metodologías y herramientas para alcanzar los 11 principios:

1. Just in time (JIT)
2. Total quality management (TQM)
3. Time based competition
4. Concurrent engineering
5. Process redesign (or reengineering)
6. Value based management
7. Visual management
8. Total productive maintenance (TPM)
9. Employee involvement

La diferencia entre el sistema de Producción Convencional y la aplicación de la Nueva Filosofía de Producción se muestra a continuación:

<b>TABLA 1.2.1a</b>		
	Filosofía de Producción Convencional	Nueva Filosofía de Producción.
Conceptualización de producción	Todas las actividades son de conversión.	Hay actividades de conversión y de flujo
Focalización del Control	Costo de actividades	Costo, tiempo y valor de flujos
Focalización de la Mejora	Incremento de la eficiencia por implementación de nueva tecnología	Eliminar actividades que no agregan valor e incrementar la eficiencia de las que agregan valor.

Fuente: Lean Construction - Luis Fernando Alarcón



La filosofía de Lean Construction ha sido ampliamente difundida y aceptada a nivel mundial, habiéndose formado el IGLC (Internacional Group of Lean Construction), en cuyas reuniones anuales se comparten las experiencias internacionales de la aplicación de esta nueva filosofía.

#### Definiciones de la composición del tiempo de trabajo:

- **Trabajo productivo (TP):** Es el trabajo que aporta en forma directa a la producción. Es el que genera valor.
- **Trabajo contributorio (TC):** Trabajo de apoyo, que debe de ser realizado para que pueda ejecutarse el trabajo productivo. Son actividades aparentemente necesarias, pero no aportan valor.
- **Trabajo no contributorio o no productivo (TNP):** Cualquier actividad que no genera valor y que cae directamente en la categoría de pérdida. Son actividades que no son necesarias, tienen un costo y no agregan valor.

Para la operación de excavación – carguío y transporte definiremos lo siguiente:

#### Excavadora

- TP: Comprende el tiempo empleado en excavar y cargar camiones
- TNP: Comprende el acomodo de la excavadora, la acumulación de material, limpieza de piso, los traslados del equipo, necesidades fisiológicas del operador, paradas para recibir instrucciones, paradas imprevistas.

#### Camión

- TP: Comprende el tiempo empleado en transporte cargado, descarga, retorno vacío, tiempo de acomodo junto a la excavadora y tiempo empleado en ser cargado.
- TNP: Comprende el tiempo por traslados por cambio de punto de carguío, necesidades fisiológicas del operador, paradas para recibir instrucciones y paradas imprevistas.

La aplicación de esta Nueva Filosofía de Producción puede permitirnos incrementar la producción de operaciones de excavación – carguío y transporte mediante la eliminación de actividades que no agregan valor.

### 1.3. Causas de situación actual

¿Por qué a pesar de que se realizan múltiples mediciones y se tiene bastante experiencia en el uso de los equipos no se logra eliminar por ejemplo, las colas de los camiones en los puntos de carga?<sup>13</sup>, Hemos indagado bastante al respecto haciendo observaciones, estudiando reportes y encuestando directamente a los responsables, lo cual nos permite concluir que las causas principales son 02:

---

<sup>13</sup> Estas son preguntas que frecuentemente se hacen las personas relacionadas a este tema, y otras como ¿Cuánto tiempo deben esperar las unidades para ser servidas (camiones)?, ¿Cuan larga será la cola de las unidades esperando?, ¿Cuántas unidades pueden ser atendidas por el servidor (excavadora)?, ¿Cuántos servidores deben proveerse para lograr una capacidad de servicio adecuada? y ¿Cómo se relacionan el ocio, la falta de servicio y el uso de los servidores? Serpell, A. Administración de Operaciones de Construcción.

1. Desconocen totalmente la existencia de la variabilidad y sus efectos nocivos.

Esto se pone de manifiesto porque el número de camiones asignado para un determinado circuito lo determinan en base al valor central de las mediciones anteriores el cual involucra todos los errores cometidos, aceptando así que las colas en la zona de carga son naturales.<sup>14</sup>

2. Se acepta que el mínimo costo de operación se obtiene con la mayor utilización de la excavadora. Esto se pone de manifiesto por el cuidado que ponen al hecho que la excavadora siempre tenga camiones a su alrededor para que no pare de trabajar. La razón principal que los ha guiado a esto es que el costo horario del uso de una excavadora normalmente es más de 2 veces el costo horario de los camiones.<sup>15</sup>

La baja de productividad normalmente es considerada una culpa de los operadores. Sin embargo es escaso el entrenamiento que se da a los operadores.

Por nuestro conocimiento y experiencia concluimos que si se llega a manejar el concepto de la variabilidad<sup>16</sup>, la causa número 2 también estará resuelta, ya que si eliminamos los mayores costos por los camiones en cola entonces la causa número 2 desaparece.

Para comprender la magnitud del problema bastaría entender que si por cada punto de carga somos capaces de reducir el número de camiones de 25 toneladas de carga neta en **una unidad**, a tarifas actuales estaríamos evitando un mayor costo de 35 dólares por hora. Si en el momento que leemos este documento en el Perú hay más de 500<sup>17</sup> puntos de carga actuando y que los

---

<sup>14</sup> Las colas no son naturales, son efecto de tener más camiones de los necesarios y no contemplar periodos de transporte adecuados.

<sup>15</sup> De acuerdo a costos de mercado podemos afirmar lo siguiente:  
- Hora Máquina de Excavadora de 35 Toneladas 100 USD  
- Hora Máquina de Camión de 25 Toneladas 35 USD  
 $100/35 = 2.86$ , lo cual es más del doble

<sup>16</sup> Variabilidad: Cualidad de no-uniformidad de un conjunto de entidades.  
Hopp & Spearman, Factory Physics  
Este tema se toca a profundidad en el Capítulo II

<sup>17</sup> El Parque Nacional supone 700 excavadoras en uso. Fuente: Representante de CATERPILLAR en el Perú.

mismos se repiten durante no menos de 1500 horas al año, podremos comprender que los ahorros son realmente importantes. Es el entendimiento de este efecto el que nos ha guiado a dedicar tiempo y esfuerzo a su estudio para su eventual eliminación.

**Como una respuesta general al estado del arte en el movimiento de tierras, podemos afirmar que la principal causa radica en el desconocimiento de la importancia de los puntos mencionados, tanto del sector académico como del empresarial, ya que en ningún curso de las facultades de Ingeniería Civil del Perú se imparte estos conocimientos, y tampoco es preocupación de los empresarios, lo cual se refleja en el escaso o nulo entrenamiento de los responsables y operadores de equipos.**

**Visto positivamente, podemos afirmar que existe una gran oportunidad de mejora en el campo de movimiento de tierras y el presente estudio apunta en esa dirección.**

**CAPÍTULO II**  
**LA VARIABILIDAD**



Tal como se ha indicado en el Capítulo I, el desconocimiento de la existencia de la Variabilidad y sus efectos nocivos origina mayores costos en las operaciones de movimiento de tierras haciendo muy difícil predecir la productividad de los equipos. Es necesario entonces entender el concepto de la Variabilidad, sus causas y su influencia, lo cual desarrollaremos en el presente capítulo.

## 2.1. Definición de variabilidad

Definimos la variabilidad como la *calidad de no-uniformidad de un conjunto de entidades*. Esta definición si bien es acertada es muy general para nuestros propósitos. Daremos ahora una definición más práctica:

**Definición: La variabilidad es todo lo que aleja nuestro sistema de producción de un comportamiento regular y predecible.**

## 2.2. Fuentes de variabilidad

Las **fuentes de variabilidad** más comunes son:

- Cambios en ingeniería
- Cambios del cliente
- Diferentes tipos de productos en el proyecto
- Disponibilidad de la mano de obra
- Fallas mecánicas
- Falta de materiales
- Retrabajos
- Ritmo de trabajo del operador
- Trabajos defectuosos
- Transporte de materiales
- Falta de información

La construcción es una industria en la que en cada proceso se elaboran productos de un solo tipo o único. Esto es en realidad una de las características más particulares de la construcción y tal vez la principal fuente de variabilidad. Es común tener cambios de ingeniería o cambios en las solicitudes de los clientes durante la realización de los trabajos e incluso poco antes de terminarlo. Instalamos sistemas de producción únicos para estructuras y formas que no se volverán a repetir a lo largo del tiempo como sí ocurre en el caso de la manufactura.

Sin embargo, a lo que tiende esta nueva conceptualización de la construcción es a considerar nuestro sistema productivo como un flujo de trabajo, con un objetivo final que para ser alcanzado requiere muchos ciclos repetitivos idénticos -como en obras de edificaciones, movimiento de tierras, etc.- básicamente realizados sobre la misma base de conocimiento acumulado con el tiempo. Así el reto está planteado, y lograr mejorar (y predecir) nuestros tiempos de entrega con una consiguiente reducción de los costos de producción en la construcción no será fácil y de hecho será un trabajo –debido a las peculiaridades de la construcción descritas- extraordinario.

Podemos agrupar las fuentes de variabilidad mencionadas en:

- Variabilidad natural
- Variabilidad inducida

### **2.3. Variabilidad natural.**

Es la variabilidad inherente al proceso, que como toda acción tiene un rango de valores. Por ejemplo, en un circuito de la fórmula 1 un auto dará una vuelta en un tiempo *variable*, que puede tener un rango tan pequeño de variación como décimas de segundo –el piloto es muy bueno- o varios segundo de variación –el piloto es algo inexperto y seguramente su media ira mejorando conforme vaya practicando.

La variabilidad natural está muy relacionada con las operaciones llevadas a cabo por personas, es decir la mayoría de las actividades en la construcción.

La variabilidad natural –como se mencionó- es inherente a las acciones humanas y no se puede eliminar, pero su influencia en la variación de costos y tiempos de entrega en los proyectos no es determinante, en realidad es mínima, además, al conocerla y cuantificarla se puede aislar. Es mucho más perjudicial e influirá determinantemente en la variación de rendimientos y costos de las partidas las esperas por trabajos prerrequisitos, la falta de materiales, cambios, etc.

Para apreciar la variabilidad natural no se incluyen los detractores de la performance de la capacidad de un proceso, tales como las fallas mecánicas, setups, espera en colas, etc.

## **2.4. Variabilidad inducida**

### **2.4.1. Variabilidad debido a paralizaciones imprevistas.**

Es la que se produce debido a paralizaciones de trabajo imprevistas, como fallas mecánicas, falta de materiales o insumos, originado por una mala planificación o carencia de la cadena de abastecimiento, carencia de un apropiado análisis de restricciones, emergencias, etc.

### **2.4.2. Variabilidad debido a paralizaciones previstas.**

Cuando se cambia de un frente de trabajo a otro, o de un lote de producción a otro, se está cumpliendo en realidad con parte del programa de avance y es inevitable hacerlo; pero sobre este tipo de paralización tenemos un cierto control pues son nuestras decisiones las que determinan el tamaño del lote de producción, el tamaño del lote de transferencia y la secuencia de los procesos..

### **2.4.3. Variabilidad por retrabajos**

Cuando se tiene problemas de calidad se incurre en actividades que no agregan valor: retrabajos. Esto implica volver a trabajar algo que ya ha sido procesado porque no cumple con las especificaciones necesarias. Los retrabajos van contra la capacidad real de un proceso de trabajo y disminuyen su productividad puesto que no existe productividad sin calidad. Por ejemplo, si usualmente toma 2 horas producir 4 partes de un encofrado, y luego notamos que 1 de ellas no está

alineada o es defectuosa, el reparar el defecto tomará, al menos  $\frac{1}{2}$  hora adicional.

Luego si usualmente la capacidad estimada es de 2 partes/hora, la capacidad real será de 1.6 partes por hora. De la ley de Little<sup>1</sup> se deduce que:

$$WIP = TH \times CT$$

Siendo el throughput el mismo –no se ha producido más cantidad de partes buenas- sólo aumentó el inventario (  $WIP$  ) y el tiempo de ciclo (  $CT$  ). En conclusión, genera más congestión en la línea de producción.

## 2.5. Medidas de variabilidad

De ser útil, necesario, viable y rentable se puede manejar mediciones de la variabilidad de los procesos productivos con el fin de evaluarlos y mejorarlos en costo, productividad y plazos de ejecución.

En todo caso conocer el ratio de capacidad promedio de las cuadrillas de trabajo de los procesos productivos será sumamente útil para la programación de actividades.

$t$  = Tiempo promedio de procesamiento, incluyendo esperas y detractores.

$\sigma$  = Desviación estándar

$c$  = Coeficiente de Variación CV.

La desviación estándar  $\sigma$  es una medida absoluta de la variabilidad y es más útil cuando se le divide entre  $t$  el tiempo promedio de ejecución o

---

<sup>1</sup> Hopp & Spearman – Factory Physics, Chapter 8: Variability Basics

procesamiento, y obtenemos el coeficiente de variación  $c$ , una medida de la variabilidad del proceso.

$$c = \frac{\sigma}{t}$$

Para fines estadísticos es muy útil el coeficiente de variación al cuadrado.

$$c^2 = \frac{\sigma^2}{t^2}$$

Una desviación estándar de  $\sigma = 15$  minutos en sí no nos dice mucho, sin embargo si lo dividimos sobre el tiempo promedio de ejecución  $t = 3$  horas o 180 minutos tendremos un  $c = 0.08$  que es una medida de variación muy baja, lo cual quiere decir que el proceso está bajo control. Ahora bien, una  $\sigma = 1$  hora ó 60 minutos en un proceso con  $t = 1\frac{1}{2}$  horas ó 90 minutos dará como resultado un  $c = 0.67$  el cual es sumamente elevado, esto es típico de procesos con interrupciones prolongadas e impredecibles.<sup>2</sup>

Es necesario mencionar que el hecho de que un proceso productivo no presente un coeficiente de variación muy alto no necesariamente implica un rendimiento óptimo, pues el tiempo de duración puede estar lleno de actividades que no agregan valor, como esperas e interrupciones, que por repetirse diariamente en el proceso constructivo podrían no representar mayor variación.

---

<sup>2</sup> Hopp & Spearman – Factory Physics, Chapter 8: Variability Basics

## 2.6. Clases de variabilidad

En los procesos constructivos podemos tener las situaciones de baja, moderada y alta variabilidad. La descripción se ilustra en la siguiente **Tabla 2.6a**.

<b>TABLA 2.6a:</b> Características de los procesos constructivos <sup>3</sup>		
<b>Clases de variabilidad</b>	<b>Situación típica</b>	<b>Descripción</b>
Baja (LV) (hasta 10%)	Procesos sin interrupciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Suministro de materiales y recursos a tiempo.</li> <li>- Proceso prerequisite entregado a tiempo.</li> <li>- No hay cambios significativos de ingeniería.</li> <li>- Planificación prevé dificultades.</li> <li>- Sistemas de control pull, se jala la producción con un análisis de restricciones y una planificación anticipada de recursos, (lookahead) en lugar de empujar (push) los materiales y recursos para cumplir el programa.</li> <li>- Trabajo uniforme.</li> <li>- Redistribución de frentes de trabajo y lotes de producción (setups) de corto tiempo.</li> </ul>
Moderada (MV) (de 10 a 20%)	Procesos con interrupciones cortas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Puede faltar materiales y recursos en cierto momento.</li> <li>- Trabajo prerequisite limita avance.</li> <li>- Esperas por consultas.</li> <li>- Cambios en ingeniería.</li> <li>- Se presenta imprevistos.</li> <li>- Trabajo variable (distintos elementos estructurales, geometrías variables, distintas condiciones de suelos, canteras, etc.)</li> <li>- Proceso con reacomodo de herramientas y cambios de frente de trabajo más largos (setups).</li> </ul>

<sup>3</sup> Hopp & Spearman – Factory Physics

<p>Alta (HV) (más de 20%)</p>	<p>Procesos con interrupciones largas</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Suministro de materiales y recursos poco confiables.</li> <li>- Muchos trabajos prerequisite.</li> <li>- Cambios constantes de ingeniería.</li> <li>- Espera por consultas de diseño.</li> <li>- Trabajo muy variable (distintos elementos estructurales, geometrías variables, distintas condiciones de suelos, canteras, etc.)</li> <li>- Fallas mecánicas frecuentes e impredecibles.</li> <li>- Lotes de producción largos e impredecibles.</li> </ul>
-----------------------------------	---	---

Fuente: Hopp & Spearman – Factory Physics

### 2.6.1. Formas probabilísticas de un proceso productivo

El tiempo que una actividad o proceso demora en realizarse –sea una operación manual como la mayoría de los procesos en construcción, o mecánica- tiene una distribución probabilística. De hecho la teoría de planificación y control de proyectos (PERT-CPM, CPM, etc.) asume una distribución probabilística para la planificación de la duración de las actividades en el tiempo, y según el margen de confianza que se requiere les asigna duraciones con un 90% de probabilidad (de ser una duración menor o igual a la colocada en el calendario), 95% o algo por el estilo, basado en información histórica que se haya tomado del proceso.

Lamentablemente rara vez el calendario inicial de un proyecto se cumple. Cada proyecto es único y dicha información –la capacidad promedio de cada proceso o el tiempo promedio que demora una tarea constructiva- no suele llevarse como parte importante del trabajo diario en la ejecución de las tareas de la obra. En realidad es necesario que se maneje dicha información de una forma sistemática y continua y que se compare la información inicial con la obtenida regularmente durante el desarrollo del proyecto. Debemos admitir que la capacidad de los procesos no es manejada adecuadamente y los responsables rara vez saben como explotar al máximo la capacidad operativa de la que disponen. Lo que si se suele encontrar en los proyectos –al menos más frecuentemente- es un

control del ratio de productividad y suele actualizarse continuamente. Si bien este ratio nos dice cuanto estamos produciendo con determinados recursos, es decir horas máquina, horas hombre e insumos; esta información es insuficiente porque no nos permite encontrar la causa de un ratio de productividad inadecuado.

Es importante reconocer que los procesos de construcción no son considerados como partes de un todo en el cual tienen relaciones de interdependencia con otros procesos y que en conjunto con los procedimientos de operación son determinantes para la productividad.

Se ha podido comprobar que cuando la productividad esperada no se alcanza, siempre los trabajadores manuales son señalados como los únicos culpables, y es por ese motivo que se han desarrollado programas de incentivos y métodos de medición para medir el trabajo y nivel de actividad de cada trabajador manual.

Lo anterior se realiza porque no se concibe al producto final de la construcción como un resultado de procesos de conversión y flujo. También es común encontrar proyectos realizados por empresas que han obtenido certificaciones de calidad (ISO 9001), pero que son incapaces de tener procedimientos de operación sencillos, claros, efectivos y que se puedan correlacionar con los resultados. Sin procedimientos conocidos cada cual camina por rumbos diferentes y la variabilidad crece.

Los ratios de productividad actualmente obtenidos no toman en cuenta los tiempos de espera y tiempos perdidos de los procesos por falla de trabajos prerequisites, falta de materiales, imprevistos, consultas, cambios de diseño, etc. Y cuando esto se produce es inevitable que la productividad baje. Los trabajadores no tienen otra opción más que esperar a que las restricciones del proceso -el análisis de restricciones es una importante herramienta de medición en los sistemas de producción "pull", los cuales son sistemas favorables para la reducción de inventario y la variabilidad- se eliminen para continuar su trabajo. Como conclusión podemos afirmar que en estos casos la productividad es baja por una falta de previsión del trabajador intelectual, sin embargo siempre se culpa al trabajador manual.



En un proceso sin restricción de materiales, consultas de diseño, retrabajos, fallas mecánicas, esperas en cola, tiempos ociosos, etc. el tiempo que se requiere para ejecutar una actividad, digamos encofrar una placa, realizar una mezcla, colocar cerámicos, etc., tiende a tener una distribución normal, como la clásica curva de campana que se muestra en la figura 2.6.1a

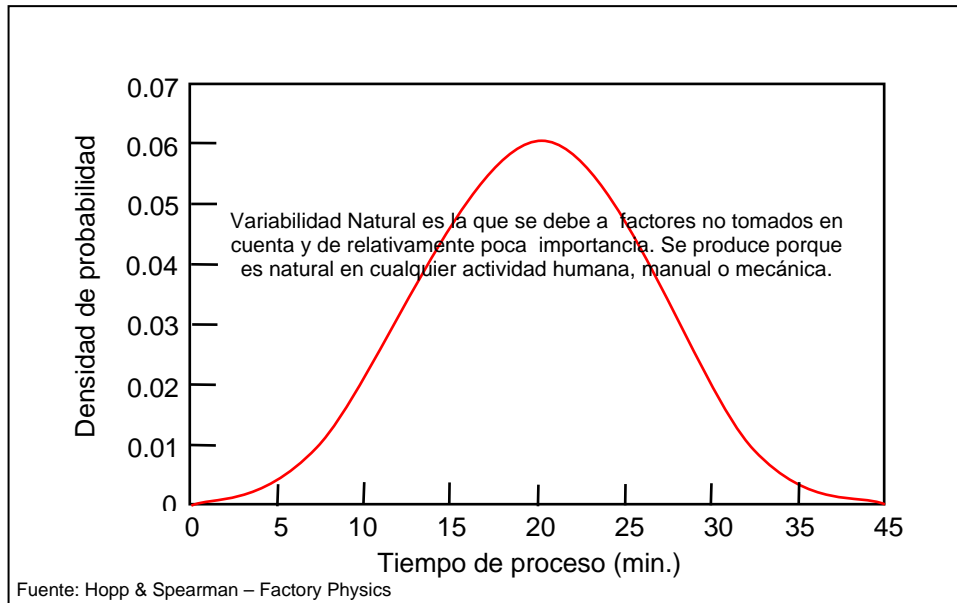


Figura 2.6.1a: Distribución de probabilidad de la duración de un proceso o actividad

Esta distribución normal presenta poca variabilidad porque las tareas constructivas que se realizan en un proyecto son repetitivas, y las condiciones de proyecto que influyen en la forma como los operarios realizan su tarea tienden a ser iguales a lo largo del tiempo.

Los procesos con baja variabilidad tienen a dar formas de tipo campana estrecha alrededor de la media (ver figura 2.6.1b), pues la mayor parte del tiempo se compone de las actividades manuales de los procesos constructivos, sin demasiadas esperas u actividades ajenas al proceso de producción.

En cambio, los procesos con variabilidad mayor tienden a tener curvas de campana más abiertas u otro tipo de distribución probabilística, como la exponencial, u otra curva asimétrica. Esto se debe a que buena parte de su

tiempo está compuesto de actividades aleatorias como esperas por materiales por trabajos prerrequisitos, esperas por accesorios, esperas por materiales, etc., que aumentan la incertidumbre en la duración de las actividades e incrementan la variabilidad.

La media de la actividad mostrada en la figura 2.6.1a es de 20 minutos y tiene una desviación estándar de 6 minutos.

Consideremos ahora una actividad con un tiempo promedio de 20 minutos también pero con una distribución probabilística mostrada en la figura 2.6.1b.

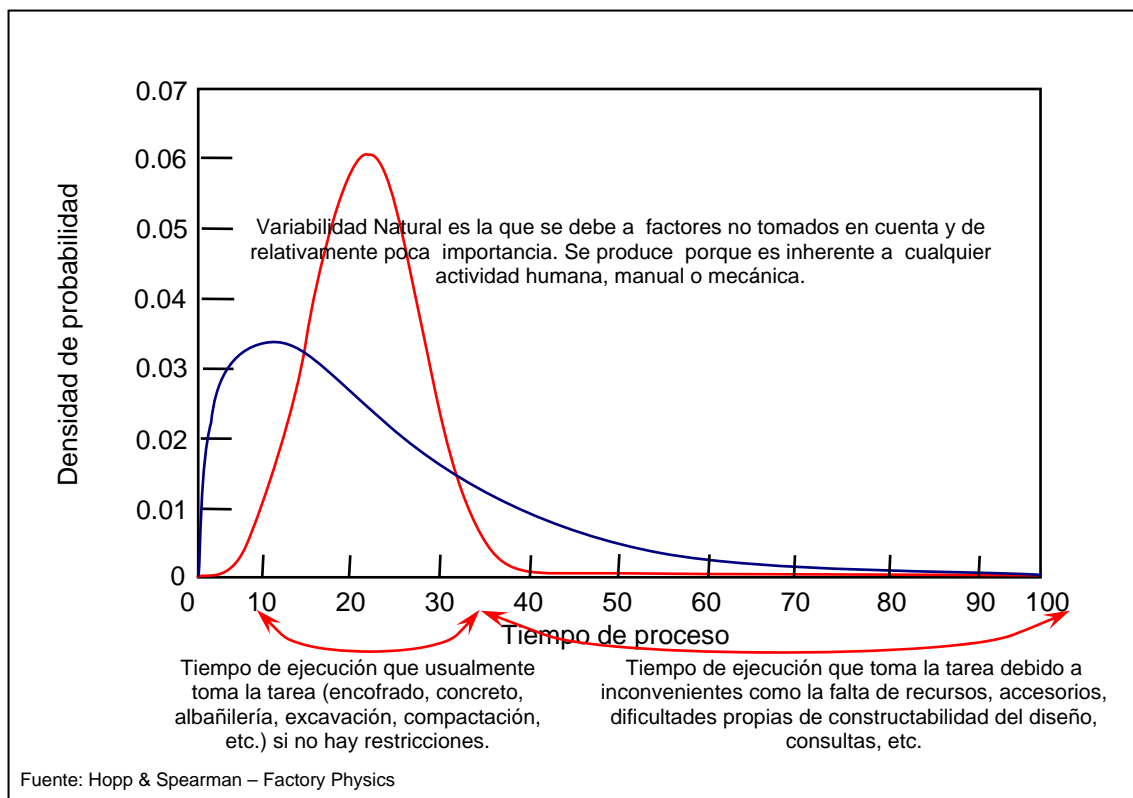


Figura 2.6.1b: Distribución de probabilidad de la duración de 02 procesos.

En la figura 2.6.1b se comparan las dos distribuciones. Mientras que la de baja variabilidad tiene una distribución normal cerrada alrededor de su media, la de moderada variabilidad tiene sus tiempos de duración más probables alrededor de 9 minutos, pero se extiende hasta los 80 minutos, mientras que la otra curva

se cierra alrededor de los 40 minutos. Nótese que la distribución del proceso con moderada variabilidad es, en este caso, asimétrica. Un ejemplo de este tipo de comportamiento es un procedimiento de operaciones manuales en el cual la mayoría del tiempo la operación es fácil de realizar pero ocasionalmente se presentan dificultades (el incumplimiento de algunos de los prerrequisitos de la figura 2.6.2a). Estas dificultades pueden ser por falta de recursos, accesorios, dificultades propias de la constructabilidad del diseño, consultas, etc.

### **2.6.2. Prerrequisitos para un proceso productivo estable**

Una tarea, actividad o proceso constructivo es en realidad una operación de ensamblaje. Si un proceso implica múltiples partes que son adquiridas, la confiabilidad de los distribuidores es extremadamente importante, porque la probabilidad de tener a toda al mismo tiempo es el producto individual de las probabilidades de cada una de ellas.<sup>4</sup>

En la figura 2.6.2a, se presenta los prerrequisitos para la ejecución de una actividad constructiva programada, por ejemplo una tarea de un día de trabajo. Existen al menos siete flujos de recursos (o condiciones) que se unen para realizar dicha actividad (usualmente hay más si se utiliza más de un material).

Muchos de estos flujos de recursos son de relativa alta variabilidad (debido a las particularidades de la construcción descritas anteriormente), y la probabilidad de que una de ellos no esté lista para cuando se programó la actividad es considerable. Por ejemplo, no es poco común que los planos de detalle no estén terminados o tengan errores cuando se intenta comenzar el trabajo. Los errores latentes de los planos de detalle o de las partes prefabricadas presentan problemas en el momento de llevar a cabo la tarea en campo.

Las condiciones externas (temperatura extrema, lluvia, nieve y viento) forman una fuente de variabilidad particular. En contraste con la manufactura tradicional, existe en la construcción un mayor número de fuentes de variabilidad.<sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> Hopp & Spearman – Factory Physics, Chapter 8: Variability Basics.

<sup>5</sup> Koslela, Lauri – Management of Production in Construction: A Theoretical View.

Asumamos que la probabilidad de una desviación en cualquiera de los flujos de recursos de una tarea constructiva durante una semana (de 5 días de trabajo) sea de 5%. La probabilidad de que no haya ninguna demora en ninguno de los prerrequisitos es:

$$\text{Prob \{no demora en ninguno de los prerrequisitos\}} = (0.95)^7 = 0.70$$

Esto quiere decir que aun si nuestro nivel de confianza para los 07 diferentes prerrequisitos de las tareas constructivas fuera del 95% -lo cual es bastante bueno a primera vista- tendríamos una probabilidad de 70% de realizar dicha tarea programada.

De hecho, investigaciones hechas por el Grupo Internacional para la Construcción Sin Pérdidas (Internacional Group for Lean Construction, IGLC) revela que en la práctica profesional es bastante común tener menos del 60% de realización de las actividades programadas en un periodo de una semana (Ballard & Howell 1998).

Así, la construcción consiste en operaciones que envuelven un gran número de variables. Planificar y controlar la producción de manera que las estaciones de trabajo no se queden desocupadas debido a la falta de prerrequisitos es inherentemente una tarea difícil. Esta es la razón por la cual las tareas constructivas y los flujos deben ser considerados paralelamente en la gerencia de producción: la realización de las tareas de trabajo depende decisivamente de los flujos secundarios (subprocesos como abastecimiento de materiales, instrucciones, etc.) y el progreso del flujo primario (la secuencia constructiva) depende de la realización a tiempo de las tareas de trabajo (Koskela 1999). Tendríamos que añadir en este punto que la ausencia de **procedimientos de operación** efectivos y eficientes dificulta en mucho el cumplimiento de cualquier programa de trabajo, y torna imposible un proceso de **Mejora Continua**.

Por ello, el no conceptualizar la construcción como un flujo de trabajo y recursos se refleja en los altos niveles de tiempo no productivo que típicamente se encuentran en los proyectos de construcción (Flores, Salizar y Torres 2000).

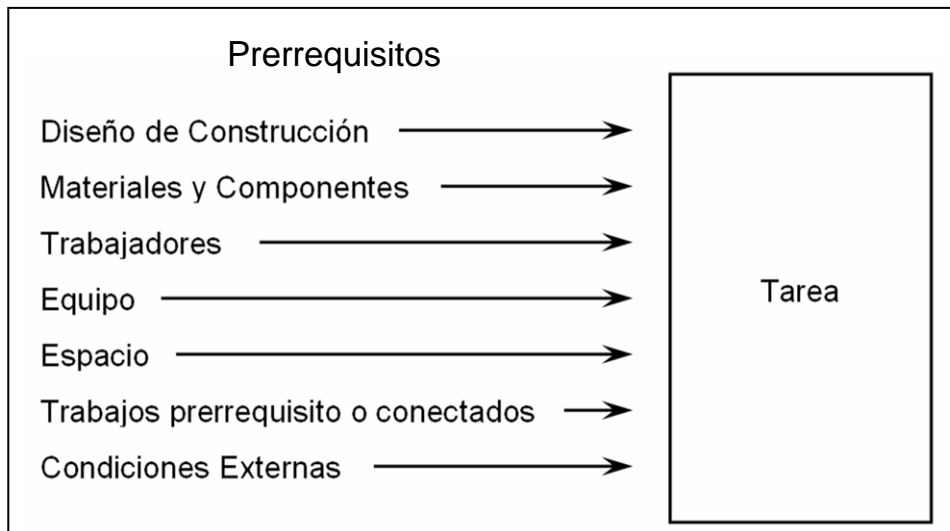


Figura 2.6.2a: Prerrequisitos para realizar una tarea o actividad constructiva programada (Koskela 1999)

Cuando se implementa un control de la producción programada, investigando las razones de no-cumplimiento para actuar sobre ellas, y se logra una planificación anticipada de recursos, se consigue en general aumentar los índices de productividad en los proyectos de construcción de los niveles en los que se encuentran, sin importar el tipo de proyecto o las distintas prácticas profesionales de las empresas constructoras, aun perteneciendo a realidades completamente distintas.<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Ballard, Glenn - Improving Work Flow Reliability

## 2.7. Variabilidad en la interacción entre dos procesos productivos

El efecto que puede tener la variabilidad entre dos procesos productivos (y por supuesto en el flujo en su conjunto) tiene que ser entendido para poder ser atacado y/o previsto. De la figura 2.7a supongamos que en la cadena de producción el proceso de baja variabilidad (LV) está alimentando al proceso de moderada variabilidad (MV), es decir realiza un trabajo prerequisite para que éste pueda continuar con su trabajo.

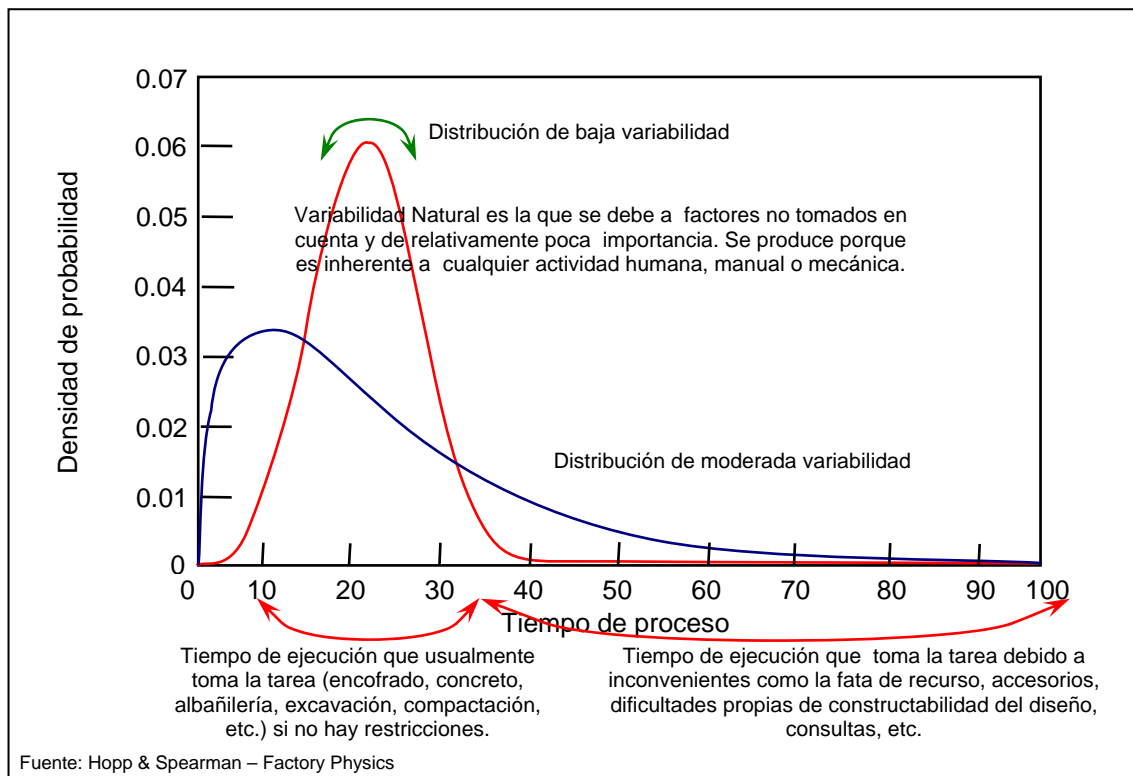


Figura 2.7a: Efecto de la variabilidad entre dos procesos

### Ejemplos:

- El proceso de excavación – carguío es prerequisite para el proceso transporte.
- El proceso de colocación de acero estructural es prerequisite para el proceso de encofrado.
- La planta de asfalto alimenta a los equipos de colocación y compactación de la carpeta asfáltica.
- El equipo de la excavación de zanjas deja libre el trabajo al de colocación de tubería.

Por un tiempo, el proceso de MV se mantendrá a la par del LV fácilmente, pues como vimos, buena parte del tiempo su promedio será de aproximadamente 9 minutos (más rápido que su proceso anterior, así incluso podría tener tiempo extra). En realidad el 20% de los tiempos serán de 9 minutos o menos, mientras que otro 20% será 31 minutos o más.

Como fuere, luego que alguna dificultad se presente y se de un proceso largo, una cola de trabajo se acumulará enfrente de él. A primera impresión podríamos pensar que los tiempos de proceso largos serán compensados por los tiempos de proceso cortos. No necesariamente sucede así. Una sucesión de tiempos cortos podría eliminar la cola de trabajo (inventario) pero una vez que ésta se termine la estación de trabajo quedará ociosa y su eventual capacidad extra – que le permitió eliminar los trabajos acumulados- no se podrá conservar para el próximo periodo de dificultades, y de ese modo se desperdicia.

En realidad será muy difícil que cada vez que se presenten tiempos largos y se acumule inventario se presente una sucesión de tiempos cortos; es muy probable incluso que durante ese lapso se pueda presentar otra dificultad. Así, la tendencia de un trabajo con estas características será la de acumular inventario. Este puede ser trabajo por realizar que se acumula, hasta un punto en el cual decidimos incrementar la capacidad (incrementar la capacidad de nuestras estaciones de trabajo es una forma de combatir la variabilidad. La variabilidad en nuestros proyectos será amortiguada de una de las tres formas: con capacidad, tiempo o inventario) para terminar el trabajo a tiempo (cuando observamos que el proyecto no terminará a tiempo), o materiales al pie de la obra que se acumulan.

## 2.8. Efectos de la variabilidad en las cadenas de producción

La variabilidad de una estación de trabajo afecta a la producción de los demás procesos constructivos. Esto debido a que el efecto descrito en el ítem anterior se transfiere a los demás procesos en un efecto dominó y va aumentando mientras más cerca estemos a los últimos procesos, que son usualmente los que le agregan más valor al producto final desde el punto de vista del cliente.

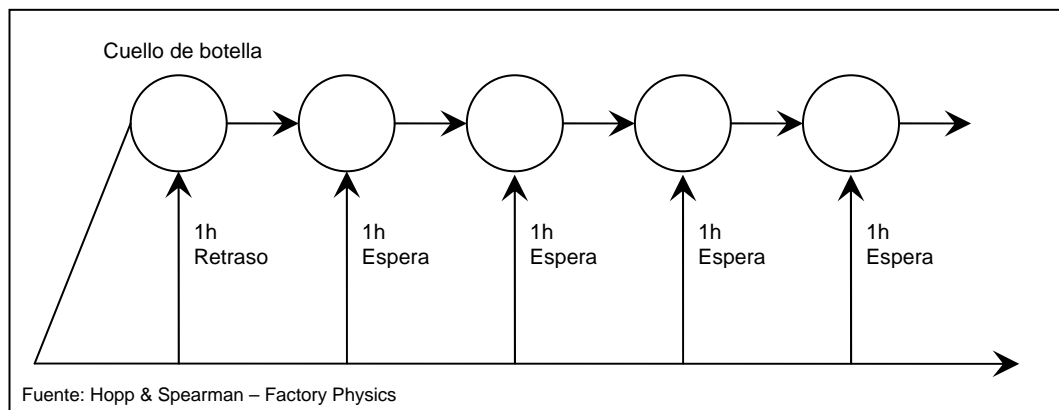


Figura 2.8a: Efecto dominó de la variabilidad

La figura 2.8a muestra que 1 hora perdida en el cuello de botella es en realidad 1 hora perdida en cada uno de los procesos corriente abajo, -es decir los siguiente procesos en la secuencia constructiva- de la cadena de producción

Así, como se aprecia en la figura 2.8a, 1 hora perdida en el cuello de botella equivale en realidad a 5 horas perdidas en conjunto, 1 hora en el cuello de botella y 4 horas en los procesos que el suceden (sea el proceso A el cuello de botella y los 04 procesos sucesivos B, C, D y E; con costos horarios de 80, 70, 90, 50 y 120 USD respectivamente. Una hora perdida en el proceso A no solamente significara 80 USD, pues habrá que sumar 330 USD por la hora que cada uno de los procesos B, C, D y E han perdido).

Es por eso que cuando se producen retrasos en las actividades programadas – por ejemplo: los encofrados o los programas de vaciado, que suelen atrasarse por ser actividades que requieren de la coordinación de varios trabajos prerrequisito, accesorios, etc., aumentando las posibilidades de un eventual



retraso e introduciendo mayor variabilidad- fallamos en detectar las verdaderas consecuencias del retraso, tendiendo a minimizar la demora como una pérdida local de tiempo sólo en el proceso en cuestión; pero en realidad es varias veces el tiempo que consideramos.

Esto se debe a que no es usual en la práctica profesional aplicar herramientas de productividad, las cuales son sencillas pero sumamente útiles, como el análisis del cuello de botella y análisis de restricciones, a través del cual se identifican las restricciones del sistema y se visualiza la cadena de producción.

Al no conceptualizar la construcción como una cadena de producción y como un flujo de trabajo, en realidad se desperdician oportunidades de modernizar nuestras herramientas de gestión y se estanca el mejoramiento continuo.

La influencia de la variabilidad en una cadena de procesos secuenciales e interdependientes como la construcción, no se limita al cuello de botella.

Cada vez que una cuadrilla termina su lote de producción o tarea se origina una salida (despacho) de trabajo, y la misma significa para el proceso siguiente una llegada. Una salida porque el trabajo es soltado por el proceso anterior y una llegada porque el siguiente proceso recibe la tarea de continuar con el procedimiento constructivo.

Para que un proceso cualquiera sea capaz de mantenerse a la par de las llegadas de trabajo (es decir las órdenes de trabajo y lotes de producción que un proceso termina y deja para el siguiente) desde un proceso anterior o corriente arriba en la secuencia de construcción, es esencial que se cumpla una condición: que su capacidad sea mayor o igual a la capacidad del proceso anterior, o lo que es lo mismo:

$$r_{e(i)} \geq r_{e(i-1)}$$

Donde  $r_{e(i)}$  es el ratio de capacidad del proceso en cuestión y  $r_{e(i-1)}$  es el ratio de capacidad del proceso anterior.

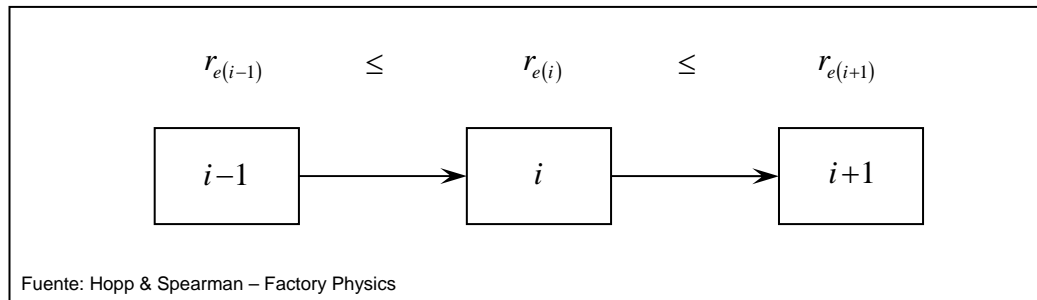


Figura 2.8b: Procesos secuenciales constructivos

Si la capacidad del proceso anterior  $i-1$  es mayor que la capacidad promedio del proceso  $i$ , tenderá a acumularse inventario en la línea en la forma de materiales a pie de obra, ordenes de trabajo acumuladas –que alargarán el tiempo de entrega-, falta de espacio, desorden en la línea, etc.

Si no existiese la variabilidad, los tiempos de procesamiento en cada cuadrilla de trabajo serían exactos y determinísticos, y se buscaría equilibrar las capacidades de nuestros procesos para no tener recursos extra, lo que significaría un desperdicio. Pero en la realidad el comportamiento de los procesos es variable, tanto en costo como en tiempo de ejecución y sería un error grave el intentar balancear las capacidades de recursos en todos los procesos productivos –de hecho es un paradigma que nació en la ingeniería industrial y hemos copiado en la construcción-.<sup>7</sup>

Si no existiese la variabilidad, el tiempo exacto para ejecutar un trabajo sería conocido y el tiempo entre salidas y llegadas sería el mismo. Así, la programación sería siempre posible de poderse cumplir.

Desafortunadamente, esto no es así. La figura 2.8c (a) nos indica un flujo de trabajo regular con llegadas similarmente espaciadas entre sí y bastante predecibles, con baja variabilidad, un sistema de trabajo estable; mientras que la figura 2.8c (b) nos muestra un sistema de trabajo intempestivo, con tiempos de llegada altamente variables y algo impredecibles. Lo segundo es común cuando no se cumplen los plazos de ejecución en un proyecto y se tiende a liberar recursos y aumentar la capacidad de los equipos de trabajo –a veces sin hacer

<sup>7</sup> Hopp & Spearman – Factory Physics, Chapter 9: The Corrupting Influence of Variability

una análisis de restricciones o sólo basados en la experiencia del supervisor de obra- con el afán de empujar las órdenes de trabajo y terminar a tiempo.

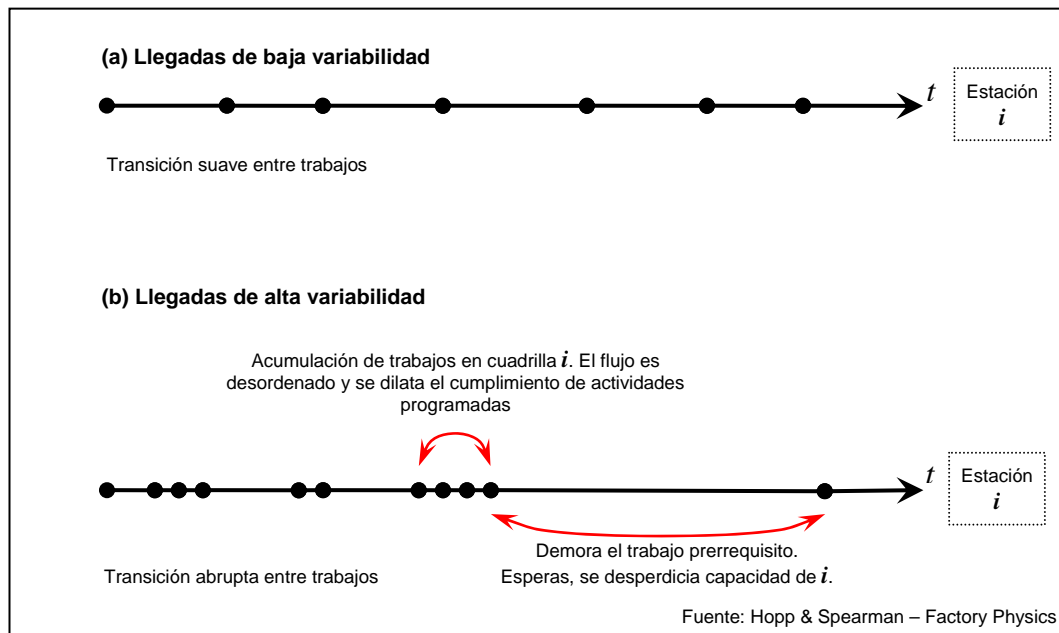


Figura 2.8c: Llegadas de órdenes de trabajo

La figura (b) muestra un flujo de trabajo muy variable. Obsérvese que las órdenes de trabajo son irregulares y llegan a la cuadrilla  $i$  de una forma poco predecible.

Cuando el tiempo entre órdenes de trabajo tiene un periodo muy largo –debido a que la estación anterior de trabajo se quedó sin materiales, por un error de calidad, falta de instrucciones, etc.- la cuadrilla  $i$  se queda sin trabajo que procesar y se genera una espera en la que se desperdicia horas hombre y se dilata el tiempo para el cumplimiento de las actividades programadas. Por otro lado, cuando la restricción que causó la demora del proceso anterior es liberada, las órdenes de trabajo se acumulan frente a la cuadrilla  $i$ .

Si el proceso  $i$  no tiene una capacidad mayor que la capacidad del proceso anterior entonces no podrá acelerar el cumplimiento de actividades y el calendario programado se retrasara. Es decir, no podrá recuperar el tiempo perdido.

El efecto variable de las llegadas hacia una estación de trabajo aumenta la incertidumbre no sólo para dicha estación, también para el resto de línea de producción y, como ya mencionamos, en mayor medida para los procedimientos constructivos al final de la cadena –que son usualmente los que agregan valor para el cliente- debido a que la variabilidad se propaga. A la variabilidad con que le llegan los trabajos o unidades de producción a la estación  $i$  para ser procesados, ésta le agrega su propia variabilidad (es decir, su propia variación, sus demoras y otros inconvenientes) y le entrega una mayor variabilidad resultante a la estación  $i + 1$  la cual se acumula en la variabilidad del proceso total.

Entonces ésta última recibe una variabilidad inducida sobre la cual no tiene influencia ni capacidad para disminuirla. A la estación  $i + 1$  sólo le queda trabajar con ella, la cual será su variabilidad de llegada, y así sucesivamente como se muestra en la figura 2.8d.

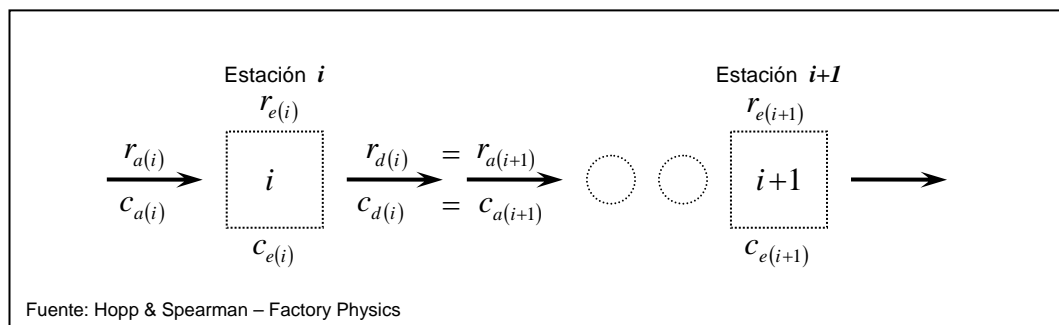


Figura 2.8d: Propagación de la variabilidad

El proceso  $i$  recibe las órdenes de trabajo de la estación corriente arriba con un ratio  $r_{a(i)}$  de llegadas y una variabilidad  $c_{a(i)}$ . Pero el proceso a su vez tiene su propia variabilidad  $c_{e(i)}$ . Al sumar estas dos variabilidades obtenemos una variabilidad agregada en los despachos del proceso  $i$ ,  $c_{d(i)}$ , que se convertirá en  $c_{a(i+1)}$ , es decir la variabilidad inducida con la que las unidades de producción llegan al siguiente proceso. Por eso la variabilidad se propaga en un efecto de péndulo desde los procesos iniciales de la cadena de producción a los procesos finales a lo largo de la cadena de construcción compuesta de procesos secuenciales y dependientes. Ver figura 2.8e

Se muestra así que el principal efecto de la variabilidad en la construcción es el no-cumplimiento de las programaciones de obra.

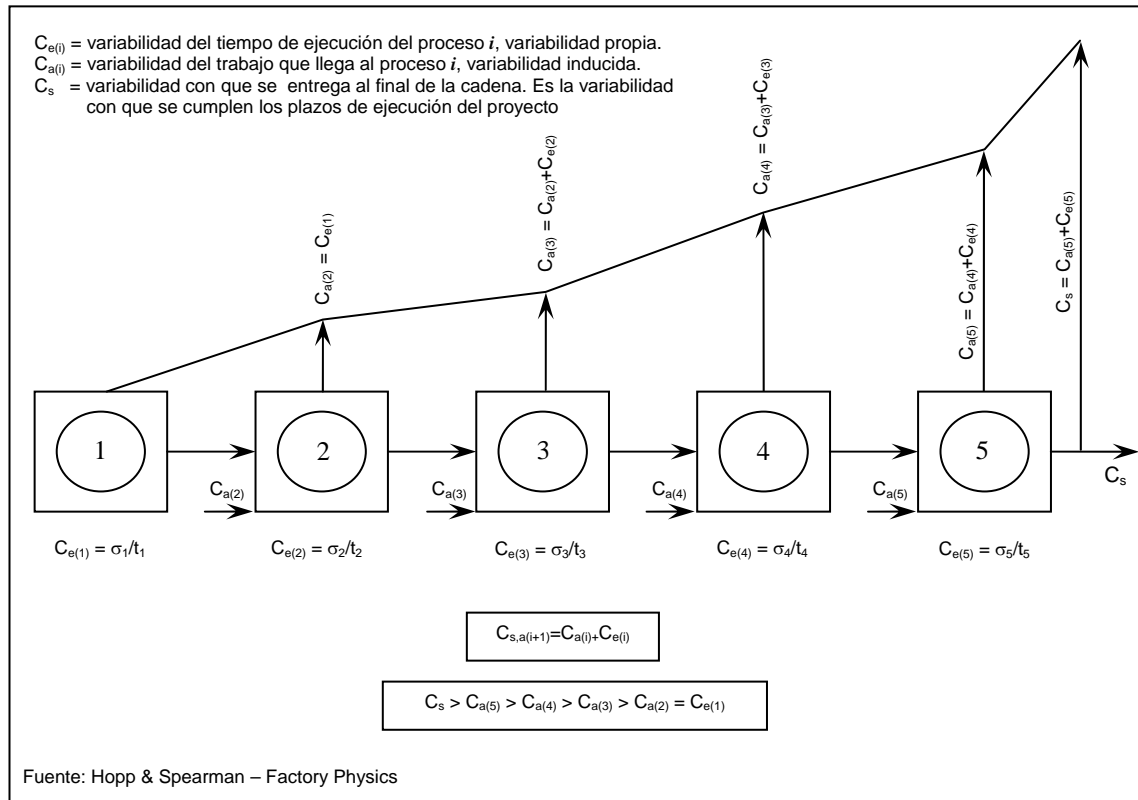


Figura 2.8e: Propagación de la variabilidad (2)

La expresión  $C_{a(i+1)} = C_{a(i)} + C_{e(i)}$  simboliza que la variabilidad se acumula a lo largo de la cadena de producción, pero el coeficiente resultante  $C_{a(i)}$  no es en realidad una suma aritmética de  $C_{a(i-1)} + C_{e(i-1)}$ , sino resulta de la expresión matemática  $C_{a(i+1)}^2 = u^2 C_{e(i)}^2 + [1-u^2] C_{a(i)}^2$ , donde  $u$  es el porcentaje de utilización del proceso  $i$ , Si el proceso  $i$  está siempre ocupado de manera que  $u=1$ , entonces  $C_{a(i+1)}^2 = C_{e(i)}^2$ . Similarmente, si el proceso está (casi) siempre ocioso, de manera que  $u=0$ , entonces  $C_{a(i+1)}^2 = C_{a(i)}^2$ . Para niveles intermedios de utilización  $0 < u < 1$ ,  $C_{a(i+1)}^2$  es una combinación de  $C_{a(i)}^2$  la variación de llegadas de órdenes de trabajo al proceso  $i$ , y de  $C_{e(i)}^2$ , la variabilidad en los tiempos de procesamiento de  $i$ .<sup>8</sup>

<sup>8</sup> Hopp & Spearman – Factory Physics, Chapter 9: The Corrupting Influence of Variability

***CAPÍTULO III***  
***PROCESO EXCAVACIÓN – CARGUÍO***

El entendimiento y la aplicación de los principios de la Nueva Filosofía de Producción de Lean Construction nos permite aceptar la existencia de un TNP (trabajo no productivo) en la operación de excavación – carguío. La cuantificación del TNP y su distribución en el tiempo son importantes para la producción de la excavadora y su entendimiento es el objeto de este capítulo.

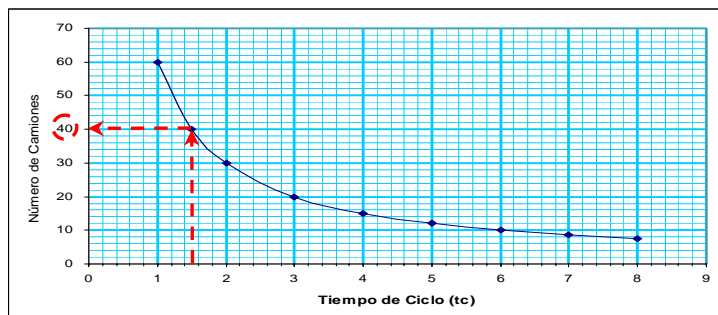
### 3.1. Producción teórica de una excavadora.

Si se estudia una operación de excavación – carguío y se mide en minutos el tiempo ( $t_c$ )<sup>1</sup> que se demora la excavadora en cargar un camión, entonces la cantidad teórica de camiones que la excavadora puede cargar por hora podría estar determinada por una relación sencilla y aparentemente válida:

$$\text{Nº Camiones/hora} = 60 / t_c.$$

Con la cual obtenemos:

$t_c$	Nº de Camiones
1	60
1.5	40
2	30
3	20
4	15



Pero, esto evidentemente nos conduce al hecho que si, por ejemplo, nos demoramos 1.5 minutos en cargar un camión, entonces podríamos cargar 40 camiones por hora. La realidad de la experiencia nos dice que en cualquier operación balanceada y con carguío por un solo lado esto no se puede obtener. Debemos encontrar la causa de este efecto que es motivo de esta tesis.

<sup>1</sup>  $t_c$ : Tiempo que una excavadora emplea en excavar y cargar un camión.

### 3.2. Cuantificación del TP y TNP de una excavadora.

Analizando aisladamente la operación de la excavadora y luego de muchas observaciones efectuadas a diferentes marcas y tamaños, excavando diferentes tipos y estado de material y cargando camiones de diversas capacidades netas, se ha podido determinar que el TP (tiempo productivo) óptimo de una excavadora es, en promedio, equivalente al 60% de su tiempo de trabajo y que el TNP equivale al 40% del mismo. Esto es válido para operaciones de carguío restringido, es decir, cuando sólo se permite un camión junto a la excavadora.<sup>2</sup>

Tal como se mencionó en el Capítulo I, la definición de TP y TNP para el equipo de excavación – carguío es el siguiente.

#### Excavadora

- TP: Comprende el tiempo empleado en excavar y cargar camiones
- TNP: Comprende el acomodo de la excavadora, la acumulación de material, limpieza de piso, los traslados del equipo, necesidades fisiológicas del operador, paradas para recibir instrucciones, paradas imprevistas.

Aun cuando no nos guste, este es un tiempo que no podemos ni debemos pretender eliminar, tan sólo reducir y distribuirlo de la mejor manera para convertirlo en algo predecible y estadísticamente medible. Este tiempo así definido debe entenderse como distinto de aquel producto de las paralizaciones por mantenimientos programados.

La medición estadística también nos permitió determinar que el TNP requerido por una excavadora entre camión y camión era de una alta variabilidad<sup>3</sup>, pues variaba entre cero minutos hasta varios de ellos<sup>4</sup>.

---

<sup>2</sup> Los valores porcentuales indicados son resultado de las mediciones realizadas en distintas operaciones mineras y se encuentran en el anexo A.

<sup>3</sup> La Variabilidad la medimos a través del coeficiente de variación, definido como el cociente de la desviación estándar y la media expresado en forma porcentual. Se considera una variabilidad elevada a valores del CV por encima del 15%

<sup>4</sup> En las operaciones mineras observadas se encontró que el Tiempo No Productivo (TNP) tenía un rango de 30 a 50%, dependiendo básicamente del tipo de material. La excavación y carguío de roca fracturada corresponde a los valores más altos.



### 3.3. Distribución del TNP de una excavadora.

Luego de instruir a los operadores y hacerles un seguimiento continuo, fue posible lograr que el TNP sea distribuido lo más equitativamente posible entre los camiones. Como resultado de lo anterior se logró operaciones con mayor fluidez y menos tiempo de espera de camiones originado por el TNP de la excavadora.

- I. **El TNP requerido por la excavadora debe estar ubicado entre el carguío de dos camiones.<sup>7</sup>**



*Foto 3a:* Equipo de carguío realizando el TNP correctamente, vale decir, entre el carguío de 02 camiones

Cuando el TNP de la excavadora no es realizado entre la operación de carguío de 02 camiones consecutivos, entonces el TNP se acumula e inevitablemente se tendrá que realizar en algún momento y como tomará más tiempo originará esperas de camiones, introduciendo una variabilidad inducida, con los consiguientes efectos negativos en producción y por ende en costo por tonelada excavada – cargada y transportada.

<sup>5</sup> Es necesaria una adecuada distribución del TNP para asegurar que un camión que llegue, encuentre a la excavadora libre para que lo cargue, evitando esperas que no agregan valor.

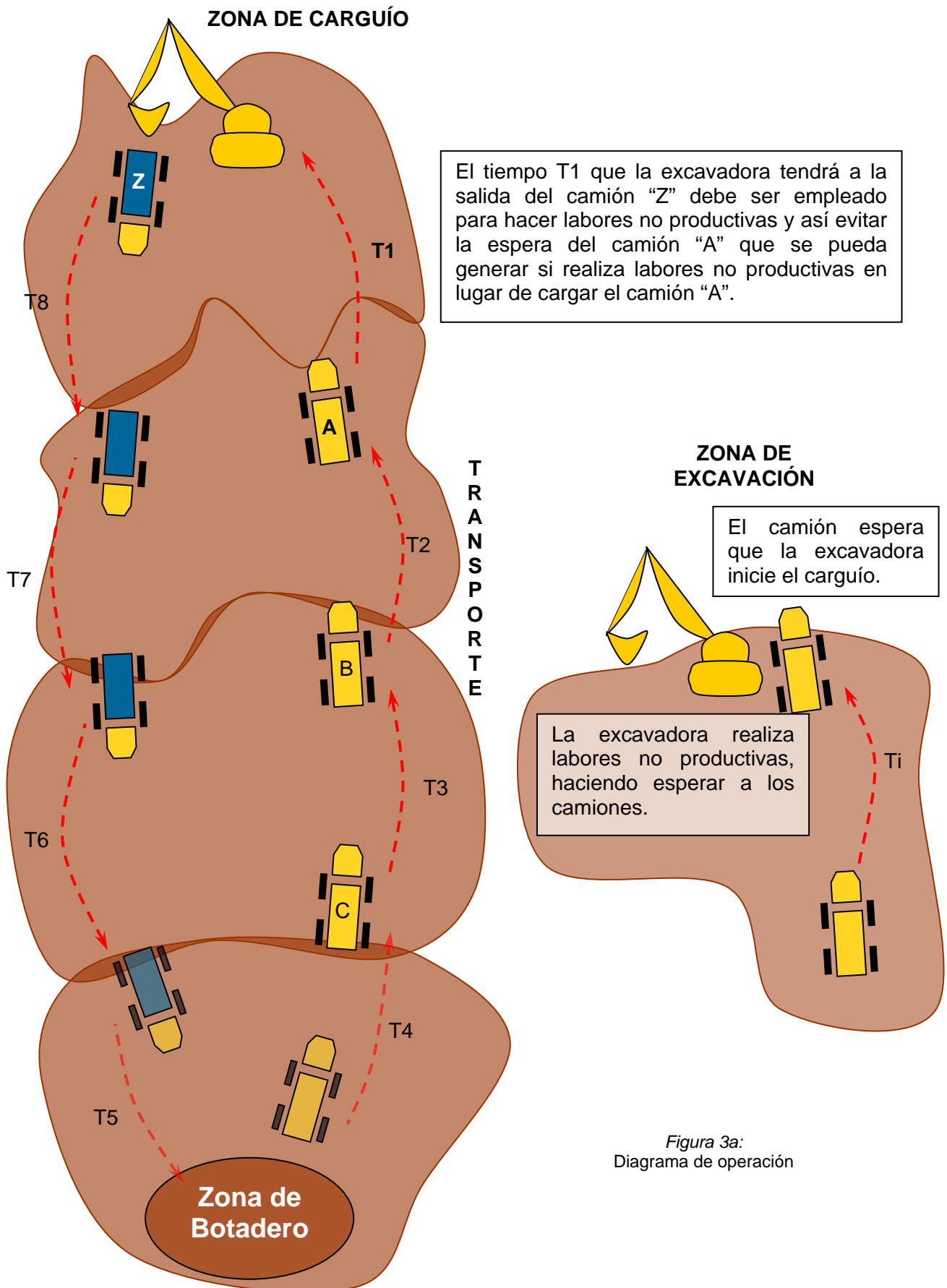


Figura 3a:  
Diagrama de operación

***CAPÍTULO IV***  
***PROCESO TRANSPORTE***

El concepto de variabilidad tal como ha sido planteado en el Capítulo II es de vital importancia para poder analizar convenientemente la operación de transporte por lo que en este capítulo demostraremos su existencia.

#### 4.1. Propuesta de medición para el transporte

Luego de estudiar los procesos de excavación - carguío y transporte observamos que la mayor variación ocurre en la zona de carga y que en la zona de botadero la variación en términos absolutos es mínima, por lo que aislamos lo que ocurre en la zona de carga y consideramos mediciones únicas para lo ocurrido en el recorrido cargado, botadero y retorno vacío.

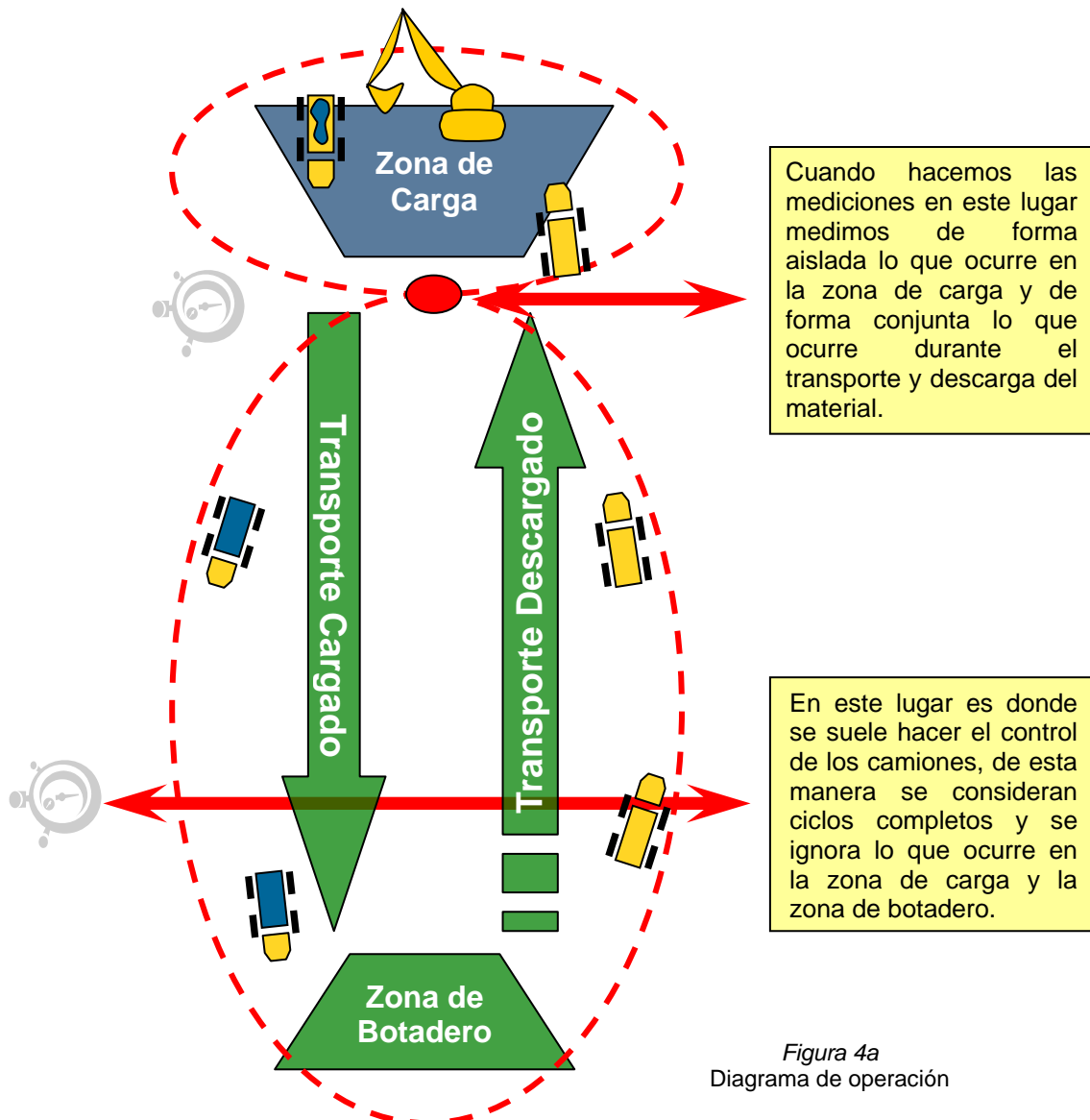
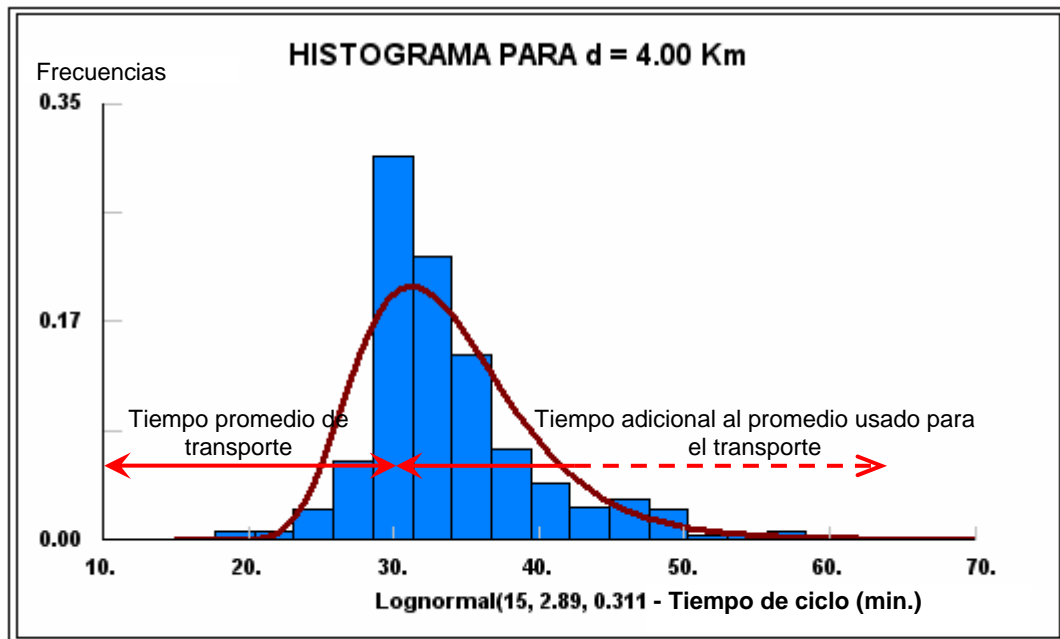


Figura 4a  
Diagrama de operación

## 4.2. Histograma de frecuencias del transporte

Respaldados por la data obtenida en el Anexo “A” y el análisis de la misma, hemos comprobado que la curva que mejor representa el tiempo que toma a un camión ser cargado, transportar, descargar y retornar vacío es la que se muestra en el **gráfico 4a**.



**Gráfico 4a**

Fuente: Propia

Datos: Los datos que se muestran corresponden a tiempos empleados para el transporte a una distancia de 4 Km.

Fecha: 2001 – 2002 – 2003

Como podemos observar, ésta es una curva positivamente asimétrica<sup>1</sup>, lo cual es lógico por la siguiente razón: hacia la izquierda existe un límite físico, puesto que el tiempo mínimo a emplear es una función de la velocidad máxima determinada por la potencia del motor, la pendiente, el estado del camino, la carga y las restricciones de seguridad en la zona de trabajo<sup>2</sup>; en cambio, hacia la

<sup>1</sup> Se llama a una curva positivamente asimétrica o curva asimétrica positiva, cuando existe una menor concentración de valores a la derecha de la media.

<sup>2</sup> Las variables mencionadas influyen en la velocidad de traslado de los vehículos y por ende en el tiempo que éstos utilizan para un ciclo de transporte:

- a. A mayor potencia se incrementa la velocidad y se reduce el tiempo de ciclo.
- b. A mayor pendiente se reduce la velocidad e incrementa el tiempo de ciclo.
- c. El estado del camino tiene una relación inversa, mientras mejores sean las condiciones del camino menores serán los tiempos de ciclo.
- d. Las condiciones de seguridad en las zonas de trabajo muchas veces incrementan el tiempo de ciclo pues los vehículos son sometidos a constantes revisiones y limitaciones con fines de prevención.

derecha el camión tiene un rango mucho más amplio puesto que podría demorarse 3, 4, 5 ó más veces que el promedio por diversas causas.<sup>3</sup>

Comúnmente estamos inclinados a pensar que es el tiempo promedio (“t”) el que se debe tomar para calcular el número de camiones a emplear en un circuito determinado; pero como veremos más adelante, el promedio no es el único parámetro de decisión que debemos considerar ya que el hacerlo nos puede conducir a tomar decisiones erróneas.<sup>4</sup>

Para explicar o describir las características y el comportamiento de una población no es suficiente con conocer el promedio, se hace necesario calcular también la desviación estándar (**DV**) como una medida insesgada de la variación de la población con respecto al valor central.

El conocimiento de los tiempos promedios y la desviación estándar de una población nos permiten calcular el **Coefficiente de Variación (CV)**<sup>5</sup>, como una expresión de la variabilidad de la operación en curso:

$$CV = DV / t$$

El valor de éste parámetro estadístico radica en el hecho que nos permite comparar dos poblaciones distintas.

Durante un largo periodo hemos obtenido datos de lo observado en el proceso de transporte, siendo la data conjunta más amplia la que encontramos en el anexo A (648,463 datos)<sup>6</sup>. Del análisis de la data podemos calcular la relación entre el CV y la distancia, tanto para periodo seco como lluvia y para los tres tipos de material. De la lectura de las curvas podemos arribar a las siguientes conclusiones.

---

<sup>3</sup> En el gráfico se muestra que la duración promedio de un ciclo de transporte es aproximadamente 30 minutos, para una distancia de 4 kilómetros, este tiempo se puede reducir mejorando las características de los equipos usados para el transporte y también incrementarse si los equipos fallan o por factores naturales como el clima o el tipo de suelo.

<sup>4</sup> Existen varios parámetros de decisión para calcular el número óptimo de camiones:

- El tiempo promedio utilizado.
- El coeficiente de variación, que nos permite saber si podemos confiar en el promedio o si el proceso está bajo control estadístico o se comporta de manera aleatoria.

<sup>5</sup> El Coeficiente de variación indica variabilidad de un conjunto de valores y por ser adimensional se pueden comparar conjuntos de diferente naturaleza.

<sup>6</sup> Los datos mencionados forman parte de un total de 650,352 datos tomados entre noviembre del 2000 y abril del 2002 en la mina Yanacocha, de los cuales luego del depurado pasan a formar parte de la data 648,463 datos presentados en el Anexo “A”. Para el análisis de esta información se han usado herramientas de Microsoft Excel.

### Periodo seco

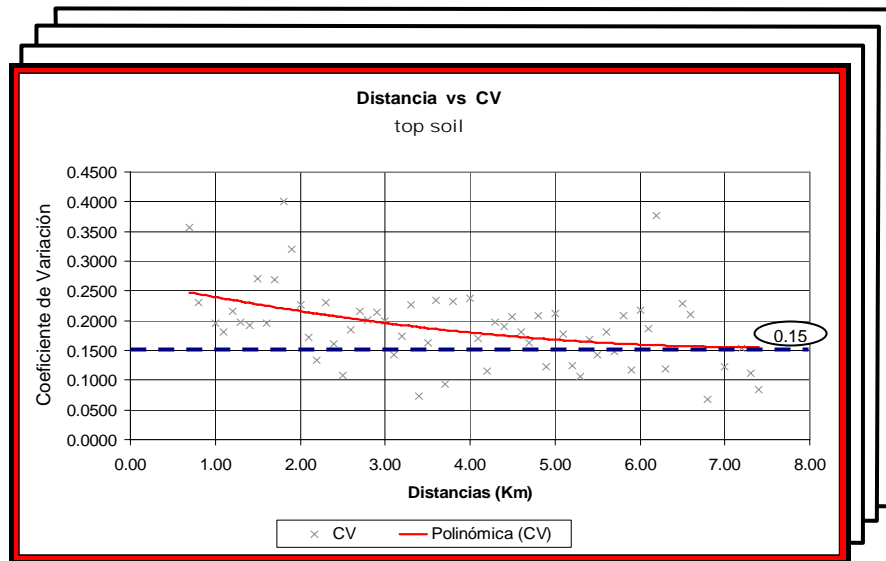


Gráfico 4b<sup>7</sup>

Fuente: Propia  
 Datos: Los datos de este gráfico corresponden a transporte del terreno natural y superficie de rodadura con un Coeficiente de Resistencia a la Rodadura (CRR) de 6%.  
 Fecha: 2001 – 2002 – 2003

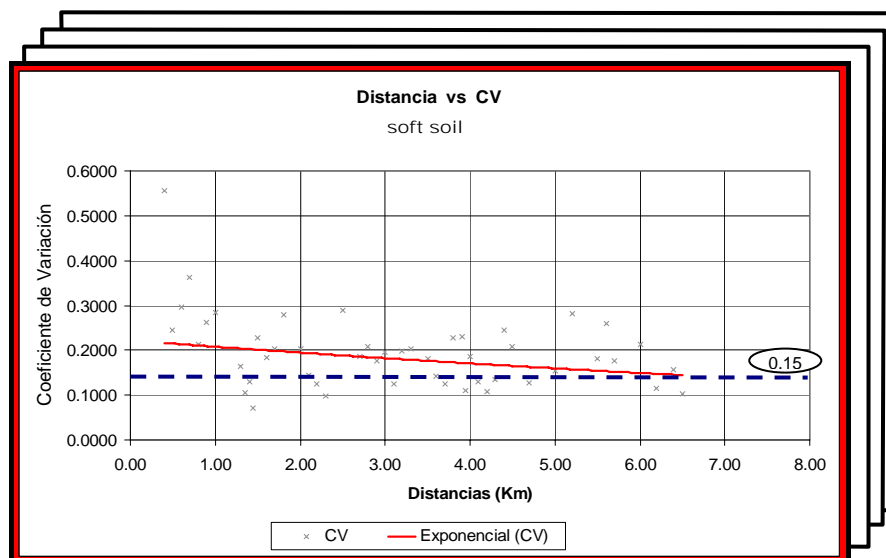


Gráfico 4c<sup>8</sup>

Fuente: Propia  
 Datos: Los datos de este gráfico corresponden a transporte sobre terreno suave en periodo sin lluvia con un CRR de 5%.  
 Fecha: 2001 – 2002 – 2003

<sup>7</sup> Cada punto mostrado en el gráfico es resultado del promedio de miles de datos. En caso se hubiera graficado la totalidad de la data tomada el gráfico se mostraría en exceso saturado.

<sup>8</sup> Ídem.

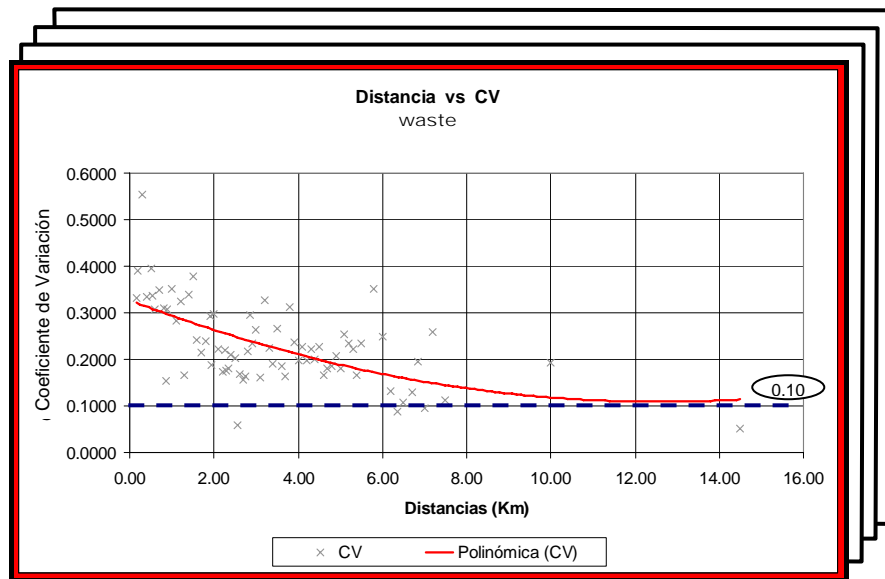


Gráfico 4d<sup>9</sup>

Fuente: Propia  
 Datos: Los datos de este gráfico corresponden a transporte de material mineralizado con un CRR de 5%.  
 Fecha: 2001 – 2002 – 2003

**Periodo de lluvia**

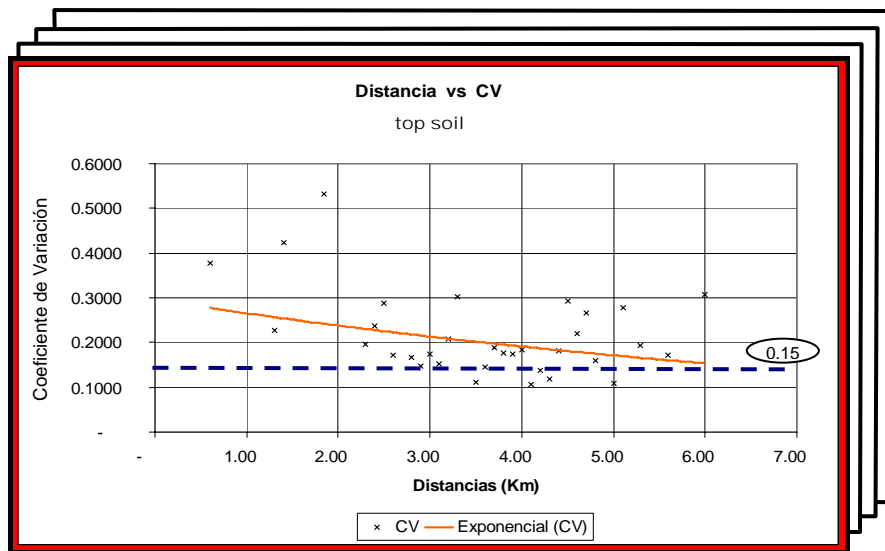


Gráfico 4e<sup>10</sup>

Fuente: Propia  
 Datos: Los datos de este gráfico corresponden a transporte sobre terreno natural en periodo de lluvia sobre una superficie con un CRR de hasta 8%.  
 Fecha: 2001 – 2002 – 2003

<sup>9</sup> Cada punto mostrado en el gráfico es resultado del promedio de miles de datos. En caso se hubiera graficado la totalidad de la data tomada el gráfico se mostraría en exceso saturado.

<sup>10</sup> Ídem.



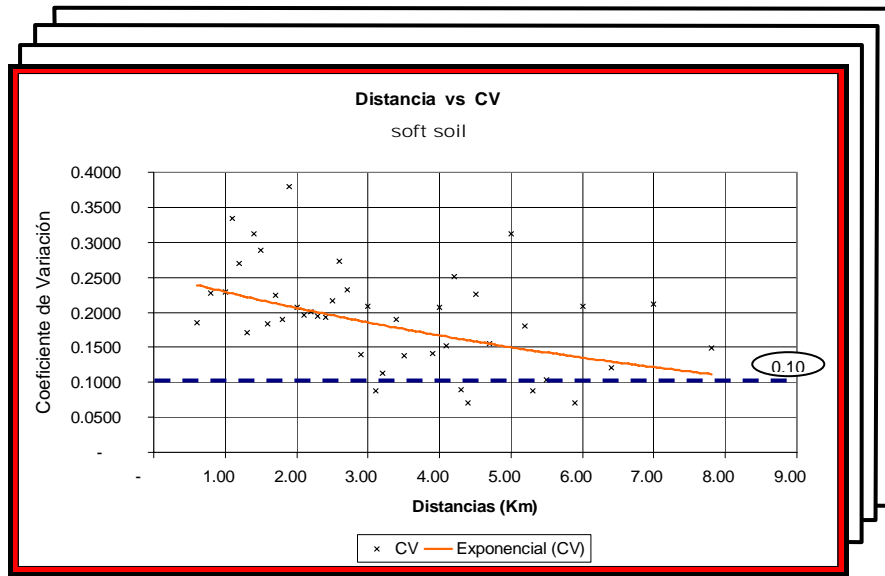


Gráfico 4f<sup>11</sup>

Fuente: Propia

Datos: Los datos de este gráfico corresponden a transporte sobre terreno suave en periodo de lluvia sobre una superficie con un CRR de 6%.

Fecha: 2001 – 2002 – 2003

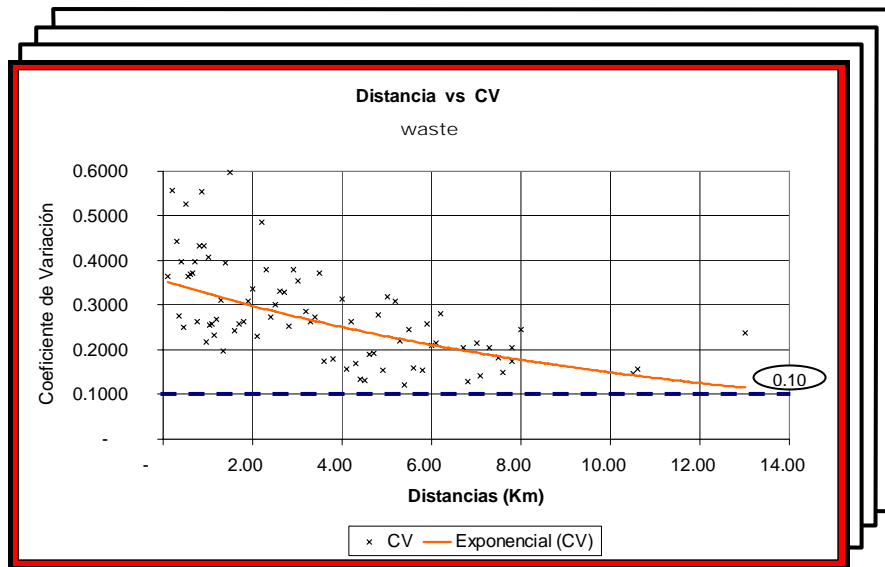


Gráfico 4g<sup>12</sup>

Fuente: Propia

Datos: Los datos de este gráfico corresponden a transporte de material mineralizado sobre terreno con un CRR de 6% y en periodo de lluvia.

Fecha: 2001 – 2002 – 2003

<sup>11</sup> Cada punto mostrado en el gráfico es resultado del promedio de miles de datos. En caso se hubiera graficado la totalidad de la data tomada el gráfico se mostraría en exceso saturado.

<sup>12</sup> Ídem.

Del análisis de los gráficos precedentes podemos deducir que:

1. El mayor valor de CV se produce cuando la distancia de transporte tiende a valores cercanos a cero.
2. Todas las curvas muestran una relación inversa del CV cuando la distancia se incrementa.
3. A medida que la distancia de transporte se incrementa, el peso ponderado del CV de lo que ocurre en la zona de carga se diluye.

**A. El mayor CV esta en la zona de carguío.<sup>13</sup>**

**B. El mínimo CV de transporte es del orden del 10%.<sup>14</sup>**

<sup>13</sup> Se observa claramente que en las proximidades de la zona de carga (a la distancia CERO o muy cercanas a CERO) el Coeficiente de Variación se incrementa.

<sup>14</sup> De los gráficos 4b, 4c, 4d, 4e, 4f y 4g podemos afirmar que el mínimo Coeficiente de Variación observado es de 10%.

***CAPÍTULO V***  
***MEDICIÓN DE LA VARIABILIDAD, SU INFLUENCIA***  
***Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN***

Como hemos indicado en el Capítulo I, las esperas de camiones introducen costos indeseados. Estas esperas se producen como resultado de la variabilidad en los procesos de excavación – carguío y transporte; en este capítulo se planteará una alternativa de solución para reducir la variabilidad y sus efectos nocivos.

### 5.1. Variabilidad en el proceso de excavación – carguío<sup>1</sup>

El tamaño de la excavadora influye en el tiempo promedio para completar el ciclo de carga<sup>2</sup>, tal como lo podemos observar en el gráfico 5.1a.

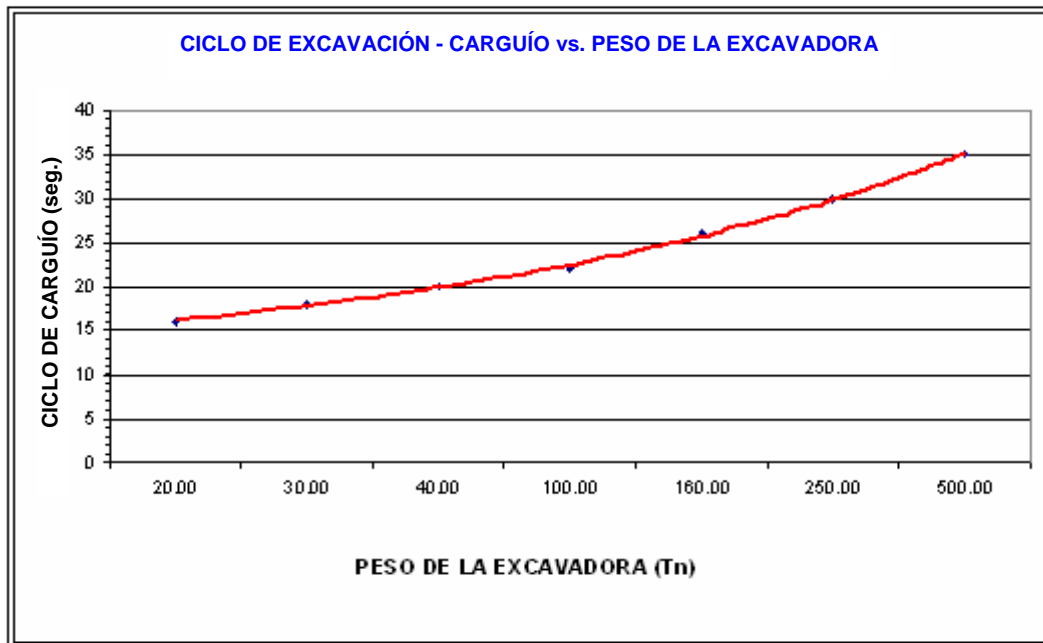


Gráfico 5.1a

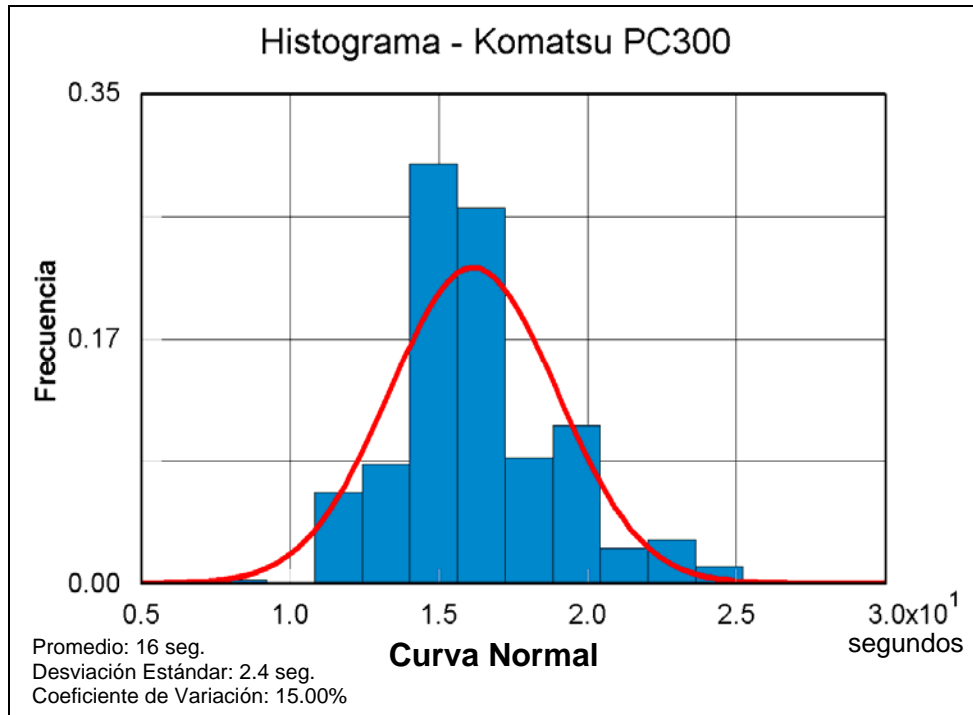
Fuente: Propia.  
Datos: Caterpillar Performance Handbook 4-208.  
Fecha: 2006

En el gráfico se muestra que con el aumento del peso de la excavadora se incrementa la duración de los ciclos de carguío. Este hecho, la distancia de transporte y la carga neta de cada camión se deben tener en cuenta para determinar el número de camiones.

<sup>1</sup> El proceso excavación - carguío es el conjunto de operaciones ejecutadas durante la excavación y carga de material.

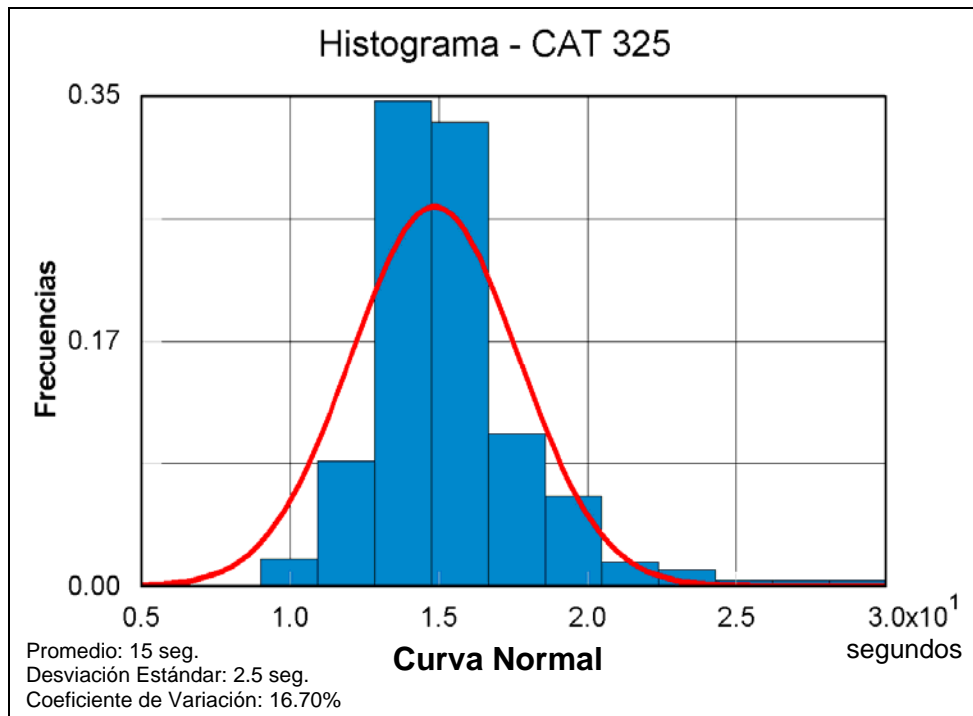
<sup>2</sup> Ciclo de carga o ciclo de carguío, comprende los movimientos del brazo y cucharón de la excavadora como: penetración del terreno por el cucharón, giro del cucharón recogiendo material, elevación del brazo, giro cargado sobre el camión, descarga del cucharón, giro descargado sobre el camión, descenso del brazo.

Las mediciones han permitido determinar que el coeficiente de variación natural para operaciones de excavación – carguío es del orden de 15%.



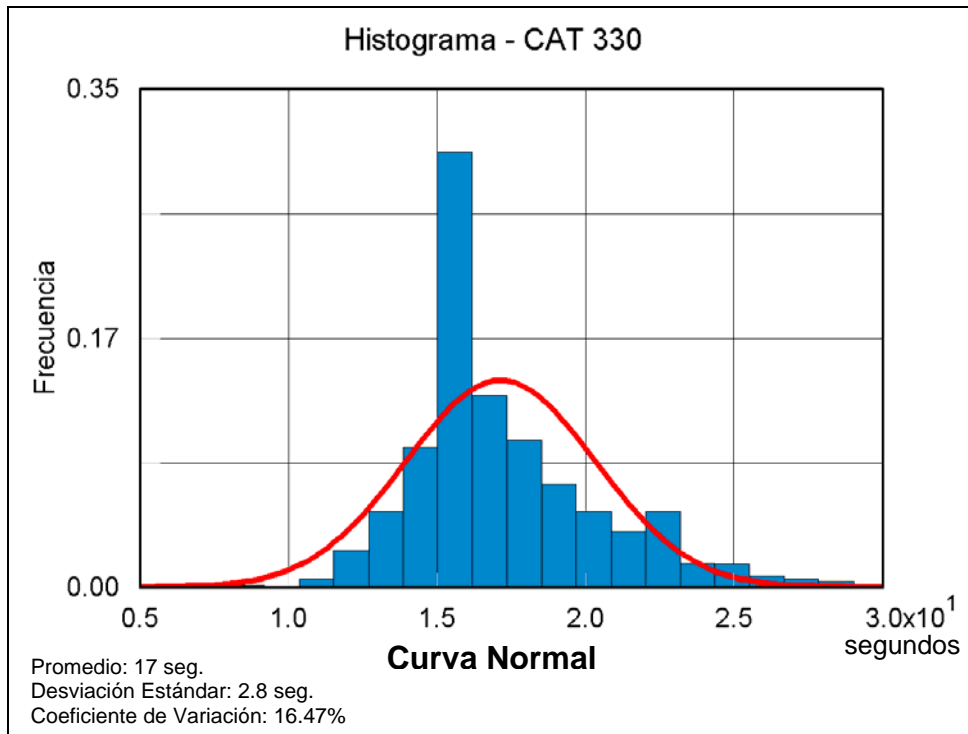
Fuente: Propia.  
Data: 2477 observaciones  
Fecha: 2006

Gráfico 5.1b



Fuente: Propia.  
Data: 1577 observaciones  
Fecha: 2006

Gráfico 5.1c



Fuente: Propia.  
Data: 516 observaciones  
Fecha: 2006

Gráfico 5.1d

Se deduce entonces que el coeficiente de variación promedio del proceso de excavación-carguío es del orden del 15%, lo cual significa, para las excavadoras estudiadas, alrededor de 2.3 segundos de desviación estándar por ciclo de carga.

**II. Por las proporciones entre ambas, la variabilidad natural de excavación – carguío es absorbida por la variabilidad total del transporte.<sup>3</sup>**

## 5.2. Variabilidad en el proceso transporte

El tiempo total de ciclo completo de un camión puede ser dividido en cuatro partes, a saber:

- a. Tiempo que está siendo cargado
- b. Tiempo de viaje cargado y descargado

<sup>3</sup> Es debido a que la variabilidad en el transporte, en valores absolutos de tiempo, comúnmente es mucho mayor que la variabilidad de excavación – carguío.

c. Tiempo de descarga

d. Tiempo que espera en ser cargado y que incluye el acomodo.

La variabilidad de la excavadora en el proceso excavación - carguío influye en el tiempo “a” del camión. A mayor distancia, el efecto de la variabilidad en el uso de la excavadora tiende a diluirse.<sup>4</sup>

Para el análisis realizado hemos medido el tiempo que tomaba a los camiones completar el circuito desde que terminaban de ser cargados hasta que retornaban a la zona de carga, es decir, “b + c”.

Para simplificar el problema vamos a suponer que las condiciones de la zona de descarga permiten que el tiempo empleado sea mínimo, por lo tanto la variabilidad del tiempo “c” no influye mayormente en el proceso de transporte por lo cual no la mediremos.

El efecto de la variabilidad de los camiones en “b + c” se puede medir en “d” y mas precisamente, al restar el tiempo de acomodo del camión.

Es práctica común calcular el N° de camiones necesarios para una operación calculando el tiempo de un ciclo completo. Pero esto significa que estamos aceptando que las esperas en la zona de carga, tanto de excavadora como de los camiones, pertenecen a la condición de variabilidad natural,<sup>5</sup> y esto no es correcto.

Debemos entonces encontrar **Un Método** que nos permita medir lo que sucede en la zona de carga para conocer la variabilidad de la excavadora y los camiones, lo cual resolvimos de la siguiente manera:

---

<sup>4</sup> Esto se observa en el Capítulo IV, por la tendencia que se muestra en los gráficos 4b, 4c, 4d, 4e, 4f, y 4g al tener un CV elevado al inicio y disminuir al incrementar la distancia.

<sup>5</sup> Variabilidad natural o común: es inherente al proceso, es por causas comunes y no se puede hacer nada para evitarlas.

Formato de Medición<sup>6</sup>

Nº de Foto	Hora	CE	CC	Camión	Observaciones
1					
2					
3					
4					
5					

Descripción

- Nº de Foto: es una foto estadística y el periodo depende básicamente del peso de la excavadora y de la precisión que se requiera.
- Hora: Indica el inicio de la toma de fotos estadísticas y se recomienda hacer la anotación cada 20 ó 30 minutos para revisar si se ha tomado el número correcto de fotos estadísticas.
- CE: Indica la situación del camión desde su arribo a la zona de carga: (1, 2, 3, 4) indica el Nº de camiones esperando, (0) indica que no hay camión alguno esperando.
- CC: Indica la situación de la excavadora, solo puede ser (0), lo que quiere decir que no está cargando ó (1) lo cual quiere decir que está cargando.
- Camión: Se anota la placa o código del camión cuando sale de la zona de carga.
- Observaciones: Se indica si un camión sale por desperfectos o la excavadora para por fallas mecánicas o mantenimiento. En ese momento se interrumpe la toma de data.

Ejemplo:

<i>Camiones</i>		<i>Excavadoras</i>	
1	,	1	
1	,	0	} Periodo de tiempo para acomodar un camión
1	,	0	
1	,	0	
0	,	1	

<sup>6</sup> Este formato es creación del autor y su implementación brinda información útil para hacer las mejoras correspondientes.



Es necesario indicar que el tiempo de viaje de ida y retorno (que incluye el tiempo en el botadero pero excluye el tiempo en la zona de carga) es medido para conocer el real CV.

Con este formato de medición, tomando fotografías estadísticas cada 15 segundos<sup>7</sup>, pudimos obtener la siguiente información:

1. Tiempo total de carga
2. N° de camiones cargados
3. Tiempo promedio de carga
  - 3.1. Desviación estándar
  - 3.2. Coeficiente de variación
4. Tiempo total de camión en espera
5. Tiempo total de acomodo de camión
6. Tiempo promedio de acomodo
7. Tiempo total de espera de la excavadora
8. Tiempo promedio de viaje ( b + c )
  - 8.1. Desviación estándar
  - 8.2. Coeficiente de variación
9. Tiempo de observación
10. Número de camiones cargados por hora.

El formato incluido en el Anexo “B” permite responder a todas estas interrogantes. Para evitar la estacionalidad originada por: Día de la semana, turno de día o de noche, operador y otros factores externos, nuestro periodo de medición abarcó 30 días continuos durante las 24 horas.

---

<sup>7</sup> El período depende del objeto bajo observación

Por nuestro estudio podemos afirmar que el Gráfico 5.2a es el que mejor representa la correlación existente entre la distancia (considera el tiempo que toma completar “b + c”) y su coeficiente de variación. Se observa que, para similares condiciones, a distancias mayores el coeficiente de variación es menor. Debe entenderse que estas son expresiones promedio. Para un circuito determinado podrían ser bastante diferentes, dependiendo, básicamente, de la eliminación de las causas de variabilidad no comunes.

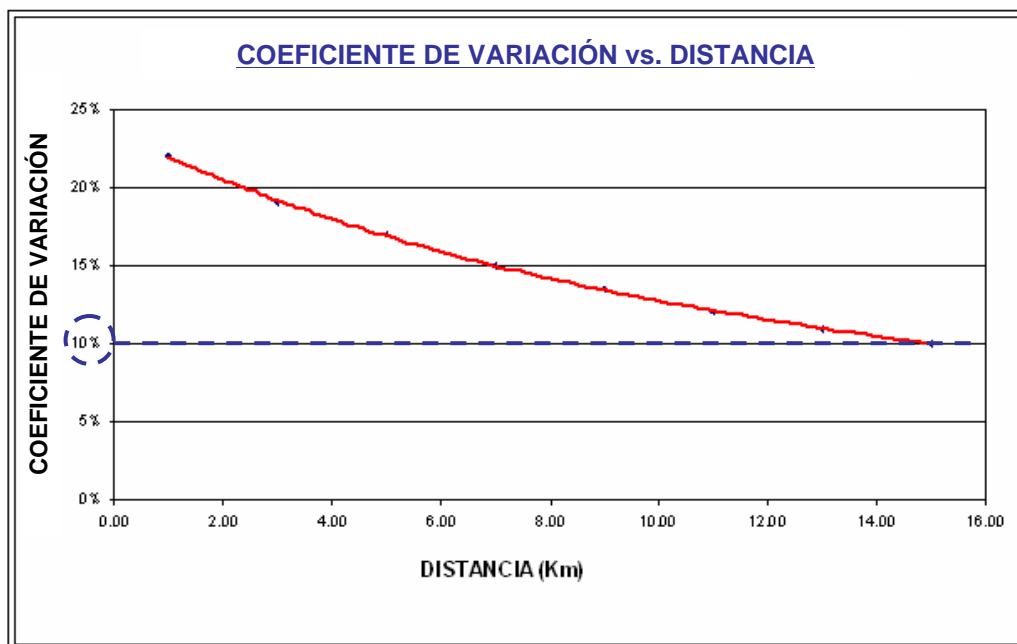


Gráfico 5.2a

Fuente: Propia  
Datos: Resumen Total del análisis de información utilizando el formato.  
Fecha: 2002 – 2003 – 2004 – 2005 – 2006 – 2007.

### 5.3. Propuesta para la reducción de la variabilidad y su influencia

Luego de muchos análisis utilizando un simulador<sup>8</sup> y de verificaciones en terreno, hemos podido comprobar que la manera correcta de reducir el perjuicio de la variabilidad en el transporte es manipulando la frecuencia inicial de los camiones. En realidad lo que se busca es que en terreno se alcance la capacidad teórica de producción de los camiones, evitando las esperas innecesarias que lo único que agregan es costo.

<sup>8</sup> El simulador usado es el ProModel del Dr. Julio Martines de la Virginia Polytechnic University

Si la variabilidad en el proceso transporte origina que los camiones se separen unos de otros (también se debe entender que se “juntan”), entonces debemos calcular una separación inicial que absorba los efectos negativos de la variabilidad.<sup>9</sup>

El gráfico J muestra el resultado de nuestro trabajo, en el cual proponemos una frecuencia de camiones en función del tiempo promedio del ciclo de transporte<sup>10</sup> y el Coeficiente de Variación del mismo.

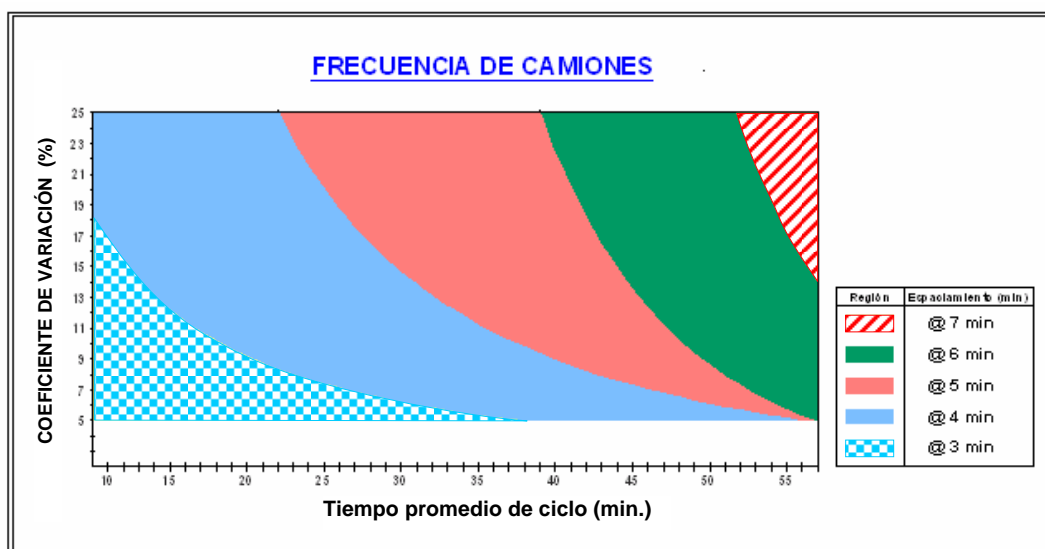


Gráfico 5.3a

Fuente: Propia  
Datos: Resumen Total del análisis de información utilizando el formato de medición.  
Fecha: 2002 – 2003 – 2004 – 2005 – 2006 – 2007.

El gráfico es una forma práctica para elegir la frecuencia de los camiones; con sólo conocer el tiempo promedio de ciclo que se muestra en el eje de las abscisas y el coeficiente de variación el cual podemos deducir de acuerdo a las condiciones de la zona de trabajo, pues de esto dependerá un mayor coeficiente de variación, elegiremos para un mismo tiempo de ciclo una frecuencia de los camiones que puede ser distinta dependiendo de las características de la zona de trabajo.

<sup>9</sup> Similar a lo expuesto anteriormente donde la variabilidad en la zona de carga es absorbida por la variabilidad en el transporte.

<sup>10</sup> Para este caso, el ciclo de transporte incluye: el tiempo de acomodo y carga, el tiempo de ida cargado, el tiempo de descarga y el tiempo de regreso descargado.

El tiempo de separación ( $t_s$ ) así obtenido, no debe ser en ningún caso menor a la suma del tiempo requerido para cargar el camión mas el tiempo de acomodo del mismo.

**Ejemplo:**

El caso de la mina “A” de donde se tiene que transportar material a una distancia “d”. El tiempo promedio del ciclo de transporte es de 30 minutos, es decir que, son 30 minutos los que demora un camión en completar un ciclo.

En caso se tenga un clima severo (lluvia, nieve) y condiciones de transporte difíciles (suelos con un Coeficiente de Resistencia a la Rodadura alto) entonces esto afectará la confiabilidad de obtener ciclos de transporte uniformes; por lo que el coeficiente de variación será elevado.

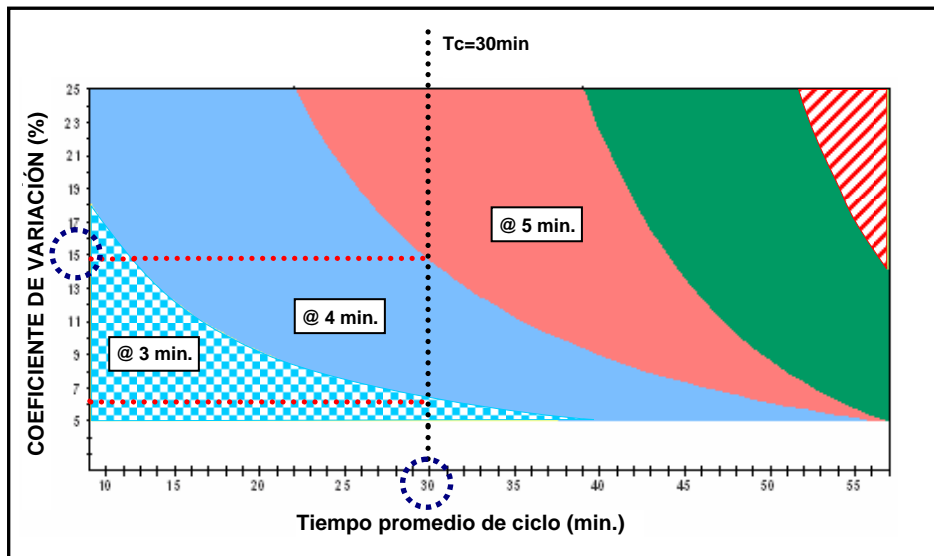


Gráfico 5.3b

En nuestro caso consideramos que hay clima lluvioso por lo que el coeficiente de variación es elevado. Considerando que el CV es mayor a 15% entonces la frecuencia de los camiones será de 5 minutos.

***CAPÍTULO VI***  
***APLICACIONES COMPLEMENTARIAS***

El concepto de Sistemas y la Teoría de Restricciones nos enseñan que el objetivo principal debe ser único para todos los procesos y que el objetivo de cada proceso debe estar subordinado al objetivo principal.

Para nuestra operación de excavación – carguío y transporte lo que se debe buscar es el menor costo posible del conjunto.

**III. El objetivo de la operación es que se obtenga el menor costo posible por tonelada excavada – cargada y transportada, en el plazo previsto.<sup>1</sup>**

### 6.1. Demostración literal del N° de camiones más conveniente

Encontrar la situación ideal de combinación excavadora - número de camiones puede ser muy difícil<sup>2</sup>, por lo que la mejor decisión a tomar será aquella que resulte en el costo operativo más cercano al mínimo. Afirmamos esto porque matemáticamente la solución óptima podría pertenecer al mundo de los números reales positivos mientras que la solución a adoptar pertenece al mundo de los enteros positivos.

Para realizar éste análisis vamos a partir del supuesto que la solución óptima existe (casi siempre desconocida para nosotros) y que deseamos tomar la mejor decisión desde el punto de vista económico.

**Para la solución óptima podemos establecer lo siguiente:**

- Costo horario de la excavadora = E
- Número de camiones = C
- Costo horario de 1 camión = c
- Costo horario total de camiones =  $C \cdot c = V$
- Cantidad transportada en situación óptima = T

---

<sup>1</sup> Este es nuestro objetivo y debemos de trabajar con el fin de lograrlo; para esto debemos disponer de nuestros recursos de modo que los esfuerzos de cada uno de ellos esté dirigido a este fin. Una mejora local no necesariamente implica una mejora global pero una mejora global con seguridad implicará varias mejoras locales (no debemos enfocarnos en mejorar la parte sino enfocarnos en mejorar todo el conjunto). Es por eso que la mejor manera será buscando el menor costo de la operación completa.

<sup>2</sup> Debido a la gran cantidad de factores que influyen en el proceso como: Las especificaciones de los equipos, tipo de material a transportar, clima, altitud, operador, estado del camino, pendientes, estado de los equipos.

- Costo por unidad excavada y transportada  
 en situación óptima  $= (E + V) / T$

Vamos a tratar 02 casos opuestos para ayudar a seleccionar el número más apropiado de camiones para una operación de excavación – carguío y transporte.

**Caso A**

Qué sucede si colocamos un camión adicional al número óptimo?

Lo que realmente va a suceder es que este camión adicional lo único que va a aportar es que existan esperas en el lugar de carga y descarga. En suma, la producción no se va a incrementar pero sí el costo total y, por ende, el costo por Tn excavada y transportada.

En este caso tendremos:

- Costo total horario  $= E + (C + 1)*c = E + V + c$
- Costo Tn excavada y transportada  $= (E + V + c) / T$  .....(i)

**Caso B**

Qué sucede si colocamos un camión menos que el número óptimo?

Lo que va a suceder es que el costo total se reducirá en una cantidad igual al costo horario de un camión, pero la producción total también se reducirá por el aporte que deja de hacer el camión faltante.

Luego, tendremos:

- Costo total horario  $= E + (C - 1)*c = E + V - c$
- Costo Tn excavada y transportada  $= (E + V - c) / [T*(C - 1) / C]$  .....(ii)

Bajo el principio natural de hacerlo bien y luego rápido, es lógico elegir llegar al límite de camiones (número óptimo) de menos a más, por lo que se torna necesario encontrar la combinación que permita que el costo del Caso A sea siempre mayor o, a lo sumo, igual al costo del Caso B; así:

$$(E + V + c) / T \geq (E + V - c) / [T*(C - 1) / C] \text{ .....(iii)}$$

Desarrollando obtendremos que (iii) es válido cuando,

$$E + c \leq V \dots\dots\dots (iv)$$

El gráfico 6a muestra lo que ocurre en los casos A y B:

- Espera de excavadora. La producción horaria y el costo de los camiones decrecen de acuerdo al menor número de camiones. El costo de la excavadora por tonelada excavada y cargada se incrementa por el menor número de camiones. Otro efecto negativo y no menos importante es el mayor tiempo total, el cual se incrementa en relación inversa al número de camiones
- Esperas de camiones. La producción horaria no se incrementa. El costo por tonelada excavada y cargada permanece constante. Se incrementa el costo por tonelada transportada.

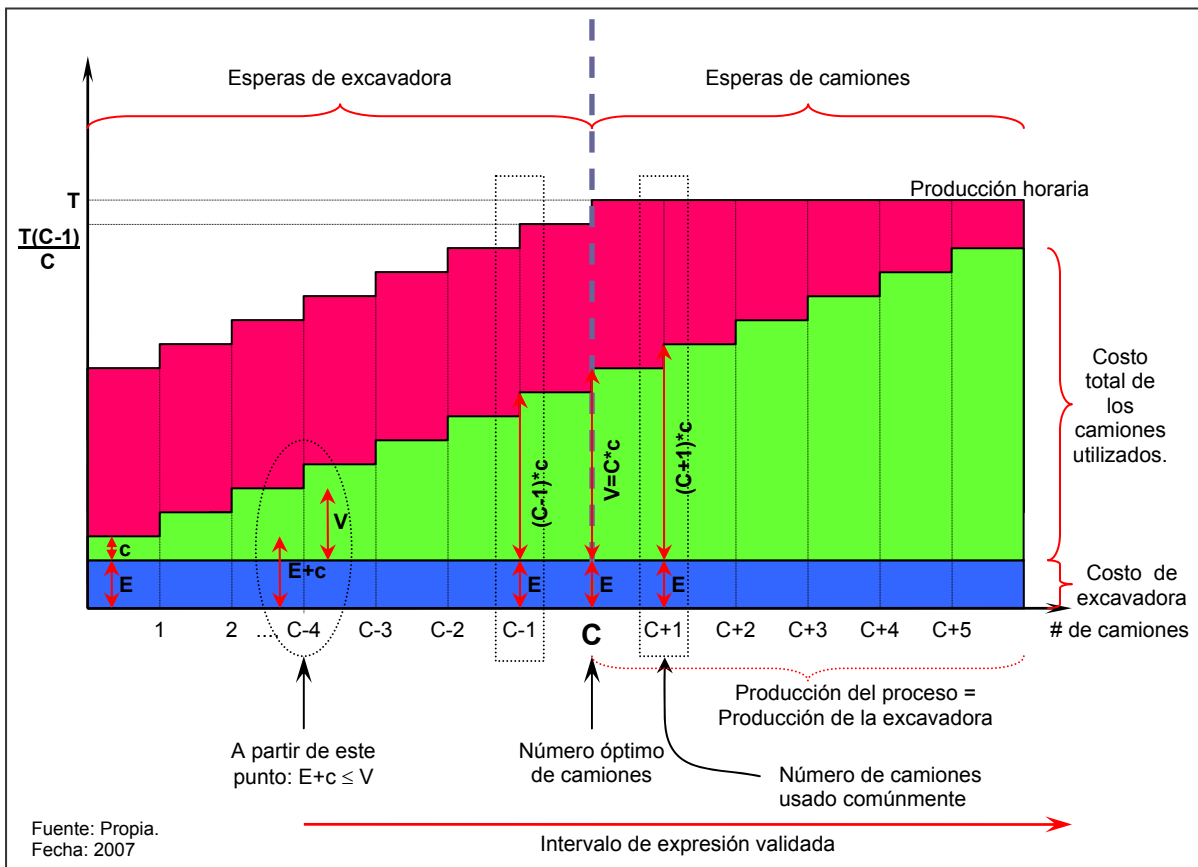


Gráfico 6a



**IV. Podemos concluir que, siempre que lo indicado en (iv) sea válido, el costo de utilizar un camión adicional al óptimo será más caro que utilizar un camión menos que el óptimo.**

### 6.2. Demostración numérica del N° de camiones más conveniente

Los casos A y B mostrados literalmente los vamos a desarrollar en forma numérica para demostrar la variación de los costos por tonelada excavada – cargada y transportada en función del número de camiones.

#### Ejemplo A:

Supongamos que existe la siguiente combinación óptima para una situación dada:

$$E = \$ 80 \qquad V = 30 * 12 = \$ 360$$

$$c = \$ 30 \qquad E + c = 110 < 360$$

$$C = 12$$

Cada camión transporta una carga neta de 20 tn. y realiza dos ciclos de transporte por hora.

De acuerdo a los datos y a la evaluación de la ecuación (IV) debería ser más conveniente utilizar un camión menos que el óptimo.

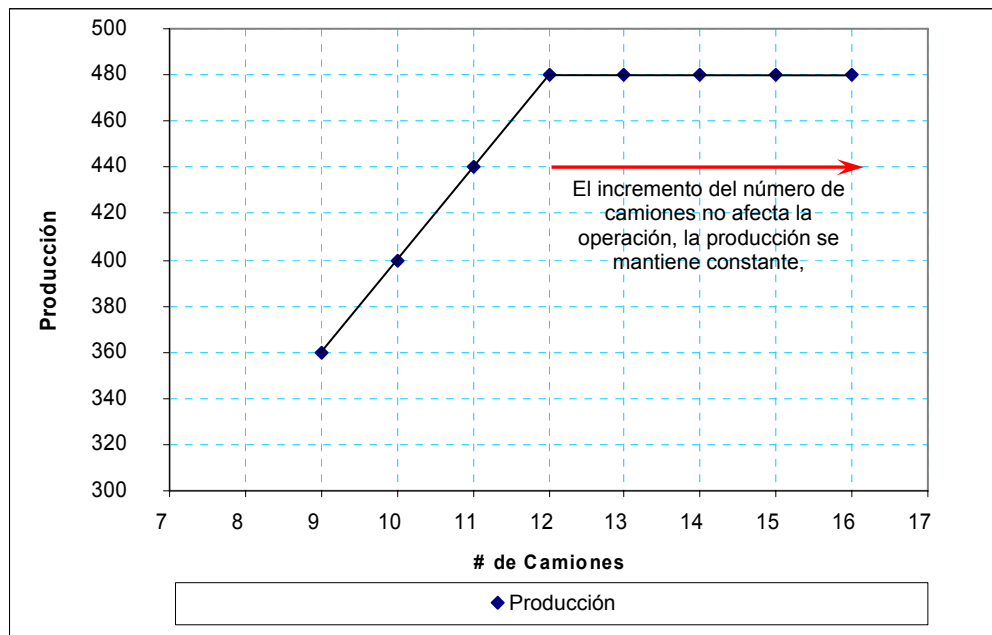


Gráfico 6b: Producción horaria del equipo en el ejemplo A

Tabla 6a: Gráfico resumen del ejemplo A										
						Condición Óptima				
Costo horario de excavadora	E	\$	80	80	80	80	80	80	80	80
Número de camiones	C	#	9	10	11	12	13	14	15	16
Costo horario de 01 camión	c	\$	30	30	30	30	30	30	30	30
Costo horario de camiones	V=C*c	\$	270	300	330	360	390	420	450	480
Cantidad Transportada		m <sup>3</sup>	360	400	440	480	480	480	480	480
Costo por unidad excavada y transportada		\$/m <sup>3</sup>	0.972	0.950	0.932	0.917	0.979	1.042	1.104	1.167
Condición	V - (E+c)	> 0	160	190	220	250	280	310	340	370

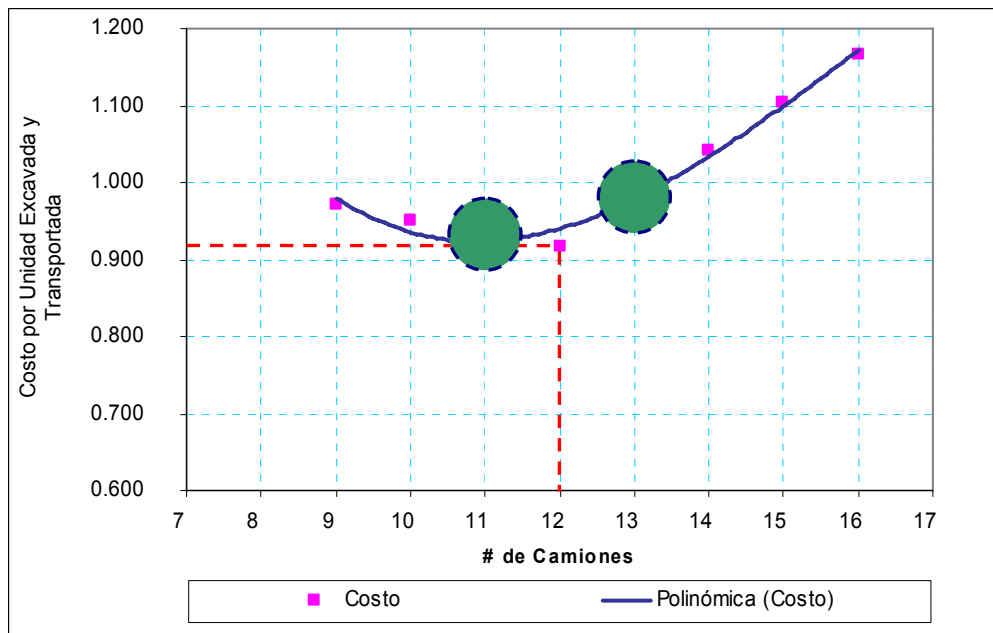


Gráfico 6c: Costo por unidad excavada y transportada en el ejemplo A

$$\text{Óptimo} \rightarrow \$ / \text{Tn} = (80 + 360) / (12 * 40 \text{ Tn/h}) = 0.9167$$

$$(+ 1) \rightarrow (80 + 360 + 30) / 480 = 0.9792$$

$$(- 1) \rightarrow (80 + 11*30) / (480 * 11/12) = 0.9318$$

### Ejemplo B:

Supongamos que existe la siguiente combinación óptima para una situación dada:

$$E = \$ 80$$

$$V = 30 * 3 = \$ 90$$

$$c = \$ 30$$

$$E + c = 110 > 90$$

$$C = 3$$

Cada camión transporta una carga neta de 20 tn. y realiza cuatro ciclos de transporte por hora.

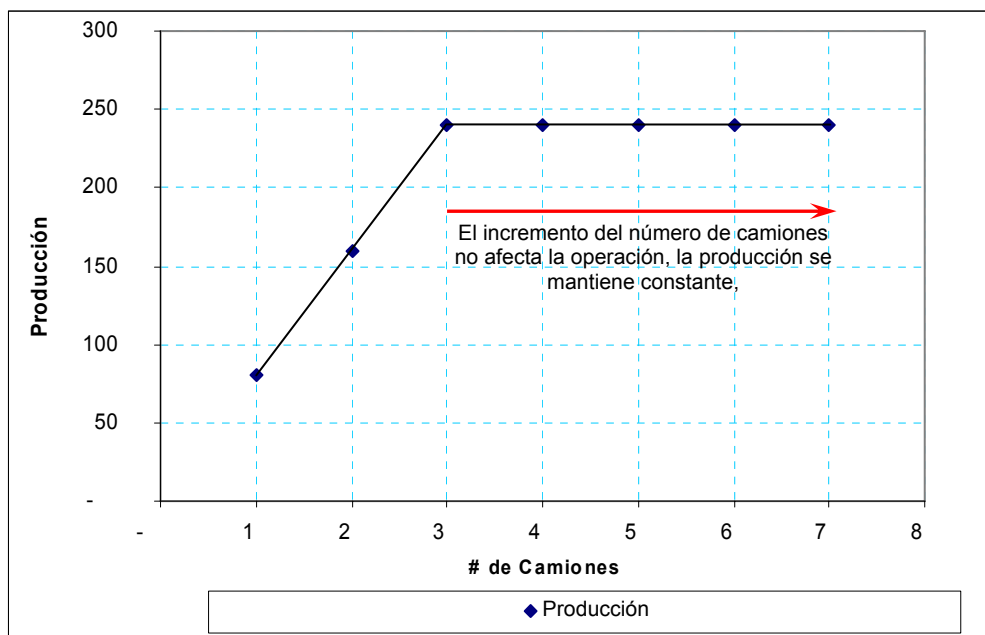


Gráfico 6d: Producción horaria del equipo en el ejemplo B

					Condición Óptima					
Costo horario de excavadora	E	\$	80	80	80	80	80	80	80	80
Número de camiones	C	#	1	2	3	4	5	6	7	
Costo horario de 01 camión	c	\$	30	30	30	30	30	30	30	30
Costo horario de camiones	V=C*c	\$	30	60	90	120	150	180	210	
Cantidad transportada		m <sup>3</sup>	80	160	240	240	240	240	240	
Costo por unidad excavada y transportada		\$/m <sup>3</sup>	1.375	0.875	0.708	0.833	0.958	1.083	1.208	
Condición	V - (E+c)	> 0	-80	-50	-20	10	40	70	100	

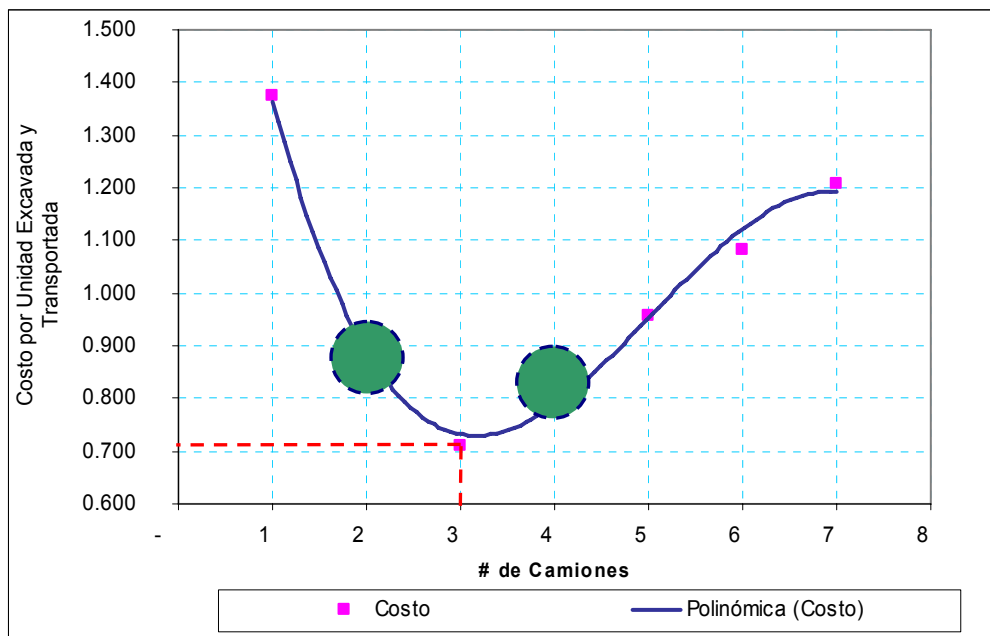


Gráfico 6e: Costo de la unidad excavada y transportada en el ejemplo B

Luego:

$$\text{Óptimo} \rightarrow \$ / \text{Tn} = (80 + 90) / (3 * 80 \text{ Tn/h}) = 0.7083$$

$$(+ 1) \rightarrow (80 + 90 + 30) / 240 = 0.8333$$

$$(- 1) \rightarrow (80 + 90 - 30) / (240 * 2/3) = 0.8750$$

Esto confirma lo expresado en (IV)!!

***CAPÍTULO VII***  
***DETERMINACIÓN DEL EQUIPO A UTILIZAR***

La determinación del equipo a utilizar en una operación de excavación – carguío y transporte es una de las decisiones más difíciles por las consecuencias directas en plazo y costo. En este capítulo vamos a mostrar que con el conocimiento del factor de producción de la excavadora en relación a su peso y el periodo de separación de los camiones, podremos de manera sencilla determinar la flota adecuada.

### 7.1. Excavadora

La producción horaria de una excavadora no está influenciada por el hecho que los camiones estén esperando o haciendo cola para ser cargados; por el contrario sí la afecta la ausencia de los mismos, pero este es un hecho inevitable por la frecuencia necesaria adoptada. Dicho de otro modo, la producción de la excavadora está en función de la capacidad de los camiones y la frecuencia de los mismos.

Hemos podido comprobar, teóricamente y también verificado en terreno, que existe una correlación entre el peso de una excavadora y su producción horaria, tal como se muestra en el gráfico **7.1a**.

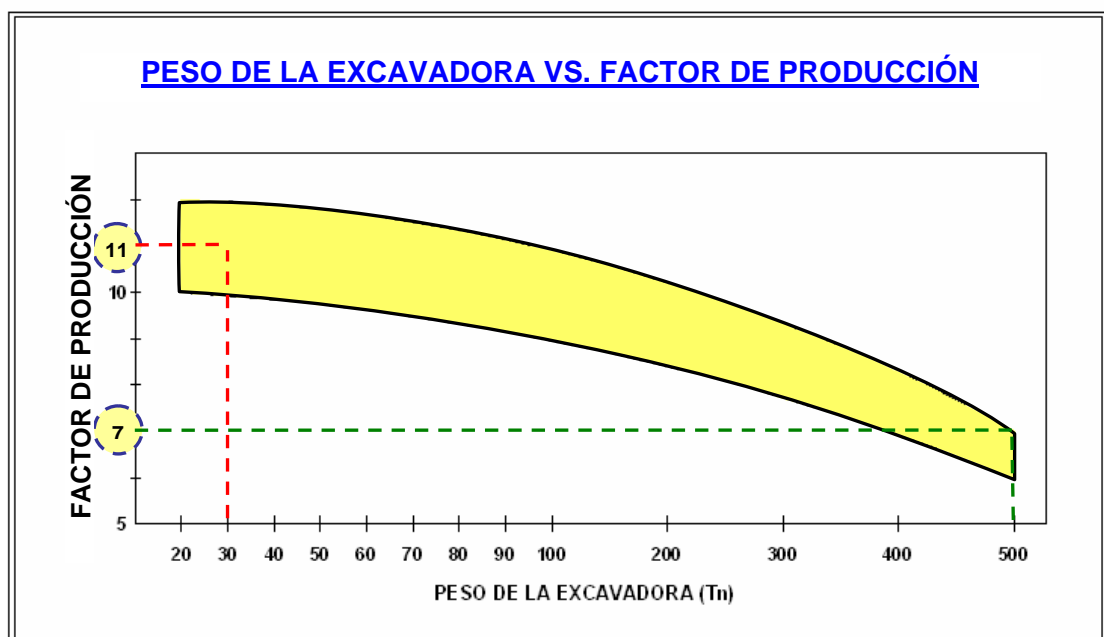


Gráfico 7.1a

Fuente: Propia  
Datos: Caterpillar Technical Handbook, Komatsu Technical Handbook.  
Fecha: 2006

La forma correcta de utilizar este gráfico es obteniendo el peso de la excavadora y multiplicarlo por el factor de producción, calculándose de esta manera la máxima producción horaria. Así, de una excavadora de 500 tn. de peso podría esperarse una producción horaria cercana a las 3,500 tn. ( 500 x 7 ) y, en cambio, para una excavadora de 30 tn. de peso podría esperarse una producción horaria próxima a las 330 tn ( 30 x 11 ).

## 7.2. Camiones

La producción horaria de un camión y por ende del conjunto, está determinado por la capacidad de carga neta y por la frecuencia de los camiones que, dicho de otro modo, nos permite conocer el número máximo de camiones que debemos utilizar en el circuito de trabajo. Por ejemplo, si vamos a utilizar camiones de 26 tn. de carga neta y tenemos un circuito en el cual el tiempo de carga, ida cargado, descarga y retorno descargado es de 20 minutos y con un CV de 18%, podemos concluir entonces, utilizando el gráfico 5.3a, que la frecuencia de los camiones debe ser 4 minutos. Asimismo de lo anterior deducimos que requerimos una excavadora que sea capaz de producir, al menos,  $( ( 60' / 4' ) \times 26 \text{ tn} ) = 390 \text{ tn por hora}$

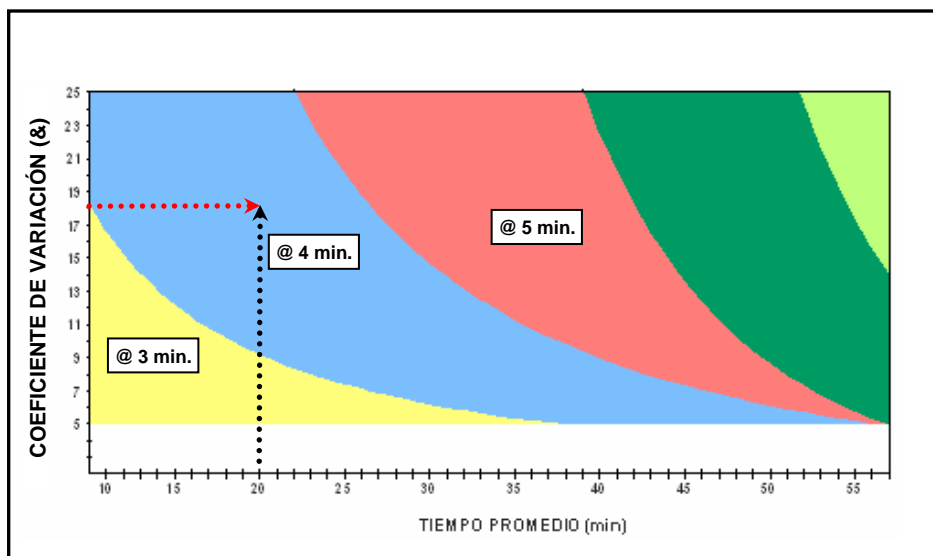


Gráfico 7.2a

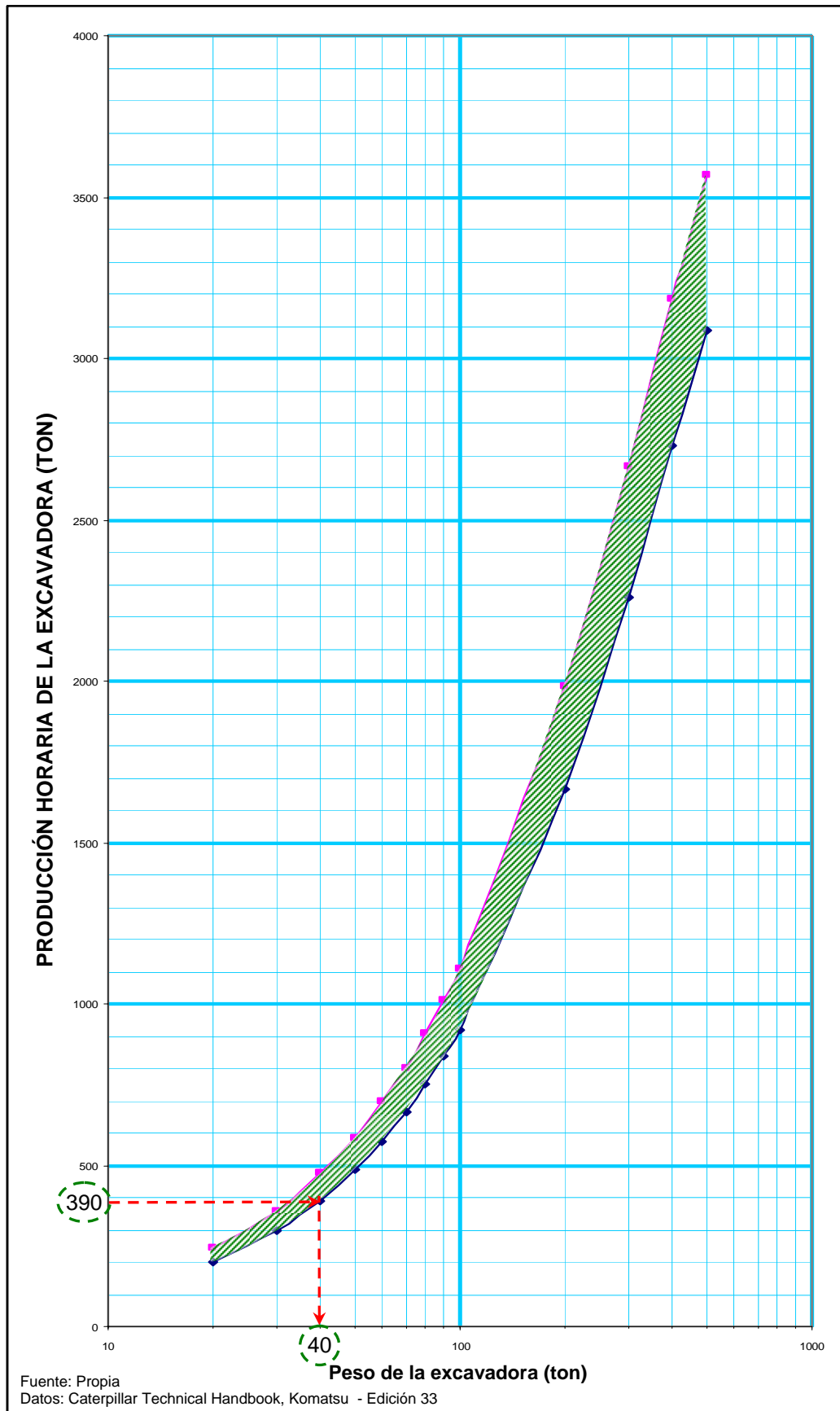


Gráfico 7.2b: Producción horaria Vs. peso de excavadora



De esta manera y con la ayuda del gráfico 7.2a llegamos al requerimiento de una excavadora de 40 tn de peso.

Debemos también tener en cuenta que existe una correlación entre el peso de una excavadora, la potencia del motor, la fuerza de excavación y el tamaño del cucharón. La fuerza requerida en la punta del cucharón depende en mucho del tipo y estado del material a excavar. A mayor resistencia del terreno se requiere mayor fuerza en la punta.

## **CONCLUSIONES**

Luego de estudiar los procesos de excavación – carguío y transporte, la variabilidad asociada y los efectos nocivos podemos concluir en lo siguiente:

1. La utilización del gráfico C1 ayuda a reducir los tiempos de espera de los camiones, manipulando el periodo de los mismos.

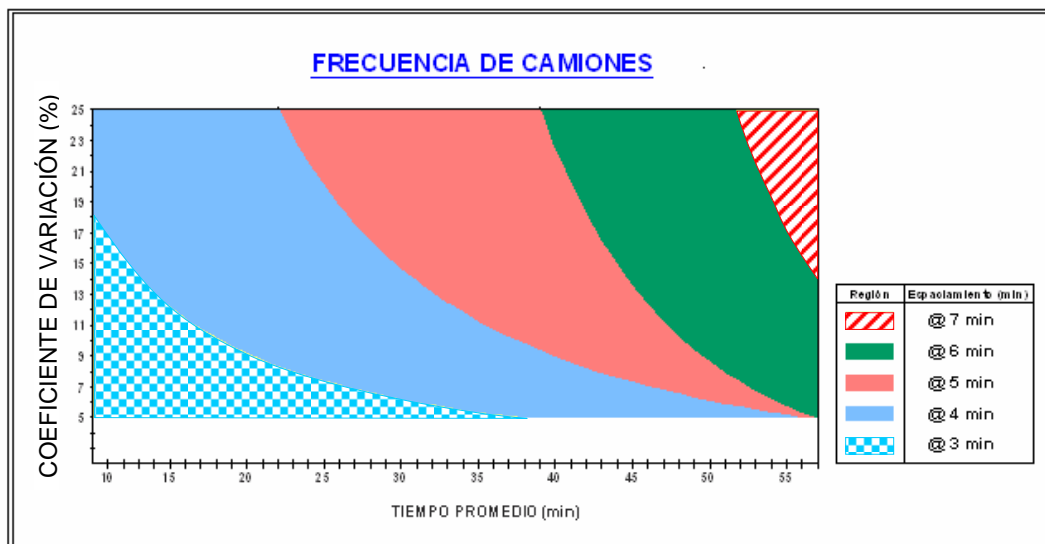


Gráfico C1

Fuente: Propia  
Datos: Resumen total del análisis de información utilizando el formato.  
Fecha: 2002 – 2003 – 2004 – 2005 – 2006 – 2007.

Este gráfico es una base para la elección de la frecuencia de los camiones. El uso del tiempo promedio de ciclo y su relación con el coeficiente de variación, permiten al profesional responsable de la operación decidir la frecuencia de los camiones y por ende, el número óptimo de camiones para la operación.

2. Para la determinación del tamaño o peso de la excavadora se puede usar el gráfico C2.

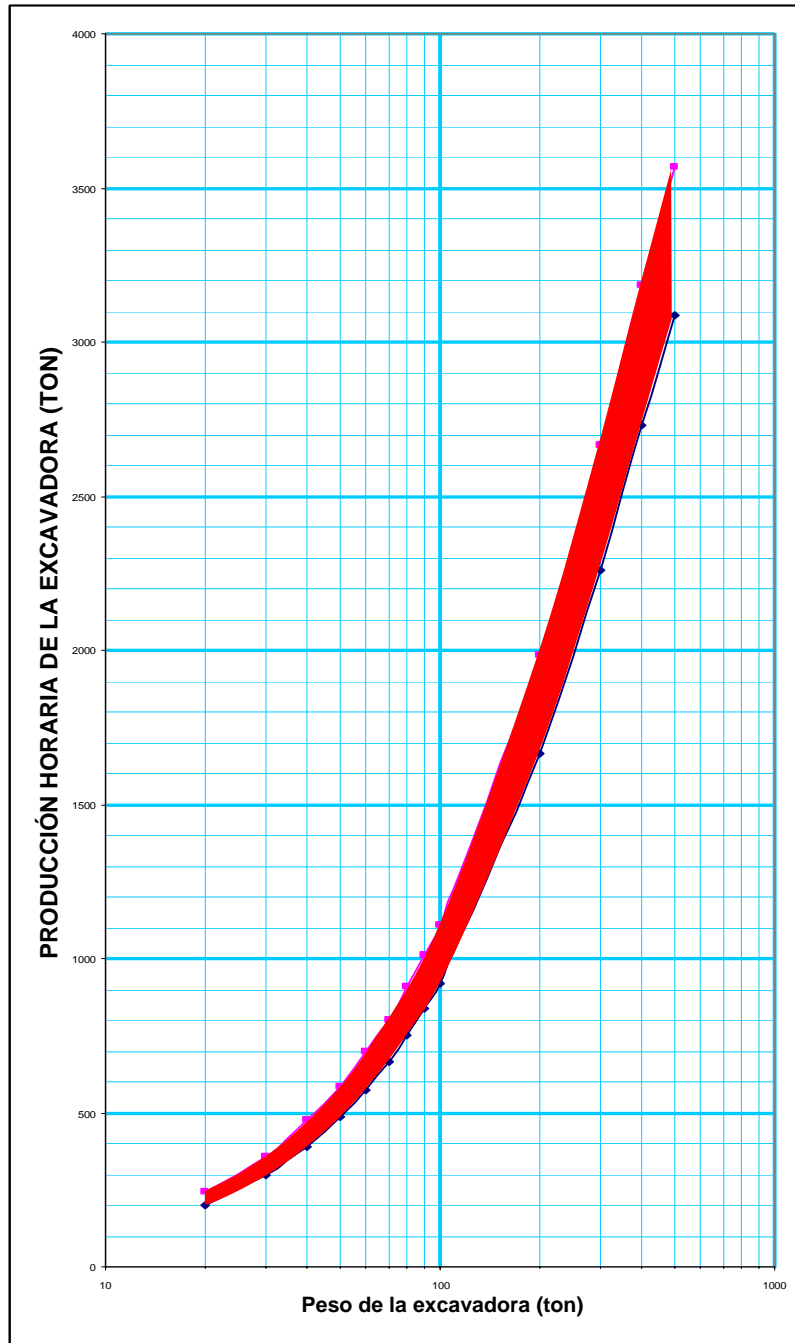


Gráfico C2: Producción horaria vs. peso de excavadora

El Gráfico C2, permite definir el peso de la excavadora adecuada para la operación, conociendo la producción horaria requerida que es función de la capacidad y frecuencia de los camiones.

3. Si tenemos dos puntos de carguío, con diferente distancia de transporte y similar CV, entonces utilizar el equipo de carguío de menor peso para la mayor distancia significará menores costos.
4. Si tomamos en cuenta que el factor de producción de la excavadora decrece con el incremento del peso de la excavadora,

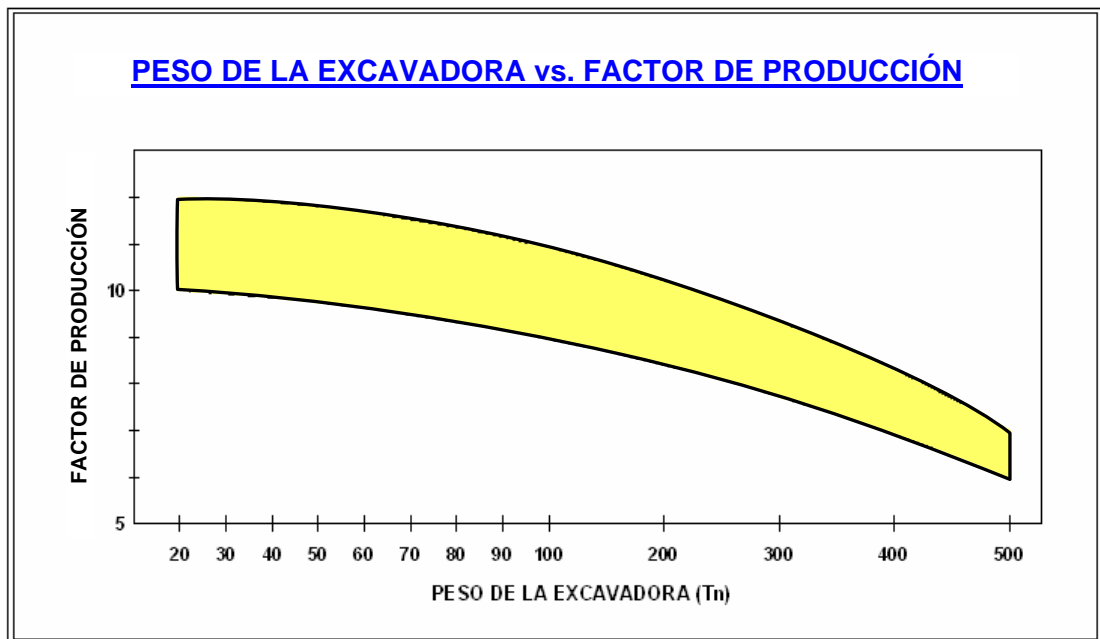


Gráfico C3

Fuente: Propia  
Datos: Caterpillar Technical Handbook, Komatsu Technical Handbook.  
Fecha: 2006

y que el número de HP/Peso de la excavadora (en Tn) también decrece con el incremento del peso de la excavadora,

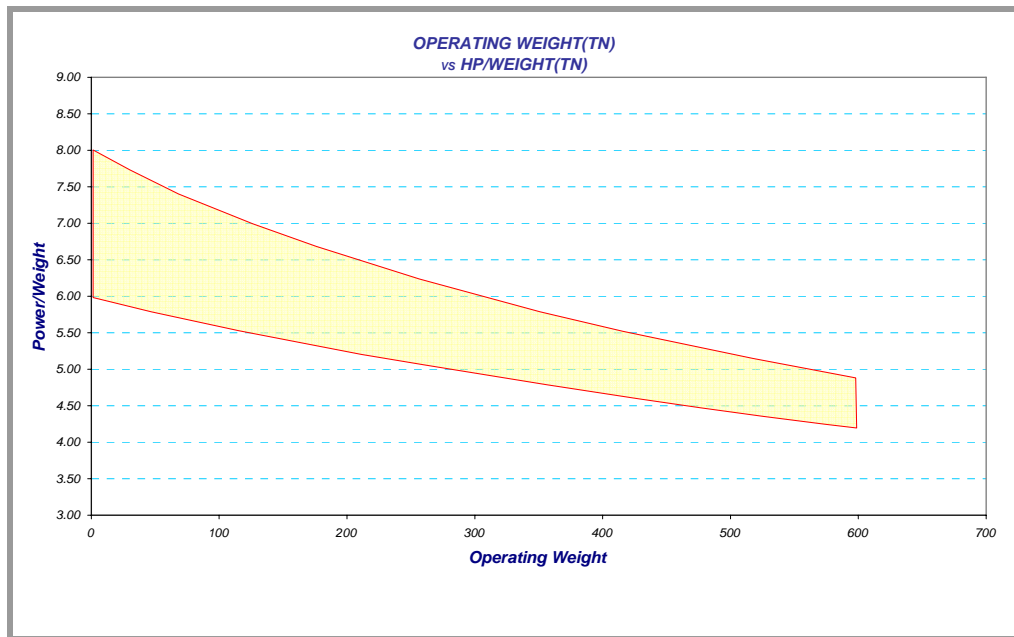


Gráfico C4

Fuente: Propia

Datos: Caterpillar Technical Handbook, Komatsu Technical Handbook, Liebherr Group of Companies, Technical Handbook, Hitachi Excavators, Terex Crawler Excavator.

Fecha: 2006

Podemos concluir que siempre se consumirán similares cantidades de combustible por tonelada de material excavado. Esto se cumple independientemente del tamaño de la excavadora.

5. Como en muchos casos, altos coeficientes de variación en la etapa de excavación – carguío y transporte originan baja productividad y esto se debe al desconocimiento de los ingenieros de la existencia de la variabilidad.

## ***RECOMENDACIONES***

El objetivo de toda operación de excavación – carguío y transporte debe ser el obtener el menor costo por tonelada excavada, cargada y transportada, por lo que recomendamos lo siguiente:

1. La construcción debe ser concebida como un **Sistema** y que, como tal, debe cumplir con los siguientes requisitos:
  - a. Tener un objetivo global.
  - b. Conocer los procesos que la conforman y su interdependencia.
  - c. Definir el subsistema de medición y los parámetros de control.

Hemos podido comprobar que el analizar un proceso separadamente, sin tener en cuenta su interacción con los demás procesos nos conduce a errores. Considerar la Cadena de Producción, sus relaciones de dependencia y la determinación del Proceso Crítico es el mejor camino. Esto nos lleva a un hecho ya conocido:

**VI. Un óptimo local no garantiza el óptimo global. Pero un óptimo global sí significa una reducción real de costos por unidad de producción del sistema.**

El objetivo de cada proceso está subordinado al cumplimiento del objetivo global.

2. Tal como está demostrado en muchos estudios, la **Variabilidad** es parte de la condición humana, de sus actos y, además, se transmite. Nuestras decisiones como administradores de recursos no pueden dejar de considerar la variabilidad, la misma que debe ser medida.
3. Debemos tener en cuenta que el usar el factor de frecuencia para calcular el número de camiones en realidad solo resuelve parte de nuestro problema,



pues evita que agreguemos camiones sin cambios en la producción. Lo que realmente importa es reducir la desviación estándar (*de*)

Para conseguirlo es necesario tener en cuenta que existen dos causas de variabilidad:

- a. La producida por causas comunes y
- b. La producida por causas especiales.

La producida por causas comunes o naturales no se puede evitar, lo mejor que podemos hacer es identificarla y aprovechar su conocimiento. Las posibles fuentes de causas comunes son: la capacidad del operador, el desgaste de la máquina.

En cambio, las producidas por causas especiales se deben y pueden reducir. Sus fuentes más frecuentes son: paradas para recibir órdenes, llenado de combustible, mantenimiento no programado, el estado del camino.

Si logramos eliminar la variación por causas especiales podemos reducir la “*de*” y con ello el coeficiente de variación será menor y mayor la frecuencia de los camiones, logrando reducción de costos.

4. La relación encontrada entre el peso de la excavadora y la capacidad de carga neta de los camiones se cumple muy bien para materiales calcáreos, hormigones, roca fracturada o aquellos bastante compactos.

Cuando el material a excavar es de baja densidad y bastante fragmentado es posible utilizar excavadoras más pequeñas; así por ejemplo un camión de 26 tn. de carga neta podría trabajar con una excavadora de 30 tn. de peso. Pero, esta no es la regla.

5. La frecuencia de los camiones debe ser establecida al inicio de cada turno de operación. Los valores mostrados en las tablas son valores promedio y no pretenden ser absolutos. Se recomienda el monitoreo constante de la

operación, pues las condiciones son cambiantes y podrían determinar que la frecuencia se varíe.

6. Cuando un camión deba salir del circuito por desperfectos, es conveniente reemplazarlo por otro conservando la posición abandonada. Igual sucede cuando un camión deba retornar.
  
7. El operador de la excavadora debe ser instruido constantemente para realizar su TNP entre camión y camión.
  
8. Hemos podido demostrar que es posible agregar valor a lo que hacemos eliminando, en primera instancia, aquello que no agrega valor.

**VII. Nuestra organización, como un todo y en cada una de sus partes, debe ser concebida de tal manera que sea factible medir y correlacionar lo que hacemos, lo cual es indispensable para un proceso de Mejora Continua.**

## **GLOSARIO**

**Constructabilidad:** Característica de los proyectos que están pensados para facilitar la etapa de construcción, ya sea por la uniformidad de los elementos o por su factibilidad. También ocurre en la relación entre procesos constructivos.

**Capacidad neta:** La capacidad operativa, la cual puede diferir de la capacidad potencial.

**Coefficiente de Resistencia a la Rodadura - CRR:** Parámetro que nos permite medir la resistencia que ofrece el suelo al rodamiento de un equipo.

**Cuello de botella:** Proceso que determina la capacidad de la cadena de producción.

**Carguío:** Operación de llenado de la tolva de un camión de transporte

**Curvas de producción:** Son resultado de elaborados estudios de los fabricantes de equipos, que permiten correlacionar la producción horaria de un equipo con la tarea a ejecutar.

**Distribución probabilística:** Histograma de frecuencias

**Efecto dominó:** Acción por la cual un efecto indeseado en un proceso determinado repercute negativamente en los procesos siguientes.

**Estacionalidad:** Factor externo que afecta el histograma de frecuencias.

**Excavación:** Acción de Corte de material en su estado natural mediante el uso de una pala mecánica o excavadora

**Flujos:** Movimientos de recursos para ejecutar un proceso o actividad.

**Hoja de corte:** Accesorio del tractor que le permite cortar y empujar. Está definido por su volumen y tipo: Universal, Semi - Universal y Recta.

**Inventario:** Cantidad de material que se acumula en una estación de trabajo cualquiera.

**Lote de transferencia:** Cantidad de producción que el proceso (i) transfiere al proceso (i+1)

**Operating weight:** Peso de operación de cualquier equipo, definido en los catálogos de los fabricantes.

**Productividad:** Es el cociente de los productos obtenidos entre los insumos utilizados

**Punta del cucharón:** Herramientas instaladas en el extremo del cucharón de una excavadora y que sirven para penetrar en el material a excavar.

**Retrabajos:** Acción de volver a ejecutar una tarea ya realizada.

**Ripper:** Accesorio del Tractor que le permite desgarrar el suelo

**Soft soil:** Material inmediatamente inferior al Top soil, compuesto generalmente por limos y arcillas saturadas.

**Throughput:** Producción de salida por unidad de tiempo de un proceso cualquiera, ya sea final o intermedio.

**Top soil:** Es la capa superficial de los terrenos de nuestra serranía alta, está compuesto por vegetación (ichu) y de un espesor promedio de 50 cm. de material orgánico.

**Velocidad de Refracción Sísmica:** Velocidad de propagación de las ondas sísmicas en distintos materiales.

**Waste:** Material mineralizado nocivo para el proceso de lixiviación

## ***BIBLIOGRAFÍA***

**Libros:**

1. **Alarcón, Luis Fernando**, Lean Construction  
A.A. Balkema Publishers, Rotterdam – Netherlands, 1997
2. **Deming, W. Edwards**, Out of the Crisis  
The M.I.T. Press – Center for Advanced Educational Services  
Massachusetts – U.S.A., 1982
3. **Deming, W. E.**, The New Economics for Industry, Government, Education  
The M.I.T. Press – Center for Advanced Educational Services  
Massachusetts – U.S.A., 1994
4. **Domínguez Machuca, José Antonio**, Dirección de Operaciones  
Mc Graw – Hill / Interamericana de España S.A., Madrid – España, 1995
5. **Evans, M. - Hastings, N. - Peacock, B.**, Statistical Distributions  
Wiley – Interscience Publication. Jhon Wiley & Sons Inc.  
New York – U.S.A., 2000
6. **Glasser, William**, Control Theory  
Perennial Library, New York – U.S.A., 1984
7. **Goldratt, Eliyahu M.**, Critical Chain  
North River Press Publishing Corporation, New York – U.S.A., 1997
8. **Goldratt, Eliyahu M.**, The Goal  
North River Press Inc., New York – U.S.A., 1983
9. **Goldratt, Eliyahu M.**, The Race  
North River Press Inc., New York – U.S.A., 1986
10. **Goldratt, Eliyahu M.**, Theory of Constraints  
North River Press Inc., New York – U.S.A., 1990

11. **Lepore, Domenico – Cohen Oded**, Deming and Goldratt: The Theory of Constraints and The System of the Profound Knowledge.  
North River Press Publishing Corporation, New York – U.S.A., 1999
  
12. **Oglesby, Clarkson H. – Parker, Henry W. – Howell, Gregory A.**  
Productivity Improvement in Construction  
Mc Graw – Hill Book Company, New York – U.S.A., 1989
  
13. **Serpell Bley, Alfredo**  
Administración de Operaciones de Construcción  
Ediciones Universidad Católica de Chile, Chile, Diciembre 1993
  
14. **Ya-Lun, Chou**, Análisis Estadísticos  
Nueva Editorial Interamericana S.A., México D.F. – México, 1972

### **Handbooks**

1. **Caterpillar Inc.**, Caterpillar Performance Handbook  
Illinois – U.S.A., Abril 2006
  
2. **Komatsu Inc.**, Technical Handbook  
Japón, 2005
  
3. **Liebherr Group of Companies**, Technical Handbook  
Alemania, 2005
  
4. **Scania Group**, Scania Performance Handbook  
Sweden, 2005
  
5. **Volvo Group**, Volvo Performance Handbook  
Sweden, 2005



**Páginas Web:**

1. Crawler Excavators  
<http://www.komatsu.com>
  
2. Crawler Excavators  
<http://www.liebherr.com>
  
3. Excavator  
<http://www.terex.com>
  
4. Hydraulic Excavators  
<http://www.cat.com>
  
5. Loading Shovels  
<http://www.hitachi-c-m.com>

**ANEXOS**

## **ANEXO A**

### ***Presentación de los primeros y últimos 400 datos utilizando el Método Tradicional de Colección de Datos.***

La data que se incluye en el presente anexo representa la operación de carguío y transporte en la mina Yanacocha, desde Noviembre del 2000 hasta Abril del 2002. La medición se realizó por el método tradicional, el cual considera las esperas que ocurren en la zona de carga (variabilidad inducida) como parte del proceso.

En el Capítulo IV se hace mención a este anexo.

La distancia que se muestra en la columna 7 es en un solo sentido.  $T_{cy}$  significa el tiempo promedio por cada viaje.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Mes	Periodo	Fecha	Cod. Equipo	Tipo Material	Viajes	Dist.(km)	Horas	Tcy (Min)
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035084		8.00	2.80	2.50	18.75
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035084	Top Soil	2.00	3.00	1.50	45.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035084	Waste	4.00	0.25	1.08	16.25
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035084	Waste	13.00	0.30	4.00	18.46
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035085	Top Soil	15.00	3.75	8.83	35.33
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035087	Top Soil	17.00	3.75	9.58	33.82
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035087	Waste	2.00	0.70	0.33	10.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035087	Waste	1.00	7.10	1.00	60.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035087	Waste	2.00	7.10	1.50	45.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035087	Waste	14.00	0.60	1.75	7.50
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035087	Waste	7.00	0.25	2.50	21.43
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035088	Soft Soil	10.00	2.80	3.00	18.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035088	Waste	3.00	8.00	2.50	50.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035088	Waste	4.00	5.85	3.00	45.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035089	Top Soil	16.00	2.30	7.75	29.06
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035089	Waste	5.00	3.00	2.17	26.04
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035089	Waste	11.00	0.25	3.50	19.09
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035090	Top Soil	20.00	6.00	10.00	30.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035090	Waste	27.00	3.50	10.00	22.22
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035091	Top Soil	17.00	3.75	9.83	34.71
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035091	Waste	2.00	0.70	0.42	12.50
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035091	Waste	16.00	0.60	2.00	7.50
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035092	Top Soil	12.00	2.35	4.00	20.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035092	Top Soil	11.00	2.35	4.67	25.45
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035092	Top Soil	18.00	2.30	9.42	31.39
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035093	Waste	26.00	3.50	9.50	21.92
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035093	Waste	30.00	2.60	10.00	20.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035094	Waste	26.00	3.50	9.50	21.92
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035094	Waste	31.00	2.60	10.00	19.35
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035095	Top Soil	19.00	6.00	9.33	29.47
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035095	Waste	27.00	3.50	10.00	22.22
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035097	Top Soil	20.00	6.00	9.92	29.75
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035097	Waste	32.00	2.50	9.50	17.81
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035098	Top Soil	17.00	3.75	9.83	34.71
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035099	Top Soil	17.00	3.75	9.92	35.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035099	Waste	2.00	8.00	2.50	75.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035099	Waste	3.00	5.85	3.00	60.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035099	Waste	9.00	2.80	3.50	23.33
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035100	Top Soil	17.00	6.00	9.00	31.76
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035100	Waste	26.00	3.50	9.50	21.92
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035101	Waste	27.00	3.50	10.00	22.22
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035102	Waste	20.00	5.00	10.00	30.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035102	Waste	29.00	2.60	10.00	20.69
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035103	Top Soil	20.00	6.00	10.00	30.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035103	Waste	20.00	5.00	10.00	30.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035104	Soft Soil	5.00	2.40	2.75	33.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035104	Top Soil	4.00	2.50	2.00	30.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035105	Top Soil	12.00	2.35	3.17	15.83
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035105	Top Soil	12.00	2.35	4.67	23.33
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035105	Waste	3.00	0.30	1.00	20.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035106	Top Soil	18.00	2.30	9.08	30.28
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035107	Top Soil	12.00	2.35	3.92	19.58
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035107	Top Soil	12.00	2.35	4.67	23.33
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035107	Top Soil	19.00	2.30	9.45	29.84
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035107	Waste	2.00	0.30	1.00	30.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035108	Top Soil	19.00	6.00	9.83	31.05
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035108	Waste	19.00	5.00	9.83	31.05
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035109	Soft Soil	9.00	2.80	2.92	19.44
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035109	Top Soil	19.00	2.30	9.42	29.74
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035109	Waste	2.00	8.00	2.42	72.50
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035109	Waste	4.00	5.85	3.08	46.25
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035110	Waste	23.00	4.50	10.00	26.09
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035110	Waste	27.00	3.50	10.00	22.22
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035112	Soft Soil	5.00	2.40	2.75	33.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035112	Top Soil	4.00	2.50	2.00	30.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035112	Top Soil	15.00	4.10	9.08	36.33
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035113	Top Soil	12.00	2.35	3.75	18.75
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035113	Top Soil	9.00	2.35	4.67	31.11
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035113	Top Soil	19.00	2.30	9.50	30.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035114	Waste	14.00	3.50	5.25	22.50
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035114	Waste	23.00	4.50	10.00	26.09
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035115	Top Soil	16.00	6.00	9.83	36.88
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035115	Waste	13.00	3.50	5.33	24.62
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035118	Top Soil	16.00	6.00	9.75	36.56
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035118	Waste	16.00	3.50	5.50	20.63
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035119	Top Soil	16.00	6.00	9.67	36.25
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035119	Waste	16.00	3.50	5.50	20.63

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Mes	Periodo	Fecha	Cod. Equipo	Tipo Material	Viajes	Dist.(km)	Horas	Tcy (Min)
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035120	Top Soil	16.00	6.00	9.75	36.56
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035120	Waste	15.00	3.50	5.33	21.33
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035121	Waste	15.00	3.50	5.50	22.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52035122	Waste	15.00	3.50	5.50	22.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52038001	Soft Soil	5.00	2.40	2.75	33.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52038001	Top Soil	5.00	2.50	2.00	24.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52038006	Waste	2.00	8.00	2.17	65.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52038006	Waste	9.00	2.80	3.00	20.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52038006	Waste	4.00	5.85	3.33	50.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52038006	Waste	59.00	0.60	9.08	9.24
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52038007	Soft Soil	5.00	2.40	2.75	33.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52038007	Top Soil	4.00	2.50	2.00	30.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52038009	Soft Soil	5.00	2.40	2.75	33.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52038009	Top Soil	5.00	2.50	2.00	24.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52038009	Top Soil	15.00	4.10	9.17	36.67
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52038010	Soft Soil	14.00	1.00	4.67	20.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	52038010	Waste	22.00	0.60	4.08	11.14
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	56002001	Soft Soil	21.00	1.10	6.25	17.86
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	56002001	Soft Soil	40.00	1.00	9.67	14.50
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	56002002	Soft Soil	21.00	1.10	6.25	17.86
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	56002002	Soft Soil	38.00	1.00	9.67	15.26
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	56002003	Soft Soil	21.00	1.10	6.25	17.86
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	56002003	Soft Soil	30.00	1.00	8.33	16.67
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	56002004	Soft Soil	20.00	1.10	6.25	18.75
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	56002004	Soft Soil	32.00	1.00	9.67	18.13
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	56002005	Soft Soil	3.00	1.10	1.08	21.67
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	56002006	Soft Soil	30.00	1.00	9.58	19.17
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	56002007	Soft Soil	13.00	1.00	4.42	20.38
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	56002007	Soft Soil	29.00	0.80	7.50	15.52
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	56002007	Waste	2.00	0.70	0.42	12.50
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	56002007	Waste	20.00	0.70	4.33	13.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	56002008	Soft Soil	10.00	0.80	2.67	16.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	56002008	Soft Soil	27.00	1.00	6.58	14.63
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	56002009	Soft Soil	13.00	1.00	4.42	20.38
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	56002009	Soft Soil	31.00	0.80	7.67	14.84
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	56002009	Waste	3.00	0.70	0.50	10.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	56002009	Waste	19.00	0.70	4.00	12.63
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	SCN-08	Waste	18.00	5.00	9.75	32.50
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	SCN-09	Top Soil	4.00	3.00	2.50	37.50
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	SCN-09	Top Soil	15.00	4.10	9.17	36.67
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	SCN-09	Waste	3.00	7.10	2.50	50.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	SCN-09	Waste	6.00	0.25	2.50	25.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	SCN-10	Waste	27.00	3.50	10.00	22.22
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	SCN-10	Waste	30.00	2.60	10.00	20.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	SCN-11	Top Soil	5.00	2.35	2.58	31.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	SCN-11	Top Soil	10.00	2.35	4.00	24.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	SCN-11	Waste	2.00	0.30	1.00	30.00
Nov-00	Lluvia	01-Nov-00	SCN-11	Waste	60.00	0.60	9.00	9.00
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035084	Top Soil	7.00	5.50	5.50	47.14
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035084	Top Soil	15.00	5.15	9.00	36.00
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035085		13.00	4.20	6.50	30.00
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035086	Top Soil	7.00	5.50	5.50	47.14
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035086	Top Soil	15.00	5.15	9.00	36.00
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035087	Waste	16.00	0.60	3.00	11.25
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035087	Waste	12.00	4.20	6.50	32.50
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035088	Top Soil	7.00	5.50	5.50	47.14
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035088	Top Soil	15.00	5.15	9.00	36.00
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035089	Soft Soil	32.00	0.70	9.08	17.03
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035089	Waste	17.00	4.20	10.00	35.29
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035090	Waste	23.00	4.00	10.00	26.09
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035090	Waste	35.00	2.50	10.00	17.14
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035091	Soft Soil	2.00	0.70	0.58	17.40
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035091	Top Soil	16.00	2.35	6.75	25.31
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035091	Waste	3.00	4.20	1.33	26.60
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035092	Soft Soil	4.00	0.70	1.08	16.20
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035092	Soft Soil	31.00	0.70	9.13	17.68
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035092	Top Soil	20.00	2.35	8.17	24.51
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035093	Waste	5.00	5.20	2.00	24.00
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035093	Waste	24.00	3.00	7.00	17.50
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035093	Waste	35.00	2.50	10.00	17.14
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035094	Waste	5.00	5.20	2.00	24.00
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035094	Waste	24.00	3.00	7.00	17.50
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035094	Waste	35.00	2.50	10.00	17.14
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035095	Waste	23.00	4.00	9.92	25.87
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035095	Waste	35.00	2.50	10.00	17.14
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035096	Waste	4.00	5.20	1.75	26.25
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035096	Waste	18.00	3.00	5.00	16.67
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035096	Waste	35.00	2.50	10.00	17.14

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Mes	Periodo	Fecha	Cod. Equipo	Tipo Material	Viajes	Dist.(km)	Horas	Tcy (Min)
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035097	Waste	25.00	3.70	10.00	24.00
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035098	Waste	15.00	0.60	2.92	11.68
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035098	Waste	11.00	4.20	6.67	36.38
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035099	Waste	45.00	0.60	9.83	13.11
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035100	Waste	23.00	4.00	9.92	25.87
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035100	Waste	35.00	2.50	10.00	17.14
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035101	Waste	5.00	5.20	2.00	24.00
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035101	Waste	24.00	3.00	7.00	17.50
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035101	Waste	25.00	3.70	10.00	24.00
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035102	Waste	5.00	5.20	2.00	24.00
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035102	Waste	23.00	3.00	7.00	18.26
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035102	Waste	18.00	5.00	9.75	32.50
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035103	Waste	23.00	4.00	9.75	25.43
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035103	Waste	19.00	5.00	10.00	31.58
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035104	Soft Soil	9.00	4.20	7.33	48.87
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035104	Waste	18.00	4.20	9.33	31.10
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035105	Soft Soil	4.00	0.70	1.33	19.95
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035105	Top Soil	13.00	5.15	5.00	23.08
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035105	Top Soil	20.00	2.35	7.67	23.01
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035106	Soft Soil	14.00	0.70	4.17	17.87
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035106	Top Soil	15.00	4.10	7.23	28.93
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035107	Soft Soil	5.00	0.70	1.33	15.96
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035107	Top Soil	20.00	2.35	7.08	21.24
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035107	Top Soil	15.00	5.15	9.00	36.00
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035108	Waste	5.00	5.20	2.00	24.00
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035108	Waste	25.00	3.00	7.00	16.80
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035109	Soft Soil	33.00	0.70	9.12	16.58
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035110	Waste	5.00	5.20	2.00	24.00
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035110	Waste	13.00	3.00	7.00	32.31
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035110	Waste	35.00	2.50	10.00	17.14
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035112	Top Soil	17.00	4.10	9.83	34.69
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035113	Soft Soil	5.00	0.70	1.33	15.96
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035113	Soft Soil	32.00	0.70	9.22	17.28
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035113	Top Soil	20.00	2.35	7.75	23.25
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035116	Waste	4.00	4.10	2.17	32.55
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52035119	Waste	5.00	4.10	2.50	30.00
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52038002	Soft Soil	9.00	4.20	8.67	57.80
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52038006	Soft Soil	12.00	4.20	9.17	45.85
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52038006	Top Soil	16.00	4.10	9.00	33.75
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52038007	Soft Soil	9.00	4.20	7.33	48.87
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52038007	Top Soil	14.00	4.10	7.28	31.21
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52038009	Soft Soil	10.00	1.00	3.33	19.98
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	52038010	Top Soil	10.00	4.20	4.17	25.02
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	56002001	Soft Soil	38.00	1.00	8.92	14.08
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	56002001	Soft Soil	29.00	1.00	9.50	19.66
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	56002002	Soft Soil	38.00	1.00	8.92	14.08
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	56002002	Waste	50.00	0.70	8.50	10.20
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	56002003	Soft Soil	31.00	1.00	8.75	16.94
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	56002003	Soft Soil	30.00	1.00	9.50	19.00
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	56002004	Soft Soil	27.00	1.00	9.50	21.11
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	56002005	Waste	31.00	0.60	7.00	13.55
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	56002005	Waste	50.00	0.70	8.50	10.20
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	56002006	Soft Soil	20.00	1.00	5.58	16.74
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	56002006	Soft Soil	28.00	1.00	9.33	19.99
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	56002007	Soft Soil	30.00	1.00	8.67	17.34
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	56002007	Soft Soil	28.00	1.00	9.33	19.99
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	56002008	Soft Soil	36.00	1.00	8.42	14.03
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	56002009	Soft Soil	28.00	1.00	9.33	19.99
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	56002009	Top Soil	31.00	0.60	6.67	12.91
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	SCN-08	Waste	23.00	4.00	9.75	25.43
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	SCN-08	Waste	19.00	5.00	10.00	31.58
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	SCN-09		19.00	4.20	10.00	31.58
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	SCN-10	Waste	5.00	5.20	2.00	24.00
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	SCN-10	Waste	25.00	3.00	7.00	16.80
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	SCN-10	Waste	24.00	3.70	9.75	24.38
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	SCN-11	Top Soil	7.00	5.50	1.83	15.69
Nov-00	Lluvia	02-Nov-00	SCN-14	Waste	19.00	5.00	10.00	31.58
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035084	Waste	3.00	9.40	3.17	63.40
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035085	Waste	5.00	0.50	1.50	18.00
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035086	Waste	3.00	9.40	3.17	63.40
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035087	Top Soil	5.00	4.30	3.00	36.00
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035087	Waste	4.00	0.50	1.50	22.50
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035087	Waste	8.00	0.60	1.50	11.25
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035088	Waste	3.00	9.40	3.17	63.40
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035089	Top Soil	6.00	4.30	3.17	31.70
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035089	Top Soil	22.00	2.30	9.60	26.18
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035089	Waste	8.00	0.60	1.50	11.25
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035090	Waste	19.00	5.00	10.00	31.58

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Mes	Periodo	Fecha	Cod. Equipo	Tipo Material	Viajes	Dist.(km)	Horas	Tcy (Min)
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035090	Waste	29.00	2.70	10.00	20.69
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035091	Top Soil	9.00	2.35	3.58	23.87
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035091	Top Soil	10.00	2.40	4.00	24.00
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035091	Top Soil	21.00	2.30	9.50	27.14
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035092	Top Soil	8.00	2.35	3.50	26.25
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035092	Top Soil	11.00	2.40	4.00	21.82
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035092	Top Soil	22.00	2.30	9.55	26.05
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035093	Waste	38.00	2.20	9.83	15.53
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035093	Waste	19.00	5.00	10.00	31.58
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035094	Waste	29.00	2.80	9.50	19.66
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035095	Waste	16.00	2.70	5.83	21.88
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035095	Waste	19.00	5.00	10.00	31.58
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035096	Waste	27.00	3.60	9.42	20.93
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035096	Waste	19.00	5.00	10.00	31.58
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035097	Waste	28.00	2.70	9.92	21.25
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035097	Waste	37.00	2.10	10.00	16.22
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035098	Top Soil	6.00	4.30	3.75	37.50
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035098	Waste	5.00	0.50	1.50	18.00
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035098	Waste	8.00	0.60	1.50	11.25
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035099	Top Soil	5.00	4.30	3.00	36.00
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035099	Waste	4.00	0.50	1.50	22.50
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035099	Waste	8.00	0.60	1.50	11.25
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035100	Waste	29.00	2.70	9.92	20.52
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035100	Waste	30.00	2.80	10.00	20.00
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035101	Waste	29.00	3.60	10.00	20.69
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035101	Waste	30.00	2.85	10.00	20.00
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035102	Waste	32.00	2.50	9.75	18.28
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035102	Waste	28.00	3.60	9.92	21.25
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035103	Waste	29.00	2.85	9.75	20.17
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035103	Waste	29.00	2.70	10.00	20.69
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035104	Top Soil	6.00	4.00	3.28	32.80
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035104	Top Soil	7.00	4.10	3.92	33.60
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035105	Waste	3.00	9.40	3.17	63.40
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035106	Top Soil	6.00	4.00	3.00	30.00
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035106	Top Soil	6.00	4.10	3.83	38.30
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035107	Waste	3.00	9.40	3.17	63.40
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035108	Waste	29.00	3.60	10.00	20.69
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035108	Waste	33.00	2.85	10.00	18.18
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035109	Top Soil	6.00	4.00	3.33	33.30
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035109	Top Soil	6.00	4.10	3.75	37.50
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035109	Top Soil	22.00	2.30	9.78	26.68
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035110	Waste	37.00	2.20	9.33	15.14
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035110	Waste	30.00	2.80	10.00	20.00
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035111	Waste	7.00	2.85	2.50	21.43
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035112	Top Soil	7.00	4.10	3.67	31.46
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035112	Top Soil	21.00	2.30	9.47	27.05
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035112	Waste	10.00	0.60	1.75	10.50
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035113	Top Soil	9.00	2.35	3.58	23.87
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035113	Top Soil	10.00	2.40	4.00	24.00
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52035113	Top Soil	22.00	2.30	9.72	26.50
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52038002	Top Soil	3.00	4.00	1.33	26.60
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52038002	Top Soil	6.00	4.10	3.87	38.70
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52038002	Waste	11.00	0.60	2.00	10.91
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52038006	Top Soil	5.00	4.10	2.25	27.00
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52038006	Top Soil	10.00	2.40	3.58	21.48
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52038010	Top Soil	7.00	2.35	3.00	25.71
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	52038010	Top Soil	10.00	2.40	3.75	22.50
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	56002001	Soft Soil	30.00	1.00	8.17	16.34
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	56002001	Soft Soil	39.00	1.00	8.67	13.34
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	56002002	Soft Soil	30.00	1.00	8.17	16.34
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	56002002	Soft Soil	40.00	1.00	8.75	13.13
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	56002003	Soft Soil	30.00	1.00	8.17	16.34
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	56002003	Soft Soil	37.00	1.00	8.50	13.78
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	56002004	Soft Soil	20.00	1.00	5.58	16.74
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	56002004	Soft Soil	25.00	1.00	8.17	19.61
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	56002005	Soft Soil	12.00	1.00	3.33	16.65
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	56002005	Soft Soil	25.00	1.00	8.17	19.61
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	56002005	Waste	32.00	0.60	5.58	10.46
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	56002006	Soft Soil	25.00	1.00	8.17	19.61
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	56002006	Soft Soil	40.00	1.00	8.75	13.13
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	56002007	Soft Soil	36.00	1.00	8.50	14.17
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	56002007	Waste	39.00	0.70	8.83	13.58
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	56002008	Soft Soil	29.00	1.00	8.17	16.90
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	56002008	Soft Soil	37.00	1.00	8.33	13.51
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	56002009	Soft Soil	12.00	1.00	3.25	16.25
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	56002009	Waste	32.00	0.60	5.58	10.46
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	56002009	Waste	39.00	0.70	10.00	15.38

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Mes	Periodo	Fecha	Cod. Equipo	Tipo Material	Viajes	Dist.(km)	Horas	Tcy (Min)
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	SCN-10	Waste	29.00	2.80	9.50	19.66
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	SCN-10	Waste	36.00	2.20	9.75	16.25
Nov-00	Lluvia	03-Nov-00	SCN-14	Waste	18.00	2.70	6.25	20.83
Nov-00	Lluvia	04-Nov-00	52035085	Soft Soil	25.00	2.00	9.00	21.60
Nov-00	Lluvia	04-Nov-00	52035086	Top Soil	13.00	4.70	5.17	23.86
Nov-00	Lluvia	04-Nov-00	52035087	Soft Soil	5.00	0.50	0.83	9.96
Nov-00	Lluvia	04-Nov-00	52035087	Soft Soil	24.00	2.00	9.00	22.50
Nov-00	Lluvia	04-Nov-00	52035089	Soft Soil	5.00	0.50	1.00	12.00
Nov-00	Lluvia	04-Nov-00	52035090	Waste	38.00	2.20	9.50	15.00
Nov-00	Lluvia	04-Nov-00	52035090	Waste	30.00	2.70	10.00	20.00
Nov-00	Lluvia	04-Nov-00	52035091	Top Soil	13.00	4.70	6.25	28.85
Nov-00	Lluvia	04-Nov-00	52035091	Waste	18.00	2.10	7.67	25.57
Nov-00	Lluvia	04-Nov-00	52035092	Top Soil	13.00	4.70	7.33	33.83
Nov-00	Lluvia	04-Nov-00	52035093	Waste	38.00	2.20	9.50	15.00
Nov-00	Lluvia	04-Nov-00	52035093	Waste	46.00	2.60	10.00	13.04
Nov-00	Lluvia	04-Nov-00	52035094	Waste	24.00	4.00	10.00	25.00
Nov-00	Lluvia	04-Nov-00	52035094	Waste	29.00	2.70	10.00	20.69
Nov-00	Lluvia	04-Nov-00	52035095	Waste	20.00	5.00	10.00	30.00
Nov-00	Lluvia	04-Nov-00	52035095	Waste	29.00	2.70	10.00	20.69
Nov-00	Lluvia	04-Nov-00	52035096	Waste	34.00	2.60	8.50	15.00
Nov-00	Lluvia	04-Nov-00	52035096	Waste	20.00	5.00	10.00	30.00
Nov-00	Lluvia	04-Nov-00	52035097	Waste	13.00	2.70	4.50	20.77
Nov-00	Lluvia	04-Nov-00	52035097	Waste	16.00	2.20	4.50	16.88
Nov-00	Lluvia	04-Nov-00	52035097	Waste	13.00	2.90	4.75	21.92
Nov-00	Lluvia	04-Nov-00	52035098	Soft Soil	24.00	2.00	9.00	22.50
Ene-02	Lluvia	12-Ene-02	SCN-09	Soft Soil	5.00	4.50	4.00	48.00
Ene-02	Lluvia	12-Ene-02	SCN-09	Soft Soil	8.00	4.30	4.00	30.00
Ene-02	Lluvia	12-Ene-02	SCN-09	Soft Soil	12.00	5.90	9.25	46.25
Ene-02	Lluvia	14-Ene-02	52035068	Soft Soil	17.00	2.10	5.67	20.00
Ene-02	Lluvia	14-Ene-02	52035072	Soft Soil	17.00	2.10	5.67	20.00
Ene-02	Lluvia	14-Ene-02	52035072	Waste	5.00	6.10	4.00	48.00
Ene-02	Lluvia	14-Ene-02	52035075	Waste	5.00	6.10	3.92	47.00
Ene-02	Lluvia	14-Ene-02	52035092	Soft Soil	1.00	2.30	0.42	25.00
Ene-02	Lluvia	14-Ene-02	52035092	Soft Soil	3.00	4.75	2.00	40.00
Ene-02	Lluvia	14-Ene-02	52035092	Soft Soil	3.00	6.00	2.33	46.67
Ene-02	Lluvia	14-Ene-02	52035092	Soft Soil	4.00	5.90	3.33	50.00
Ene-02	Lluvia	14-Ene-02	52035093	Soft Soil	1.00	2.30	0.42	25.00
Ene-02	Lluvia	14-Ene-02	52035093	Soft Soil	15.00	4.30	7.50	30.00
Ene-02	Lluvia	14-Ene-02	52035093	Soft Soil	10.00	6.00	7.75	46.50
Ene-02	Lluvia	14-Ene-02	52035095	Soft Soil	3.00	4.75	2.00	40.00
Ene-02	Lluvia	14-Ene-02	52035095	Soft Soil	5.00	5.90	4.08	49.00
Ene-02	Lluvia	14-Ene-02	52035095	Soft Soil	27.00	7.15	4.50	10.00
Ene-02	Lluvia	14-Ene-02	52035096	Soft Soil	1.00	2.30	0.42	25.00
Ene-02	Lluvia	14-Ene-02	52035096	Soft Soil	3.00	4.75	2.00	40.00
Ene-02	Lluvia	14-Ene-02	52035096	Soft Soil	5.00	5.90	4.08	49.00
Ene-02	Lluvia	14-Ene-02	52035096	Soft Soil	9.00	6.00	7.25	48.33
Ene-02	Lluvia	14-Ene-02	52035097	Soft Soil	3.00	4.75	2.00	40.00
Ene-02	Lluvia	14-Ene-02	52035097	Soft Soil	5.00	5.90	4.08	49.00
Ene-02	Lluvia	14-Ene-02	52035097	Waste	14.00	4.10	9.17	39.29
Ene-02	Lluvia	14-Ene-02	52035098	Soft Soil	1.00	2.30	0.42	25.00
Ene-02	Lluvia	14-Ene-02	52035098	Soft Soil	15.00	4.30	7.50	30.00
Ene-02	Lluvia	14-Ene-02	52035098	Soft Soil	10.00	6.00	7.75	46.50
Ene-02	Lluvia	14-Ene-02	52035099	Soft Soil	1.00	2.30	0.42	25.00
Ene-02	Lluvia	14-Ene-02	52035099	Soft Soil	15.00	4.30	7.50	30.00
Ene-02	Lluvia	14-Ene-02	52035100	Waste	7.00	4.10	3.75	32.14
Ene-02	Lluvia	14-Ene-02	52035101	Soft Soil	1.00	2.30	0.42	25.00
Ene-02	Lluvia	15-Ene-02	52035105	Soft Soil	6.00	4.70	3.00	30.00
Ene-02	Lluvia	15-Ene-02	52035105	Soft Soil	5.00	5.90	3.75	45.00
Ene-02	Lluvia	15-Ene-02	52035105	Soft Soil	7.00	6.00	5.00	42.86
Ene-02	Lluvia	15-Ene-02	52035105	Waste	3.00	1.30	0.75	15.00
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035086	Top Soil	4.00	5.70	3.67	55.00
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035086	Waste	9.00	3.70	4.83	32.22
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035086	Waste	15.00	4.20	7.50	30.00
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035087	Top Soil	9.00	5.70	3.67	24.44
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035087	Waste	9.00	3.70	4.83	32.22
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035087	Waste	15.00	4.20	7.50	30.00
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035088	Waste	15.00	4.20	7.50	30.00
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035088	Waste	16.00	4.20	8.00	30.00
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035089	Waste	15.00	4.20	7.50	30.00
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035089	Waste	17.00	4.20	8.50	30.00
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035090	Waste	15.00	4.20	7.50	30.00
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035090	Waste	17.00	4.20	8.50	30.00
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035091	Top Soil	4.00	5.70	3.67	55.00
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035091	Waste	9.00	3.70	4.83	32.22
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035091	Waste	15.00	4.20	7.50	30.00
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035092	Waste	15.00	4.20	7.50	30.00
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035092	Waste	17.00	4.20	8.50	30.00
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035093	Waste	15.00	4.20	7.50	30.00



1	2	3	4	5	6	7	8	9
Mes	Periodo	Fecha	Cod. Equipo	Tipo Material	Viajes	Dist.(km)	Horas	Tcy (Min)
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035093	Waste	17.00	4.20	8.50	30.00
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035094	Top Soil	25.00	1.20	9.50	22.80
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035095	Top Soil	35.00	0.60	9.75	16.71
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035096	Top Soil	35.00	0.60	9.75	16.71
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035098	Top Soil	25.00	1.20	9.50	22.80
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035099	Top Soil	35.00	0.60	9.75	16.71
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035100	Top Soil	36.00	0.60	9.75	16.25
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035100	Waste	2.00	3.20	1.50	45.00
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035101	Waste	3.00	3.20	2.50	50.00
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035103	Waste	3.00	3.20	2.50	50.00
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035104	Top Soil	25.00	1.20	9.50	22.80
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035105	Waste	3.00	3.20	2.50	50.00
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035106	Top Soil	25.00	1.20	9.50	22.80
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035107	Top Soil	4.00	5.70	3.67	55.00
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035107	Waste	8.00	3.70	4.33	32.50
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035107	Waste	18.00	2.80	7.50	25.00
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035108	Waste	18.00	2.80	7.42	24.72
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035108	Waste	17.00	4.20	8.50	30.00
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035109	Soft Soil	2.00	4.50	1.67	50.00
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035109	Top Soil	5.00	5.30	4.33	52.00
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035109	Waste	17.00	4.20	8.50	30.00
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035110	Soft Soil	2.00	4.50	1.67	50.00
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035110	Top Soil	5.00	5.30	4.33	52.00
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035110	Waste	17.00	4.20	8.50	30.00
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035111	Soft Soil	2.00	4.50	1.67	50.00
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035111	Top Soil	4.00	5.70	3.67	55.00
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035111	Top Soil	5.00	5.30	4.33	52.00
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035111	Waste	9.00	3.70	4.83	32.22
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035112	Top Soil	4.00	5.70	3.67	55.00
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035112	Waste	9.00	3.70	4.83	32.22
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035112	Waste	15.00	4.20	7.50	30.00
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035113	Soft Soil	1.00	4.50	0.83	50.00
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035113	Top Soil	4.00	5.70	3.67	55.00
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035113	Top Soil	5.00	5.30	4.33	52.00
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035113	Waste	9.00	3.70	4.83	32.22
Abr-02	Seco	30-Abr-02	52035114	Waste	14.00	3.00	6.00	25.71

## **ANEXO B**

***Presentamos la Data para el día 27-07-05***

***Utilizando el Formato para Medir la Variabilidad***

***(El análisis se realiza mediante hojas de Microsoft Office Excel)***

### Descripción

- N° de Foto: es una foto estadística y el periodo depende básicamente del peso de la excavadora y de la precisión que se requiera.
- Hora: Indica el inicio de la toma de fotos estadísticas y se recomienda hacer la anotación cada 20 ó 30 minutos para revisar si se ha tomado el número correcto de fotos estadísticas.
- CE: Indica la situación del camión desde su arribo a la zona de carga: (1, 2, 3, 4) indica el N° de camiones esperando, (0) indica que no hay camión alguno esperando.
- CC: Indica la situación de la excavadora, solo puede ser (0), lo que quiere decir que no está cargando ó (1) lo cual quiere decir que está cargando.
- Camión: Se anota la placa o código del camión cuando sale de la zona de carga.
- Observaciones: Se indica si un camión sale por desperfectos o la excavadora para por fallas mecánicas o mantenimiento. En ese momento se interrumpe la toma de data.

Nº FOTO	HORA	Ce	Cc	Camión	Observaciones
1	08:21:15	0	1		
2	08:21:30	0	1		
3	08:21:45	0	1		
4	08:22:00	0	1		
5	08:22:15	0	1		
6	08:22:30	1	1		
7	08:22:45	1	1		
8	08:23:00	1	1		
9	08:23:15	1	1		
10	08:23:30	1	1		
11	08:23:45	1	1		
12	08:24:00	1	0		
13	08:24:15	1	0		
14	08:24:30	1	0		
15	08:24:45	1	0		
16	08:25:00	1	0		
17	08:25:15	0	1		
18	08:25:30	0	1		
19	08:25:45	0	1		
20	08:26:00	1	0		
21	08:26:15	1	0		
22	08:26:30	1	1		
23	08:26:45	1	1		
24	08:27:00	1	1		
25	08:27:15	1	1		
26	08:27:30	1	1		
27	08:27:45	1	1		
28	08:28:00	1	1		
29	08:28:15	1	0		
30	08:28:30	1	0		
31	08:28:45	1	0		
32	08:29:00	0	1		
33	08:29:15	0	1		
34	08:29:30	1	1		
35	08:29:45	1	1		
36	08:30:00	1	1		
37	08:30:15	1	1		
38	08:30:30	1	0		
39	08:30:45	1	0		
40	08:31:00	1	0		
41	08:31:15	1	0		
42	08:31:30	0	1		
43	08:31:45	0	1		
44	08:32:00	0	1		
45	08:32:15	0	1		
46	08:32:30	0	1		
47	08:32:45	0	0		
48	08:33:00	0	0		
49	08:33:15	0	0		
50	08:33:30	1	0		
51	08:33:45	1	0		
52	08:34:00	1	0		
53	08:34:15	0	1		
54	08:34:30	0	1		
55	08:34:45	0	1		
56	08:35:00	0	1		
57	08:35:15	0	0		
58	08:35:30	0	0		
59	08:35:45	0	0		
60	08:36:00	1	0		
61	08:36:15	1	0		
62	08:36:30	0	1		
63	08:36:45	1	1		
64	08:37:00	1	1		
65	08:37:15	1	1		
66	08:37:30	1	1		
67	08:37:45	1	0		
68	08:38:00	1	0		
69	08:38:15	1	0		
70	08:38:30	1	0		
71	08:38:45	0	1		
72	08:39:00	0	1		
73	08:39:15	0	1		

Nº FOTO	HORA	Ce	Cc	Camión	Observaciones
74	08:39:30	0	1		
75	08:39:45	0	1		
76	08:40:00	0	1		
77	08:40:15	0	1		
78	08:40:30	0	0		
79	08:40:45	0	0		
80	08:41:00	0	0		
81	08:41:15	0	0		
82	08:41:30	0	0		
83	08:41:45	0	0		
84	08:42:00	0	0		
85	08:42:15	2	0		
86	08:42:30	2	0		
87	08:42:45	1	1		
88	08:43:00	1	1		
89	08:43:15	1	1		
90	08:43:30	1	1		
91	08:43:45	1	0		
92	08:44:00	1	0		
93	08:44:15	1	0		
94	08:44:30	0	1		
95	08:44:45	0	1		
96	08:45:00	0	1		
97	08:45:15	0	1		
98	08:45:30	0	1		
99	08:45:45	0	1		
100	08:46:00	0	1		
101	08:46:15	1	1		
102	08:46:30	1	0		
103	08:46:45	1	0		
104	08:47:00	1	0		
105	08:47:15	1	0		
106	08:47:30	0	1		
107	08:47:45	0	1		
108	08:48:00	1	1		
109	08:48:15	1	1		
110	08:48:30	1	1		
111	08:48:45	1	1		
112	08:49:00	1	1		
113	08:49:15	1	0		
114	08:49:30	1	0		
115	08:49:45	1	0		
116	08:50:00	0	1		
117	08:50:15	0	1		
118	08:50:30	0	1		
119	08:50:45	0	1		
120	08:51:00	0	1		
121	08:51:15	0	1		
122	08:51:30	0	1		
123	08:51:45	0	0		
124	08:52:00	0	0		
125	08:52:15	1	0		
126	08:52:30	1	0		
127	08:52:45	1	0		
128	08:53:00	0	1		
129	08:53:15	0	1		
130	08:53:30	0	1		
131	08:53:45	0	1		
132	08:54:00	0	1		
133	08:54:15	0	1		
134	08:54:30	1	0		
135	08:54:45	1	0		
136	08:55:00	1	0		
137	08:55:15	1	0		
138	08:55:30	1	0		
139	08:55:45	1	0		
140	08:56:00	1	0		
141	08:56:15	1	0		
142	08:56:30	1	0		
143	08:56:45	1	0		
144	08:57:00	0	1		
145	08:57:15	1	1		
146	08:57:30	1	1		

Nº FOTO	HORA	Ce	Cc	Camión	Observaciones
147	08:57:45	1	0		
148	08:58:00	1	0		
149	08:58:15	1	0		
150	08:58:30	0	1		
151	08:58:45	0	1		
152	08:59:00	0	1		
153	08:59:15	0	1		
154	08:59:30	2	1		
155	08:59:45	2	1		
156	09:00:00	2	1		
157	09:00:15	3	0		
158	09:00:30	3	0		
159	09:00:45	3	0		
160	09:01:00	2	1		
161	09:01:15	2	1		
162	09:01:30	2	1		
163	09:01:45	2	1		
164	09:02:00	2	1		
165	09:02:15	2	1		
166	09:02:30	2	1		
167	09:02:45	2	0		
168	09:03:00	2	0		
169	09:03:15	2	0		
170	09:03:30	1	1		
171	09:03:45	1	1		
172	09:04:00	1	1		
173	09:04:15	1	1		
174	09:04:30	1	1		
175	09:04:45	1	1		
176	09:05:00	1	1		
177	09:05:15	1	0		
178	09:05:30	1	0		
179	09:05:45	1	0		
180	09:06:00	1	0		
181	09:06:15	0	1		
182	09:06:30	0	1		
183	09:06:45	0	1		
184	09:07:00	0	1		
185	09:07:15	0	1		
186	09:07:30	0	1		
187	09:07:45	1	1		
188	09:08:00	1	1		
189	09:08:15	1	0		
190	09:08:30	1	0		
191	09:08:45	0	1		
192	09:09:00	0	1		
193	09:09:15	0	1		
194	09:09:30	1	1		
195	09:09:45	1	1		
196	09:10:00	1	1		
197	09:10:15	1	1		
198	09:10:30	1	0		
199	09:10:45	1	0		
200	09:11:00	3	0		
201	09:11:15	3	0		
202	09:11:30	2	1		
203	09:11:45	2	1		
204	09:12:00	2	1		
205	09:12:15	2	1		
206	09:12:30	2	1		
207	09:12:45	2	1		
208	09:13:00	2	0		
209	09:13:15	2	0		
210	09:13:30	2	0		
211	09:13:45	2	0		
212	09:14:00	1	1		
213	09:14:15	1	1		
214	09:14:30	1	1		
215	09:14:45	1	1		
216	09:15:00	1	0		
217	09:15:15	1	0		
218	09:15:30	1	0		
219	09:15:45	1	1		

Nº FOTO	HORA	Ce	Cc	Camión	Observaciones
220	09:16:00	1	1		
221	09:16:15	1	1		
222	09:16:30	1	1		
223	09:16:45	1	1		
224	09:17:00	1	1		
225	09:17:15	1	0		
226	09:17:30	1	0		
227	09:17:45	2	0		
228	09:18:00	2	0		
229	09:18:15	1	1		
230	09:18:30	1	1		
231	09:18:45	1	1		
232	09:19:00	1	1		
233	09:19:15	1	0		
234	09:19:30	1	0		
235	09:19:45	1	0		
236	09:20:00	1	0		
237	09:20:15	1	0		
238	09:20:30	1	0		
239	09:20:45	1	0		
240	09:21:00	1	0		
241	09:21:15	1	0		
242	09:21:30	1	0		
243	09:21:45	1	0		
244	09:22:00	0	1		
245	09:22:15	0	1		
246	09:22:30	0	1		
247	09:22:45	0	1		
248	09:23:00	0	1		
249	09:23:15	0	1		
250	09:23:30	0	1		
251	09:23:45	0	1		
252	09:24:00	0	0		
253	09:24:15	1	0		
254	09:24:30	1	0		
255	09:24:45	1	0		
256	09:25:00	0	1		
257	09:25:15	0	1		
258	09:25:30	0	1		
259	09:25:45	0	1		
260	09:26:00	0	1		
261	09:26:15	0	1		
262	09:26:30	0	0		
263	09:26:45	0	0		
264	09:27:00	0	0		
265	09:27:15	0	0		
266	09:27:30	0	0		
267	09:27:45	1	0		
268	09:28:00	1	0		
269	09:28:15	1	0		
270	09:28:30	1	0		
271	09:28:45	0	1		
272	09:29:00	0	1		
273	09:29:15	0	1		
274	09:29:30	0	1		
275	09:29:45	0	1		
276	09:30:00	0	1		
277	09:30:15	0	1		
278	09:30:30	0	1		
279	09:30:45	0	1		
280	09:31:00	0	1		
281	09:31:15	0	1		
282	09:31:30	0	1		
283	09:31:45	0	1		
284	09:32:00	0	1		
285	09:32:15	0	1		
286	09:32:30	0	1		
287	09:32:45	0	1		
288	09:33:00	0	1		
289	09:33:15	0	1		
290	09:33:30	0	1		
291	09:33:45	0	1		
292	09:34:00	0	1		

Nº FOTO	HORA	Ce	Cc	Camión	Observaciones
293	09:34:15	0	1		
294	09:34:30	0	1		
295	09:34:45	0	1		
296	09:35:00	0	1		
297	09:35:15	0	1		
298	09:35:30	0	1		
299	09:35:45	0	1		
300	09:36:00	0	1		

Tiempo total de observación	75.00	min
Nº Total camiones cargados	26	unid
Tiempo total de carga	39.5	min
Tiempo de acomodo de camión	30.25	min
Tiempo de espera de camión	5.25	min
Tiempo promedio de carga	1.52	min
Nº Camiones cargados por hora	20.80	Volq/hora
Tiempo de espera del camión	0.47	horas

