

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

**“SELECCION DE EQUIPO PARA
EXCAVACION SUPERFICIAL”**

PREPARADO POR

Víctor Enrique Zapata Salazar

PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO DE MINAS

A DEEANN Y A MIS PADRES,

Inspiración y fuente de esfuerzo
para la realización de este trabajo.

I N D I C E

Introducción.....	pag 1
Descripción del proceso.....	" 1
Estudio de tiempos y movimientos.....	" 4
Aplicación de computadoras.....	" 7
Generalidades.....	" 13
Los terrenos y su influencia en la selección.....	" 13
La localización de las áreas de trabajo y su influencia.....	" 16
Descripción y aplicabilidad de las máquinas.....	" 19
Excavadoras.....	" 19
Pala giratoria.....	" 19
Draga de arrastre.....	" 23
Retroexcavadora.....	" 27
Excavadoras transportadoras.....	" 30
Excavadora de cable.....	" 30
Excavadora de rueda.....	" 33
Excavadora de canguilones.....	" 40
Cargadores de tractor.....	" 41
Escrepas de autopropulsión.....	" 45
Equipo auxiliar.....	" 48
Tractores.....	" 49
Bulldozers.....	" 50
Transporte de material.....	" 53
Camiones de volteo.....	" 53
Fajas transportadoras.....	" 56
Cálculo de costos horarios y por tonelada.....	" 60
Aplicación del estudio al Perú.....	" 73
Conclusiones.....	" 80
Bibliografía.....	" 81

INTRODUCCION

Uno de los mas fascinantes campos dentro del ejercicio de la Ingeniería de Minas es el de la comparación y selección del equipo para explotar los yacimientos. En este aspecto se presentan una serie de variables tales como el tamaño y forma del depósito, dimensiones del encapsado, condiciones físicas y químicas de ambos, localización del área con respecto a fuentes de energía y puertos de embarque, etc., es decir una compleja asociación de variables que deben ser todas observadas con diversos grados de importancia para la selección del equipo que se utilizaría en la explotación.

En la minería del cielo abierto se ha llegado a un punto tal en que ahora se utiliza maquinaria especialmente fabricada, tan gigantesca que, para quien no la haya visto, le parezca increíble; maquinaria para la que se requiere especial servicio de mantenimiento para que siempre estén disponibles y así se reduzcan los costos, desde que estas máquinas son de muy altos costos de tenencia.

Son muchos los tamaños, tipos y marcas de maquinaria que se podría incluir en este estudio, pero, he preferido seleccionar y agrupar la maquinaria de modo que sólo se incluya las excavadoras mas conocidas, equipo semejante y auxiliar.

Las características de la maquinaria, los requerimientos de la misma, las ventajas y desventajas de su aplicación son elementos de gran importancia en la selección del equipo, y como tal, son parte de este estudio que espero pueda servir de pauta para quien busque información en el campo respectivo.

a) Descripción del proceso

En nuestros tiempos se hace necesario el movimiento de altos volúmenes de despalle para extraer las substancias valiosas encerradas bajo el suelo. El costo y tiempo para mover toda la sobrecarga son generalmente muy grandes, y en la mayoría de los casos se requiere la utilización de maquinaria especialmente adquirida con este fin.

Mediante la selección del equipo, y por los estudios del proceso de excavación se encuentra el posible beneficio de la empresa por la aplicación de estos medios, los que pueden ser comparados con otros sistemas de trabajo, incluyéndose los de minado subterráneo. De este modo se llega a conclusiones sobre el método que mas se adapta a las condiciones y la maquinaria que sea mas recomendable emplear.

Si las conclusiones que se debe despallar el terreno, se debe ver la posibilidad de obtener alguna utilidad de los materiales extraídos. Por ejemplo, las arcillas tienen valor de acuerdo a su uso, tal como para la fabricación de ladrillos refractarios; las calizas pueden ser empleadas en la industria de la construcción. Este factor es de importancia ya que exigiría una explotación selectiva, o de otros pasos en el proceso tales como fragmentación secundaria o diversos ciclos de transporte, los que pudieran hacer tan cara la excavación de que no resultara conveniente ejecutarlos por significar costos adicionales mas altos que el valor del material mismo.

Si no hay mercado para el material removido, éste deberá disponerse en lugares próximos al tajo, de modo que los ciclos de transporte sean mínimos y que la localización de estos desperdicios no obstaculice el normal desarrollo de las futuras operaciones.

En general, se consideran dos formas de movimiento de la sobrecarga: el tiro lateral y el acarreo. Siempre que las condiciones del caso lo permitan, el material excavado debe ser apilado a un lado del área de explotación; esto es posible cuando el volumen de despalle y la profundidad de la formación valiosa son pequeñas. Cuando las capas de despalle son de mayores profundidades el tiro lateral es generalmente desventajoso por ser muy voluminosos los movimientos de arrastre. Entonces se considera mejor elección el empleo de equipo de transporte de material para que se disponga éste mas fácilmente fuera de los límites del tajo.

Tiro lateral..- El tiro lateral consiste en amontonar el desperdicio dentro del alcance de las excavadoras, es decir, muy cerca del lugar en donde se encuentre el material valioso a extraer. Este método se ha aplicado bastante en la explotación a cielo abierto de

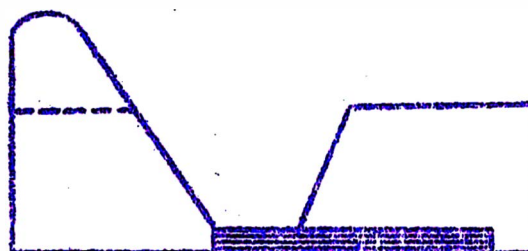
carbón bituminoso, en los que el desmonte del encapado se coloca transversalmente a la faja de explotación en un sistema progresivo de minado.

Sin importar el tipo de maquinaria, el sistema del tiro lateral se puede generalizar bajo los siguientes pasos:

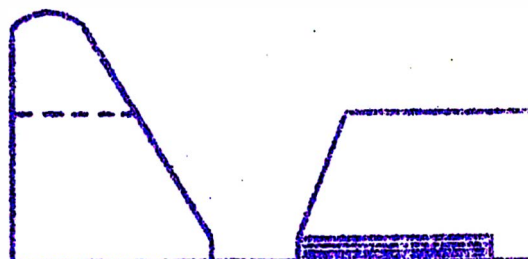
1° El descubrimiento de un estrato valioso a baja profundidad, el que se desea extraer. Seleccionada la maquinaria adecuada, se decide la explotación.



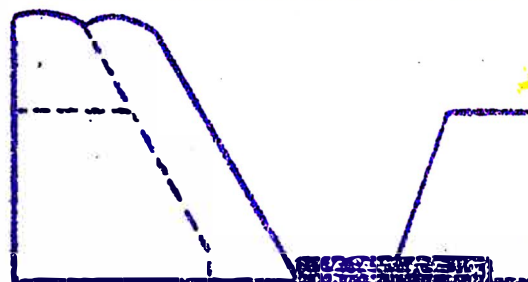
2° Profundización sobre el encapado y colocación del material movido en un montón a un lado del estrato de material valioso



3° Extracción y aprovechamiento del material valioso anteriormente desencapado.



4° Remoción del material de despalme que cubre la zona valiosa adyacente a la explotada en el paso anterior, y exposición de un nuevo segmento del estrato de material valioso.



5° Extracción del nuevo sector descubierto. Y así sucesivamente, hasta que el yacimiento haya sido agotado o la profundidad de despalme haga la operación antieconómica.



Acarreo de sobrecarga.- El tiro lateral es aplicable solamente cuando la profundidad de despalme es pequeña y el área de trabajo, reducida. El acarreo de la sobrecarga se hace necesario en los casos opuestos. Dependiendo de la dureza de la sobrecarga se utilizará extracción directa o voladura previa.

El lugar donde se depositen los desperdicios se selecciona ubicándolo tan cerca del banco como sea posible, teniendo en cuenta que debe estar fuera de las áreas que pudieran ser excavadas en el futuro. Estas limitaciones deben ser todas consideradas para evitar complicaciones que al final pudieran generar trabas para futuras extracciones, y en consecuencia, aumento de los costos unitarios.

Los puntos de extracción están conectados con los depósitos de desperdicio por caminos de doble sentido, los que en caso de movimiento intenso deben ser de un ancho de cuatro veces el de los vehículos que los utilizan. Al evitarse congestiones y posibilidades de accidentes se paga con creces el margen de seguridad que el ancho de los caminos hace posible.

La forma mas fácil, y por lo tanto económica de disponer los desperdicios, es descargándolos hacia una ladera desde un terraplén. Los camiones se colocan en reversa sobre la orilla de la ladera, ante la que por algún dispositivo se detienen en la posición mas conveniente en donde abandonan su carga, para luego volver al banco en excavación y proseguir su ciclo.

b) Estudio de tiempos y movimientos

La excavación de terrenos es el acto de tomar estos desde la posición donde se encuentran para disponerlos en sitios desde los que no estorben la continuación de las operaciones. Entonces, la excavación está íntimamente ligada al transporte de materiales, y en cierto grado a la voladura de rocas.

Cuando no es necesario el empleo de explosivos para la excavación, se tiende a conseguir la máxima continuidad de la operación de modo que cada uno de los elementos de la excavación y del transporte

estén tan bien coordinados, al grado de evitar todo tipo de pérdidas de tiempo, especialmente por esperas, las que deben ser constantemente estudiadas con la finalidad de reducirlas al mínimo posible.

Las líneas de espera son fenómenos frecuentes que se observan en cualquier rama industrial, además de ser vistas en las actividades de la vida diaria. En las excavaciones, las características de un fenómeno de espera son:

- 1° Llegada de unidades de transporte, a intervalos regulares o irregulares al punto de excavación,
- 2° Atención de estas unidades por parte de una o varias piezas de excavación reunidas en el lugar de trabajo.

El fenómeno de espera en nuestro caso puede ser de parte de las excavadoras o de las unidades de transporte. La tendencia general moderna es la de emplear equipo adecuado de acuerdo a los requerimientos de la producción. El equipo debe ser coordinadamente dispuesto de modo que las pérdidas en la eficiencia debidas a las esperas sean mínimas.

Las entradas de los vehículos de carga deben ser, si bien separadas a desiguales tiempos, a tiempos conocidos; y en caso de estar frente a una compleja operación de excavación y transporte, se puede disponer de cálculos computerizados, que en su aplicación se logran resultados de la mayor eficiencia posible.

Si las unidades de carga son de diferente capacidad, la duración del tiempo de llenado de cada una de ellas es variable, por lo que se debe estudiar las características de cada uno de los vehículos para tratar de conseguir las mejores eficiencias.

Para que el fenómeno de espera se haga visible basta que las entradas de los vehículos de transporte o el servicio de las excavadoras se haga a intervalos irregulares. Las filas de espera también se presentan cuando las entradas son regulares y los tiempos de servicio también, pero alguna de estas operaciones es menos eficiente que la otra, haciendo, que por su menor capacidad, la otra trabaje en un grado de menor eficiencia.

Cualquiera que sea el tipo de excavadora que se emplee, esta se opera a una conocida velocidad de trabajo; la mayor parte de las excavadoras realizan un ciclo conocido de excavación el que es semejante para todas.

Las excavadoras tienen un cucharón de capacidad determinada "c" y se necesita "n" vueltas para llenar una unidad de transporte cuya capacidad es "c₁", mayor que "c". El tiempo entre cada descarga de la excavadora es "t", por lo que deducimos que el tiempo total de carga del vehículo es (c₁/c)·t. El elemento de transporte, una vez cargado, tarda un tiempo "T" en ir al punto en donde vacie su contenido y regresar hasta tomar su posición al lado de la excavadora.

Cuando sólo una excavadora hace el servicio a varias unidades de igual capacidad y velocidad, el número de vehículos necesarios está determinado por:

$$N^{\circ} = \frac{T}{t} \times \frac{c}{c_1} + 1$$

Las unidades de transporte, de acuerdo a sus características de velocidad, y por la distancia a recorrer, dan un valor "T" que es casi estándar para el trabajo. El tiempo "t" es la clave de la eficiencia de la maquinaria, y éste es el que se tiene que reducir al mínimo posible mediante el acortamiento de los movimientos que la excavadora debe ejecutar para realizar un ciclo de carga. Los movimientos de esta máquina en su operación son, generalizando:

- 1° Tomar posición frente al banco,
- 2° Avance de la cuchara (o de la excavadora misma) hacia la posición de excavación,
- 3° Corte del banco y llenado de la cuchara,
- 4° Movimiento de la cuchara (o la excavadora) hacia la posición de descarga,
- 5° Cargado de la tolva del vehículo, y
- 6° Retorno a la posición frente al banco.

c) Aplicación de computadoras

La industria moderna se caracteriza por el uso de una gran cantidad de máquinas de muy alta capacidad. El hombre deja que la máquina realice mas y mas trabajos, pero él es quien las opera, y por eso sigue siendo el elemento mas importante de la producción.

El empleo de este tipo de maquinaria significa un altísimo movimiento de capitales, los que ciertamente deben ser aprovechados en la forma mas eficientemente posible.

En el caso del movimiento de tierras, el uso de una sola excavadora no presenta mayores problemas de cálculo de la operación, a menos que la excavación se complique por tratarse de una difícil extracción selectiva.

Cuando la operación es en una escala tal, en que varias excavadoras disponen de una probable cantidad de material a extraer en la unidad de tiempo, y este material tiene que ser distribuído entre varios destinos, cuya capacidad es también limitada, nos encontramos ante un problema cuya solución es una computerizable programación lineal.

En primer lugar se calcula los costos de transporte desde cada uno de los orígenes del material hasta cada uno de los puntos de descarga. Digamos entonces que el costo de transporte de una yarda cúbica de material, desde el punto de excavación "i" hasta el destino "j" sea " c_{ij} ", conocido para todas las combinaciones (i,j). El problema consiste en la determinación de las cantidades que deben ser transportadas a través de todas las rutas para minimizar el costo total de la operación.

Estableceremos el problema del modo en que aparece en la tabla I. En la columna de la derecha denominamos nuestros puntos de excavación "i" y en la fila superior, nuestros destinos "j". Las cantidades transportadas desde el punto de excavación "i" hasta el de descarga "j" están representadas por " x_{ij} ".

DESTINOS

	(1)	(2)	----	(j)	---	(n)		
E X C A V A C I O N	(1)	$x_{1,1}$	$x_{1,2}$	----	$x_{1,j}$	---	$x_{1,n}$	a_1
	(2)	$x_{2,1}$	$x_{2,2}$	----	$x_{2,j}$	---	$x_{2,n}$	a_2
	(3)	$x_{3,1}$	$x_{3,2}$	----	$x_{3,j}$	---	$x_{3,n}$	a_3
	----	----	----	----	----	---	----	--
	(i)	$x_{i,1}$	$x_{i,2}$	----	$x_{i,j}$	---	$x_{i,n}$	a_i
	----	----	----	----	----	---	----	--
	(m)	$x_{m,1}$	$x_{m,2}$	----	$x_{m,j}$	---	$x_{m,n}$	a_m
	b_1	b_2	----	b_j	---	b_n		

TABLA I

El total removido desde el lugar de extracción "i" es $a_i \geq 0$, y el total recibido por el destino "j" es $b_j \geq 0$.

Nuestra primera restricción es que el total extraído es igual al total descargado:

$$\sum_i a_i = \sum_j b_j$$

El costo de transportar x_{ij} yardas cúbicas es de $c_{ij} \cdot x_{ij}$ positivo, por lo que también restringimos $x_{ij} \geq 0$

La tabla nos muestra el problema, en el que nosotros buscamos minimizar el costo total, que lo representamos por:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} \cdot x_{ij} \quad (i)$$

sujeto a las restricciones:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i \quad (ii)$$

para valores de $i = 1, 2, 3, \dots, m$.

y:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j \quad (\text{iii})$$

para valores de $j = 1, 2, 3, \dots, n$.

y:

$$x_{ij} \geq 0 \quad (\text{iv})$$

Las ecuaciones (ii) representan las sumas de las filas de la tabla, mientras que las ecuaciones (iii) las sumas de las columnas.

La suma de las ecuaciones (ii) es igual a la suma de las ecuaciones (iii) desde que la cantidad de material excavado es la misma que la del dispuesto a los destinos; entonces:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m x_{ij} = \sum_i a_i = \sum_j b_j = A$$

"A" es la cantidad total de material movido.

Si $m=2$ y $n=3$, escribimos las ecuaciones que corresponden a (ii) y a (iii) obteniendo las siguientes cinco ecuaciones:

$$\begin{aligned} \text{(a)} \quad & x_{1,1} + x_{1,2} + x_{1,3} = a_1 \\ \text{(b)} \quad & x_{2,1} + x_{2,2} + x_{2,3} = a_2 \\ \text{(c)} \quad & x_{1,1} + x_{2,1} = b_1 \\ \text{(d)} \quad & x_{1,2} + x_{2,2} = b_2 \\ \text{(e)} \quad & x_{1,3} + x_{2,3} = b_3 \end{aligned}$$

Si sumamos las ecuaciones (c), (d) y (e) y restando la ecuación (b) nos resulta la ecuación (a). Luego esta última es redundante por lo que no será necesario emplearla en el sistema. Solamente utilizaremos las cuatro últimas ecuaciones que están representadas en la siguiente matriz:

$$A = \begin{pmatrix} p_{1,1} & p_{1,2} & p_{1,3} & p_{2,1} & p_{2,2} & p_{2,3} \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

y

$$P_0 = \begin{pmatrix} a_2 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix}$$

El vector " P_{ij} " corresponde a la variable " x_{ij} ". Al hacer que

$$X = (x_{1,1}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{mn})$$

sea un vector columna de $m \cdot n$ variables, y

$$c = (c_{1,1}, \dots, c_{ij}, \dots, c_{mn})$$

sea el vector fila de los coeficientes del costo, el problema tiene su representación en las siguientes expresiones de minimización del costo:

$$AX = P_0$$

$$X \geq 0$$

$$CX \text{ — mínimo}$$

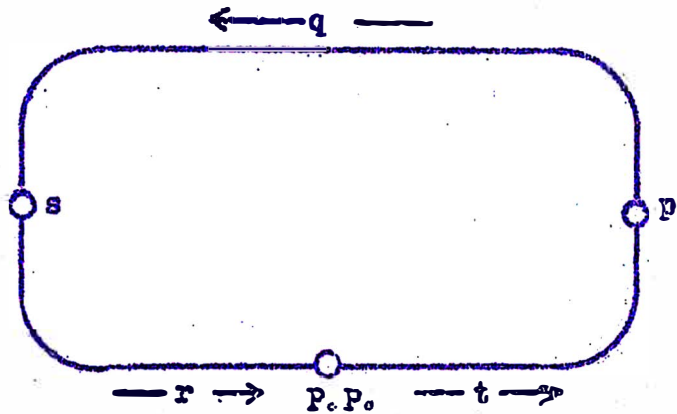
Disposición de unidades de transporte para ser cargadas.

Cuando varios vehículos son servidos por una serie de excavadoras, el problema es algo complejo y su solución más eficiente puede ser encontrada por computación.

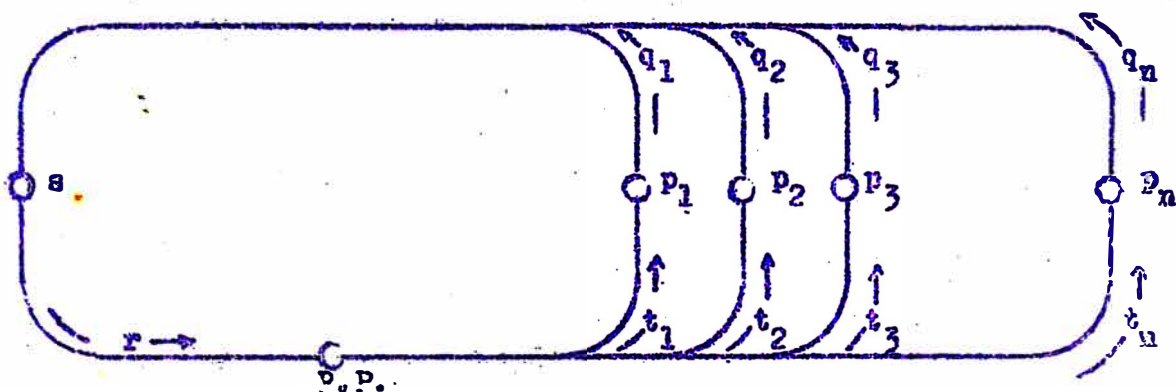
Supongamos que todos los vehículos deben pasar por un punto desde el cual tardan t_1, t_2, t_3, \dots , en llegar a tomar su posición al costado de cada una de las excavadoras. Cada excavadora, de acuerdo a su capacidad y a las características físicas del material que remueve, muestra una eficiencia de excavación y cargado que para el cálculo se supone invariable.

Si las excavadoras se encontraran localizadas sobre una extensa área, el tiempo " t_n " resulta predominante en lo que respecta a la elección del lugar al que cada uno de los vehículos de carga deba ir para ser atendido por una excavadora. Es lógico suponer que, a iguales capacidades de excavación, la excavadora más lejana del punto de partida deba ser servida por un mayor número de unidades de carga, ya que para llegar hasta ella se necesita recorrer una mayor distancia que para cualquier otra excavadora.

Estudiemos ahora un ciclo completo de un vehículo de carga; Este comienza su ciclo en un punto de partida "P.P." desde el cual tarda un tiempo "t" hasta colocarse en posición para ser servido por una excavadora. La tolva del vehículo queda cargada en un tiempo "p" y luego de esto, el vehículo se dirige hacia la posición de descarga hasta donde tarda "q" en llegar y "s" en soltar el material. La marcha desde este último punto hasta el punto inicial "P.P" toma un tiempo "r". El tiempo que el vehículo toma para una vuelta completa está determinado por la suma de los tiempos necesarios para cada uno de los pasos indicados; llámémosle "T". El número mínimo de unidades de transporte que se deba disponer para que la excavadora esté en constante servicio se encuentra al dividir el tiempo "T" entre "p" que es el necesario para que la excavadora llene la tolva del vehículo.



Cuando varias excavadoras operan en una extensa área, el tiempo necesario para el ciclo completo de cada una de las unidades de carga que usan estos servicios es determinado en igual forma que en el caso anterior, es decir sumando los tiempos en ejecutar cada uno de los pasos del ciclo



$$\begin{aligned}
T_1 &= t_1 + p_1 + q_1 + s + r \\
T_2 &= t_2 + p_2 + q_2 + s + r \\
T_3 &= t_3 + p_3 + q_3 + s + r \\
T_n &= t_n + p_n + q_n + s + r
\end{aligned}$$

El número de unidades de transporte requeridas para que las excavadoras operen eficientemente es de por lo menos la necesitada por cada una de ellas en trabajos independientes. La suma de las unidades que servirían para transportar el material extraído por cada una de las excavadoras será suficiente cuando no hayan congestiones en el punto de la descarga, donde todos los vehículos se dirigen con sus tolvas cargadas.

La cantidad de unidades de transporte requerida para el servicio es:

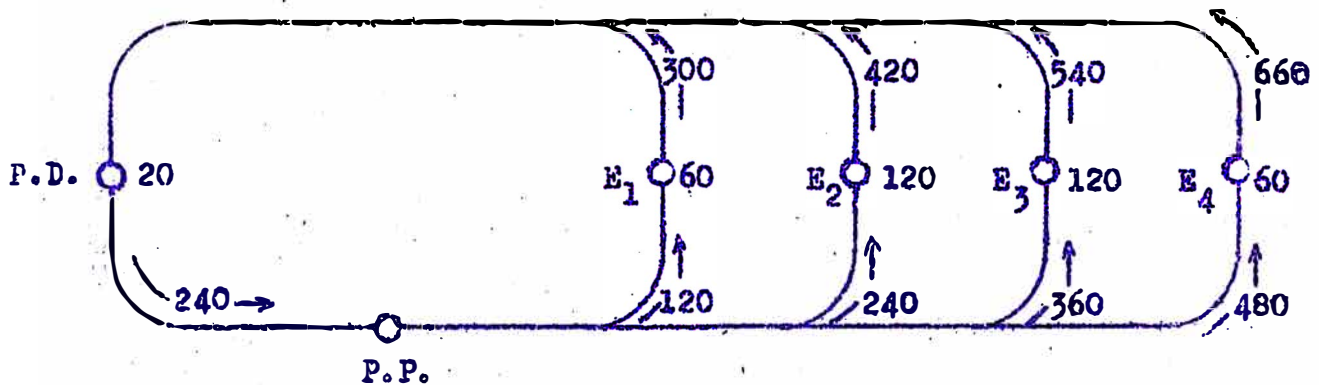
$$N = \frac{T_1}{p_1} + \frac{T_2}{p_2} + \frac{T_3}{p_3} + \dots + \frac{T_n}{p_n}$$

Nótese entonces, que a iguales tiempos de cagado la excavadora mas lejana necesita de un mayor número de unidades de transporte a su servicio.

Los "N" vehículos en el ciclo se encuentran todos en diversos puntos, y por un sistema de computación deben ser enviados hacia la posición de excavación en la que van a ser servidos.

Un programa de computación se emplearía para ordenar el destino de los vehículos desde un punto de partida "P.P.". Este programa es útil en cualquier caso en el que se desee obtener la mayor eficiencia posible de las excavadoras.

Estudieemos el siguiente ejemplo: En el gráfico que aparece en la siguiente página tenemos un circuito idealizado de excavación y de transporte de materiales. Calculando los requerimientos de cada una de las excavadoras sabemos que dos unidades de transporte están en ruta desde el punto de partida "P.P." hacia el de excavación "E₁", mientras otro está recibiendo el servicio; otros dos van hacia "E₂"; tres lo hacen hacia "E₃", y ocho hacia "E₄". Del punto "E₁" han salido cinco unidades cargadas que se encuentran en ruta hacia el punto



de descarga "P.D."; tres o cuatro vehículos lo hacen desde "E₂"; desde "E₃" han salido cuatro o cinco vehículos, y once van cargados desde "E₄".

El promedio de vehículos al servicio de cada excavadora sería, para "E₁", $12 \frac{1}{3}$; para "E₂", $8 \frac{2}{3}$; para "E₃", $10 \frac{3}{4}$; y para "E₄", $24 \frac{1}{3}$. Todo esto sumado nos da un total de $46 \frac{1}{12}$ vehículos, digamos, en enteros, 47 unidades de transporte.

Los vehículos son dispuestos hacia uno de los puntos de excavación, por un sistema de computación por el que se reducen al mínimo las pérdidas de tiempo por esperas, sea por parte de los vehículos o de las excavadoras

GENERALIDADES

a) Los terrenos y su influencia en la selección

Una primera clasificación y mas generalizante de los terrenos, es la de tierra y roca. Se considera tierra a todo material suelto que existe en la superficie; roca viene a ser la corteza dura que está debajo de la otra, y que a menudo aflora.

La roca es un material que requiere ser volado para que la excavación sea eficiente; la tierra está formada por materiales sueltos que pueden moverse sin ningún tratamiento previo. Conviene incluir en esta clasificación a un tercer tipo de terrenos, intermedio entre los dos mencionados; estos últimos están formados por materiales de difícil excavación tales como la tierra compactada, barro mediano, pizarra suave, etc.

La tierra se compone de partículas de muy variados tamaños y composiciones químicas, y se pueden clasificar por ambas razones, es decir, por la forma y dureza del grano y por el contenido mineral y orgánico. Generalmente, las tierras son materias inorgánicas formadas por la descomposición o intemperismo de las rocas. Las tierras orgánicas provienen mayormente de la descomposición de vegetación antigua; también pueden ser producto de antiguas conchas, huesos y excrementos que se han fosilizado.

Las rocas de acuerdo a su origen se clasifican en ígneas, sedimentarias y volcánicas, pero para la materia de las excavaciones es mejor clasificarlas en cuanto a su dureza, la que es muy variable aún para las mismas formaciones geológicas. Esta dureza se interpreta por varios factores tales como la resistencia a la penetración, a la abrasión y al golpe.

Todo terreno ofrece una resistencia a la excavación, la que es función de la dureza, aspereza, adhesión, cohesión, y densidad del mismo, reconociendo como mas importante factor su dureza.

Las tierras arcillosas son duras cuando están secas, y suaves cuando húmedas; los guijarros y cantos rodados encerrados por estas tierras hacen necesaria una mayor potencia de excavación que debe ser muy grande cuando los fragmentos son de gran dimensión, o cuando se encuentran firmemente adheridos en lugares en que la cuchilla no los pueda sacar.

Parte de la fuerza empleada en la excavación es absorbida por la fricción. La fricción depende del tamaño y dureza de las partículas, del grado de humedad y de la existencia de lubricantes naturales. Hay materiales que se adhieren firmemente a las superficies de excavación, los que además de hacer esta mas dificultosa, reducen la capacidad del elemento cargador.

Algunos terrenos sólidos pueden ser relativamente fáciles de excavar cuando son atacados en posiciones seleccionadas, como por ejemplo en la dirección de la estratificación o de los planos de hendimiento.

Las rocas pueden también ser clasificadas de acuerdo al grado de dificultad, o por la imposibilidad de ser rotas al paso de escarificadores pesados. Por ahora es imposible romper rocas ígneas con escarificadores; algunas rocas metamórficas no pueden romperse a la presión del diente del escarificador, pero hay otras que sí, tales como las pizarras y esquistos de estratificación delgada. La escarificación es económica solamente cuando el producto de esta puede ser cargado en una sola operación.

El grado de dificultad que una roca ofrece al diente del escarificador se puede calcular por un estudio de las características físicas de tenacidad, resistencia al corte, y de su propia estructura. La mejor herramienta para encontrar este factor es la misma experiencia con el material y equipo que se desee emplear.

Cuando los materiales son escarificables, estos pueden romperse en tamaños mas o menos grandes, que, o exijan el empleo de excavadoras de cucharón grande o el uso de la grua de bola metálica que se deja caer o de una voladura previa a la extracción; en cualquiera de los casos mencionados los costos unitarios son aumentados.

Cuando el terreno no es rompible por las escarificadoras el ciclo de extracción se complica al tomar la voladura de rocas un papel importante en las excavaciones. Este es un tema lo suficientemente complejo como para haber sido motivo, y aún lo es, de una serie de profundos estudios experimentales. El material producto de la voladura, en cantidades y tamaños de los fragmentos, da la pauta para la selección del tamaño de la mas deseable excavadora a emplear.

Otro factor, de menor importancia, pero que no conviene olvidar en la selección del equipo de excavación, es la densidad del terreno en el que la operación se va a realizar. Este factor puede limitar el volumen que la cuchara pueda cargar o el chasis soportar sin voltearse, así como la velocidad con que la carga pueda ser transportada.

Los suelos son muy diferentes en cuanto a su aptitud para soportar y permitir el movimiento de vehículos. Se han calculado

estándars sobre la eficiencia de tracción en diferentes superficies. Las eficiencias son variables ya sea los vehículos estén montados en llantas o en oruga. Una apreciación de estos valores se expone en la tabla II.

TERRENO	LLANTAS		ORUGAS	
	Superficie		Superficie	
	Seca	Mojada	Seca	Mojada
Superficie bituminosa pareja	.8-1.0	.6- .9	----	----
Concreto áspero	.9-1.0	.8-1.0	.3- .6	.3- .6
Arcilla dura pareja	.6-1.0	.1- .3	.4- .7	.2- .4
Migajón arcilloso	.4- .6	.2- .3	.7-1.0	.6- .9
Migajón arenoso	.3- .8	.2- .7	.6-1.0	.6-1.0
Grava firme	.5- .8	.3- .9	.7- .9	.7- .9
Grava suelta	.2- .4	.3- .5	.4- .7	.5- .8
Arena suelta	.1- .2	.1- .4	.3- .5	.4- .7

TABLA II

La cantidad de agua en los suelos es, no sólo importante factor en lo que respecta a la rodadura, sino también en la selección del tipo de excavadora a emplear, ya que en algunos casos las máquinas no pueden trabajar al frente de los bancos por lo que puede requerirse de las que ubicándose en sitios en los que su montaje pueda estar bien sentado, realicen la excavación por el control del cucharón de cargado distante.

b) La localización de las áreas de trabajo y su influencia

Además de las características físicas del yacimiento, sean estas, volumen de mineral y de despalme, tipos de minerales, rocas y de sobrecargas, etc., hay otros factores que hay que tener en cuenta en la selección del tipo de maquinaria requerida para la extracción.

La localización de los depósitos es un factor inherente

y de importancia considerable en el proyecto del trabajo.

La localización del depósito influye bajo las siguientes formas: Altura y clima, vías de transporte disponibles, fuentes de energía, y situaciones legal, política, social y económica.

Las condiciones meteorológicas son las primeras en ser consideradas en la selección del tipo de maquinaria a emplear en la explotación. Hay maquinaria que se adapta mejor que otras a los climas húmedos, mientras hay algunos tipos de máquinas que son insuperables por otras en lugares secos. La altura reduce la eficiencia del equipo de motores activados por combustión mientras que no afecta a los motores eléctricos.

La mayor densidad de vías carreteras y ferroviarias permitiría una mejor disposición de los materiales extraídos, a la vez que una más efectiva adquisición de suministros. De todos modos, si las dimensiones del yacimiento son muy grandes, y se requiere de una explotación en gran escala, se deberá en primera instancia, diseñar y construir la red de transporte más adecuada al proyecto de la explotación. El depósito estaría estratégicamente ubicado si no fuera necesario un largo manipuleo de materiales para ser llevados a su destino o al puerto de embarque.

El alto costo de la mano de obra se refleja en la compra y utilización de maquinaria más grande y eficiente; en caso contrario, cuando el costo de la mano de obra no es alto, se trata de reducir los altos costos de tenencia representados por maquinaria de gran capacidad.

La tendencia de los gobiernos con respecto a la empresa particular, así como la actitud de la población local hacia la implantación de la nueva industria son factores decisivos no solo en la capacidad y tipo del equipo a emplear, sino del completo plan de explotación. Hay gobiernos que permiten la implantación de industrias, y por un determinado tiempo no les cargan impuestos; algunos gobiernos lo permiten en toda la extensión del territorio nacional, mientras que otros lo hacen en forma zonal.

Hay regiones en donde la población se opone decididamente a la implantación de ciertos tipos de industrias, por motivos tan poderosos basados en las costumbres o en la religión. Si en una de estas áreas se ubicara un valioso yacimiento de materias primas, que los pobladores no permiten sea extraído, será bastante difícil lograr el cambio general de opinión hacia la idea de la explotación, pero esas ideas que se han arraigado posiblemente a través de muchas generaciones podrán ser cambiadas mediante un largo proceso de propaganda, por mas modernas ideas de progreso y mejoras en el nivel de vida de todos los habitantes de la región. Es una tarea harto difícil, pero en caso de presentarse deberá ser ejecutada.

Hay otro factor en la selección del equipo para la extracción de materias primas, y éste es la disponibilidad de fuentes de energía. Mediante un estudio económico y geográfico se compara las distancias y los costos para abastecer al lugar de trabajo de energía. Si las demás condiciones para la selección lo permiten, y el cálculo de costos lo comprueba se escoge el tipo de energía que moverá la maquinaria durante la marcha de la explotación.

Después de considerar los tipos de terrenos en donde se planea realizar la operación, además de la influencia de la localización de estos se puede proceder a calcular los costos a los que será necesario someterse para emprender la empresa. Una clara visión sobre la posible utilidad de la operación se podrá deducir, y el destino mismo de la empresa depende de estas consideraciones.

DESCRIPCION Y APLICABILIDAD DE LAS MAQUINAS

Ahora pasaremos a clasificar y estudiar cada una de las máquinas mas aparentes para aplicar en las excavaciones. Estas las hemos agrupado de acuerdo a su función, como excavadoras netas, excavadoras transportadoras, cargadores de tractor, escrepas, y equipo auxiliar. Todas ellas tienen características que las identifican y que las hacen mas o menos aplicables a cualquier tarea.

En la descripción de cada máquina se verá cuales son las mejores circunstancias para que ellas rindan dentro de los mas altos índices de eficiencia.

Las necesidades de producción a las que las máquinas seleccionadas se requieran adaptar indican la cantidad y capacidad de estas unidades que deberán adquirirse.

a) Excavadoras

Estas son máquinas que cumplen una sola misión; estacionadas en las inmediaciones del banco, realizan la función de cargar el material en un cucharón, y depositarlo, ya sea en unidades que lo llevarán a su destino, o en pilares en donde este material no estorbe el proceso de la extracción.

Estas máquinas tienen esencialmente las siguientes partes: el montaje, la cabina, la pluma y el cucharón.

Comenzaremos la descripción de cada una de ellas.

PALA GIRATORIA

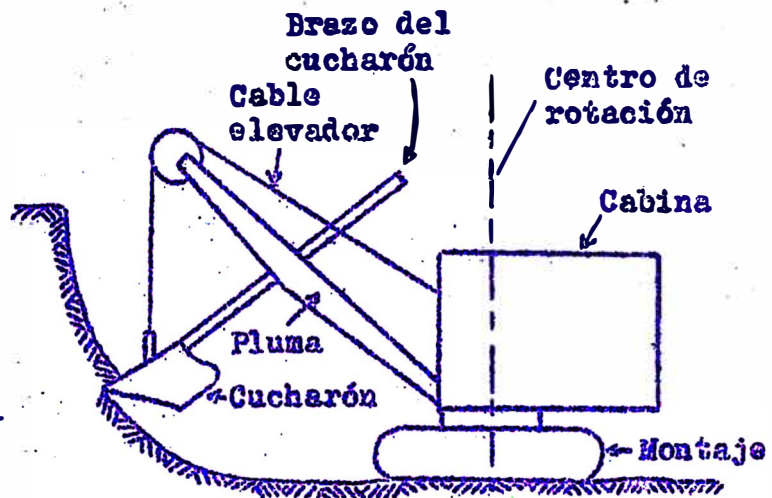
La operación que estos aparatos realizan es la de excavar el terreno que luego cargan en camiones de volteo, en vagones, o en fajas transportadoras. Pueden excavar cualquier tipo de terreno, exceptuando roca dura que debe ser rota antes de cargarla. Generalmente, las palas giratorias están montadas sobre orugas las que si bien desarrollan muy lentas velocidades en su traslado, pueden posarse sobre terrenos blandos para operar debido a la extensa superficie de contacto con el suelo; algunas palas giratorias están montadas

sobre ruedas, y se caracterizan por su velocidad y su campo de empleo. Las primeras son empleadas para trabajos pesados mientras que las últimas son ventajosas cuando se requiera que estas se movilicen constantemente de un lugar a otro de la explotación.

Tamaño de las palas.- El tamaño de las palas giratorias es definido por la capacidad del cucharón hasta el borde del mismo; es expresada generalmente en yardas cúbicas. Esta capacidad es sólo asumida, pues difiere de la capacidad real que es el volumen de tierra suave que la cuchara puede almacenar. Teniendo en cuenta que la roca al romperse aumenta de volumen se debe asumir el factor correspondiente ya que éste es diferente al de la roca in situ.

El tamaño de las palas que comunmente se encuentran en existencia es de $3/8$, $1/2$, $3/4$, 1 , $1\ 1/4$, $1\ 1/2$, 2 , y $2\ 1/2$ yardas cúbicas, supuestamente las mas comerciales.

Partes básicas de una pala giratoria.- Las partes básicas de una pala giratoria son el montaje, la cabina, la pluma, el brazo del cucharón, el cucharón y los cables elevadores. Estas se ilustran en la figura de la derecha.



Localizada la pala giratoria en la posición correcta, cerca de la cara del banco que está siendo excavado, se baja el cucharón hasta que su base toque el suelo del pit, con los dientes de éste hacia adelante. Una fuerte tensión se aplica en los cables que hacen que el cucharón avance hacia adelante y hacia arriba. Si la profundidad de corte es correcta el cucharón quedará lleno cuando éste alcance la altura del banco. Si la profundidad del corte es menor no será posible llenar el cucharón de una sola pasada a menos que se pudiera aplicar mayor fuerza de empuje, a veces imposible.

Selección del tamaño de una pala giratoria.- Varios son los factores que deben tenerse en cuenta para seleccionar el tamaño de la pala que se ajuste mejor a las condiciones del trabajo. En primer lugar debe considerarse el volumen de trabajo a ejecutar; por ejemplo, si se trata de utilizarla en pequeños trabajos y diferentes lugares es de suponer que la pala deba estar montada en llantas; cuando la operación se concentre en un lugar, entonces la pala rendirá mejores resultados si esta es del tipo de las montadas en orugas.

Para calcular el tamaño de la pala los principales factores a considerar son, el costo por yarda cúbica de material a excavar y las condiciones de trabajo bajo las cuales la pala ha de tomar parte en la operación.

El costo unitario de material excavado por una pala giratoria depende del tamaño de la operación, el costo inicial de la máquina, el precio del transporte de la misma, su depreciación, y el costo del tiempo para reparaciones.

Las condiciones de operación que se tendrán en cuenta para la selección de la pala giratoria son, la altura mínima a la que la carga se va a depositar, el tamaño de los fragmentos de roca, la resistencia del terreno a la excavación, la producción necesaria, y la capacidad de las unidades de transporte que puede ser limitada por regulaciones gubernamentales o locales.

Espacio requerido para operar.- En su movimiento de corte, cargado, giro, y descarga, la pala necesita de un espacio mínimo de operación. Este espacio se calcula tomando en cuenta las dimensiones de la pluma, las de la barra de la cuchara, la máxima altura de corte y la altura de la descarga; estos, combinados indican el espacio mínimo requerido para que la pala pueda operar.

Rendimiento.- Muchos son los factores que influyen en el rendimiento de una pala, siendo los mas importantes en la selección de la pieza, el tipo de material a excavar, la profundidad del corte, el ángulo de giro, y el tamaño y disponibilidad de las unidades de transporte. El rendimiento se expresa en yardas cúbicas por hora de material en el banco, es decir, antes de su remoción.

Sin ser consideradas pérdidas de tiempo, el rendimiento de las palas ha sido calculado por la Power Crane and Shovel Association, de acuerdo al cuadro que se expone, y en el que en la primera línea se indica la profundidad óptima de corte en pies, y en la segunda, el rendimiento ideal en yardas cúbicas. Los cálculos han sido hechos suponiendo un ángulo de giro de 90°.

Tipo de material	3/8	1/2	1	1 1/2	2	2 1/2
Arcilla ligeramente arenosa	4.6 115	5.3 165	6.0 205	7.0 285	7.8 355	8.4 405
Arena y grava	4.6 110	5.3 155	6.0 200	7.0 270	7.8 330	8.4 390
Buena tierra común	5.7 95	6.8 135	7.8 175	9.2 240	10.2 300	11.2 350
Arcilla dura	7.0 75	8.0 110	9.0 145	10.7 210	12.2 265	13.3 310
Arcilla húmeda y pegajosa	7.0 40	8.0 70	9.0 95	10.7 145	12.2 185	13.3 230

RENDIMIENTO IDEAL DE PALAS GIRATORIAS

En yardas cúbicas por hora, in situ

La profundidad del corte hace variar el rendimiento de la pala giratoria, al hacerse necesario ejecutar varias veces el mismo movimiento para llenar el cucharón cuando esta profundidad es muy superficial. La profundidad del corte debe ser tal, que sólo una levantada del cucharón sea necesaria para que éste sea llenado.

El ángulo de giro de la pala es el expresado en grados entre la posición de excavación y de descarga, entre las que la pala se desplaza horizontalmente. A mayor ángulo de giro, menor eficiencia. Por ejemplo, si el ángulo de giro en cortes de óptima profundidad es reducido de 90 a 60 grados, el rendimiento de la pala aumenta en un 16%.

Si las unidades de transporte estuvieran siempre disponibles, el terreno, tierra blanda, el nivel uniforme, y las condiciones climáticas favorables, el proyecto presentaría las mas desea-

bles condiciones para un alto rendimiento.

El efecto de la dirección en el rendimiento de las palas giratorias.- La actitud del propietario o usuario de una pala al disponer las condiciones bajo las cuales esta ha de operar, afectan la productividad de la misma. Desde que el propietario no puede cambiar las condiciones naturales del lugar de trabajo, debe tratar de mejorar el control de la máquina para lo que se tendrá en cuenta lo siguiente:

- 1) Engrasado y lubricación frecuente,
- 2) Control y abastecimiento de piezas de rápido desgaste, y cambio de estas cuando la pala no está trabajando,
- 3) Cambio de cables gastados entre guardias,
- 4) Conservación y reemplazo de los dientes del cucharón,
- 5) Disponer de camiones del tamaño correcto para eliminar pérdidas de tiempo en cargado y espera de vehículos, y
- 6) Proveer supervisión competente para mantener el trabajo en una marcha normal.

DRAGA DE ARRASTRE

Estas excavadoras son muy similares a las palas giratorias, y como ellas, se usan en el movimiento de tierras que son descargadas en camiones, vagones, o depositadas en pilas o en muros para represas u otros fines, cerca del lugar de excavación. Una pala de hasta dos y media yardas de capacidad de cucharón puede ser reemplazada en su pluma por una mas larga y así transformarse en una draga de arrastre; para ello también se requiere reemplazar el cucharón de la pala por un adecuado balde para la draga

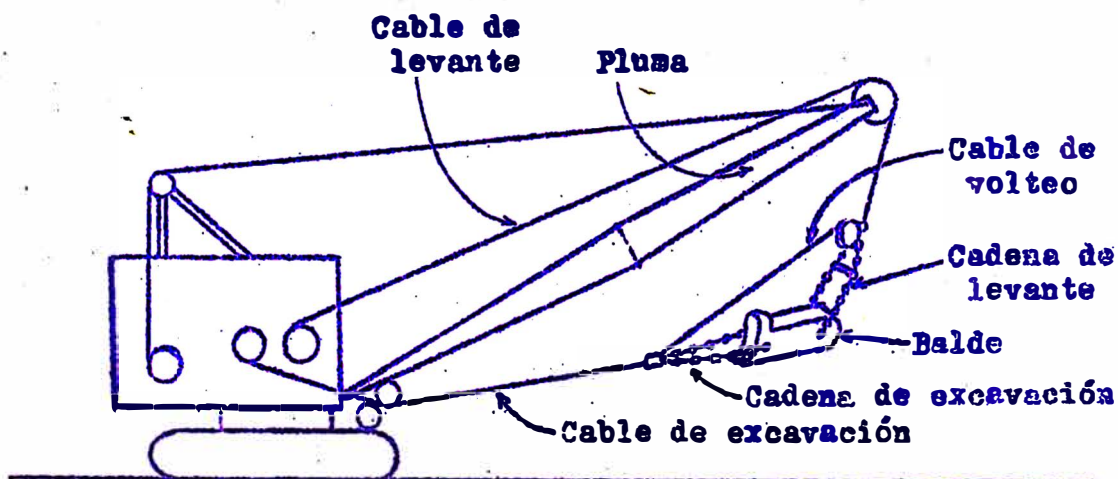
Los campos de aplicación de la draga de arrastre son casi los mismos que los correspondientes a la pala giratoria, habiendo una característica que permite que la primera sea mas efectiva bajo ciertas condiciones, y estas son aquellas en las que sea necesario que la máquina no tenga que ingresar al fondo del pit cuando el balde de la misma sea lanzado hasta estas posiciones para excavar. La draga de

arraastre puede operar en tierra natural mientras su balde es lanzado al fondo del pit, lo que no puede hacerse con el cucharón de la pala. Esta característica es el fundamento de la aplicabilidad de la draga de arrastre, que es aparentemente insuperable cuando el fondo del pit está anegado impidiendo, de este modo el ingreso de los camiones. Por la aplicación de esta máquina los camiones no tendrán que ingresar hasta el fondo del pit para ser cargados.

Si las dimensiones del pit lo permiten, y contando con una draga de arrastre con pluma suficientemente larga, esta puede depositar su carga en los límites del pit, eliminando así el empleo de unidades de transporte de carga.

La característica indicada como ventaja sobre las palas giratorias es opacada cuando se comparan los rendimientos de ambas máquinas, comparación en la que las palas muestran ser mas eficientes. La experiencia indica que las dragas de arrastre logran excavar del 75 al 80 por ciento de lo que las palas giratorias de las misma capacidad consiguen remover.

Partes de una draga de arrastre.- Son casi las mismas que las de la pala giratoria con algunas variantes en el diseño; estas son el montaje, la cabina, la pluma, los cables de levante y de excavación, el balde, y las cadenas del balde; estas se muestran en la figura de abajo.



La excavación comienza al balancearse el balde hacia el punto donde se encuentran las tierras por remover. En la posición inicial, ambos cables, de levante y de excavación, se encuentran sueltos; la excavación se logra al aproximar el balde hacia la máquina por medio de la aplicación de tensión en el cable de excavación, mientras que el otro cable sirve para regular la profundidad del corte. Cuando el balde se llena, el operador lo levanta, y la carga no cae hasta que sea llevada al punto en donde se desea descargar, hacia donde el balde la transporta por un giro de todo el mecanismo. Una vez depositada la carga, la draga de arrastre, por un giro en sentido opuesto, regresa a las posiciones que se requiera para seguir trabajando.

Es bastante difícil ser preciso en la descarga del material excavado por una draga de arrastre, aún para los mas expertos operadores, por lo que es recomendable, en caso de que esta no sea apilada, que las unidades de transporte sean de considerable capacidad para, al menos, reducir la caída de material al suelo, y, si es posible, evitarla.

Rendimiento.- Los factores que afectan el rendimiento de las dragas de arrastre son casi los mismos que los que se han tomado en cuenta en el estudio de las palas giratorias; los mas importantes son: las características físicas del material a excavar, la profundidad permisible de corte, el requerido ángulo de giro para la descarga, y la disponibilidad y tamaño de las unidades de transporte.

El rendimiento de las dragas de arrastre se expresa también en yardas cúbicas por hora de material medido en el banco. Esta cantidad se obtiene al multiplicar el volumen de material que el balde excava en cada ciclo, por el número de ciclos que se realizan en una hora; esto se divide entre 1 mas el coeficiente de expansión del material al ser excavado.

Al igual que para las palas giratorias, la Power Crane and Shovel Association ha calculado el rendimiento ideal para las dragas de arrastre de pluma corta. En la tabla que se expone en la página siguiente, el rendimiento ideal se indica en yardas cúbicas de medida de banco, el ángulo de giro es 90°, y no se consideran retrasos.

Tipo de material	Capacidad del balde, yd ³					
	3/8	1/2	1	1 1/2	2	2 1/2
Arcilla ligeramente arenosa	5.0 70	5.5 95	6.6 160	7.4 220	8.0 265	8.5 305
Arena y grava	5.0 65	5.5 90	6.6 155	7.4 210	8.0 255	8.5 295
Buena tierra común	6.0 55	6.7 75	8.0 135	9.0 190	9.9 230	10.5 265
Arcilla dura	7.3 35	8.0 55	9.3 110	10.7 160	11.8 195	12.3 230
Arcilla húmeda y pegajosa	7.3 20	8.0 30	9.3 75	10.7 110	11.8 145	12.3 175

**RENDIMIENTO IDEAL DE LAS DRAGAS DE ARRASTRE
en yardas cúbicas por hora, in situ**

Aplicabilidad de las dragas de arrastre.- La draga de arrastre no es tan efectiva en las excavaciones como la pala giratoria de cucharón de brazo rígido, ni tampoco como la retroexcavadora, cuya exposición se hace después de esta máquina. Como el balde está sujeto solamente por cables y cadenas, se requiere una gran habilidad de operación para lograr mas altas eficiencias de producción.

La gran ventaja de las dragas de arrastre sobre las demás maquinas de excavación es su gran alcance, tanto para excavar como para descargar; pues tiene una gran capacidad de excavación a profundidades mayores que aquella en la que se sienta su montaje.

Se prefiere el empleo de esta máquina cuando el terreno alrededor de la excavación es muy suave o húmedo y no sea conveniente el estacionamiento de la excavadora en estos lugares. Cuando se excava en lodo, la draga de arrastre aparece como la mas efectiva herramienta porque su alcance le permite dominar una gran superficie desde el punto donde se estaciona para operar. Es tambien muy efectiva en operaciones de despalme, en las que el material deba disponerse formando montones lejos del banco y al alcance de la pluma de la draga.

Solamente bajo las condiciones expuestas las palas giratorias podrán ser substituidas por las dragas de arrastre, que en general muestran ser de menor rendimiento en condiciones normales.

RETROEXCAVADORA

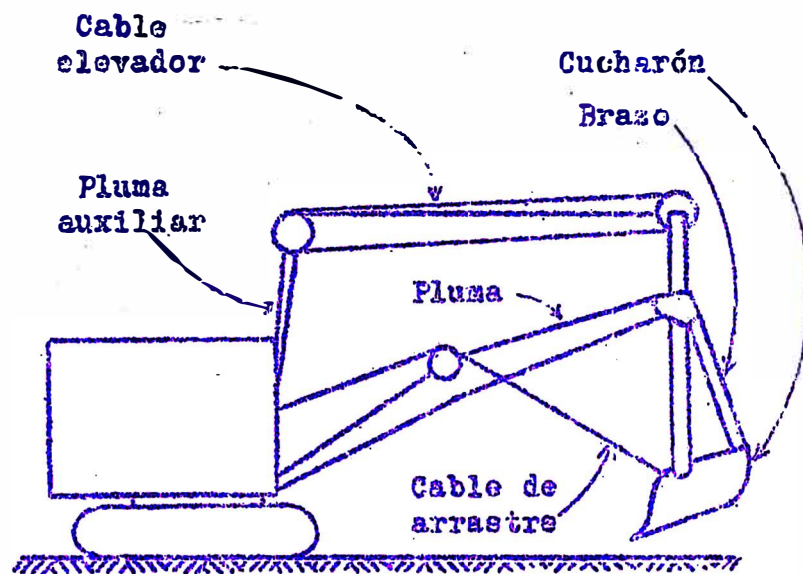
Esta herramienta ha sido diseñada para hacer excavaciones por debajo del nivel en que se apoya. Se asemeja mucho a la pala giratoria, y su diferencia estriba en la forma de excavar, pues mientras la pala giratoria es altamente eficiente en cortes sobre el nivel en que su montaje se basa, la retroexcavadora es eficiente solamente cortando a niveles inferiores del mismo. La posición del cucharón es tal que la pala giratoria excava hacia arriba y adelante, y la retroexcavadora lo hace en sentido contrario.

Partes de la retroexcavadora.- En esencia, son las mismas que las de la pala giratoria, aunque su diseño y disposición las diferencian. Simplificando, las partes de la retroexcavadora son, el montaje, la cabina, las plumas, el cucharón con su brazo, y los cables de elevación y de arrastre.

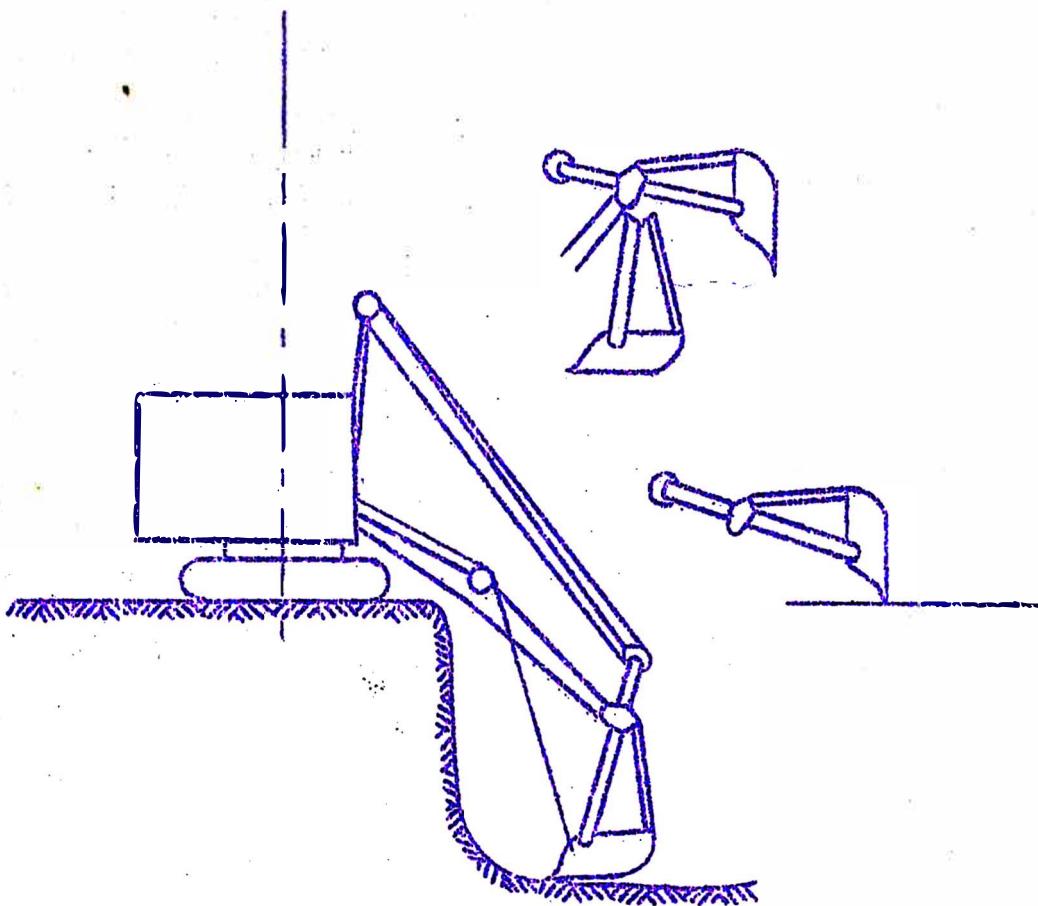
La retroexcavadora cuenta con una pluma auxiliar, y también con un brazo ajustado al cucharón de la retroexcavadora.

El cucharón está provisto de un fondo dentado, y además, de cortadores laterales. Para facilitar la descarga, el cucharón es generalmente más ancho en el frente que en la parte de atrás.

Las retroexcavadoras de más demanda cuentan con cucharones de tamaños entre veintiuna y cuarenta pulgadas, con lo que se cubren las necesidades de maquinaria para cualquier caso que no sea excepcional.



Operación de la retroexcavadora.- Como vemos en la figura, la retroexcavadora funciona por un complicado sistema de tensión de cables. La excavación comienza cuando al soltarse el cable elevador, la cuchara toma contacto con el terreno; la pluma es también bajada hasta la posición deseada. Por tensión en el cable de arrastre, el cucharón corta y se llena de material. Así entonces, se lleva a la posición de descarga, que generalmente se hace sobre camiones; se suelta el freno de arrastre, y el cucharón cargado oscila hacia afuera. La descarga es variable al considerar las características del material excavado, pero



en algo se ayuda, si se sacude el cucharón por la aplicación intermitente del freno de arrastre durante la descarga.

Luego de ser descargada la cuchara, la cabina gira, y vuelve a la posición de excavación.

Cuando el material excavado va a cargarse en camiones, estos deben ubicarse muy cerca de la cabina de la retroexcavadora para

evitar que el material caiga al suelo. Además de ello, debe hacerse que los camiones se sitúen en posiciones tales que el ángulo de giro de la cabina sea el mínimo posible, y así aumentar la eficiencia de la excavación.

Aplicaciones de la retroexcavadora.- Al igual que la pala giratoria, la retroexcavadora tiene la ventaja de tener un cucharón rigidamente controlado por lo que los dientes de este pueden siempre ser colocados en la posición de ataque mas conveniente. La operación de la retroexcavadora, como ya se ha dicho, se realiza a niveles inferiores al que ella se apoya, con lo que a menudo, la máquina, así como los vehiculos de transporte del material, se sitúan fuera del lodo, roca, o espacios pequeños que pudieran complicar el cargado y acarreo en el nivel en remoción.

El principal campo de aplicación de la retroexcavadora es el de pequeñas excavaciones en terrenos superficiales, como por ejemplo, en la construcción de sótanos y de zanjas de hasta cinco metros de profundidad.

Su difícil manejo, y la ineficiencia de un ciclo lento, la hacen practicamente inútil en trabajos de excavación en gran escala. Además se requiere mucha habilidad de operación para evitar caídas del material antes que el cucharón llegue al punto de descarga.

Rendimiento.- El volumen de material que la retroexcavadora puede mover en la unidad de tiempo es muy variable, dependiendo, no solo de las condiciones de trabajo, sino, como ya se hizo hincapié, en la habilidad del operador. Una retroexcavadora, en general, cuando es empleada a baja profundidad de corte, puede rendir tanto como una pala de las mismas dimensiones; sin embargo, cuando esta profundidad es mayor, el rendimiento decrece considerablemente.

La excavación mas efectiva se consigue cuando el brazo del cucharón y la pluma forman un ángulo recto, lográndose un mayor rendimiento cuando la excavación se hace muy cerca de la posición en la que la máquina está estacionada, pues, el ciclo se reduce y el material entra mejor en el cucharón, al ser éste elevado cerca a la máquina.

b) Excavadoras transportadoras

Bajo esta clasificación agrupamos las máquinas cuya operación no sólo se limita a cortar el terreno, sino que está diseñada para transportar el material extraído a distancias mayores que las que se logran con las simples excavadoras. El material que estas máquinas mueven puede directamente apilarse, disponerse en tolvas, o cargarse directamente a los vehículos que han de transportarlo.

Aunque existen diferentes tipos y modelos que pudieran ser considerados en este grupo, el estudio se limita a la exposición de la excavadora de cable, la excavadora de rueda, y la excavadora de canguilones.

EXCAVADORA DE CABLE

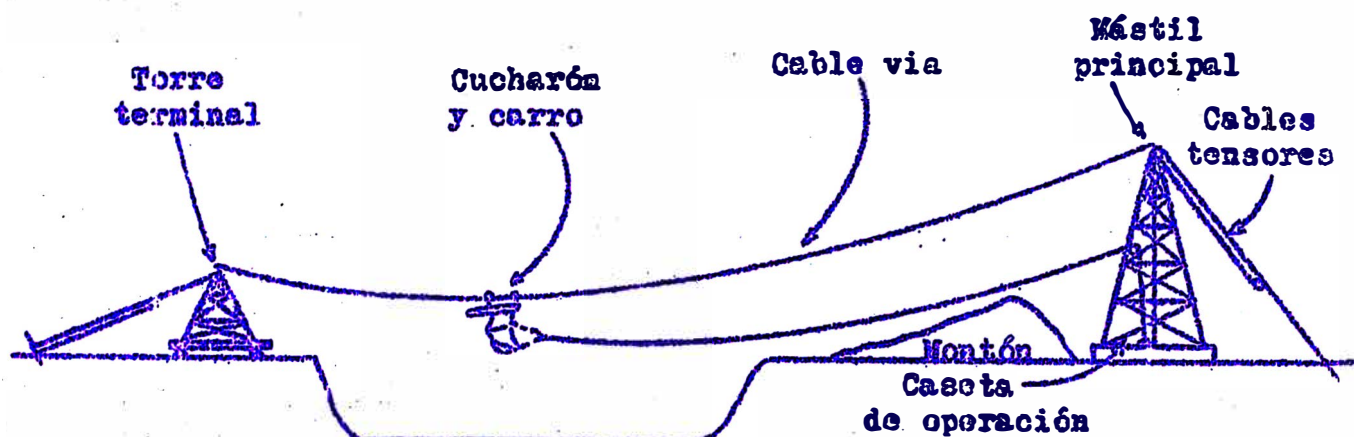
Este es un nombre generalizado para identificar el sistema de excavación por el cual, un cable que soporta a un cucharón de arrastre, lo desliza entre dos puntos que pueden distar hasta trescientos metros.

Uno de estos puntos terminales es denominado estructura principal, y puede tratarse de una torre que permanezca inmóvil durante todo el proceso de la explotación. El otro punto, llamado ancla terminal, está proyectado para moverse a lo largo del borde de la excavación proyectada.

En algunos casos, y por creerse así conveniente, se ha instalado dos torres viajeras, una a cada lado del área por remover; lo que es preferible, cuando por razones técnicas sea necesario hacer cortes paralelos en vez de radiales.

Excavadora de Cables-Vías flojas.- Entre todas las variantes, explicaremos el funcionamiento del modelo que se indica: Cuando el cable que soporta el cucharón es aflojado, éste baja hasta hacer contacto con la superficie en excavación; si el cable se estira nuevamente, el cucharón es elevado.

La estructura principal está integrada por un mecanismo accionado por un motor, una torre, una tolva, los cables que soportan



y dirigen al cucharón de arrastre, y el ancla que es el punto hacia donde todas las tensiones se dirigen.

El elevador está formado por un malacate de dos tambores, uno de arrastre, que sirve para acercar el cucharón, y el otro, que sirve para sostener al cable de tensión que regula la altura del cable vía.

El mástil principal es diseñado en forma semejante a la pluma de una grua; su base está dispuesta de modo que se permita un ligero cabeceo para contrarrestar los esfuerzos causados al estar las retenidas afectadas por tensiones desiguales. Para mayor estabilidad, si fuera necesaria, el mástil se sujeta con una serie de cuatro o ocho cables que se anclan al terreno. En el mástil se cuelgan las poleas por las que pasan los cables que vienen desde el malacate.

Corca al mástil se ubica la tolva, en donde se descarga el material excavado. El diseño de esta depende del destino final del material extraído.

El elemento excavador es un cucharón de tipo draga soportado por cadenas conectadas a los cables. El cable vía está sopor-

tado por la polea tensora, y el cable de arrastre pasa por otra polea y llega hasta la polea de descarga, desde donde una cadena corta descarga a un grillete que la conecta a dos cadenas de arrastre que fijan la posición del cucharón. La cadena de descarga está anclada en la parte delantera del carro, pasa por la polea de descarga y conecta al respaldo del cucharón.

Al ejecutar tensión en el cable de arrastre el cucharón queda en posición de excavar.

Para conseguir la posición de descarga se aplica tensión en las cadenas correspondientes, de modo que el respaldo del cucharón se levante y caiga la carga.

El anclaje final del cable via está diseñado de acuerdo a la frecuencia con que tenga que cambiarse la trayectoria del cucharón, la que también viene a ser dependiente de la profundidad a la que la excavación esté proyectada.

Operación de la excavadora de cables-vías flojos.- Al soltarse el freno de arrastre, el cucharón desciende hasta la superficie de excavación en donde el freno de arrastre es aplicado nuevamente, soltándose el freno de tensión. Cuando la excavación se realiza bajo agua, el operador debe acostumbrarse al manejo de los controles al tacto, es decir, observando las posiciones del cable via cuando el cucharón hace contacto con la superficie del terreno .

Una vez que el cucharón está en contacto con el terreno, se le hace avanzar hacia el mástil, embragando en la velocidad mínima. Cuando el cucharón está lleno, se estira el cable via para elevar el cucharón. Luego, embragando el arrastre a alta velocidad se lleva el cucharón hacia la tolva, en donde por lo general, vacía su carga automáticamente.

El método de movimiento de tierras con la excavadora de cable puede ser también selectivo, para lo que el anclaje terminal y los puntos de excavación deben estar correctamente relacionados.

Las mejores condiciones para la aplicación de este sistema de excavación se encuentran cuando los terrenos se derrumban o

o son muy húmedos, lo que permitiría excavaciones a lo largo de una línea por prolongados períodos, y cuando el ancla terminal deba desplazarse, lo puede hacer en grandes tramos.

Si los terrenos son estables, es decir, si no se derrumban a los lados de la zanja hecha por el cucharón, la eficiencia de excavación se reduce, porque a menudo será necesario cambiar la posición del ancla terminal en tramos muy cortos, lo suficiente para que el cucharón opere en áreas sin excavar y evitar que caiga lateralmente en una de las antiguas zanjas.

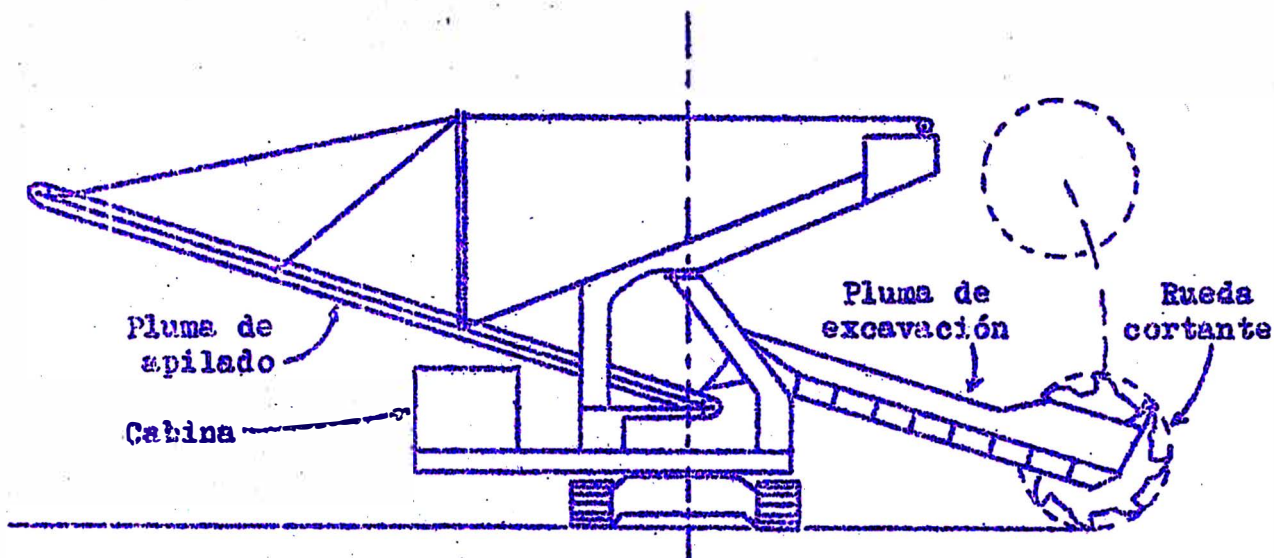
Pendimiento.- La velocidad de excavación por estos métodos es muy variable, y depende de las condiciones físicas del material, principalmente. Si bien su eficiencia es menor que la mayoría de las excavadoras netas, este sistema es prácticamente insustituible en la excavación de materiales muy blandos o que se derrumban fácilmente, y especialmente, cuando las zonas a excavar están anegadas. El material es llevado fuera de la zona de excavación en donde puede directamente vaciarse en fajas transportadoras, en camiones, o simplemente puede ser apilado.

Es requerido que el volumen de tierras a mover sea muy alto, y constituidas por materiales finos que no incluyan fragmentos que no quepan en el cucharón, para considerar la aplicación de esta máquina, que por su gran tamaño es de muy altos costos de tenencia y de instalación. En general, su compra no es una buena medida, a menos que se justifique por un alto volumen de trabajo a realizar.

EXCAVADORA DE RUEDA

La tendencia hacia el minado continuado llevó, primero a la industria minera alemana y luego a la de otros países como los EE. UU. de Norteamérica y Rusia, al empleo de este tipo de excavadora de cuya descripción nos ocupamos a continuación.

La excavadora de rueda está esencialmente formada por, el montaje, la cabina, la rueda cortante con sus compartimientos, y las plumas de excavación y de apilado provistas de sus fajas transportadoras.



El montaje es, casi por lo general, en orugas, lo que le permite desplazarse en terrenos muy blandos sin hundirse a pesar de su alto peso; en la cabina se sitúa el operador, desde donde domina todos los controles. En algunas excavadoras gigantes se necesita la participación de más de un operador, pero los modelos americanos se han diseñado para ser manejados por un solo hombre.

La rueda cortante está formada por una serie de compartimientos radiales, cada uno de ellos, con un labio sobre el que se encuentran los dientes.

La rueda está unida al resto de la máquina por la pluma de excavación con una faja transportadora que lleva el material, que la rueda le deposita por un mecanismo especial, hasta el punto de transferencia a la faja de apilado, que tiene mayor longitud y sirve para la disposición del material excavado, ya sea hacia otras fajas, a camiones, a vagones, o a pilares.

La excavadora de rueda es el resultado de la búsqueda de herramientas para el minado continuo. Su fabricación está justificada por la existencia de muchos yacimientos que necesitan de un alto movimiento de tierras durante muy largos períodos. Las dimensiones de estas máquinas han tendido a gigantescas, de muy larga vida económica hasta su depreciación total.

El uso de esta máquina exige la disponibilidad de otras grandes máquinas. A menudo, un sistema de ferrocarril o una flota de camiones de alto tonelaje sirven a una sola excavadora de rueda.

Los alemanes fueron los primeros en diseñar, fabricar y utilizar este aparato, que dió fantásticos resultados desde el principio, cuando fué empleado para remover sobrecargas y minar el carbón. Las primeras excavadoras de rueda fueron fabricadas de modo que su campo de acción fuese limitado a terrenos de fácil corte.

Estas excavadoras son de operación simple, pero no permiten descanso ni a la máquina ni al operador.

Estas máquinas, normalmente no requieren la ayuda de pequeñas unidades auxiliares como bulldozers o cargadores de tractor.

Las excavadoras de rueda son aparatos de muy alto costo inicial, pero, por sus altos radios de producción dan muy bajos costos unitarios. Su rendimiento económico sólo puede ser alcanzado bajo un intenso uso con alta producción.

Las modernas excavadoras de ruedas pueden operar en terrenos, los que en algunos casos no pueden ser cortados por las palas giratorias sin una previa voladura. En así, muy pocas operaciones en América cuentan con esta máquina, y las pocas que son usadas, se encuentran en los EE. UU., especialmente en California, Ohio, Illinois y la Florida.

Muchas empresas podrían contar con este aparato, y si no se usa, es principalmente debido a la familiaridad que se tiene con las palas giratorias y las dragas de arrastre, y también a la falta de conocimiento sobre aplicabilidad y operación de la excavadora de ruedas y de sus costos de operación y unitarios.

Es de anotar que esta máquina no puede reemplazar en todos los casos a las palas giratorias o a las dragas de arrastre, pero cuando las circunstancias permiten su empleo, la excavadora de rueda puede superar fácilmente en rendimiento y en costos a cualquier otra excavadora convencional.

El aspecto, que por su importancia, hace que esta ex-

cavadora sea de inapreciable utilidad es que la mayor parte de los cuerpos mineralizados de mediana y baja ley son encontrados bajo grandes volúmenes de sobrecarga, para lo que se necesita encontrar medios de extracción de alto volumen y bajo costo unitario.

Las sobrecargas, integradas generalmente por arenas, o por algún otro material blando, permiten la operación de la excavadora de rueda. Algunas veces, el escarificador ayuda ablandando el terreno para que la excavadora de rueda consiga un mayor rendimiento a la vez que menor desgaste de los elementos cortantes.

En las minas de carbón del Medio Oeste Norteamericano se están utilizando excavadoras de rueda que mueven shales y pizarras los que preliminarmente han sido fragmentados por voladura. En un proyecto de movimiento de tierras en California, se estuvo profundizando en material quartzítico con el empleo del mismo aparato. En Alemania, los ciclos de voladura y de transporte de materiales han sido cambiados por el continuo minado característico de esta excavadora en la extracción de arcillas para cerámica; en ese mismo país, las minas de lignito exhiben asombrosos movimientos de tierras con excavadoras de rueda. En Marruecos, esta máquina es utilizada en la explotación de fosfatos; mientras en Canadá, las arenas petrolíferas Athabasca son minadas con el empleo de dos poderosas excavadoras de rueda que son operadas a la mitad de su eficiencia teniendo ambas una producción combinada de 100,000 toneladas por día.

Nuevas aleaciones de cuchillas dan mayor campo de acción a este aparato que en Ohio se utiliza para cargar duros shales que no han sido previamente volados.

En el campo del cargado del material apilado en grandes volúmenes, los costos unitarios son extremadamente reducidos.

Con un previo estudio de voladura y excavación y con una adecuada coordinación se podría considerar el uso de una excavadora de rueda, la que encontraría un material previamente elaborado.

En Neyveli, India, aproximadamente el 15% de las arenas que integran la sobrecarga del depósito, y que van a ser ex-

traídas por la excavadora de rueda, son perforadas y disparadas para mantener constante el rendimiento del aparato y evitar el desgaste cuando éste esté operando en zonas duras; la excavadora podría cortar las duras areniscas sin ayuda de la voladura, pero el ritmo de extracción bajaría considerablemente.

Sin embargo, casi en la generalidad de los casos, la excavadora circular no es la más aparente cuando los materiales a excavar necesitan de una voladura previa; la voladura podría normalmente producir una serie de fragmentos tales, que pudieran no ser movidos por la boca de la rueda, y consecuentemente, obstruyan las entradas o malogren las fajas o los puntos de caída.

Comparación entre la excavadora de rueda versus el equipo convencional.- Las excavadoras de rueda son físicamente más pequeñas que las palas giratorias o las dragas de arrastre de igual capacidad horaria, debido a lo continuo de su operación.

En comparación con las palas giratorias y las dragas de arrastre, las excavadoras de rueda se caracterizan por: a) Menor demanda de fuerza instantánea, b) menor peso de equipo a iguales niveles de producción, y c) Movimiento continuo de cargas.

El promedio de consumo de fuerza de una pala se calcula entre 0.38 y 0.54 KWH por yarda cúbica, mientras que la excavadora de rueda necesita entre 0.23 y 0.36 KWH por yarda cúbica.

Se deduce del funcionamiento que la fuerza requerida por la rueda para excavar es diferente que la empleada para levantar la cuchara de la pala a todo lo alto del banco. La excavadora de rueda avanza en pequeños incrementos de corte de acuerdo a la velocidad de la rueda que carga materiales blandos y ligeramente duros. La velocidad de la rueda es limitada por la fuerza centrífuga en cada compartimiento cargado, y por la conservación de las piezas mecánicas y de corte.

Las modernas excavadoras de rueda.- Después de la segunda guerra mundial, se ha encontrado en los laboratorios y puesto en aplicación muy diversas aleaciones de aceros para enfrentar los problemas de desgaste por fricción, de temperaturas heladas y de fatiga

por el esfuerzo. Los sistemas electricos encontraron mayor aceptación por lo automático de su operación y control de trabajo pesado, que incluyen paradas en casos de emergencias. Las piezas relacionadas mas íntimamente a la excavación han sido mejoradas y diversificadas. Los sistemas de fajas transportadoras han sido inmensamente mejorados, hoy con las anchas correas de cordones de acero con coberturas sintéticas que dan una mayor vida a las fajas, y con las que se logran altas velocidades con un mínimo desgaste. Estas son algunas de las mas importantes razones por las que estas excavadoras se han desarrollado al punto de poder operar en terrenos medianamente duros.

Los terrenos de dureza intermedia requieren de una mayor velocidad de rueda. Mientras que hace dos decenios, la velocidad de la rueda era de apenas de cincuenta metros por minuto, hoy se reportan estas velocidades tan altas como 300 metros por minuto.

En la actualidad, es un hecho que la velocidad de corte de la rueda de la excavadora está limitada por la cantidad de material que las mas anchas fajas puedan transportar; estas fajas tienen un ancho máximo de tres metros.

Selección de una excavadora de rueda.- Es difícil calcular previamente el rendimiento probable de una de estas excavadoras además del diseño que mejor se adapte al trabajo a ejecutar; si el trabajo es realmente grande el diseño puede ser especialmente preparado. Todas las condiciones de operación, así como los rendimientos deseados deben ser íntimamente estudiados para poder ser considerados en las especificaciones y en el diseño de la excavadora de rueda. Algunas de las condiciones que deben considerarse para la selección son, el tipo de material a remover, el plan de minado (que debe estar sujeto a variación por la disponibilidad del equipo), la capacidad deseada, y el sistema de transporte a los puntos a los que el material sea destinado.

No es muy fácil seleccionar una excavadora de rueda que cumpla los requerimientos de producción calculados. Las palas giratorias son mas o menos constantes en su rendimiento, sea cual fuere la calidad del material en excavación. El comprador de una excavadora

de rueda debe desarrollar sus propios factores de operación para calcular el tipo de excavadora que requiere. No solamente la capacidad y diseño serán necesarios conocer, sino la fuerza requerida y cualquier otro factor que pudiera afectar el normal desempeño de las operaciones.

Recopilando los datos de operación de algunas excavadoras de rueda se puede comparar los rendimientos real y teórico. Los exponemos en el cuadro siguiente, que no debe ser tomado como estándar, sino sólo como una referencia. El rendimiento de cada excavadora de rueda está basado en las condiciones específicas de cada problema, que ha sido estudiado como un caso particular.

LUGAR Y MATERIAL	TAMAÑO DEL BALDE YD. CU.	CAPACIDAD TEORICA yd ³ /hr	CAPACIDAD REAL yd ³ /hr	DISPONIBILIDAD EFECTIVA %
California.- Tierra y sedimentos consolidados	2.5	9,000	3,000	42
Australia.- lignito	1.31	2,210	1,450	66
Alemania.- arena y sedimentos semiconsolidados	0.46	1,656	1,180	71
Alemania.- Como el anterior, mas lignito	2.36	11,450	6,800	59
India.- Areniscas	0.91	3,930	2,400	61
Illinois.- Tierra, pizarras, shales y areniscas	1.0	3,780	1,510	40
Illinois.- Sobrecarga mixta y areniscas	1.0	4,050	2,800	70

En la operación, el rendimiento de la excavadora de rueda depende de a) El RPW de la rueda, b) La profundidad del corte, y c) La velocidad hacia el frente. Es perjudicial disponer de una sola velocidad de rueda, desde que esto no es conveniente por encontrarse por lo general varios tipos de materiales en los bancos.

EXCAVADORA DE CANGUILONES

Entre los equipos transportadores, mas que excavadores, se ha incluido esta máquina que está diseñada principalmente para cargar material apilado. Otras máquinas que realizan similar labor son el cargador de banda y el cargador de espas.

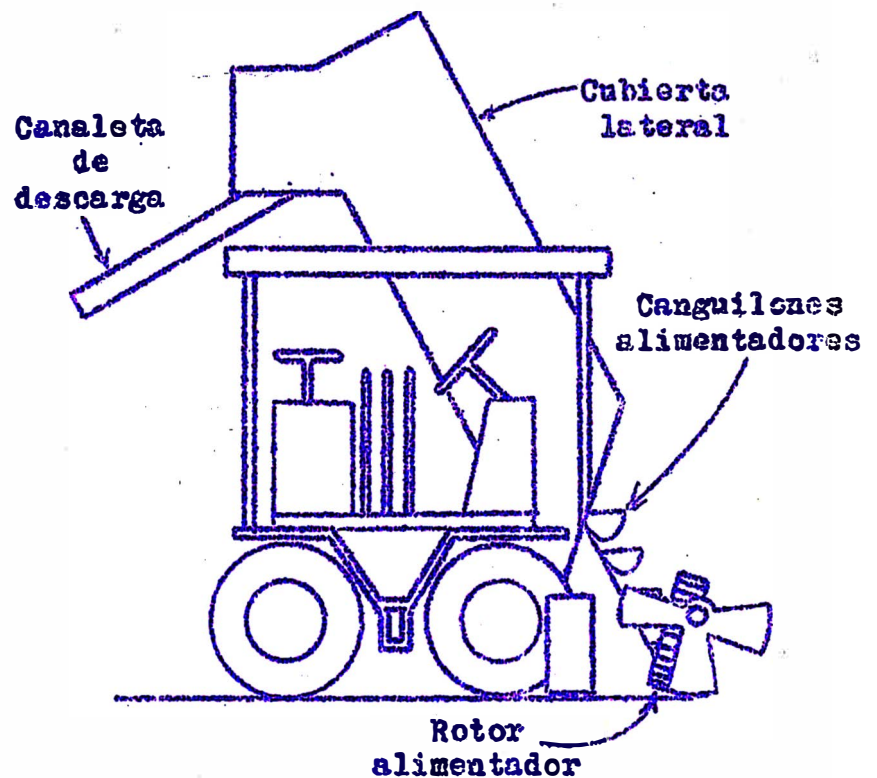
La excavadora de canguilones también se emplea para hacer cortes delgados en la excavación de bancos de material blando.

Partes de la excavadora.- Esta se constituye principalmente por el montaje, el mecanismo alimentador, la elevadora de canguilones, y la canaleta de descarga.

La excavadora se sitúa al borde del material suelto o apilado que se va a transportar. El elevador se baja hasta que los limpiadores se apoyen en el terreno o muy cerca de él. La operación debe ejecutarse solamente cuando un vehículo de carga esté en posición debajo de la canaleta de descarga.

El movimiento hacia adelante debe ser controlado para que los canguilones sean llenados, pero que los alimentadores no se atoren de material.

Si el material es arenoso o se derrumba, esta excavadora puede operar desde una sola posición para llenar varios vehículos. Este mismo material suave puede rehasar las defensas y enterrar las ruedas o tapar las orugas si se hiciera un corte tan profundo que haga derrumbar el montón.



En la excavación de bancos, se debe avanzar hacia adelante a la velocidad que permita el terreno, pues a mayor velocidad que la que se debe se deforman las aspas y la flecha terminal. Los bancos que pudieran interferir en la excavación deben ser puestos a un lado de la excavadora.

Terrenos de mediana dureza pueden ser excavados por este aparato si previamente se hace pasar la escarificadora.

Rendimiento de la excavadora de canguilones.- Esta máquina, que en principio, ha sido diseñada para transportar material apilado, tiene, en general, muy poco uso en las excavaciones. Es eficiente cuando opera a un mismo nivel extrayendo material suelto o que se derrumba. Podemos decir que puede ser empleada en terrenos semejantes a los que pudieran ser removidos por la excavadora de rueda, pero la excavadora de canguilones puede competir sólo cuando el volumen de trabajo no justifique la compra o la instalación misma de una excavadora de rueda.

Hay terrenos de dureza intermedia, para los cuales se ha desarrollado muy eficientes modelos de excavadoras de rueda, para los que no se podría emplear ninguna de canguilones, por lo frágil de su sistema de alimentación.

c) Cargadores de tractor

Estos son aparatos que se usan para la excavación, carga y transporte de materiales a distancias cortas. Cuando el trabajo es pesado se usan montados en orugas o en cuatro ruedas motrices neumáticas, y para trabajos livianos, de dos ruedas motrices.

Que el montaje sea en orugas o en ruedas es un tópico que observaremos al exponer el equipo auxiliar; pero al tratarse de la selección de un tipo de cargador de tractor, se puede afirmar que los tractores de rueda son de menor costo inicial que los de oruga, mientras los costos de operación de este último son menores que los correspondientes al primero. Los cargadores montados sobre ruedas tienen un movimiento más ágil y no perjudican las superficies en las que transitan; en cambio, su eficiencia de tracción los hace inútiles cuando los

terrenos son blandos o arenosos. Los cargadores montados en oruga son de acción lenta, pero operan en cualquier tipo de terreno, especialmente, no compactado. Cuando la velocidad es mas importante que la tracción, la tendencia es a escoger un cargador montado en ruedas.

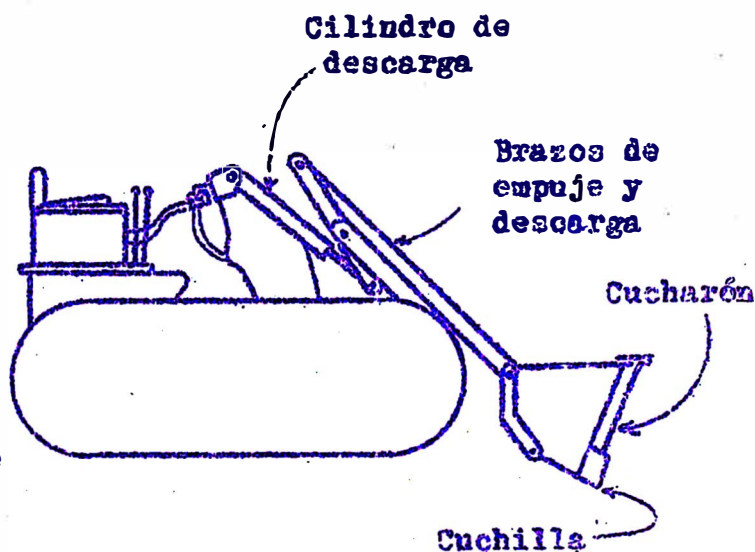
Si bien el cargador de rueda muestra ventajas en su movilidad ágil en cortos tramos, el hecho de lograr tales velocidades le resta poder de tracción, por lo que al pasar cierto límite en su esfuerzo por excavar, el aparato no podrá seguir adelante porque sus ruedas resbalen en su sitio.

Comparemos los coeficiente de tracción entre los aparatos montados en llantas y en orugas, que la podemos ver en la página 16. De esta comparación se deduce, que mientras los aparatos montados en llantas consiguen altas eficiencias de tracción sobre pistas duras, los de oruga toman ventaja en los terrenos blandos en los que su eficiencia de tracción varía entre .7 y .9 de su capacidad total.

Partes de un cargador de tractor.- Estas son esencialmente tres; el montaje, el motor con los controles, y el cucharón de excavación y carga.

El montaje, como se dice líneas arriba, puede ser de orugas o de ruedas; éste es el elemento de contacto con el terreno sobre el que se desplaza.

El motor es generalmente diesel de potencia especificada. El patrón mas importante es la potencia en la barra de tiro. Los controles son una serie de palancas situadas en la cabina.



El cucharón es una caja de construcción simple. En el extremo anterior puede tener, o una cuchilla de acero templado, o una

serie de dientes, también afilados.

Veamos ahora las características del cargador de cuatro ruedas motrices de muy amplio uso en las excavaciones.

El cargador de cuatro ruedas motrices es un aparato que compite con los mas poderosos cuando se trata de movimientos de tierra en escala intermedia. Su agilidad de movimiento le permite desplazarse de un punto a otro con mínima pérdida de tiempo para el recorrido. Este aparato, el mas pequeño que consideramos, es altamente efectivo, en comparación con otras piezas mas grandes, cuando se debe trabajar en varios frentes.

El modelo 988 de la Caterpillar, uno de los mas recientes en el mercado, desarrolla en su tercera velocidad hasta 35 kilómetros horarios, y está dotado de una máquina diesel de 300 H.P. de tracción en las ruedas. El cucharón de arrastre está controlado por dos cilindros hidráulicos que lo hacen girar en un arco de 100° entre posiciones de carga y descarga. El cucharón cargado puede ser levantado hasta una altura tal en que el labio inferior de éste (los dientes) se encuentren a mas de tres metros del suelo. De este modo, esta máquina puede fácilmente descargar materiales a camiones de mediano tonelaje para los que se ha diseñado.

Normalmente, los cargadores de tractor, pueden hacer cortes hasta una profundidad de treinta centímetros bajo el nivel en el que se apoyan

Rendimiento del cargador de ruedas motrices.- Este puede levantar un máximo de 17 toneladas cortas, siendo su peso 31. Dependiendo del tamaño y capacidad de las unidades de transporte, estos pueden usar cucharones desde 1 1/2 hasta 6 1/2 yardas cúbicas. El radio de giro de estos aparatos llega a ser tan corto como 6.70 lo que permite reducidas áreas para su movimiento entre los puntos de excavación y de descarga.

Si los camiones estuvieran siempre disponibles, y el lugar de trabajo permitiera una óptima posición cerca al cargador, éste podría cargar materiales sueltos a un radio de hasta 500 toneladas horarias, aunque es mejor decir que esta cifra es difícil de lograr.

El rendimiento de estos aparatos, como se puede ver, es muy variado, y para ser óptimo necesita de camiones de mediano tonelaje que estén listos para el cargado mientras el cargador de tractor realiza el movimiento de corte,

Operación.- En su posición inicial, el cargador de ruedas motrices se ubica al frente del banco con la cuchara baja y los dientes casi a ras del suelo (pueden hincarse en el suelo cuando se necesite rebajar el nivel del mismo); entonces se avanza hacia el banco y los dientes penetran en el mismo. Al ser levantado, el cucharón debe quedar lleno de material. Con el cucharón en alto, el cargador da marcha atrás en curva para quedar al frente de la respectiva unidad de transporte; luego avanza hacia esta, y colocando el cucharón lleno sobre la tolva lo descarga. Si el vehículo no queda completamente cargado el cargador de tractor vuelve a su posición inicial para repetir la operación, y la repetirá tantas veces como sea necesario para que la tolva del vehículo quede cargada y la unidad de transporte pueda iniciar el movimiento hacia el destino correspondiente. El cargador de tractor se preparará para cargar el siguiente vehículo, y trabajará en el mismo frente mientras sea necesario.

Condiciones de operación.- Es una buena práctica que la altura de los bancos no sea mayor que la máxima que se alcanza con la cuchara levantada, ya que de ese modo se puede controlar la inclinación del frente. Si la altura es mayor, esta inclinación no puede ser controlada por el cargador, y se corre el riesgo de que esta cara por ser mas parada tienda a producir rajaduras en la parte superior del banco, y se tenga que utilizar otros medios para hacer lo necesario de modo que se haga caer los fragmentos, que significarían una peligrosa condición por estar siempre ofreciendo el riesgo de una caída intempestiva con consecuencias que pudieran ser lamentables.

Para emplear esta máquina es preferible que la altura de los bancos del pit sea de un 10% menor que la máxima altura que puede alcanzar la cuchara. Luego, es sugerible emplear el método ruso de bancos altos, por medio del cual, el límite de un banco puede llevarse hasta empatar con el inmediato superior, lográndose así bancos de mucha mayor altura que la recomendada.

La consecución de bancos altos por este método requiere de un mas complicado planeamiento del trabajo, y sólo se recomienda su empleo en depósitos de tan reducido tamaño para la operación de palas giratorias, con las que se logran las mismas alturas de banco pero en una sola operación simple.

El cargador de ruedas debe ser empleado en terrenos muy poco corrugados, pues, de ser estos, muy accidentados, implicarían alzas en los costos de operación por el fácil desgaste de las llantas. Este factor, que a la postre es el mas importante en la selección del tipo de excavadora, lo podemos observar mejor en el capítulo referente a costos, en el que se comparan este cargador con las palas giratorias.

d) Escrepas de autopropulsión

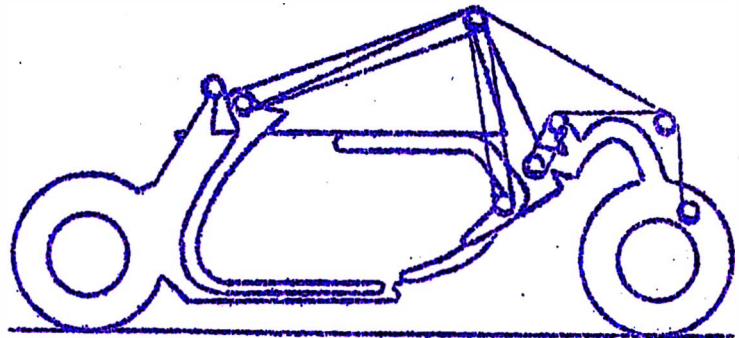
Estas máquinas combinan las operaciones de excavación y de acarreo de materiales. Son muy usadas en la construcción de carreteras, en las que porciones de terreno extraídas de un punto deben ser descargadas en otro cercano.

Si bien, las escrepas combinan eficientemente los dos trabajos claves en toda excavación, estas no superan en sus funciones específicas a las máquinas exclusivamente excavadoras, o a los camiones generalmente insustituibles en el transporte de materiales. Las escrepas, al evitar el empleo de varias máquinas para la excavación, eliminan las pérdidas de tiempo en esperas y en la ejecución de diversos movimientos en el cargado de materiales.

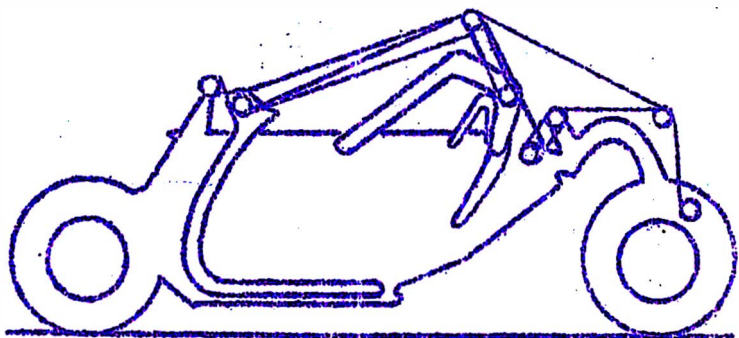
Las escrepas pueden ser empleadas para realizar el ciclo completo de excavación-acarreo- descarga, solamente cuando la distancia entre los dos puntos extremos del ciclo no es muy grande, la que puede variar entre unos cien metros y hasta cinco kilómetros. Los costos por transporte serían muy altos, y el tiempo de viaje, considerable, si se usaran las escrepas para acarreo de materiales a mayores distancias que las calculadas.

Partes de la escrepa de autopropulsión.- Estas, básicamente son: la caja con su cuchilla, la tapa delantera y el eyector.

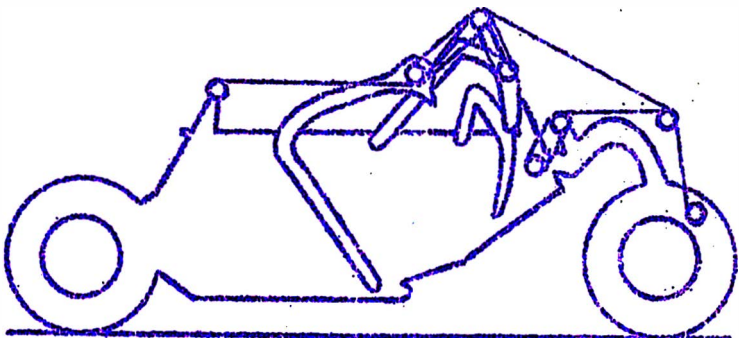
Al bajar la cuchilla, que se extiende a lo ancho de la escarpa, esta se hince en el suelo, y al realizarse la marcha hacia adelante, el material entra en la caja. Al llenarse la caja, la cuchilla se levanta, de modo que la carga encerrada no se desparezca. Después, la escarpa funciona como elemento de transporte, y lleva la carga hacia el lugar donde ha de depositarla; aquí, la tapa delantera se levanta, y el eyector, que constituye la pared trasera de la caja, se mueve hacia adelante para expulsar la carga.



Posición de transporte



Levantando la puerta



Levantando el eyector

Cuando las distancias de acarreo son relativamente cortas, se puede sacrificar el factor velocidad por una más eficiente excavación. En algunos casos se acopla un tractor de oruga a la escarpa, con lo que se consigue reducir los costos a pesar que el acarreo se hace a baja velocidad.

Cuando los recorridos son intermedios, aún se puede acoplar un tractor, pero en este caso la velocidad del acarreo ya toma mayor importancia, pudiendo hacer que el ciclo sea antieconómico.

En la operación Twin Buttes, de Anaconda en Arizona, se usa varios tractores acoplados de dos en dos, que ayudan a las escorepas en la operación de excavación. Los tractores acoplados permanecen en el lugar de la excavación, mientras las escorepas toman la ruta hacia el punto de descarga. Es así como las escorepas reciben ayuda sólo en el momento del cargado; cuando ya están cargadas transportan velozmente el material por sí solas.

Proceso de la excavación.- Al llevarse el eyector hacia el tope posterior de la caja, la puerta se abre parcialmente y la caja se baja hasta que la cuchilla se apoye en el terreno. El motor se acelera en baja velocidad y se hince la cuchilla hasta lograr la óptima profundidad de corte, que en general, varía entre diez y veinte centímetros. A medida que la escorepa avanza, el material cortado es empujado dentro de la caja.

La habilidad de un buen operador se manifiesta por una rápida excavación así como un satisfactorio llenado de la caja de alrededor del 90% de la capacidad.

En algunos pits en los que se utiliza este tipo de máquina, las cajas son llenadas hasta un 90%, pues por experiencia, se sabe que el 10% restante es muy difícil de conseguir, y sobretodo, toma un tiempo que es importante en el ciclo de excavación y que no es deseable perder.

Cuando la caja se encuentra cargada, la puerta se baja y la cuchilla se levanta unos centímetros, sin cerrarse la caja para que se extienda un poco el material suelto y se empareje el terreno en el sitio en donde ha terminado de cortar.

Transporte y descarga.- Cuando la escorepa ha terminado de cargar, la cuchilla se levanta hasta una posición hermética, por la cual se evita la caída de material cargado. La caja debe estar lo suficientemente elevada para evitar que choque con el terreno. Cuando las pistas son conformadas, la caja puede ir baja para hacer el movimiento en las curvas mas estable.

La superficie de rodadura debe ser compacta, ya que de no serlo se pierde mucha potencia en la tracción, lo que es muy impor-

tante cuando la escrepa de autopropulsión hace recorridos de subida. El vaciado se realiza bajando la caja hasta que la cuchilla permita dejar salir una capa de material de espesor deseado. Luego, se levanta la puerta para que la cuchilla pueda formar una capa uniforme. Cuando la puerta queda levantada completamente, el eyector avanza hacia adelante expulsando el material fuera de la caja.

Cuando la operación de descarga termina, se vuelve el eyector hacia atrás, se baja la puerta y la caja se levanta de manera que la escrepa quede nuevamente en posición de transporte, esta vez, vacía y lista para regresar al lugar de la excavación.

Rendimiento.- Las escrepas autopropulsadas son altamente sensibles a los retrascos, en mayor grado que las excavadoras netas. Las lluvias empapan la superficie de corte y reducen la eficiencia de la escrepa, la que si bien puede cargar material, tendría muchas dificultades para descargar uniformemente. La superficie mojada reduce el poder de tracción de las ruedas, las que responden menos eficientemente que en un terreno seco y compacto.

Debido al mal tiempo, normal en algunas épocas, la escrepa puede llegar a tener un rendimiento de hasta por debajo del 50% de su capacidad normal, por lo que deja de ser competente bajo estas circunstancias.

Cuando las excavaciones se hacen en áreas cuyos terrenos son lo suficientemente suaves para permitir el corte, y duros para ser base de las llantas tractoras, las escrepas de autopropulsión pueden ser empleadas en lugar de equipos de excavación y de transporte, siempre que los recorridos sean cortos o intermedios.

e) Equipo auxiliar

Considero en este grupo a dos máquinas, que en realidad, vienen a ser una sola: el tractor con sus variantes, el buldozer y el escarificador, los que pueden ser, ambos, adaptados a un solo tractor. Si se hace alguna diferenciación es porque esos aditamentos dan al tractor características que no las tendría con el diseño original.

TRACTORES

Los tractores son aparatos que convierten la energía de la máquina en energía de tracción. Su principal propósito es empujar o jalar cargas, aunque en algunos casos pueden ser utilizados para otros fines.

Considerando la clase de montaje están divididos en dos grupos:

- 1.- Tractores de oruga, y
- 2.- Tractores de ruedas:
 - a) De dos ruedas y
 - b) De cuatro ruedas.

Aunque se pueden hacer sas claras y precisas subdivisiones, la clasificación hecha es suficiente para los fines que se persiguen.

Para seleccionar un tipo de tractor son varias las razones que se deben tener en cuenta, siendo las principales las siguientes:

- 1.- El tamaño requerido para un determinado trabajo,
- 2.- El tipo de trabajo a ejecutar, ya sea apilando, jalando o empujando, restrillando, cortando, etc.,
- 3.- El tipo de terreno en donde se va a emplear y la eficiencia de tracción requerida,
- 4.- Clase de vías de transporte disponibles,
- 5.- Distancias entre los puntos entre los que hay que movilizar la máquina y la frecuencia con que haya que hacerlo, y
- 6.- El tipo de trabajo a realizar después que la operación haya sido terminada.

Características del tractor de orugas.- Este tipo de tractor es, probablemente, la máquina mas versátil en la industria de la construcción; se usa para una serie de fines, especialmente, cuando se trata de empujar o jalar cargas.

Los tractores de orugas se especifican en tamaño y potencia. Su tamaño o peso es muy importante conocer porque esta dimensión será limitante de la potencia con que la máquina pueda jalar o

empujar. Este máximo es el producto del peso por el coeficiente de tracción, el que ya ha sido anteriormente expuesto.

La fuerza que se transmite a través de la barra de tiro puede ser expresada o en unidades de peso o en caballaje de fuerza.

Aunque se dispone de una gran variedad de tractores de orugas de muy diversas velocidades, la máxima velocidad no llega a exceder los doce kilómetros por hora.

Características del tractor de ruedas.- La necesidad de contar con tractores de alta velocidad hizo que desde hace tres décadas se empezara a emplear tractores equipados con llantas neumáticas que reemplazaran a las orugas en operaciones de tracción simple. Hay tractores de este tipo cuyas velocidades exceden los 45 kilómetros horarios; compiten con los tractores de oruga en casi todos los campos por su habilidad para recorrer distancias a mayor velocidad, cuando los trabajos a realizar así lo requieran, pero esta alta velocidad es lograda a costa de una merma en la tracción alcanzable.

Debido a que los tractores de ruedas presentan una menor superficie de contacto con el suelo, estos tienden a hundirse cuando operan sobre superficies blandas, siendo prácticamente inútiles si se les deseara emplear sobre arena seca.

Al igual que para el caso del tractor de orugas, el tamaño y peso del tractor de ruedas son limitantes en lo que respecta a la potencia máxima que se pueda transmitir a través de la barra de tiro. La tracción que un tractor de ruedas desarrolla se expresa en libras de fuerza que el motor puede llevar hasta el borde de las ruedas de la máquina.

BULLDOZERS

Bulldozer es un término para identificar a los tractores en cuya parte delantera se les ha adaptado una cuchilla frontal. Los hay de varios tipos, clasificados generalmente por la forma de su montaje ya sea este de orugas o de ruedas; también por el sistema de control de la cuchilla que puede ser de cables o hidráulico. Para algunos proyectos cualquier tipo de bulldozer podría rendir similares re-

sultados, pero en algunos otros se encontrarían notorias diferencias en la capacidad.

Esta máquina que la consideramos como auxiliar en las excavaciones, es muy versátil, pudiéndose considerar las siguientes entre las mas importantes operaciones que puede ejecutar:

- 1.- Limpiar el terreno de troncos y arboles,
- 2.- Abertura de trochas en áreas montañosas y rocosas,
- 3.- Movimientos de tierras en cortos tramos,
- 4.- Ayuda a las escrepas autopropulsadas cuando estas están excavando,
- 5.- Esparciendo material sobre el piso,
- 6.- Rellenando zanjas,
- 7.- Barriendo cualquier material que no se desee en el área de trabajo,
- 8.- Acumulando material esparcido para facilitar la operación de la excavadora, y
- 9.- En el mantenimiento de las vías de transporte.

El tamaño de un bulldozer se especifica por las dimensiones de la cuchilla.

Sistema de control de la cuchilla.- No hay un solo tipo de bulldozer que sea superior en todas las circunstancias; sean estos controlados por cables o hidráulicamente, ambos tienen su campo de acción en el que rinden mas eficientemente.

Las mas saltantes ventajas del bulldozer de control de cable son:

- 1.- Simplicidad de instalación y de operación,
- 2.- Facilidad en la reparación de los controles, y
- 3.- Menor riesgo de malograr la máquina, ya que su cuchilla es dominada por terrenos en los que no puede actuar.

En cambio, el bulldozer de control hidráulico tiene sus ventajas en:

- 1.- Capacidad de generar una mayor presión de la cuchilla contra el suelo, además de la normal por el peso de la cuchilla,

2.- La posición de la cuchilla puede ser controlada con mayor precisión.

Operación del bulldozer limpiando terrenos.- Esta es una de las principales aplicaciones del bulldozer. Cuando los árboles no son gruesos, la cuchilla del bulldozer es bajada hasta tocar el suelo. En mínima, la máquina avanza hacia adelante llevando consigo arbustos y madera. Cualquier otro material es también cargado por la cuchilla y entonces llevado hasta lugares en los que no sea un estorbo para las operaciones..

Rendimiento de un bulldozer.- La capacidad de la cuchilla es sólo una referencia de la capacidad de la máquina, la que varía con las características del material que se mueva. Conocida la capacidad de la cuchilla, se puede calcular el rendimiento del bulldozer por la estimación del número de ciclos que la máquina pueda ejecutar en una hora de labor

**RENDIMIENTO DEL BULLDOZER Y CAPACIDAD DE LA CUCHILLA
VOLUMENES IN-SITU**

Dimensiones de la cuchilla		Potencia en la barra	Capacidad de la cuchilla	Rendimiento en yd ³ /hr. para las distancias (pies)			
Largo	Alto	H. P.	yd ³	100	200	300	400
11'3"	45.4"	130	4.8	184	105	74	57
10'3"	45.4"	80	4.4	152	86	60	46
9'6"	38	65	2.8	98	55	38	29
8'2"	38	65	2.4	84	47	33	25
7'2"	32.5"	43	1.5	47	26	18	14
5'8"	27.5"	32	0.9	29	16	11	9

f) Transporte de material.

En este capítulo se consideran las herramientas que se emplean para llevar los materiales extraídos desde el punto de excavación hasta su destino.

Por lo que hemos podido ver, hay excavadoras que pueden apilar el material removido en los alrededores del pit, si este no es muy grande; hay otras que al excavar almacenan el material en un cajón que es parte de las mismas; cuando el cajón se llena, las mismas máquinas transportan su carga hacia puntos que no son distantes del pit.

Cuando los lugares a que se dispone los materiales están a considerables (mas de dos kilómetros) distancias de los puntos de excavación, entonces será mas eficiente usar otras herramientas que se encarguen exclusivamente del transporte de carga. La velocidad y capacidad de estas máquinas las hace insustituibles en sus respectivos campos de operación.

CAMIONES DE VOLTEO

En la disposición de materiales, sean estos, tierra, agregados, roca, mineral, carbón, etc., los camiones son unidades de transporte de alta velocidad en carretera, alta capacidad, y consecuentemente, bajo costo de transporte. Como el número de camiones en una operación es fácilmente variable, este hecho permite flexibilidad para modificar la capacidad total de la flota.

Los trazos carreteros deben ser calculados para que la pendiente máxima no sea un impedimento para la normal utilización de los vehículos empleados. Hay camiones cuyas dimensiones y capacidades son tan grandes para los que está prohibido transitar en carreteras; operan en zonas de gran movimiento de materiales en los que su precio y capacidad son justificados por los bajos costos unitarios.

De acuerdo a sus características los camiones se clasifican y califican por:

- 1.- Tamaño y tipo del motor,
- 2.- Número de velocidades en la caja,
- 3.- Tipo de tracción, sea en dos ruedas, en cuatro rue-

das, y en seis ruedas,

4.- Número de ruedas y ejes,

5.- Método de descarga: posterior, por su base, o por un lado,

6.- Tipo de material para cuyo transporte se ha diseñado, sea este, tierra, roca, carbón, mineral, etc.,

7.- Capacidad, en toneladas o en yardas cúbicas, y

8.- Sistema de volteo hacia atrás, por cable o hidráulico.

Si los camiones se han de emplear en diversas faenas, el comprador debe seleccionar las unidades mas versátiles, o que se adapten a los diferentes fines; pero cuando la operación se calcula dirigida hacia un movimiento constante de altos volúmenes, entonces el interesado debe hacer una selección del aparato que mas se adapta al proyecto.

Capacidad de los camiones.- Son varios los métodos que se usan para expresar la capacidad de los vehículos de carga, en general, pero son tres los mas usados, y estos son: La carga, en peso, que la máquina está diseñada a transportar (en toneladas); el volumen geométrico de la tolva; y el volumen que en la tolva se pueda transportar, estos dos últimos expresados en yardas cúbicas. Mientras los dos primeros métodos expresan cifras invariables, el tercero cambia de acuerdo con el tipo de material que se transporta; por ejemplo, se puede transportar tierra húmeda cargada de modo que la altura en que el material sobrepase el borde de la tolva sea de la mitad del ancho de esta; pero, al transportar arena seca difícilmente se lograría que esta altura fuera de un sexto del ancho de la tolva.

La capacidad máxima, en peso, que un camión esté diseñado a transportar, es muy necesario tenerla en consideración cuando se transporta materiales de alta densidad, como minerales de fierro o concentrados metalúrgicos. Sin embargo, cuando la gravedad específica del material es baja, se debe tratar de llenar los camiones al máximo volumen posible.

Selección del tipo de camión de acuerdo a la excavadora.- Cualquiera que sea el tipo de camión a usar, se debe tener en cuenta que la cantidad seleccionada debe absorber y disponer todo el material que se excava, para así lograr la mayor eficiencia de la excavación. Cuando se emplean excavadoras grandes la dimensión de la tolva del camión debe ser al menos tan grande como para contener el material que el cucharón tenga como capacidad.

Los camiones de poca capacidad tienen sus ventajas en los siguientes puntos:

- 1.- Facilidad de manejo,
- 2.- Facilidad de balancear el número de camiones con la producción de la excavadora, y
- 3.- No hay bajas ineficiencias notorias en el ciclo cuando una de las unidades de transporte se malogra.

Los camiones grandes, en cambio, son ventajosos en:

- 1.- Menor cantidad de camiones para la misma operación,
- 2.- Consecuentemente, menor requerimiento de choferes,
- 3.- Mayor control de localización de elementos de transporte, y
- 4.- Se permite el servicio de excavadoras de variado rendimiento.

La capacidad de los camiones debe ser de aproximadamente cuatro o cinco veces la capacidad del cucharón de las palas o dragas de arrastre, para que, mientras una unidad de transporte esté siendo cargada, otra llegue y se sitúa en posición en el lugar aparente para ser también cargada. Sin embargo, en los grandes pits del sur-este Norteamericano, se usan camiones que, aunque siendo de gran capacidad, son llenados con un solo movimiento de cucharón; estos camiones se colocan sincronizadamente a uno y otro lado de la excavadora, la que debe estar constantemente ocupada en la operación

En el capítulo de costos presentaremos un estudio de la eficiencia combinada de los camiones y las excavadoras.

FAJAS TRANSPORTADORAS

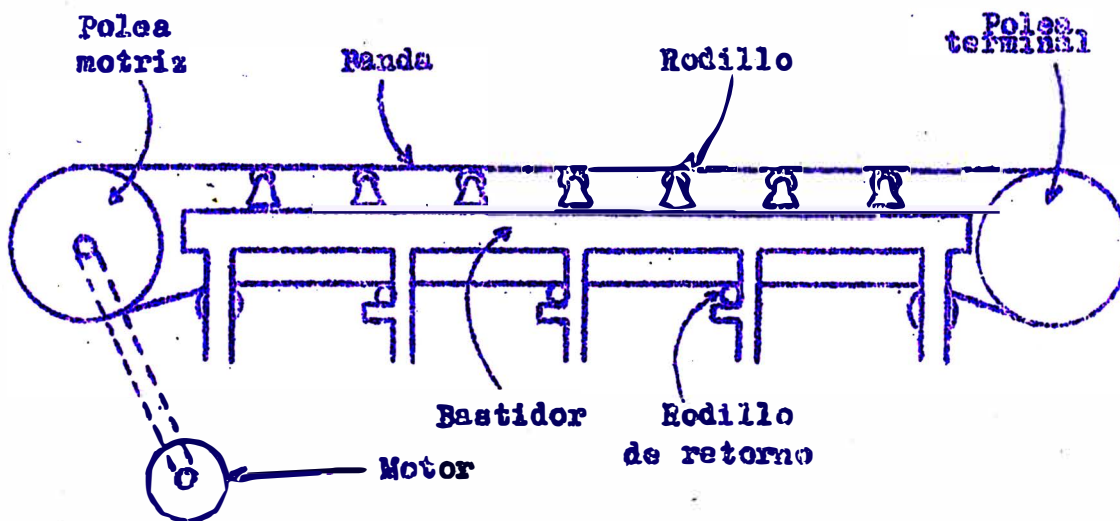
Las fajas transportadoras son de amplio uso en la industria de la construcción y en la minera, en las que son empleadas porque su aplicación significa eficiencia y bajo costo en el transporte de materiales como arena, grava, piedra, minerales, etc. Su eficiencia radica en que, debido a lo continuo del flujo, la capacidad es muy alta.

Este es el método mas rígido de transporte, pero es el mas adaptable cuando a pesar de la corta distancia entre dos puntos, sea muy costosa la construcción de una carretera, o cuando los tonelajes a moverse sean tan grandes que fuera requerido disponer de una gran flota de unidades de transporte.

La continuidad de su flujo, que puede ser regulada por otros aditamentos, hace de las fajas elementos insustituibles cuando son usadas como alimentadores en las plantas de tratamiento.

En los movimientos de tierras, se emplean unos aditamentos por los que se mantiene las fajas transportadoras en contacto con los bancos en excavación; estos son llamados extensiones portátiles, que se añaden a la faja transportadora como nexo hasta el frente de excavación.

Las partes esenciales de una faja transportadora son: la banda, las poleas motriz y terminal, los rodillos, y un bastidor que sirve para soportar la estructura.



La banda es la superficie móvil sobre la que el material es transportado. Fabricada de algodón o de rayón, tiene una cubierta de hule que protege la fibra del desgaste. Cuando se requiera que las bandas estén preparadas para su empleo en largos tramos, o en general para trabajos pesados, se puede usar las bandas reforzadas con cables de acero.

Las poleas terminal y motriz son los transmisores de la energía, que es llevada a la banda por un esfuerzo de fricción, que es mayor que la resistencia de la banda al movimiento. Cuanto mayor diámetro o altura tengan las poleas, mayor superficie de contacto habrá, y se podrá transmitir mas fuerza hacia la banda.

Los rodillos se encuentran a todo lo largo del camino que sigue la banda a la que sirven de guía. El tramo que guía la parte superior de la banda está formado, generalmente, por una serie de grupos de rodillos de tres; uno central que soporta la carga, y dos exteriores que levantan los bordos de manera que la forma resultante sea la de un canal para contener el material transportado. Los rodillos de retorno soportan el tramo inferior de la banda, que va descargado; generalmente, son del mismo diámetro que los superiores, pero, su longitud es del ancho de la faja y su espaciamiento es mayor.

El bastidor es una estructura de tipo seccional que soporta el sistema de fajas y de cargas transportadas a lo largo de la distancia entre los puntos de cargado y de descarga. Se usan tantos tramos como sea necesario para cubrir toda la distancia.

Capacidad de las fajas transportadoras.- Al tratarse de un movimiento ininterrumpido de materiales, por este medio se logran muy altos rendimientos en el transporte. La capacidad está principalmente determinada por el ancho de la banda y la velocidad con que la misma se mueve; también es importante la altura que el material pueda alcanzar sobre la banda.

El siguiente cuadro nos da una pauta de la capacidad de las fajas transportadoras de varios tamaños de banda a una velocidad estándar de cien pies por minuto.

Ancho de la banda pulg.	Tamaño máximo de los terrones pulg.		Peso del material en libras por pie cúbico						
	Clasif.	Sin	Capacidad horaria						
		Clasif.	90	100	125	150	160	180	200
14	2	2 1/2	28	31	39	46	49	56	62
16	2 1/2	3	38	42	52	63	67	75	83
18	3	4	48	57	67	81	86	97	107
20	3 1/2	5	60	67	83	100	107	120	133
24	4 1/2	8	90	100	125	150	160	180	200
30	7	14	142	158	197	236	252	284	315
36	9	18	210	234	292	351	374	420	467
42	11	20	300	333	417	500	534	600	667
48	14	24	414	460	575	690	736	828	920
54	15	28	534	593	741	890	948	1070	1190
60	16	30	664	738	922	1110	1180	1330	1480

**CAPACIDAD DE LAS FAJAS TRANSPORTADORAS ACANALADAS
TONELADAS POR HORA**

Velocidad de la banda: 100 pies por minuto

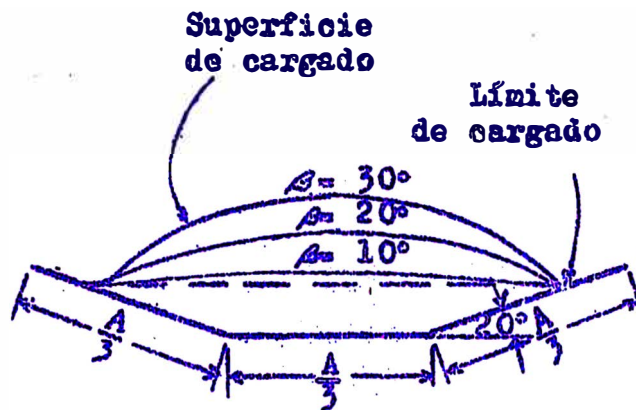
Selección del tipo de banda transportadora.- Se requiere que esta tenga una resistencia suficiente para soportar las tensiones máximas a las que estará sujeta. El ancho de la banda debe ser calculado de modo que a la velocidad programada se pueda alcanzar un radio de producción determinado.

La producción puede ser mayor, no sólo cuando la velocidad o el ancho de la banda aumenten, sino cuando la banda es acanalada al ser levantados los bordos por rodillos inclinados.

La cantidad de toneladas que pueden ser transportadas en una hora es igual al producto del área transversal de la banda cargada, en pies cuadrados, por la distancia, en pies, que la banda recorre en una hora, por el peso del material, en libras por pie cúbico; todo esto dividido entre 2,000 libras que es el factor para calcular el tonelaje.

El área cargada en sección transversal es variable del ancho de la banda, la profundidad del acanalamiento de la misma y del ángulo de reposo del material. Las bandas no son cargadas a todo lo ancho para evitar que el material sea desparramado; estas deben ser cargadas de un 80 a 90% de su ancho, lográndose la mas alta proporción cuando las bandas son anchas.

El siguiente cuadro ilustra las capacidades de las fajas transportadoras de banda acanalada en un ángulo de 20° de los lados a la prolongación del tramo central. Se calcula para una serie de fajas para las que se suponen materiales cuyos ángulos de reposo (β) son de 10°, 20° y 30°.



Ancho de la banda pulg.	Sección cargada pulg.	Área cargada a ras pie ²	Área cargada total en sección transversal, pie ² para los ángulos de reposo		
			10°	20°	30°
16	12.4	0.072	0.101	0.131	0.162
18	14.2	0.096	0.134	0.174	0.214
20	16.0	0.122	0.170	0.220	0.272
24	19.6	0.185	0.257	0.331	0.410
30	25.0	0.303	0.421	0.541	0.668
36	30.4	0.450	0.624	0.801	0.990
42	35.8	0.627	0.865	1.115	1.376
48	41.2	0.833	1.154	1.482	1.825
54	46.6	1.068	1.476	1.894	2.332
60	52.0	1.333	1.843	2.360	2.908

CALCULO DE COSTOS HORARIOS Y POR TONELADA

En este capítulo se trata de dar una pauta de los costos horarios aproximados de tenencia y de operación de la maquinaria estudiada de empleo en las excavaciones.

Los costos de tenencia incluyen depreciación, intereses, impuestos y seguros.

El costo anual por depreciación depende del cálculo estimado de la vida de la máquina, para lo que se usa mas comunmente el método de la línea recta. Por ejemplo, el costo anual por depreciación de una máquina cuya vida económica sea estimada en cinco años, es el 20% del costo original de la misma.

El costo anual por reparaciones es la clave para el cálculo de la vida económica del equipo; siendo estos mas acertados con experiencia en el mismo lugar de trabajo. Los costos de las reparaciones menores que se ejecutan en el campo se cargan a combustibles y otros gastos similares.

Generalmente, y bajo un solo renglón, se asumen los intereses, impuestos y seguros, los que se asumen aproximadamente del modo siguiente: Intereses, 6% del costo original de la máquina; impuestos, 3%, y seguros, 3%. Esto nos da un total, muy poco variable, de 12% anual.

Todo cálculo de los costos de depreciación anual u horarios depende del número de horas diarias en que la máquina se esté utilizando. La vida económica de un aparato usado en el trabajo mas de ocho horas diarias es diferente que la que le correspondería a la misma pieza si esta trabajara normalmente; esta vida varía de acuerdo a las siguientes fórmulas:

Sea "N" la cantidad de horas de vida estimada de una máquina que debiera ser operada por ocho horas diarias (una guardia), y durante seis días a la semana. El número de años de vida económica de esta (n) es:

$$n = \frac{N}{2,000}$$

Si la misma máquina se usara por dos guardias de ocho

horas diarias, el número de años de vida económica sería ahora:

$$n = \frac{N}{2,000 + 1,000}$$

Cuando la máquina esté dispuesta a trabajar durante las tres guardias, entonces el estimado de la vida económica de la misma pieza sería:

$$n = \frac{N}{2,000 + 1,000 + 500}$$

A partir del factor "n", que es el estimado de años de vida económica de una máquina, se encuentra la cantidad en que esta se deprecia anualmente.

Veamos un caso; un camión de volteo de 25 toneladas de capacidad y 40 toneladas de peso, ha costado U.S. \$ 50,000 FOB, incluyendo U.S. \$ 6,000 por el precio de las llantas. El costo de transporte es de U.S. \$ 12.20 por tonelada para llevarlo al mismo lugar de trabajo. Se especifica que trabajando normalmente, una guardia diaria, su vida económica es de "n" = 7 años o "N" = 14,000 horas.

Precio FOB	U.S. \$ 50,000.00
(+) Transporte; 12.20 x 40	488.00
	<u>50,488.00</u>
(-) Precio de las llantas	<u>6,000.00</u>
Costo inicial	44,488.00

1.- Trabajando una guardia diaria de ocho horas, el costo anual por depreciación sería:

$$\frac{44,488}{7} = \$ 6,354.29$$

y el costo horario

$$\frac{6,354.29}{2,000} = \$ 3.18$$

2.- Si la máquina trabaja dos guardias de ocho horas diarias, la vida

económica estimada sería:

$$n = \frac{14,000}{2,000 + 1,000} = \frac{14,000}{3,000} = 4.67 \text{ años}$$

su costo anual por depreciación:

$$\frac{44,488}{4.67} = \$ 9,526.38$$

y el costo horario:

$$\frac{9,526.38}{4,000} = \$ 2.38$$

3.- Ahora, calculemos la depreciación anual y los costos horarios por las mismas razones, si la máquina tuviera que emplearse durante las tres guardias posibles. La vida económica estimada sería:

$$n = \frac{14,000}{2,000 + 1,000 + 500} = \frac{14,000}{3,500} = 4 \text{ años}$$

El costo anual por depreciación:

$$\frac{44,488}{4} = \$ 11,122.00$$

y el costo horario:

$$\frac{11,122.00}{6,000} = \$ 1.85$$

El costo de combustibles incluye además de los combustibles, el aceite lubricante, la grasa, los filtros, los purificadores de aire, las reparaciones menores de campo, etc., para máquinas operadas por combustión interna; para el equipo movido por motores eléctricos, este costo incluye además de la energía eléctrica, la grasa y las reparaciones menores.

Para el cálculo del costo horario por combustibles tenemos muy variables cifras de un lugar a otro, pero para el caso de este estudio los estandarizaremos en \$ 0.15 por galón de combustible diesel, \$ 0.25 por galón de gasolina, y \$ 0.02 por kw-hr.

Los costes por hora por combustibles para maquinaria que opera por motores diésel se obtiene del siguiente modo:

Costo del combustible diésel, \$ 0.15/galón

Combustible consumido por hp-hr a carga completa, 0.04 gal

Asumamos que la máquina trabaja a un promedio de 66 2/3% de su potencia. Combustible consumido por hp-hr $2/3 \times 0.04 = 0.027$ gal.

Costo de combustible por hp-hr = \$ 0.15 x 0.027	U.S. \$ 0.004
Costo por hp-hr por aceites, grasa, filtros, reparaciones menores, etc.	<u>0.003</u>
Total costo por hp-hr	U.S. \$ 0.007

De igual modo calculamos el costo de combustibles por hp-hr para maquinaria movida por motores de gasolina. El costo se obtiene como sigue:

Costo de la gasolina, \$ 0.25/galón

Combustible consumido por hp-hr a carga completa, 0.06 gal

Asumamos que la máquina trabaja a un promedio de 66 2/3% de su potencia. Combustible consumido por hp-hr, $2/3 \times 0.06 = 0.04$ gal.

Costo de combustible por hp-hr = \$ 0.25 x 0.04	U.S. \$ 0.010
Costo por hp-hr por aceites, grasa, filtros, reparaciones menores, etc.	<u>0.004</u>
Total costo por hp-hr	U.S. \$ 0.014

El costo por hp-hr para maquinaria equipada con motores eléctricos sigue la misma pauta:

Costo de la energía eléctrica, \$ 0.02/kw-hr

Asumamos que la máquina trabaja a un promedio de 66 2/3% de su eficiencia, 1 kw-hr

Costo de la energía eléctrica por hp-hr	U.S. \$ 0.020
Costo adicional por hp-hr	<u>0.002</u>
Total costo por hp-hr	U.S. \$ 0.022

Después de estos preliminares se procede a buscar los costos horarios totales para lo cual, además de lo expuesto, se asumen los costos por jornales, llantas, supervisión, ingeniería, etc.

En las figuras que presentamos en la siguiente página, se encuentran los costos parciales horarios y se concluye con los costos totales correspondientes al uso de la maquinaria de mas común uso en las excavaciones.

Las columnas se definen del siguiente modo:

- Columna I) Especificaciones de la máquina,
- Columna II) Costo inicial, incluyendo equipo adicional y transporte del mismo al sitio donde va a ser utilizado,
- Columna III) Cantidad de horas a usarse anualmente,
- Columna IV) Porcentaje del costo inicial depreciable anualmente,
- Columna V) Porcentaje del costo inicial por intereses, impuestos y seguros, 12% del costo inicial por año,
- Columna VI) Costo horario de tenencia, que se deduce de las expresiones anteriores,
- Columna VII) Porcentaje del costo inicial en reparaciones mayores,
- Columna VIII) Costo horario por reparaciones mayores,
- Columna IX) Costo horario por combustibles lubricantes, y cualquier otro tipo de energía,
- Columna X) Costo horario por consumo de llantas (si se usaran),
- Columna XI) Costo horario por salario de los operadores, aceitadores, engrasadores, etc.,
- Columna XII) Costo horario total de operación,
- Columna XIII) Costo horario por supervisión, ingeniería, etc., y
- Columna XIV) Costo horario total, que es la suma de las columnas VI, XII y XIII.

Nota.- Todos los valores están expresados en dólares americanos.

Especificaciones de la máquina	Costo Inicial	Horas de uso actual	% C.I. dep. an.	% C.I. I.P.T.	Costo horario tenencia	% C.I. rep. may.	Costos horarios				Cost. hor. total operac.	Costo horario superv.	Total costo horario
							Rep. may.	Comb.	Llan.	Sala.			
Pala mecánica de oruga, motor diesel													
1/2 yd. cu.	18,000	2,000	25	12	3.33	15	1.35	0.45	---	1.50	3.30	1.80	8.45
3/4 yd. cu.	23,000	2,000	25	12	4.26	15	1.73	0.55	---	1.80	4.08	2.10	10.44
1 yd. cu.	26,800	2,000	20	12	4.29	15	2.01	0.60	---	2.10	4.71	2.30	11.30
1 1/2 yd. cu.	50,400	2,000	20	12	8.06	15	3.78	0.75	---	2.40	6.93	2.50	17.49
2 yd. cu.	67,000	1,600	17	12	12.14	15	6.28	1.10	---	2.70	10.08	2.70	24.92
Pala mecánica de oruga, motor a gasolina													
1/2 yd. cu.	17,000	2,000	25	12	3.15	15	1.28	1.05	---	1.50	3.83	1.80	8.78
3/4 yd. cu.	20,400	2,000	25	12	3.77	15	1.53	1.20	---	1.80	4.53	2.10	10.40
1 yd. cu.	24,000	2,000	20	12	3.84	15	1.80	1.35	---	2.10	5.25	2.30	11.39
1 1/2 yd. cu.	48,000	1,600	20	12	4.80	15	4.50	1.75	---	2.70	8.95	2.50	16.25
Draga de arrastre de oruga, motor a gasolina													
1/2 yd. cu.	15,800	2,000	25	12	2.92	15	1.19	1.05	---	1.70	3.94	2.10	8.96
3/4 yd. cu.	22,700	2,000	25	12	4.20	15	1.70	1.20	---	1.95	4.85	2.30	11.35
1 yd. cu.	28,200	2,000	20	12	4.51	15	2.12	1.35	---	2.20	5.67	2.50	12.68
1 1/2 yd. cu.	37,200	1,600	17	12	6.74	15	3.49	1.75	---	2.80	8.04	2.70	17.48
2 yd. cu.	52,800	1,600	17	12	9.57	15	4.95	2.50	---	3.00	10.45	2.90	22.92
Draga de arrastre de oruga, motor diesel													
1/2 yd. cu.	18,000	2,000	25	12	3.33	15	1.35	0.45	---	1.70	3.50	2.10	8.93
3/4 yd. cu.	24,800	2,000	20	12	3.97	15	1.86	0.55	---	1.95	4.36	2.30	10.63
1 yd. cu.	30,400	2,000	20	12	4.86	15	2.28	0.60	---	2.20	5.08	2.50	12.44

Especificaciones de la máquina	Costo Inicial	Horas de uso anual	% C.I. dep. an.	% C.I. I.T.S.	Costo horario tenencia	% C.I. rep. may.	Costos horarios				Cost. hor. total operac.	Costo horario superv.	Total costo horario
							Rep. may.	Comb.	Llan.	Sala.			
Draga de arrastre de oruga, motor diesel													
1 1/2 yd. cu.	43,500	1,600	17	12	7.68	15	4.09	0.75	---	2.80	7.63	2.70	18.21
2 yd. cu.	62,800	1,600	17	12	11.38	15	5.89	1.10	---	3.00	9.99	2.90	24.27
Escrepas autopropulsadas, con cuatro ruedas neumáticas													
3.6 yd. cu.	4,300	2,000	20	12	0.69	15	0.32	0.20	3.10	1.20	4.82	1.90	7.41
6.0 yd. cu.	7,200	2,000	20	12	1.15	15	0.54	0.25	3.90	1.60	6.29	2.10	9.54
9.0 yd. cu.	9,600	2,000	20	12	1.57	15	0.74	0.30	4.50	1.80	7.34	2.30	11.21
15.0 yd. cu.	15,600	2,000	20	12	2.50	15	1.17	0.40	5.60	2.10	9.27	2.50	14.27
17.0 yd. cu.	16,200	2,000	20	12	2.59	15	1.22	0.40	5.90	2.25	9.77	2.60	14.96
Camiones de volteo, motor diesel													
3 1/2 yd. cu.	10,800	2,000	20	12	1.73	15	0.81	0.55	0.40	1.20	2.96	1.40	6.09
7 yd. cu.	15,200	1,800	20	12	2.70	15	1.27	0.75	0.60	1.60	4.22	1.70	8.62
10 yd. cu.	23,500	1,800	20	12	4.18	12	1.57	1.00	0.80	1.80	5.17	1.80	11.15
15 yd. cu.	34,300	1,600	20	12	6.86	12	2.57	1.80	1.10	2.10	7.57	2.10	16.53
20 yd. cu.	51,300	1,600	20	12	10.26	12	3.85	2.30	1.30	2.30	9.75	2.30	22.31
Camiones de volteo, motor a gasolina													
2 yd. cu.	6,500	2,000	25	12	1.20	15	0.49	0.85	0.30	1.20	2.84	1.20	5.24
3 1/2 yd. cu.	9,000	2,000	20	12	1.44	15	0.68	1.00	0.40	1.30	3.38	1.40	6.22
5 yd. cu.	11,200	2,000	20	12	1.79	15	0.84	1.25	0.50	1.50	4.09	1.50	7.38
9 yd. cu.	22,000	1,600	20	12	4.40	12	1.65	2.10	0.80	2.10	6.65	2.10	13.15

Comparación de costos y rendimientos de los cargadores de rueda y de las palas giratorias.- Una interesante comparación ha sido preparada y experimentada por la Caterpillar Co.

Los fabricantes usaron el cargador de rueda Cat 988 con un cucharón de cinco yardas cúbicas de capacidad de cucharón y una serie de palas giratorias cuyos rangos de capacidades iban desde las 2 1/2 hasta cinco yardas cúbicas.

La estimación del rendimiento del cargador de rueda ha sido calculada después de numerosos experimentos en variados tipos de roca; la producción varió desde 390 hasta 685 toneladas por hora, con un 80% de eficiencia de operación. El promedio, 528 toneladas por hora se usó como cifra de comparación con el rendimiento de palas que publica la Power Crane & Shovel Association.

Para la determinación de los costos de producción se debió hacer referencia a los costos horarios de tenencia, de operación, y todos los expuestos anteriormente.

Se calcularon severas condiciones de operación para el Cat 988 el que trabajaría sobre roca rota, por lo que su vida se calculó tan corta como de cuatro años o 8,000 horas; las reparaciones, al 90% de la depreciación; y la vida de las llantas, incluyendo vulcanizada de solamente 1,500 horas. El operador recibiría un jornal de U.S. \$ 3.00 lo que es bastante diferente del ambiente nacional.

Se intentó encontrar cifras realísticas de los estimados costos horarios para palas de acuerdo con los datos publicados por la Power Crane & Shovel Association y otras fuentes industriales; estas cifras varían debido a las condiciones locales, por lo que se recomienda a los propietarios aplicar sus propias apreciaciones de costos.

La vida económica de las palas se definió en, 16,000 horas la de 2 1/2 yardas cúbicas, 20,000 las de 3 y 3 1/2, 22,000 la de cuatro, y 24,000 horas la de cinco yardas cúbicas. El trabajo de los operadores y personal de mantenimiento fué calculado en un total de cinco dólares americanos por hora.

El costo por tonelada es el mismo para una pala de cinco

yardas cúbicas y otra de 3 1/2 yardas cúbicas; pero las velocidades de producción, así como los costos de operación y propiedad son diferentes y de gran importancia para la selección de la máquina.

Para que la eficiencia de la operación sea óptima se debe tratar de mejorar las condiciones en las que trabaje el equipo. Un cargador de tractor operando sobre roca fragmentada aumentaría su rendimiento si la fragmentación permitiera la fácil penetración de la cuchilla; sus llantas tendrían menor desgaste si se colocara una capa de material fino sobre la superficie en la que el tractor trabaja.

El efecto del aumento en la vida de las llantas sobre los costos unitarios se ilustra del siguiente modo: La estimación previa de la vida de las llantas era de 1,500 horas; si esta se lograra alargar en 500 horas más, se reduciría el costo horario por llantas en un monto de U.S. \$ 1.51, hasta que el costo total horario sea de U.S. \$ 22.61, y el costo promedio por tonelada de U.S. \$ 0.043.

Para la estimación de los costos vamos a suponer que la vida de las palas giratorias es de tres veces la que corresponde al cargador de tractor. Entonces, para trabajar durante diez años se necesitaría utilizar o tres cargadores de tractor o una pala; es decir, inversiones de U.S. \$ 180,000 y U.S. \$ 115,000 respectivamente.

Bajo el punto de vista del radio de retorno del capital invertido se ve la eficiencia del uso del capital. Asumiendo, por ejemplo, que el precio de cargado de tierra sea de U.S. \$ 0.06 por tonelada para el cargador de tractor, ¿cómo haríamos la comparación con la pala de 3 1/2 yardas cúbicas, que expone los mismos costos por tonelada?

Para el cálculo, asumimos que se van a utilizar tres cargadores de tractor para compensar el tiempo de vida económica de la pala de 3 1/2 yardas cúbicas de capacidad. El costo inicial de los tres cargadores de tractor es de U.S. \$ 180,000, contra U.S. \$ 115,000 de la pala. La inversión anual promedio sería:

Para la pala de 3 1/2 yd. cu.

$$I_A = \left(\frac{N+1}{2N} \right) C = \left(\frac{10+1}{20} \right) 115,000 = \$ 63,250$$

y para el cargador de tractor

$$I_A = \frac{N + 1}{2N} C = \frac{4 + 1}{8} 60,000 = \text{U.S. } \$ 37,500$$

El radio de retorno del capital invertido se puede calcular dividiendo la utilidad estimada de la operación durante un año, entre la inversión anual.

	Pala de 3 1/2 yd. cu.	Cargador CAT 988
Vida económica (horas)	20,000	8,000
Precio de cargado por tonelada (est.)	\$ 0.060	\$ 0.060
Costo de cargado por tonelada	\$ 0.046	\$ 0.046
Utilidad bruta por tonelada (est.)	\$ 0.014	\$ 0.014
Producción, toneladas por hora	584	528
Producción en 2,000 horas	1'168,000	1'056,000
Utilidad bruta (est.)	\$ 16,352	\$ 14,784
Inversión anual promedio	\$ 63,250	\$ 37,500
Radio de retorno del capital invertido	25.8 %	39.3 %

Vemos entonces, que aunque el cargador de tractor muestra menor producción y menor utilidad bruta, tiene un radio de retorno del capital invertido que es mayor en 13% que el que corresponde a la pala. Su inversión anual promedio es casi la mitad.

Mostramos ahora una comparación de costos unitarios entre el cargador de rueda y palas de capacidades de 2 1/2 a 5 yardas

cúbicas.	Pala 2 1/2	Pala 3	Pala 3 1/2	Pala 4	Pala 5	CAT 988
Vida estimada (horas)	16,000	20,000	20,000	22,000	24,000	8,000
Prod. Tons/hora	440	512	584	656	800	528
Costo horario (est.) \$	22.08	23.90	26.66	27.77	34.52	24.12
Costo por tonelada, \$	0.50	0.47	0.46	0.43	0.43	0.46

La ventaja mas saltante del cargador de tractor es que éste no se fija a una sola posición para operar; se puede aproximar a su blanco desde muy diversos ángulos, y además, puede realizar la limpieza del piso en que trabaja.

Debido a esa misma facilidad de movimiento, el cargador de rueda puede llegar al lugar de trabajo casi inmediatamente después del disparo, y a la vez puede retirarse rápidamente antes de que otro se ejecute, permitiéndose así una mayor frecuencia de disparos.

Como desventaja para el cargador de rueda hay que considerar las limitaciones en su capacidad. El modelo que se ha empleado para la comparación es uno de los de mayor capacidad, el CAT, que contando con un cucharón de cinco yardas cúbicas de capacidad logra un promedio de 528 toneladas de producción horaria. Cuando los tonelajes a mover son mayores, se tendría que aumentar el número de unidades y a la vez ampliar el área de trabajo, razones suficientemente importantes para que sea más factible la selección de una pala giratoria de mayor capacidad.

Cálculo de costos de transporte.- Al respecto, Peurifoy presenta dos tablas de costos y rendimientos; en la primera usa una serie de camiones agrupados por capacidades, y siendo cargados, en cada caso, por una pala de 3/4 de yarda cúbica de capacidad; en la segunda tabla emplea palas de varios tamaños para servir camiones de quince yardas cúbicas de capacidad de tolva.

Tamaño de camión yd. cu	Camiones	Rendimiento horario yd. cu	Tiempo de cargado min	Por hora Costo de camiones		Por cargada Costo de camiones		Costo de transporte \$/yd. cu.
				Por camión \$	Total \$	Por camión \$	Por yd. cu. \$	
3	5	96	1.4	3.75	18.75	0.09	0.030	0.195
3	6	102 ⁽¹⁾	1.4	3.75	22.50	0.09	0.030	0.221
6	3	97	2.8	4.90	14.70	0.23	0.038	0.152
6	4	102 ⁽¹⁾	2.8	4.90	19.60	0.23	0.038	0.192
10	2	89	4.6	7.05	14.10	0.54	0.054	0.159
10	3	102 ⁽¹⁾	4.6	7.05	21.15	0.54	0.054	0.207
15	2	102 ⁽¹⁾	7.0	10.80	21.60	1.26	0.084	0.212
20	2	102 ⁽¹⁾	9.3	15.20	30.40	2.36	0.118	0.299

COSTO DE TRANSPORTE CON CAMIONES USANDO UNA PALA DE 3/4 yd. cu.

(1) Capacidad máxima de la excavadora.

Como vemos en el cuadro anterior, los costos del transporte cuando se emplean unidades de gran capacidad son mayores, pues el camión debe tardar una considerable parte del ciclo al lado de la excavadora que lo carga. Los costos de transporte para los camiones de mayores capacidades se verían inmensamente reducidos, a la vez que los tiempos totales por ciclo, si se usaran excavadoras de mayores y mas adecuadas capacidades.

Veamos ahora en la siguiente tabla, el efecto del tamaño de la excavadora en los costos de transporte.

Tamaño de pala yd ³	Rendim. horario yd ³	Tiempo cargando min	Tiempo viaje min	Camiones	Costo de camiones por hora \$	Costo de cargado		Costo de transporte \$/yd ³
						Por camión \$	Por yd. cu. \$	
1/2	76	11.8	19.8	2	21.60	2.13	0.142	0.285
3/4	108	8.3	16.3	2	21.60	1.49	0.099	0.200
1	125 ⁽²⁾	6.4	14.4	2	21.60	1.15	0.077	0.173
1	140	6.4	14.4	3	32.40	1.15	0.077	0.232
1 1/2	191	4.7	12.7	3	32.40	0.85	0.057	0.170
2	231 ⁽²⁾	3.8	11.8	3	32.40	0.68	0.045	0.140
2	240	3.8	11.8	4	43.20	0.68	0.045	0.180
2 1/2	280	3.2	11.2	4	43.20	0.58	0.039	0.154
3	312	2.9	10.9	4	43.20	0.52	0.035	0.139

(1) No se considera el tiempo esperando turno

(2) El número de camiones limita en estos casos el rendimiento de la excavación

EFFECTO DEL TAMAÑO DE LA EXCAVADORA EN EL COSTO DEL TRANSPORTE USANDO CAMIONES DE 15 yd³ DE CAPACIDAD

El estudio económico del problema excavación-transporte no consiste solamente en encontrar los costos que se muestran líneas arriba. Aún no hemos considerado los costos de la excavación propiamente dicha, ni los costos combinados de la operación a ciclo completo. Emplearemos siempre los camiones de 15 yardas cúbicas de capacidad.

Tamaño de la pala yd ³	Rendimiento horario yd ³	Costo de la pala \$/hora	Camiones	Costo de camiones \$/hora	Costo de excavación \$/yd ³	Costo de transporte \$/yd ³	Costo total \$/yd ³
1/2	76	8.20	2	21.60	0.108	0.285	0.393
3/4	108	9.30	2	21.60	0.086	0.200	0.286
1	125 ⁽¹⁾	9.60	2	21.60	0.077	0.173	0.250
1 1/2	191	14.25	3	32.40	0.075	0.170	0.245
2	231 ⁽¹⁾	19.85	3	32.40	0.086	0.140	0.226
2 1/2	280	22.45	4	43.20	0.080	0.154	0.234
3	312	26.90	4	43.20	0.086	0.139	0.225
1	140 ⁽²⁾	9.60	3	32.40	0.069	0.232	0.291
2	240 ⁽²⁾	19.85	4	43.20	0.083	0.180	0.263

(1) El rendimiento de la excavación es menor porque está limitada por el número de camiones.

(2) Se aumenta el número de camiones para trabajar con la mejor eficiencia de la excavadora.

COSTO DE EXCAVACION Y TRANSPORTE DE TIERRA USANDO PALAS DE VARIAS CAPACIDADES Y CAMIONES DE 15 yd³

Toda esta exposición de costos que presento, no debe ser tomado como exactamente veraz, sinó que solamente debe servir como una pauta del método a seguir para seleccionar el tipo de maquinaria, que por sus costos totales así como por las características de operación que las identifican, se hagan las mas aplicables para determinados proyectos. Al final, la experiencia misma nos dará las conclusiones a las que nos hemos aproximado mediante los estudios preliminares de aplicación de determinado tipo de maquinaria.

APLICACION DEL ESTUDIO AL PERU

En nuestro territorio son varias las empresas que operan en áreas cuyas condiciones generales permiten la implantación de sistemas de extracción de minerales por el método de mina-
do a cielo abierto. Estas empresas realizan muy altos movimientos de tierras, considerablemente mayores que los que se logran por los métodos subterráneos convencionales. Los rendimientos son, generalmente, bastante altos, y el empleo de maquinaria de muy considerables costos horarios hace que los rendimientos alocados por hombre-hora sean de mucha, y decisiva importancia.

Son muchos los casos que pudieran ser incluidos en este estudio, en el que se usan como ejemplos algunos casos nacionales que son, los yacimientos de Marcona, los pórfidos de cobre de Toquepala, el antiguo yacimiento de Santander y el gigantesco yacimiento de fosfatos de Sechura.

MARCONA

Los depósitos de fierro de Marcona se localizan en el Departamento de Ica, a una distancia de solamente doce kilómetros del puerto de San Nicolás. Se explotan muy grandes cantidades de minerales de fierro de contenidos que varían entre 57% y 63%.

En el puerto de San Nicolás se encuentra la planta de enriquecimiento de minerales los que son embarcados a los destinos en que se fabricarán los productos finales.

El área del yacimiento cuenta con un clima esencialmente árido, y la existencia de agua es casi nula. De topografía ondulada y a una altura de 800 metros sobre el nivel del mar, la zona está cubierta casi totalmente por un encapado aluvial no consolidado de rodados, grava, arenas conjuntamente con fragmentos de hematita, magnetita y magnetita. Según el ingeniero Rolando Patiño-Patroni, las colinas de la zona están vinculadas a áreas de mineralización, tal como el yacimiento de la concesión "Justa", la

Mancha "A", Gorrillos de la "A" y el Orebody "A-28". Sin embargo, es necesario decir que también se han encontrado cuerpos mineralizados que no estén identificados por elevaciones del terreno; en general, la erosión ha permitido el afloramiento, no sólo de rocas resistentes, sino también de cuerpos de mineral.

Los cuerpos mineralizados, en su mayoría se aproximan a la forma tubular y con sus dimensiones de longitudes que varían entre 300 y 2,700 metros, y de anchos horizontales fluctuantes entre 100 y 500 metros justifican plenamente la aplicación de métodos de minado superficial.

La explotación está favorecida por contactos mineral-desmonte bastante definidos, especialmente en la Formación Marcona que se constituye en la mejor matriz del enriquecimiento; en esta formación los contactos son simples superficies de separación.

Aunque existente, el encajado aluvial no es de importancia como para influir en cualquier decisión que fuera a tomarse. Las rocas y minerales que se someten al movimiento se caracterizan por ser bastante duras, por lo que la perforación y la voladura toman un papel importante en extremo en el ciclo de movimiento de tierras. De la voladura primaria se producen fragmentos de diversos tamaños, siendo los mayores de ellos llevados a una voladura secundaria.

El hecho de contar con un terreno de estas características elimina, de llano, la posibilidad de emplear máquinas que requieren de un terreno suave para poder operar, y nos inclina a seleccionar una excavadora convencional. Como la zona es esencialmente árida, la pala giratoria, que es la que se usa, se destaca entre las otras como la más eficiente. Estas palas giratorias y los volquetes utilizados para el transporte son de gran capacidad, ya que sólo así se puede absorber el alto rango de movimiento de tierras que se observa en la mina. Además de las herramientas indicadas arriba, Marcona cuenta con una gigantesca faja transpor-

tadora que lleva algunos de los minerales para su enriquecimiento a la planta de peletización situada en San Nicolás; esta faja está justificada por el alto volumen de minerales que son transportados entre los dos puntos mencionados.

TOQUEPALA

El yacimiento de cobre de Toquepala está situado entre 2,600 y 3,700 metros sobre el nivel del mar, en el lado occidental de la Cordillera de los Andes en el sur del país. Se puede llegar a la zona por tierra y por aire; por vías carreteras y ferroviarias por tierra, y por medio de aviones pequeños que pueden aterrizar en el aeropuerto que la empresa explotadora construyó cerca a las minas.

El terreno en el que los yacimientos se encuentran localizados está compuesto de rocas que se identifican en una extensa faja de 23 kilómetros de ancho. El yacimiento se clasifica como porfirítico de cobre, de mineralización condicionada a una extensa chimenea de brecha originada en relación genética con las rocas intrusivas. El área mineralizada se extiende en un largo de tres kilómetros.

La sobrecarga es prácticamente reducida en comparación con los altos volúmenes de minerales de baja ley de cobre, por lo que para la selección del equipo, se ha debido considerar que todo el mineral en movimiento es de mediana a alta dureza.

La empresa, previendo la magnitud de la explotación, y con la finalidad de hacer que los costos unitarios sean lo mínimo posibles, ha dispuesto fabulosas instalaciones, que sólo muy altos tonelajes pueden justificar; estas instalaciones son, un nuevo muelle en el puerto de Ilo que permite la entrada de barcos de gran calado, una concentradora con capacidad para 40,000 toneladas diarias, una fundición con capacidad para producir alrededor de 150,000 toneladas de cobre amoloso al año, varias plantas de lavado, plantas de fuerza con sus respectivas líneas de distribución

de energía, redes de agua, campamentos, líneas de ferrocarril y otras instalaciones.

La explotación propiamente dicha cuenta con una serie de maquinarias en constante y regular mantenimiento y renovación. El equipo de la mina está integrado por una docena de palas eléctricas de nueve yardas cúbicas de capacidad, tres palas mecánicas de dos y media yardas cúbicas, una gran flota de camiones de capacidad intermedia, seis locomotoras Diesel-eléctricas de 1,800 H.P. con sus respectivos vagones-volquetes, y como equipo auxiliar se cuenta con tractores, bulldozers y niveladoras entre otros. La perforación primaria se ejecuta con perforadoras rotativas, y la secundaria con pequeñas perforadoras de percusión.

Como en el caso visto para las minas de Marcona, el yacimiento de Toquepala exige la diversificación de piezas de maquinaria, es decir, que para lograr los mas altos volúmenes de producción se debe contar con la maquinaria precisa para realizar cada una de las operaciones del ciclo.

Si observamos que el material necesita de una voladura primaria y otra secundaria vemos que la solución para el movimiento de tierras es la utilización de excavadoras convencionales; entre estas, no hay ninguna mas eficiente que la pala giratoria cuando las circunstancias, como en el caso que se contempla, favorecen su aplicación. Siendo tan grande el depósito, y minándose en gran escala, el equipo de alta capacidad es inmensamente ventajoso. He aquí la justificación del uso de las palas eléctricas de nueve yardas cúbicas de capacidad y de todo el sistema de instalaciones que permiten el fácil movimiento de tonelajes que de otro modo no serían los mismos.

SANTANDER

Este es el depósito mas alto que considero en este estudio; está situado a 4,430 metros sobre el nivel del mar, en la Provincia de Canta. El depósito está conectado con Lima por una carretera de 202 kilómetros, en parte asfaltada, cuya continuación

conduce a la ciudad y minas de Cerro de Pasco; otra carretera une Santander con el puerto de Ghaneay.

Como en toda la sierra alta, el clima en Santander es variable de acuerdo a las estaciones, es decir, se pasa por temporadas de temperaturas heladas y otras que son mas soportables durante la época caracterizada por las lluvias. También es sabido que a estas alturas la vegetación practicamente desaparece, a excepción del resistente arbusto de nombre qechua "loinu".

Vecinas al depósito hay dos lagunas que además de ser la fuente del líquido elemento son un potencial peligro para la explotación. Estas lagunas son el origen del agua que se emplea para todos los servicios.

La carretera de Lima a Santander es la vía que toda la maquinaria toma para llegar hasta la mina; los víveres son llevados desde la capital y desde Cerro de Pasco.

La topografía de la superficie del yacimiento es bastante irregular, pudiéndose observar en los alrededores una serie de nevados perpetuos; el mismo depósito fué en un tiempo minado en su parte alta cuya elevación le caracterizaba como un cerro.

El mineral consiste en sulfuros masivos que forman un depósito de enriquecimiento por reemplazamiento de calizas. El mineral que sale de la mina hacia la planta de concentración tiene contenidos promedios de 1.8% de plomo, 12.0% de zinc y 0.5% de cobre, además de unas 7 onzas de plata por tonelada corta. En la planta se obtienen concentrados de plomo y de zinc.

Para la perforación se trasan taladros de 3 1/2" por 30', aunque las perforadoras pueden hacer taladros tan profundos como 60'. Para rotura secundaria se usan perforadoras de percusión mas pequeñas.

El material volado es movido por un cargador frontal y por dos palas giratorias pequeñas, los que descargan a una docena de camiones Buellid cuyas capacidades varían entre 14 y 25 toneladas. La distancia a la que los minerales son transportados

para llegar a la planta de tratamiento es de unos 800 metros, siendo el movimiento diario total de unas 700 toneladas.

En cuanto al movimiento de tierras concurrido con el uso de las pequeñas palas giratorias las que parecen no tener rival en estas condiciones; quizá solamente pudieran ser igualadas o superadas por pequeños cargadores de tractor montados en orugas que aunque mas lentos en su accionar que los montados en ruedas parecen ser mas económicos por el desgaste mismo que caracteriza a las llantas del cargador de tractor montado en ruedas. Como la capacidad de la planta no es muy alta se puede cubrir la total demanda de esta utilizando cargadores de tractor montados en orugas, si estos tuvieran una adecuada capacidad de cucharón.

Es vital para la explotación el drenaje de las aguas que además de ser un estorbo son un potencial peligro, no sólo por el empuje del agua de las lluvias sino porque el nivel de la superficie del agua de las dos lagunas vecinas está quedando por encima del fondo del pit. Para drenar las aguas del fondo del taje se ha construido un túnel de drenaje de dos kilómetros de longitud; este túnel, a la larga, permite el aumento de la vida de la mina, ya que servirá como vía para la extracción de minerales cuando la mina tenga que ser explotada por métodos subterráneos.

BAYOBAR

En el norte del Perú, Departamento de Piura, en el árido desierto de Sechura, se han encontrado a poca distancia del litoral inmensos depósitos de fosfatos, en mantos cuyos alcances aún se encuentran en el período de la investigación.

El actual acceso al área en la que se localiza el yacimiento consiste en una carretera de 83 kilómetros desde la ciudad de Sechura, que la misma compañía encargada de los trabajos exploratorios se encargó de construir.

Para facilitar el estudio del yacimiento, este fue dividido en seis sectores los cuales arrojan cantidades parciales

de mas de tres mil trescientos millones de toneladas de salmueras, veinte millones de toneladas de cloruro de potasio y mas de ciento cincuenta millones de toneladas de cloruro de magnesio.

Cubiertos por grandes encapados de arena los fosfatos aparecen en forma de colitas de diámetro variable alrededor de dos milímetros. Los fosfatos ocurren en mantos de espesos entre tres y cinco pies con económicos contenidos de 10% a 24% de P_2O_5 en las fosforitas y de 2% a 8% en las dolomitas.

Experimentos de enriquecimiento llevan la materia prima, cuando se trata de las fosforitas, a concentrados de 30% a 31.2% de P_2O_5 .

Los fosfatos, de amplia utilización y futuro en la industria de la agricultura por la creciente necesidad de hacer mas y mas productivas las tierras de cultivo, requieren de amplios mercados que puedan absorber los grandes radios de producción que caracterizan a las industrias de extracción de materiales no metálicos.

Se tiene planeado llegar en corto plazo a una producción anual de un millón de toneladas.

Si observamos los radios de consumo de fertilizantes en el mundo, encontramos que las cifras empleadas en Sud América son ínfimas comparadas con las de los demás continentes, entonces, es requisito contar con mercados externos que puedan absorber la alta producción necesaria para explotar economicamente.

Se trata entonces de lograr un gran movimiento de tierras, entre minerales y sobrecargas, los que están caracterizados, principalmente por tener muy baja dureza. Este factor favorece, indudablemente, la implantación de un sistema de minado continuo, para el cual la excavadora de rueda ha sido creada. Ningún otro tipo de maquinaria parece ser mas ventajoso que la excavadora de rueda para dar a este proyecto el impulso que colocaría al Perú entre los primeros productores mundiales de fertilizantes.

CONCLUSIONES

Siempre existe la mejor selección, y ésta, no es precisamente la que primero aparezca como idea en nuestras mentes. La mejor selección se encuentra después de comparar todos los elementos que en diversos grados afectan los objetivos que se consideran; sólo uno de los objetos en comparación es el mejor.

Se debe considerar todas las características: externas y desde luego intrínsecas de los terrenos, minerales, clima, localización, predisposición de los pobladores y gobiernos, etc. que definen los métodos y herramientas a utilizar en el futuro de la explotación de un depósito para que pueda lograrse un clima de confianza en el éxito de una empresa, sea esta grande o pequeña.

A veces se requiere muy grandes inversiones iniciales para contar con el mejor equipo que ha de utilizarse durante toda el tiempo que el depósito vaya a ser explotado, y si estas inversiones se hacen efectivas es porque existe la certeza de que al final de la operación se ha de obtener una utilidad, lo que en realidad, es exactamente lo que mueve al poseedor de capitales a disponer estos en la marcha del mundo complicado de los negocios, en el que la minería siempre ha sido la rama más difícil de pronosticar.

BIBLIOGRAFIA

- Aiken, George E., "Bucket wheel excavators: How to choose the right one for the job", Mining Engineering (Enero, 1966), XVIII, 76-81.
- Anónimo, "German approach to mass excavation", Engineering (4 de Diciembre de 1964), 706-07.
- Anónimo, "Open pit miners share their experiences at London Symposium", World Mining (Enero, 1965), XVIII, 35.
- Anónimo, "Wheel loaders and power shovels", Mining Magazine (Noviembre, 1966), CXV, 413-15.
- Camacho, Carlos, "Depósitos de fosfato de Sechura: Informe de prácticas vacacionales", No. 512, Facultad de Minería-UNI, 1966.
- Galup F. G., Pedro, "El open pit y Toquepala", Tesis de Bachiller No. 219, Facultad de Minería-UNI, 1964.
- Gass, Saul J., Programación lineal, Compañía Editorial Continental S. A. Mexico, 1962.
- Kaufmann, A., métodos y modelos de la investigación de operaciones, Compañía Editorial Continental S. A. Mexico, 1964.
- Lanao, Octavio, "Mina Santander: Informe de prácticas vacacionales", No. 490, Facultad de Minería-UNI, 1963.
- Matthews, C. W., "Stockpiling of Materials", Rock Products (Junio, 1966), LXIX, 98-102.
- Nichols, Herbert L., Movimiento de tierras: Manual de excavaciones, Compañía Editorial Continental S. A. Mexico, 1966.
- Patiño-Patroni, Rolando, "Aspectos geológicos y exploración en las minas de Marcona", Preparado para la V Convención de Ingenieros de Mines, Julio, 1959.
- Peurifoy, R. L., Construction, Planning, Equipment, and Methods, Mc Graw-Hill Book Company, Inc. New York, Toronto, Londres, 1956.
- Rumfelt, Henry, "Application and performance of wheel excavators", Mining Congress Journal (Junio, 1961), XLVIII, 46-49.