

# CURSO TALLER

Ing. Neíl Ramírez Valerio

## SISTEMA DE GESTIÓN DEL TIEMPO EN OPERACIONES MINERAS



METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LA CAPACIDAD  
PRODUCTIVA EN EQUIPOS MINEROS A CIELO ABIERTO



## **GESTION DE TIEMPO DE TIEMPO EN OPERACIONES MINERAS**

### **1.0 RESUMEN.**

El presente estudio trata del establecimiento del Sistema de Gestión del Tiempo de Trabajo en base a la sistematización de las diferentes actividades del proceso productivo en operaciones mineras.

La Gestión del Tiempo de Trabajo consiste en la planificación, de los diferentes niveles de la organización de una empresa, la utilización del tiempo en forma efectiva, así como la evaluación y control del tiempo en las operaciones durante la ejecución del proceso productivo. Con esta finalidad ha sido conveniente identificar las diferentes actividades y clasificarlos de acuerdo a la incidencia, directa o indirecta, en el proceso productivo y determinar los niveles de responsabilidad en la organización, tanto en la administración como en el control del tiempo total.

El establecimiento de indicadores o factores de utilización del tiempo, en los diferentes niveles de la organización de la empresa, permitirá el control de la Gestión del Tiempo de Trabajo, mejorando el uso efectivo de éste en las diferentes actividades del proceso productivo.

Muchas empresas llevan el control incompleto del récord de tiempo en uso de equipos mineros desde su adquisición hasta darlos de baja, lo que no permite contar con el historial del equipo que sirva para la planificación del mantenimiento y reparaciones programadas. La gestión del tiempo de trabajo en una empresa tiene como objetivo el aprovechamiento óptimo de la mano de obra, el empleo de tecnologías de avanzada y el uso de equipos y maquinarias eficientes de alto rendimiento, cuyos indicadores de desempeño sean los más altos.

En el presente estudio se pretende establecer la estandarización de Sistemas de Control de Tiempos e Indicadores de Desempeño, que permitirá controlar y evaluar la Gestión del Tiempo de Trabajo en los diferentes niveles de la organización de la empresa, así como también servirá para el análisis comparativo del aprovechamiento del tiempo entre las diferentes empresas.

### **2.0 CONCEPTOS DE GESTION DE TIEMPO DESDE LA PERSPECTIVA EMPRESARIAL**

La Gestión del Tiempo de Trabajo, como una actividad básica del proceso productivo, consiste en el aprovechamiento óptimo del tiempo en las actividades productivas, puesto que se trata de un importante recurso no renovable que el hombre dispone de manera gratuita.

La utilización racional del tiempo cobra importancia según como sea utilizado en forma efectiva en la creación o transformación de un bien y en consecuencia adquiere un valor.

El grado de organización e implementación del centro de trabajo con incorporación de personal capacitado, uso de maquinarias y equipos de alta eficiencia permitirá que las empresas en general, y en particular las empresas mineras, puedan utilizar el tiempo con efectividad y que éste se refleje en la rentabilidad y competitividad de la empresa, asegurando de esta manera su sostenibilidad y permanencia en el mercado.

La Gestión del Tiempo de Trabajo consiste en el estudio detallado del empleo de la jornada de trabajo, durante la ejecución de una actividad productiva determinada dirigida a efectivizar el uso del tiempo, estableciendo el balance racional de la jornada de trabajo mediante la obtención de datos de la duración del tiempo en la ejecución de las diferentes actividades y el establecimiento de estándares de tiempo de trabajo efectivo.

La Gestión de Tiempo en Operaciones Mineras es la evaluación y control de las operaciones, de la acción sincronizada del trabajo en equipo del personal con alto desempeño, y el empleo de las maquinas mineras con eficiencia y rendimientos óptimos en función de las condiciones del lugar donde se realizan las labores. El análisis de los diferentes componentes del tiempo de la jornada de trabajo permite la evaluación y control de la utilización y requerimiento del tiempo en la ejecución de un determinado proceso productivo.

El tiempo de trabajo es la permanencia del trabajador en el centro de labores con la finalidad de ejecutar las actividades productivas establecidas por una determinada empresa y cuya duración está regulada por las leyes laborales del país.

Según la legislación peruana la jornada de trabajo tiene una duración de 08 horas laborables al día ó 48 horas semanales. A partir de estos principios laborales las empresas establecen regímenes de trabajo más adecuados según las condiciones y ubicación del centro de trabajo.

En el marco de la mejora de la Gestión de Tiempo de Trabajo, los estudios de productividad y eficiencia realizados en los últimos años han sido orientados al uso óptimo de la maquinaria y equipos mineros a combatir el estrés del trabajador debido a la permanencia prolongada en la mina, a la disminución de índices de accidentes y a la mejora de la calidad de vida del trabajador lo que ha motivado al cambio del régimen de trabajo.

El régimen de trabajo tradicional con permanencia del trabajador en el centro minero por tiempo prolongado ha dado paso a regímenes de trabajo de 20x8, 10x4, 14x7, 20x10, entre otros, que han sido adoptados por muchas empresas mineras.

En el estudio de la organización y control del proceso productivo cobra especial importancia la carga de trabajo asignado tanto al trabajador como a la maquinaria y equipo con la cual se ejecutan las actividades productivas. Con estos criterios se ha elaborado el sistema de clasificación del tiempo de trabajo relacionado al trabajador que ejecuta la actividad productiva así como el sistema de distribución del tiempo de trabajo relacionado a la maquinaria o equipo minero mediante el cual se realizan las actividades del proceso productivo.

El estudio de la labor sincronizada del trabajo en equipo de los operadores, el empleo racional del tiempo de trabajo y la utilización efectiva de la maquinaria es muy importante debido a que durante el manipuleo de la maquinaria el trabajador realiza uno o más actividades al mismo tiempo. En el presente estudio se detalla:

- El Sistema de Distribución del Tiempo de Trabajo empleado por el trabajador respecto al Proceso Productivo.
- El Sistema de Distribución del Tiempo Disponible del Equipo o Maquinaria respecto al Proceso Productivo.

Así mismo la manera de compatibilizar estos tiempos en el Sistema de Gestión del Tiempo Cronológico.

### **3.0 SISTEMA DE DISTRIBUCION DEL TIEMPO DE TRABAJO DEL OPERADOR RESPECTO AL PROCESO PRODUCTIVO.**

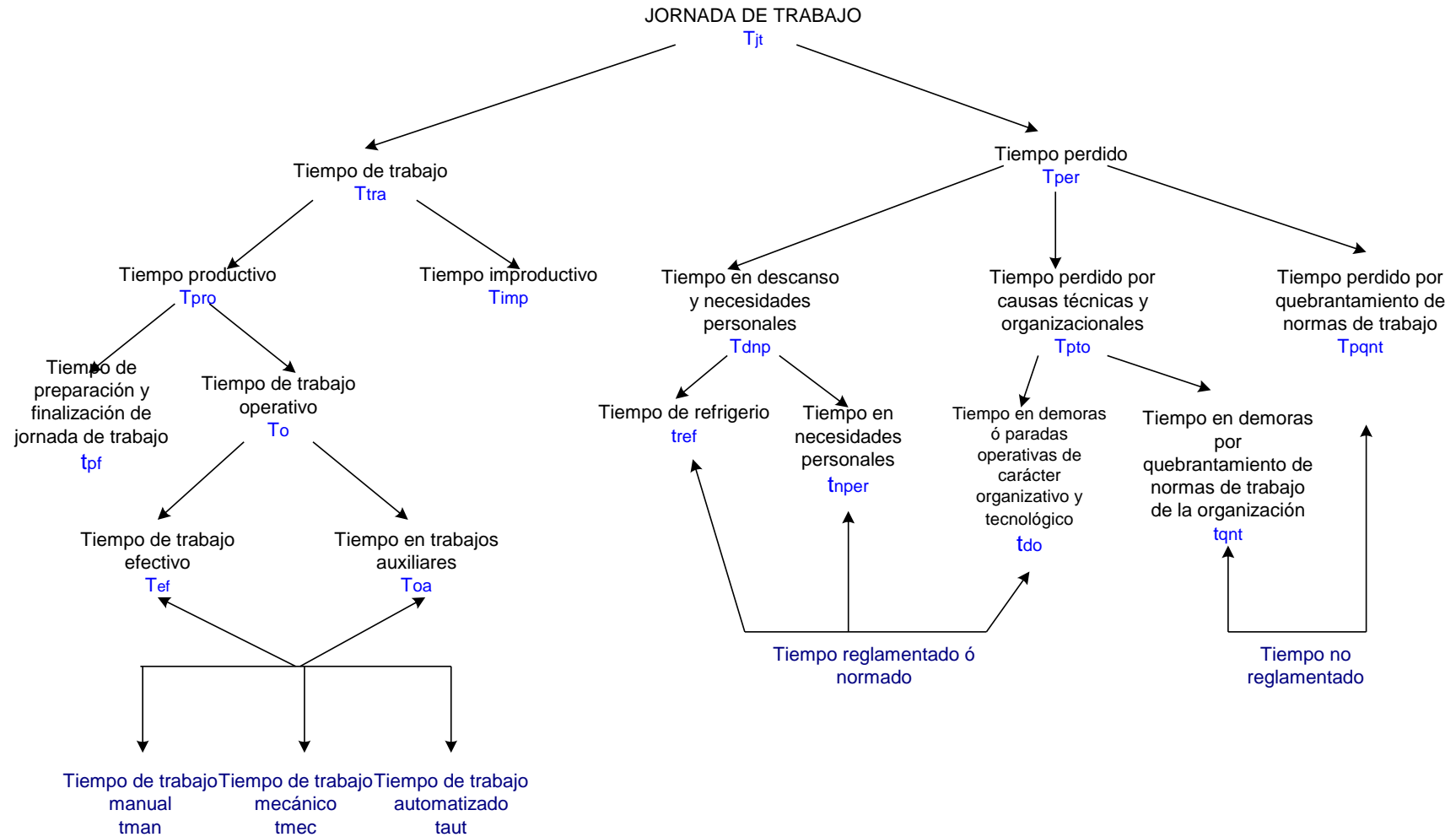
Se entiende por tiempo de trabajo del operador, al tiempo que destina en la ejecución de una actividad productiva concreta. Sin embargo, el tiempo de trabajo denominado también turno de trabajo, destinado a ejecutar una actividad determinada, no se utiliza en forma efectiva lo que merece analizar en forma minuciosa este aspecto. En el presente estudio se detalla los componentes del tiempo de trabajo (Ilustración N° 4).

El tiempo de trabajo se divide en dos grandes grupos: tiempo de trabajo productivo y tiempo de trabajo improductivo.

#### **TIEMPO PRODUCTIVO ( $T_{pro}$ )**

Tiempo destinado a la ejecución de una actividad productiva y que está conformado por el tiempo de preparación y finalización de la jornada de trabajo, y el tiempo operativo.

### Ilustración 1 Distribución del tiempo de trabajo del operador respecto al proceso productivo



$$T_{jt} = T_{imp} + t_{pf} + T_{ef} + t_{oa} + t_{ref} + t_{nper} + t_{do} + t_{qnt} + T_{per}$$

### **TIEMPO DE PREPARACIÓN Y FINALIZACIÓN DE LA JORNADA DE TRABAJO ( $T_{pr}$ )**

Son aquellos tiempos destinados a las actividades de preparación para el arranque de las operaciones unitarias y el tiempo para las actividades de cierre de la jornada de trabajo. Son los tiempos relacionados a las tareas específicas antes del inicio de la actividad principal de una operación unitaria, así como a las tareas durante la finalización de la jornada de trabajo (ejemplo: inspección y limpieza de la zona de trabajo, preparación y verificación del estado de las herramientas, inspección y arranque de maquinarias y equipos, recepción y cambio de guardia, desplazamiento a las labores).

### **TIEMPO OPERATIVO ( $T_o$ )**

Está constituido por el tiempo principal de una actividad productiva que es el tiempo efectivo de una operación unitaria y los tiempos auxiliares.

### **TIEMPO EFECTIVO ( $T_{ef}$ )**

Tiempo destinado a la actividad principal de una operación unitaria. Es el tiempo que demora realizar la transformación del objeto de trabajo, cambio de tamaño, forma, estado o cambio de ubicación del objeto de trabajo y que es la finalidad del proceso productivo determinado. Tomemos como ejemplos: tiempo de perforación, tiempo de carguío de explosivo en los taladros, tiempo de disparo y tiempo de carguío y acarreo de mineral o desmonte.

### **TIEMPO DE OPERACIONES AUXILIARES ( $T_{oa}$ )**

Es el tiempo destinado a las actividades complementarias de la actividad principal y sin las cuales no sería posible ejecutar las actividades productivas, ejemplo: tiempo en cambio de broca, desplazamiento de la perforadora de taladro a taladro. El tiempo en operaciones auxiliares se caracteriza porque es cíclico y repetitivo conjuntamente con el tiempo efectivo.

### **TIEMPO PERDIDO ( $T_{per}$ )**

Es una parte del tiempo de trabajo que está constituida por el tiempo de descanso reglamentario: pérdida de tiempo debido a la deficiente organización del trabajo y por el quebrantamiento de las normas de trabajo establecidas por la empresa.

La pérdida de tiempo de trabajo está determinada por la estructura organizacional y el grado de tecnificación del proceso productivo de una determinada empresa así como del grado de involucramiento y la falta de identificación con la empresa por parte de los trabajadores que influyen en el quebrantamiento de las normas de trabajo establecidas. La pérdida de tiempo se produce también por las paradas intempestivas originadas por fallas mecánicas de los equipos y a causa de una deficiente organización y control de las operaciones mineras.

### **TIEMPO DE DESCANSO REGLAMENTADO.**

El tiempo de descanso reglamentado en el proceso productivo puede estar considerado dentro o fuera del proceso productivo y organizacional del tiempo de trabajo de la empresa. Es el tiempo destinado al descanso dentro de la jornada de trabajo durante el cual el trabajador recupera las energías y la concentración necesaria para continuar laborando con seguridad y efectividad en el trabajo.

Durante el descanso reglamentario el personal utiliza el tiempo, además, en actividades personales como higiene y necesidades corporales. Estos tiempos son considerados en la estandarización del tiempo óptimo (determinación de los indicadores claves de desempeño KPIs).

### **TIEMPO DE DESCANSO NO REGLAMENTADO.**

Es el tiempo de trabajo originado por la infracción de la disciplina de trabajo establecido por la empresa (tardanza al trabajo, reuniones y conversaciones en la zona de trabajo durante el tiempo operativo). El incremento de este tiempo también depende del grado de organización y planificación del proceso de trabajo o el incumplimiento del programa de reparaciones de los equipos (incremento de reparaciones no programadas).

#### **4.0 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DEL TIEMPO DE TRABAJO DEL EQUIPO RESPECTO AL PROCESO PRODUCTIVO.**

La Distribución del Tiempo de Trabajo en relación al equipo minero o maquinaria utilizado en el Proceso Productivo está dado por el tiempo disponible ( $T_d$ ) durante la jornada de trabajo (Ilustración N° 2).

##### **TIEMPO DISPONIBLE ( $T_d$ ).**

Es el tiempo durante el cual el equipo o maquinaria está apto para ser utilizado en el proceso productivo. El tiempo disponible está constituido por el tiempo operativo ( $T_o$ ) y el tiempo en demoras no operativas ( $t_{dno}$ ) o tiempo perdido.

##### **TIEMPO OPERATIVO ( $T_o$ ).**

Es el tiempo destinado a la ejecución de las actividades productivas constituidas por actividades de preparación y finalización de las operaciones ( $T_{pf}$ ), tiempo efectivo ( $T_{ef}$ ) y tiempo en demoras operativas ( $t_{do}$ ).

Durante el tiempo operativo el equipo o maquinaria se encuentra encendido, asimismo, el horómetro se encuentra registrando el funcionamiento del equipo. Según este concepto, el Tiempo Operativo ( $T_o$ ) es equivalente a la Hora Máquina (HM).

##### **TIEMPO DE PREPARACIÓN Y FINALIZACIÓN DE LAS OPERACIONES ( $T_{pf}$ ).**

El tiempo de preparación y finalización de las operaciones ( $T_{pf}$ ) es parte importante de la actividad principal de las operaciones, muchas veces lo confunden con el tiempo en demoras operativas, sin embargo, este tiempo es parte complementario del tiempo principal (tiempo efectivo), su prolongación está relacionada a las condiciones geológico mineras y la organización de los trabajos y la tecnología empleada en el proceso productivo, así como del grado de organización y planificación de las operaciones.

##### **TIEMPO EFECTIVO ( $T_{ef}$ ).**

Es el tiempo destinado a la actividad principal. La duración del ciclo de trabajo depende del tipo de equipo empleado y las condiciones del medio de producción (frente de minado) y la habilidad y destreza del operador en el manejo del equipo asignado. El tiempo efectivo está conformado por el tiempo neto de operación ( $t_{no}$ ) y tiempo en operaciones auxiliares ( $t_{oa}$ )

##### **TIEMPO NETO DE OPERACIÓN ( $T_{no}$ )**

El tiempo neto de operación es el tiempo destinado a la ejecución de la actividad principal. Este tiempo es repetitivo (en forma cíclica).

##### **TIEMPO EN OPERACIONES AUXILIARES ( $t_{oa}$ ).**

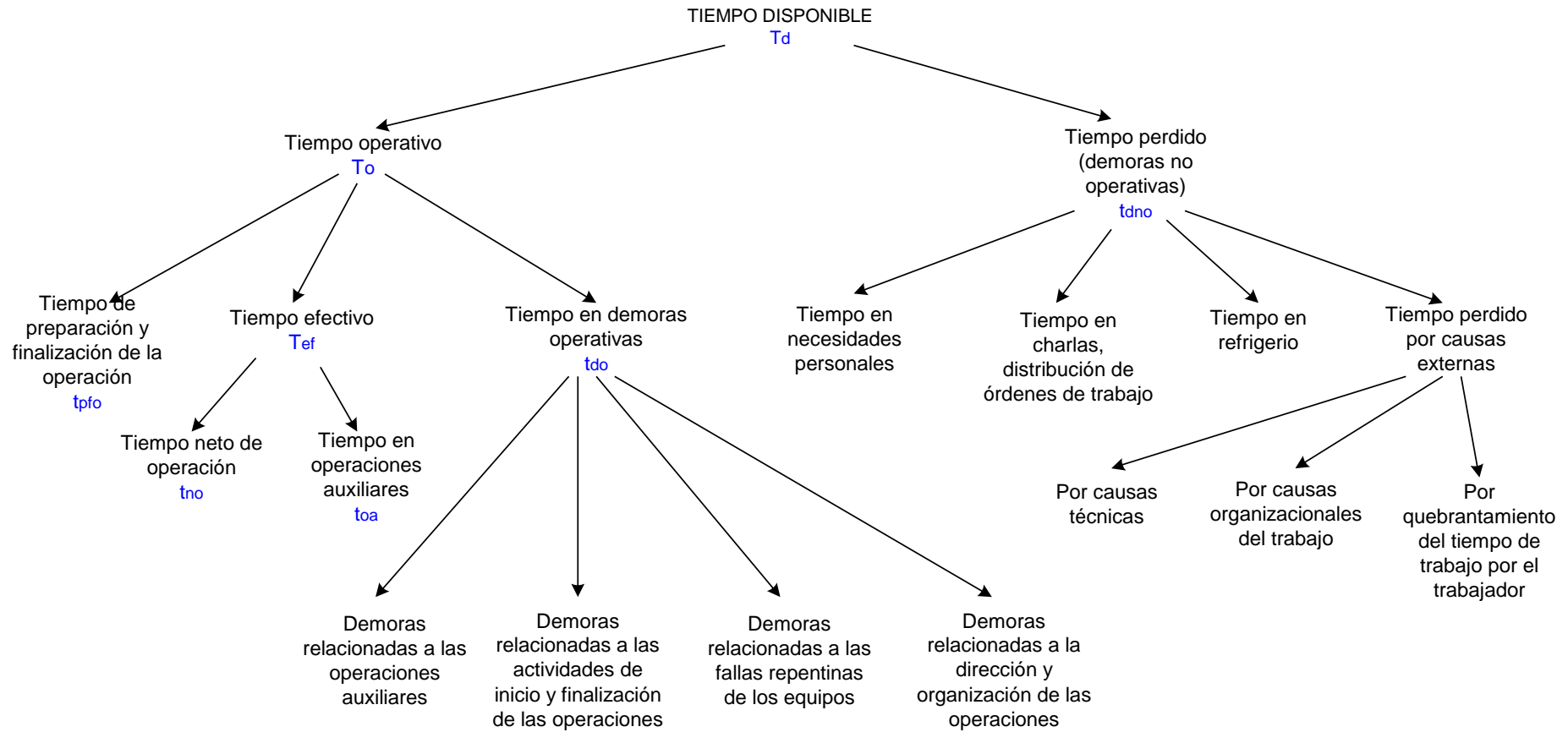
Este tiempo está destinado a la ejecución de las actividades complementarias que garanticen la ejecución de las actividades de la operación neta.

##### **TIEMPO EN DEMORAS OPERATIVAS ( $t_{do}$ ).**

El tiempo en demoras operativas corresponde a las actividades improductivas de los equipos originados por la interrelación de los equipos mineros que cumplen distintas funciones en la actividad productiva (ejemplo: pala espera camión - camión espera pala). Las demoras operativas están relacionadas a la Gestión del Tiempo Operativo de parte de los operadores y de la dirección y control de las operaciones.



**Ilustración 2: Distribución del tiempo de trabajo del equipo respecto al proceso productivo**



$$T_d = tpfo + tno + toa + tdo + tdno$$

Fotografía 1: Demoras operativas por interrelación de equipos



(Fotografía N°1) Durante el aprovechamiento máximo de la capacidad productiva de la excavadora, el carguío de camión se realiza por dos lados. Durante el cambio de camión se produce demora del volquete en recepción de carga.

### **TIEMPO EN OPERACIONES NO OPERATIVAS ( $t_{dno}$ ).**

Es el tiempo perdido durante el cual el equipo se encuentra paralizado. Es decir, que el equipo o maquinaria que está operativo se encuentra apagado (*stand by* operativo). Durante este tiempo el operador se encuentra en descanso reglamentario (refrigerio) o bien el personal se encuentra recibiendo instrucciones de seguridad u otras actividades no reglamentadas (o el equipo está paralizado por causas externas durante la jornada de trabajo).

En el Sistema Convencional de Distribución de Tiempos a las demoras no operativas se les considera dentro de las demoras operativas (o están fuera del tiempo disponible). En el sistema de distribución propuesto, las demoras no operativas se agrupan por separado respecto a las demoras operativas teniendo en cuenta que estas demoras no intervienen directamente en la actividad productiva. Durante este tiempo el equipo no funciona, por lo tanto, el horómetro no registra las horas de funcionamiento del equipo.

Desde el punto de vista de la parte administrativa de las operaciones, las demoras no operativas están en función a la forma como está organizada la parte operativa de la empresa y al sistema de control del tiempo disponible.

### **5.0 SISTEMA DE GESTIÓN DEL TIEMPO DE TRABAJO.**

La gestión del tiempo disponible no será completa si no se le incluye en la gestión del tiempo cronológico o tiempo calendario. Es decir, la gestión del tiempo de trabajo parte de saber administrar el tiempo no sólo correspondiente a las actividades productivas, sino también, conocer los componentes del tiempo calendario que facilite el aprovechamiento racional del tiempo por lo que es necesario conocer la distribución del tiempo total (Ilustración N° 6).

### **TIEMPO TOTAL ( $T_t$ ).**

Se denomina tiempo total al tiempo calendario, al tiempo cronológico que está dado por 24 horas al día, 30 ó 31 días al mes y 12 meses al año. El tiempo total está conformado por el tiempo programado ( $T_p$ ) y el tiempo no programado ( $T_{np}$ ).

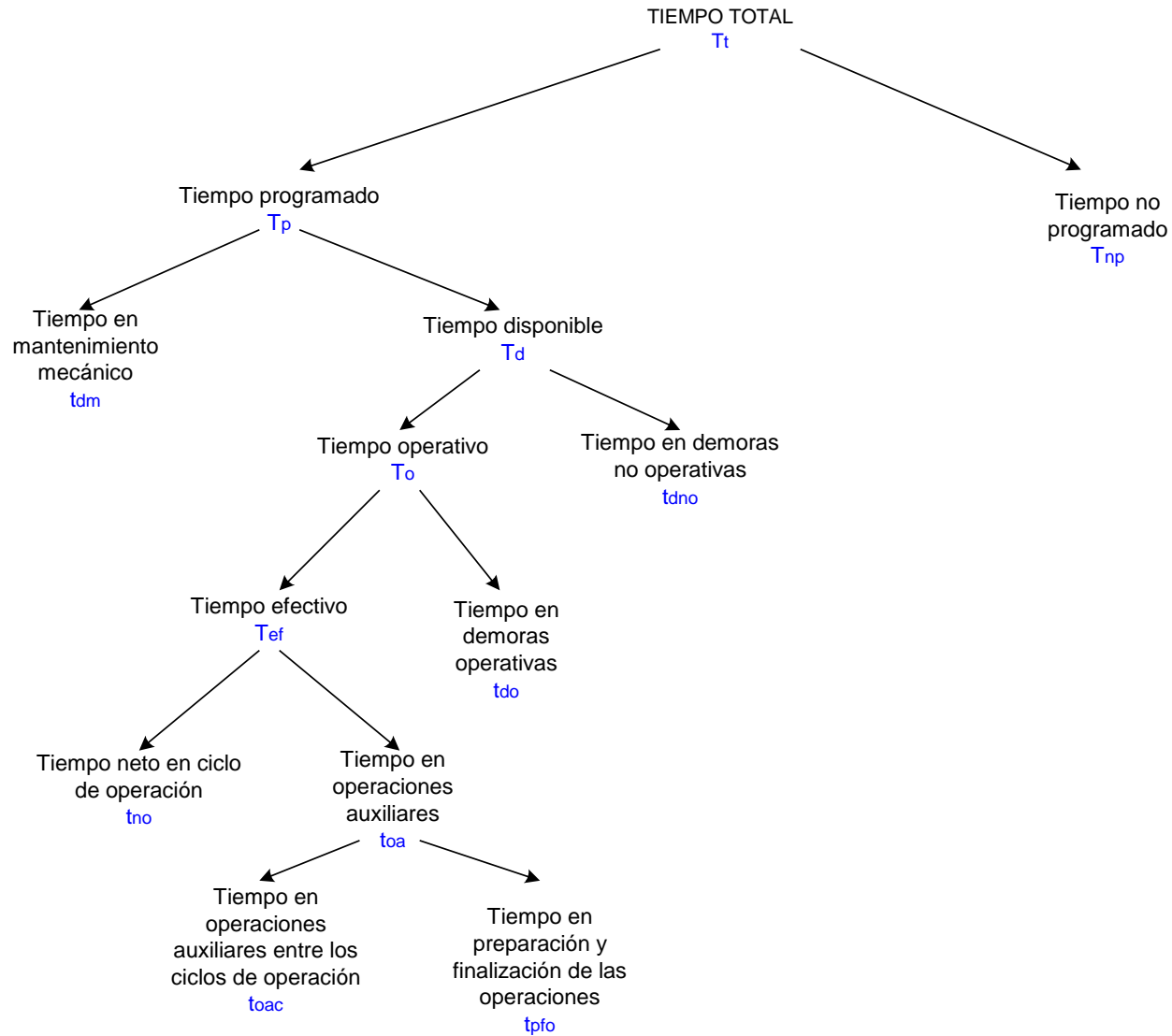
### **TIEMPO PROGRAMADO ( $T_p$ ).**

Es el tiempo de trabajo destinado a cumplir una actividad productiva, así como al tiempo destinado para el mantenimiento o reparación del equipo o maquinaria minera. Durante el tiempo programado el equipo o maquinaria minera se encuentra disponible o bien se encuentra en mantenimiento o reparación mecánica.

Cuando se trata del tiempo programado se refiere al tiempo destinado ya sea para la actividad productiva o también para cuando el equipo se encuentre en mantenimiento o en reparación. Independientemente si el trabajo de reparaciones se realiza dentro de la jornada de trabajo establecido para las operaciones productivas o fuera de ella.



**Ilustración 3 Distribución del tiempo total del equipo respecto al proceso productivo**



Por lo general cuando se trata de tiempo programado ( $T_p$ ), se refiere sólo “al tiempo destinado a las operaciones de producción”, de allí que el área de mantenimiento no toma en cuenta, en el cálculo de disponibilidad mecánica, el tiempo utilizado en las reparaciones o mantenimiento realizados durante las horas de refrigerio, cambio de guardia o en días domingos y feriados, cuando no están programadas las operaciones productivas u otros trabajos conexas a las operaciones de la mina. Por lo tanto, el factor de disponibilidad mecánica (DM) calculado por el área de mantenimiento no representa la utilización real del tiempo en mantenimiento, no obstante que durante el tiempo no contabilizado en el cálculo de disponibilidad mecánica se emplean mano de obra y materiales y otros desvirtuándose de esta manera el factor de disponibilidad mecánica y los costos por actividades.

La gestión del tiempo total ( $T_t$ ) consiste en la administración de todas las actividades relacionadas a la maquinaria y equipo minero desde el momento de la compra o alquiler hasta dársele de baja, registrándose en qué situación se encuentra el equipo en los diferentes momentos y etapas de utilización.

#### **TIEMPO NO PROGRAMADO ( $T_{np}$ ).**

Es el tiempo durante el cual el equipo o maquinaria se encuentra paralizado ya sea en estado operativo o malogrado.

Conceptualmente si una empresa dependiera de un solo equipo cuyo costo es de medio millón de dólares, para asegurar la mayor rentabilidad, este equipo estaría operativo todo el tiempo dejando de trabajar solamente el tiempo que dure el mantenimiento y reparaciones programadas. Este manejo organizacional necesitaría un planeamiento de los trabajos de mantenimiento y reparaciones reduciendo al mínimo las paradas por fallas intempestivas, Por consiguiente, se vería en la necesidad de la implementación del *área de planeamiento de mantenimiento mecánico* y del *área de logística*, ambas especializadas y proactivas.

En las condiciones reales el porcentaje de tiempo programado fluctúa de 37 % a 92 %, esto significa que las diferentes empresas mineras no programan el tiempo total correctamente o no realizan un control adecuado del tiempo programado. Por otro lado, en **los métodos de control existentes** los tiempos no programados los consideran dentro del tiempo en reservas o como parte de las demoras operativas.

Se ha constatado que en varias empresas mineras algunos equipos permanecen paralizados por tiempo prolongado, tanto en el taller de la mina como en los talleres de los proveedores de equipos ya sea por la falta de atención oportuna en la compra de repuestos o por la demora en la toma de decisiones sin que por ello alguien asuma la responsabilidad por el tiempo perdido. Generalmente esta decisión le corresponde a la gerencia de logística y/o a la gerencia de operaciones con la finalidad de mantener el stock de repuestos en niveles bajos en almacén y por consiguiente disminuir el capital financiero comete el error de incrementar el tiempo no programado de estos equipos.

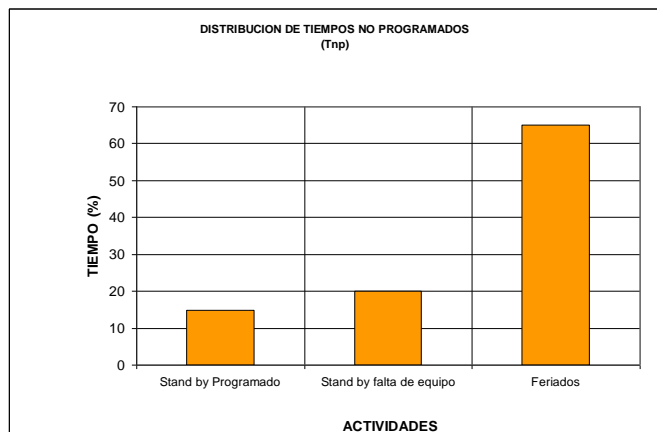
$$T_t = T_p + T_{np}$$

Donde:

$T_t$	Tiempo total
$T_p$	Tiempo programado
$T_{np}$	Tiempo no programado

En los estudios de tiempos realizados por el autor en algunas empresas mineras el tiempo no programado se distribuye como se puede observar en el Gráfico 1.

Gráfico 1 Actividades del Tiempo no Programado



En el gráfico N° 1, se muestra el resultado del control del tiempo no programado de equipos de acarreo controlados bajo el Sistema de Gestión de Tiempo propuesto en presente estudio.

#### UTILIZACIÓN DE TIEMPO PROGRAMADO (UP).

Indica el porcentaje de tiempo programado respecto al tiempo total (tiempo cronológico) y es el indicador que califica la organización y la política de la empresa en la gestión del tiempo no programado.

$$UP = \frac{(T_t - T_{np})}{T_t}$$

El gerenciamiento del tiempo no programado consiste en la planificación y control del tiempo no programado de manera que este tiempo se mantenga en un rango prudencial estableciendo indicadores óptimos en base a estudios complementarios.

Por otro lado, el tiempo programado está constituido por el tiempo disponible ( $T_d$ ) y el tiempo en reparaciones o demoras mecánicas ( $t_{dm}$ ).

$$T_p = T_d + T_{dm}$$

Donde:

$T_d$  Tiempo disponible  
 $T_{dm}$  Tiempo en demoras mecánicas (reparaciones)

#### TIEMPO EN DEMORAS MECÁNICAS ( $t_{dm}$ ).

Está constituido por las actividades destinadas a mantener operativo el equipo o maquinaria minera, es decir, es el tiempo que se asigna para el mantenimiento preventivo y correctivo en las diferentes etapas del tiempo de vida del equipo o maquinaria minera.

El objetivo de la función de mantenimiento es apoyar el proceso productivo con niveles adecuados de disponibilidad, confiabilidad y operatividad a un costo aceptable.

El mantenimiento abarca un conjunto de actividades orientadas a mantener y recuperar la situación ideal así como la determinación y evaluación de la situación real de un sistema por medios técnicos. Las medidas contienen actividades de conservación inspección y reparación.

La gestión del tiempo de reparaciones y mantenimiento de un equipo consiste en la planificación del Programa de Mantenimiento y Reparaciones para lo cual es imprescindible llevar el historial de los equipos “historia clínica” desde su adquisición hasta el momento de tomar la decisión de dársele de baja lo cual muchas veces no se tiene de forma completa en los talleres de mantenimiento de las empresas mineras. Los objetivos de programar las actividades de MP son:

- Eliminación de retrasos (entre trabajos).
- Incremento de la disponibilidad mecánica.
- Planificación del equipo para las reparaciones.
- Planificación de la compra de los materiales para la reparación.
- Planificación de la mano de obra.
- Coordinar con el cliente.
- Eliminar viajes adicionales.
- Simplificar la programación.
- Disminuir la improvisación.

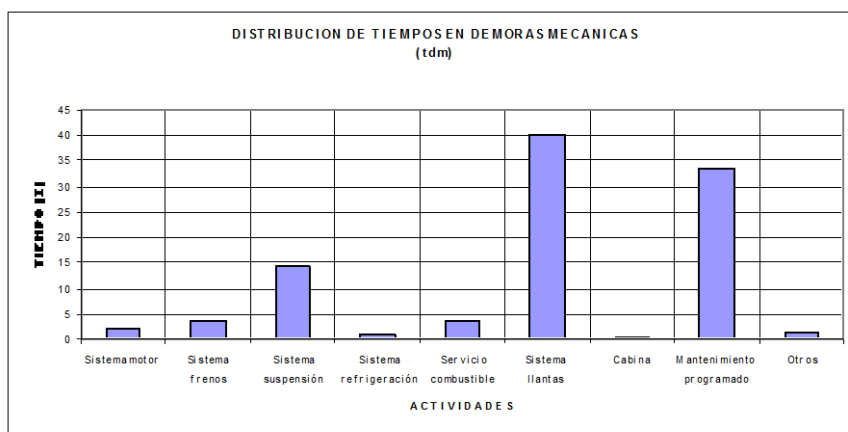
Por trabajos de reparación se entienden todas las medidas que contribuyan a restaurar el estado teórico. Hay que distinguir dos tipos de reparaciones: *reparación planificada* y *reparación no planificada*.

Los tiempos en reparaciones planificadas son aquellas actividades de mantenimiento y de reparaciones que son programadas en su ejecución por el área de mantenimiento respectivo.

Los tiempos en reparaciones no planificadas corresponden a las paradas intempestivas e imprevistas del equipo durante el tiempo operativo (mantenimiento correctivo). Estas fallas no son detectadas en su debido momento a falta de un Programa de Mantenimiento Preventivo y Predictivo bien implementado. Las fallas o demoras mecánicas no planificadas pueden también ser originadas por la mala operación del equipo o causadas por accidentes de trabajo como, por ejemplo, la caída de rocas que provoquen la rotura del parabrisas del camión.

Corresponde al área de mantenimiento llevar el control de tiempo clasificándolo en demoras mecánicas planificadas y no planificadas, establecer indicadores de tiempo de mantenimiento no planificado a fin de minimizar estas demoras, puesto que, estos tiempos son los que afectan con mayor frecuencia la eficiencia de los equipos durante la operación minera. Por ejemplo: la rotura de una manguera hidráulica de un equipo de carguío, durante el tiempo operativo, paraliza toda la flota de camiones, en ese momento los camiones pasan a tiempo *stand by operativo* por falta de equipo, este tiempo es considerado tiempo en demoras operativas.

Gráfico 2 Actividades de las Demoras Mecánicas



En gráfico N° 2, se muestra el resultado del control de las demoras mecánicas clasificadas por componentes, datos obtenidos en base a estudios de tiempos realizados por el autor en una empresa mineara a tajo abierto.

## INDICADORES DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

### DISPONIBILIDAD MECÁNICA (DM).

El factor de disponibilidad mecánica (DM) es el indicador de comportamiento clave (KPI) que se utiliza para calificar la gestión del área de mantenimiento de una empresa

El objetivo del área de mantenimiento mecánico es garantizar la **disponibilidad mecánica en forma sostenida** para que las actividades productivas estén en los niveles más altos.

La disponibilidad mecánica depende de una serie de factores, entre ellos tenemos:

- Antigüedad del equipo: a mayor tiempo de uso del equipo se incrementarán los tiempos en reparaciones y la frecuencia del cambio de componentes, originados por el desgaste y el tiempo de vida de las mismas.
- Planificación del mantenimiento preventivo y predictivo: que permiten establecer la fecha de la parada del equipo y el tiempo que demora su reparación. Esta parte del proceso nos conduce a contar con los repuestos y/o componentes para la fecha prevista.
- Grado de implementación de los talleres de mantenimiento, con equipos e instrumentos adecuados que permitan ejecutar los trabajos de manera eficiente.
- Contar con personal calificado y motivado en el área de mantenimiento.
- Contar con operadores capacitados, involucrados con el cuidado y conservación de los equipos durante la actividad productiva.
- Desarrollo del Programa de Mantenimiento Predictivo en los equipos que permitan reducir las demoras o reparaciones correctivas de éstos durante las horas operativas, entre otros factores.

$$DM = \frac{(T_p - t_{dm})}{(T_p)}$$

$$DM = \frac{T_d}{T_p}$$

$$DM = \frac{(T_{ef} + t_{do} + t_{dno})}{(T_{ef} + t_{do} + t_{dno} + t_{dm})}$$

Donde:

$T_p$	Tiempo programado.
$t_{dm}$	Tiempo en demoras mecánicas.
$T_d$	Tiempo disponible.
$t_{do}$	Tiempo en demoras operativas.
$t_{dno}$	Tiempo en demoras no operativas.
$T_{ef}$	Tiempo efectivo.

La disponibilidad mecánica (DM) es el indicador que cuantifica el porcentaje de tiempo que será destinado para las actividades operativas.

Para el control de reparaciones y mantenimiento de los equipos es recomendable registrar los tiempos utilizados en: mantenimiento o reparaciones planificadas, mantenimiento o reparaciones no planificadas (agrupados por componentes de los equipos) de manera que esta información sea empleada en la evaluación de la calidad de gestión del área de mantenimiento y de los

operadores así como para evaluar el estado del equipo y tomar la decisión de darles de baja, de ser el caso, en su debido momento.

Cuando las reparaciones se realizan en talleres externos o se prolonga mucho tiempo su reparación, debido a la falta de repuestos en stock u otras razones que salen de los alcances del programa del área de mantenimiento, entonces éste tiempo se le asigna como tiempo no programado.

Según el **Método de Control de Tiempo de algunas empresas**, la disponibilidad mecánica se calcula de la siguiente manera:

$$DM = \frac{(T_t - R)}{T_t}$$

Donde:

$T_t$       Tiempo total.  
 $R$         Tiempo en reparaciones

Según el método ASARCO el cálculo de disponibilidad mecánica se determina de la siguiente forma:

$$DM = \frac{TO}{(TO + TM)}$$

Donde:

$TO$       Tiempo en que el equipo es operado (tiene operador y tarea asignada)  
 $TM$       Tempo en que el equipo está en mantenimiento (incluye espera por mantención y espera por repuesto).

Los ingenieros mecánicos del área de mantenimiento mecánico, utilizan este mismo concepto pero detallan las actividades de mantenimiento de la siguiente forma:

$$DM = \frac{(T_t - THIM)}{T_t}$$

$$DM = \frac{(T_t - (THMP + THMC))}{T_t}$$

Donde:

$T_t$       Tiempo total o tiempo calendario.  
 $THIM$     Total horas de intervención por mantenimiento.  
 $THMP$     Horas en mantenimiento preventivo.  
 $THMC$     Horas en mantenimiento correctivo.

Para actualizar esta fórmula a los conceptos del autor (denominado método NRI), el tiempo total o tiempo calendario debe ser remplazado por el tiempo programado ( $T_p$ ), de esta manera la disponibilidad mecánica se expresa de la siguiente manera:

$$DM = \frac{(T_p - (THMP + THMC))}{T_p}$$

Dónde:

$T_p$       Tiempo programado.



## DISPONIBILIDAD FÍSICA (DF).

Es el tiempo por el cual la máquina es capaz de realizar la actividad productiva respecto al tiempo disponible y al tiempo no programado.

$$DF = \frac{T_d + t_{dno}}{T_p}$$

$$DF = \frac{(T_{ef} + t_{do} + t_{dno})}{(T_{ef} + t_{do} + t_{dno} + t_{dm})}$$

Los indicadores de confiabilidad sirven para determinar la probabilidad de que los equipos funcionen el mayor tiempo posible sin fallas. En ese sentido tenemos las siguientes:

### TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS (MTBF) (Mean Time Between Failure)

Empleado en sistemas en los que el tiempo de reparación es significativo con respecto al tiempo de operación (sistemas reparables).

$$MTBF = \frac{N^{\circ} \text{ horas de operación}}{N^{\circ} \text{ de paradas correctivas}}$$

Empleado en sistemas en los que el tiempo de reparación es significativo con respecto al tiempo de operación (sistemas reparables).

Para evaluar una sección de "N" equipos se puede expandir la formula anterior a:

$$MTBF \text{ deseción } A = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{horas de operación})}{\sum_{i=1}^n (N^{\circ} \text{ paradas correctivas})}$$

Ejemplo: Se desea determinar el tiempo promedio entre fallas de la sección a si se tiene la siguiente información:

EQUIPO	HORAS DE OPERACIÓN	N° DE PARADAS CORRECTIVAS
1	300	5
2	250	3
3	500	
4	320	5
TOTAL	1370	13

Aplicando la formula correspondiente:

$$MTBF = \frac{1370}{13} = 105 \text{ hrs/ falla}$$

Empleado en sistemas no reparables (por ejemplo satélites, fluorescentes) o en aquellos equipos donde el tiempo de reparación o sustitución no es significativo con relación a las horas de operación.

### TIEMPO PROMEDIO PARA REPARACIÓN (MTTR) (Mean Time To Repair)

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparaciones correctiva}}{N^{\circ} \text{ de reparaciones correctivas}}$$

### DISPONIBILIDAD INHERENTE (DI).

Esta disponibilidad depende sólo del diseño del equipo. Se expresa de la siguiente manera:

$$DI = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Dónde:

DI Disponibilidad inherente  
MTBF Tiempo promedio entre fallas  
MTTR Tiempo promedio para reparación

### TIEMPO DISPONIBLE ( $T_d$ ).

Es el tiempo durante el cual los equipos o maquinarias se encuentran operativas y listas para ser utilizados en la actividad productiva. Durante el tiempo disponible el equipo pasa a la administración del área operativa.

Si el equipo se encuentra disponible éste debe pasar al área operativa para ser utilizado en la actividad productiva pero de no ser necesario en la operación el equipo pasa a tiempo no programado ( $T_{np}$ ) asignándole el código de *stand by programado*. De esta manera no es afectado al factor de disponibilidad mecánica (DM), tampoco al factor de utilización de operaciones mina.

El tiempo disponible está conformado por el tiempo operativo ( $T_o$ ) y el tiempo en demoras no operativas ( $t_{dno}$ )

$$T_d = T_p - t_{dm}$$

$$T_d = T_o + t_{dno}$$

Dónde:

$T_o$  Tiempo operativo  
 $t_{dno}$  Tiempo en demoras no operativas

### TIEMPO OPERATIVO ( $T_o$ ).

Es el tiempo destinado a realizar la actividad principal de un proceso productivo y se encuentra constituido por el *tiempo efectivo* ( $T_{ef}$ ) y las *demoras operativas* ( $t_{do}$ ). Durante este tiempo el equipo se encuentra funcionando por lo que el *tiempo operativo* ( $T_o$ ) será equivalente a las *horas máquina* (HM).

$$T_o = T_d - t_{dno}$$

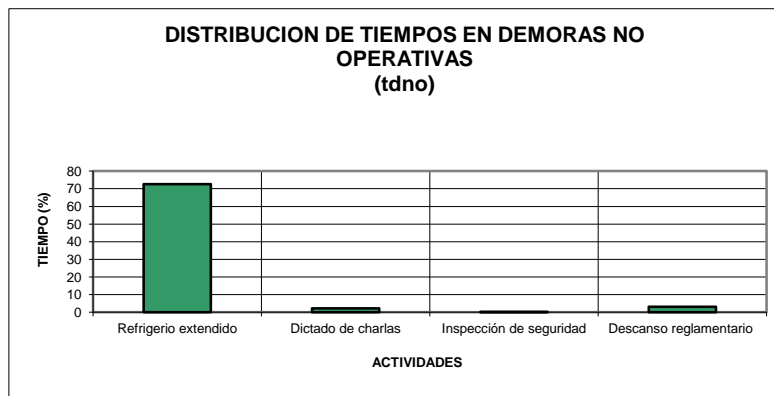
$$T_o = T_{ef} + t_{do}$$

### DEMORA NO OPERATIVA ( $T_{dno}$ ).

Durante las demoras no operativas el equipo está disponible pero no se encuentra funcionando debido a que el operador se encuentra en refrigerio o el personal se encuentra recibiendo entrenamiento y/o charlas técnicas, o bien el equipo se encuentra paralizado por factores externos durante el tiempo disponible.

En los *Métodos de Control de Tiempo conocidos* estas demoras no están diferenciadas adecuadamente.

Gráfico 3 Actividades del Tiempo no Operativo



En el Gráfico 3, se muestra la distribución de las demoras no operativas registradas durante el control de operaciones.

### FACTOR DE UTILIZACIÓN DE TIEMPO OPERATIVO.

$$UO = \frac{(T_d - t_{dno})}{T_d}$$

$$UO = \frac{T_o}{T_d}$$

El factor de utilización de tiempo operativo (UO) es el factor que indica el grado de organización y control de la administración de las operaciones de minado.

El tiempo operativo ( $T_o$ ) está conformado por: el tiempo efectivo ( $T_{ef}$ ) y el tiempo en demoras operativas ( $t_{do}$ ) también se define el *Tiempo Operativo* como la suma del *tiempo productivo* y *tiempo en demoras operativas*.

$$T_o = T_{ef} + t_{do}$$

Dónde:

$t_{do}$       Tiempo en demoras operativas  
 $T_{ef}$       Tiempo efectivo

### TIEMPO EFECTIVO ( $T_{ef}$ ).

El tiempo efectivo es el tiempo principal de la actividad productiva

$$T_{ef} = T_o - t_{do}$$

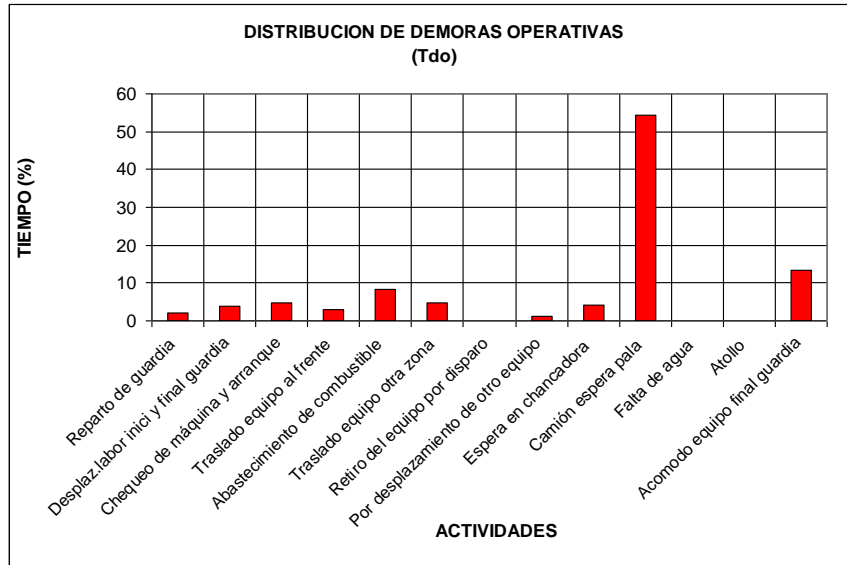
### TIEMPO EN DEMORAS OPERATIVAS ( $t_{do}$ ).

Está constituido por los tiempos improductivos de los equipos originados por la secuencia de las operaciones unitarias. Durante este tiempo los equipos mineros se interrelacionan cumpliendo diversas actividades productivas (ejemplo: pala espera camión - camión espera pala).

Las demoras operativas están relacionadas con la gestión del tiempo operativo de parte de los operadores. Es decir, dependen del grado de la planificación de las operaciones, las condiciones geológico mineras, así como de la dirección y control de las operaciones de mina.

En el Gráfico 4, se muestra la distribución de las demoras operativas de un camión durante el tiempo operático registrado. Estos datos permiten tomar acciones para reducir las demoras operativas e incrementar la utilización efectiva (UE).

Gráfico 4 Actividades de las Demoras Operativas



En el Gráfico 4, se muestra que la demora “camión espera pala” es la de mayor incidencia, seguido del acomodo al finalizar la guardia, lo que significa que en base a esta información operaciones mina tomará acciones para reducir estas demoras a niveles bajos.

#### FACTOR DE UTILIZACIÓN EFECTIVA (UE).

Es el indicador de comportamiento clave (KPI) de la organización y control de la operación de la mina.

El tiempo efectivo ( $T_{ef}$ ) está constituido por el tiempo neto de operación ( $t_{no}$ ) y tiempo en operaciones auxiliares ( $t_{oa}$ ).

$$UE = \frac{T_o - t_{do}}{T_o}$$

$$UE = \frac{T_{ef}}{T_o}$$

$$T_{ef} = T_{no} + T_{oa}$$

Dónde:

$T_{no}$  Tiempo neto en operaciones productivas  
 $T_{oa}$  Tiempo en operaciones auxiliares

El tiempo en operaciones auxiliares ( $t_{oa}$ ) está conformado por el tiempo en operaciones auxiliares entre el ciclo de operación ( $t_{oac}$ ) y el tiempo en preparación y finalización de las operaciones ( $t_{oapf}$ ).

$$T_{oa} = (t_{oac} + t_{oapf})$$

Dónde:

$T_{oa}$  Tiempo en operaciones auxiliares.  
 $t_{oac}$  Tiempo en operaciones auxiliares dentro del ciclo de la actividad productiva.  
 $t_{oapf}$  Tiempo en preparación y finalización de la actividad productiva.

#### UTILIZACIÓN TOTAL (UT).

Es la relación del tiempo efectivo respecto al tiempo total o el tiempo calendario. Este factor califica en forma integral la gestión del tiempo total en la actividad productiva de los equipos.

Este factor cuantifica el porcentaje de tiempo total empleado en las actividades netas de operación y en operaciones auxiliares, es decir, califica cuánto tiempo es aprovechado en el proceso productivo.

$$UT = UP \times DM \times UO \times UE$$

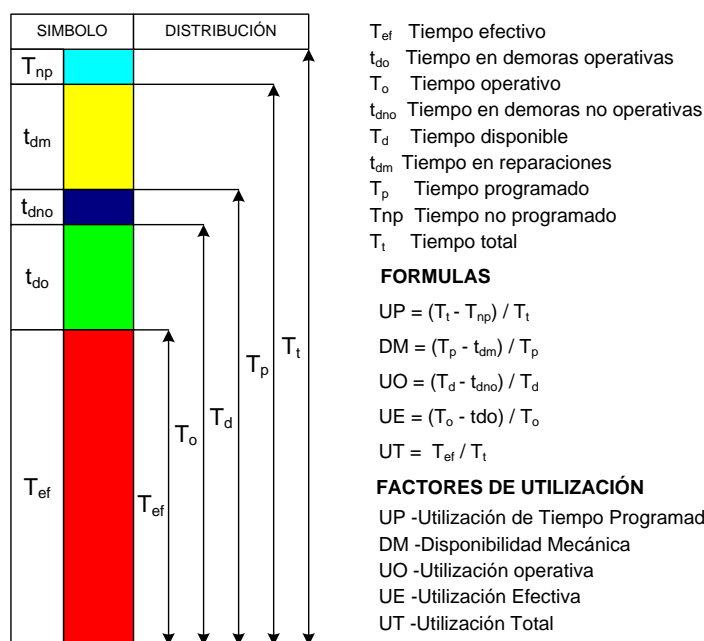
$$UT = \frac{T_{ef}}{T_t}$$

## 6.0 MÉTODOS DE CONTROL DE TIEMPO TOTAL

### 6.1 MÉTODO NRI

A partir de los conceptos mencionados se ha elaborado el esquema de distribución de tiempo total, (ver Ilustración N° 4), donde se muestra el método de distribución de tiempo total desarrollado en el presente estudio denominado **“Método NRI”**.

Ilustración 4 Método NRI de control de tiempo total



El **“El método NRI**, consiste en la clasificación del tiempo cronológico o tiempo total ( $T_t$ ) y la interdependencia de las actividades en el proceso productivo.

Los indicadores, o factores de eficiencia, determinados en las diferentes fases de distribución del tiempo total sirven para evaluar la gestión del tiempo de trabajo en los diferentes niveles de gestión del aparato productivo de una determinada empresa.

El **“Método NRI”** sirve para la evaluar de indicadores claves de eficiencia y rendimiento tanto de equipos individuales como en la evaluación de flotas de los diferentes tipos de equipos.

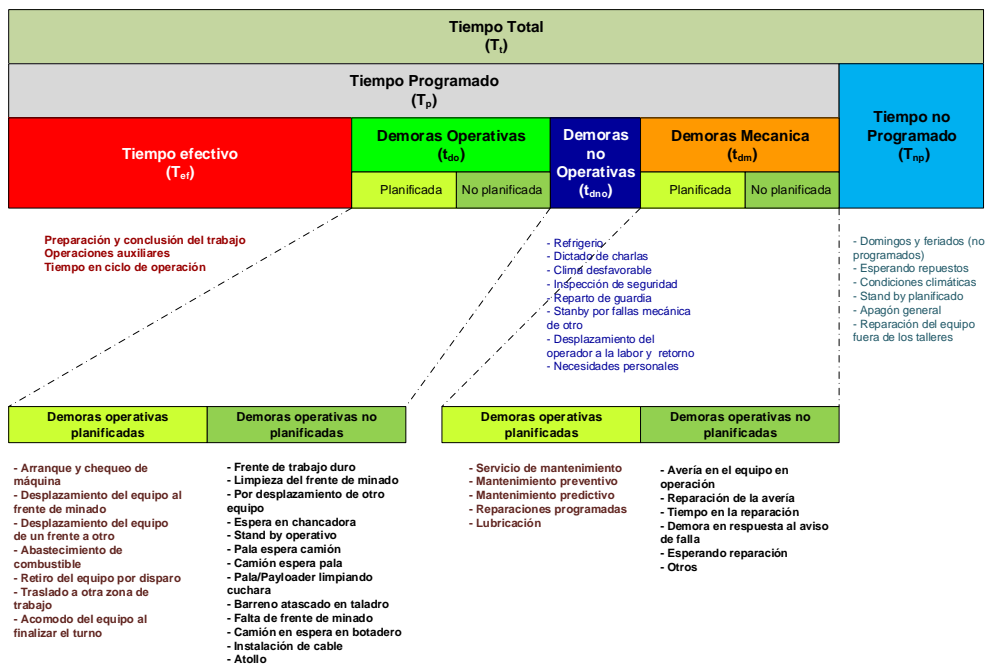
La implementación del **“Método NRI”** consiste en el establecimiento de criterios y conceptos que sean adoptados como sistema de control de tiempos estándar, además servirá de referencia comparativa para la gestión del tiempo de trabajo entre las diferentes empresas del sector minero.

Cuadro 1 Indicadores de eficiencia del método NRI

INDICE		FORMULA	DEFINICIÓN	FACTOR DE CONTROL	
Utilización de tiempo programado	UP	$\frac{T_p}{T_t}$	$\frac{(T_t - T_{dnp})}{T_t}$	Fracción de tiempo total en que el equipo está disponible para ser programado	Eficiencia de Tiempo programado
Disponibilidad Mecánica	DM	$\frac{T_d}{T_p}$	$\frac{(T_p - T_{dm})}{T_p}$	Fracción de tiempo en que el equipo se encuentra disponible para ser operado en relación al tiempo programado	Eficiencia de mantenimiento
Utilización Operativa	UO	$\frac{T_o}{T_d}$	$\frac{(T_d - T_{dno})}{T_d}$	Fracción del tiempo en el cual el equipo está operativo para realizar un determinado trabajo en relación al tiempo disponible	Eficiencia de programación
Utilización Efectiva	UE	$\frac{T_{ef}}{T_o}$	$\frac{(T_o - T_{do})}{T_o}$	Fracción del tiempo operativo en el cual el equipo realiza su función productiva	Eficiencia de la programación, supervisión y control operacional
Utilización Total	UT	$\frac{T_{ef}}{T_t}$	$\frac{(T_t - (T_{dnp} + T_{dm} + T_{dno} + t_{do}))}{T_t}$	Fracción del tiempo total en la cual el equipo realiza trabajo efectivo	Uso del tiempo total
Rendimiento Operativo	Ro	Unidades/To		Unidades producidas por hora operación	Productividad del equipo por tiempo operativo
Rendimiento Efectivo	Ref	Unidades/Tef		Unidades producidas por hora efectiva	Productividad del equipo por tiempo efectivo

En la clasificación de tiempos algunas actividades pueden ser planificadas, mientras que otras actividades son imprevistas y que pertenecen a las actividades no planificadas. En la ilustración 5, se describe las actividades según la clasificación del método NRI.

Ilustración 5 Distribución del tiempos por actividades según el método NRI



En el Cuadro N° 2 se detallan las actividades según la clasificación del método NRI, donde se incluye el patrón de planificación.

Cuadro 2 Distribución de tiempo total por actividades según el método NRI



CLASIFICACIÓN DE TIEMPO TOTAL (Tt)	PATRON DE PLANIFICACIÓN	CODIGO	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES
TIEMPO NO PROGRAMADO (Tnp)	Planificado (Dp)	101	Domingos y feriados (no programados)
		102	Stand by planificado
		103	Esperando repuestos
	No Planificado (Dnp)	104	Condiciones climáticas
		105	Apagón general
		106	Reparación fuera de los talleres de la mina
		107	Trabajo de no performance (trabajo en otras labores)
TIEMPO EN MANTENIMIENTO O REPARACIONES MECÁNICAS (Tdm)	Reparaciones Planificadas (Dp)	201	Servicio de mantenimiento preventivo
		202	Reparaciones predictivo
		203	Reparaciones programadas
		204	Lubricación
	Reparaciones no Planificadas (Dnp)	205	Avería en el equipo durante tiempo el efectivo
		206	Reparación de la avería
		207	Tiempo en la reparación
		208	Demora en respuesta al aviso de falla
		209	Esperando reparación
		210	Otros
TIEMPO EN DEMORAS NO OPERATIVAS (Tdn)	Planificado (Dp)	301	Refrigerio
		302	Dictado de charlas
		303	Inspección de seguridad
		304	Reparto de guardia
		305	Desplazamiento del operador a la labor al inicio y final de turno
		306	Necesidades personales
	No Planificado (Dnp)	307	Falta de operador
		308	Clima desfavorable
		309	Stand by por falla mecánica de otro equipo
TIEMPO EN DEMORAS OPERATIVAS O TIEMPO IMPRODUCTIVO (Tdo)	Planificado (Dp)	401	Arranque y chequeo de máquina
		402	Desplazamiento del equipo al frente de minado
		403	Desplazamiento del equipo de un frente a otro
		404	Abastecimiento de combustible
		405	Retiro del equipo por disparo
		406	Traslado a otra zona de trabajo
		407	Acomodo del equipo al finalizar el turno
	No Planificado (Dnp)	408	Frente de trabajo duro
		409	Limpieza del frente de minado
		410	Por desplazamiento de otro equipo
		411	Espera en chancadora
		412	Stand by operativo
		413	Pala espera camión
		414	Camión espera pala
		415	Pala/Payloader limpiando cuchara
		416	Barreno atascado en taladro
		417	Falta de frente de minado
418	Espera en botadero		
419	Instalación de cable		
420	Atollo		
TIEMPO EFECTIVO O TIEMPO PRODUCTIVO (Tef)	Planificado (Dp)	501	Preparación y conclusión del trabajo
		501	Operaciones auxiliares
		502	Tiempo en ciclo de operación

En Cuadro N°2, se muestra las principales actividades correspondientes al sistema de distribución del tiempo total en la actividad productiva según la clasificación del tiempo total propuesto en el estudio. Según el tipo de operación cada unidad minera adecuará el presente cuadro de acuerdo a las actividades inherentes a la operación dada.