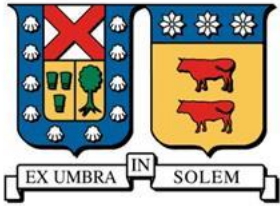


Algoritmo de asignación de tareas de desarrollo minero subterráneo

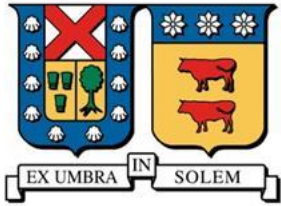
DESARROLLO MATEMÁTICO PARA
PROBLEMA MINERO

Profesor: Víctor Encina M.
victor.encina@usm.cl



CONTENIDO

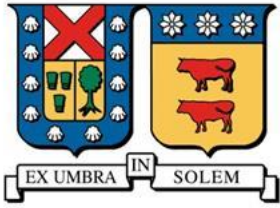
- Introducción
- El problema
- Propósito y entregables



Algoritmo de asignación de tareas de desarrollo minero subterráneo

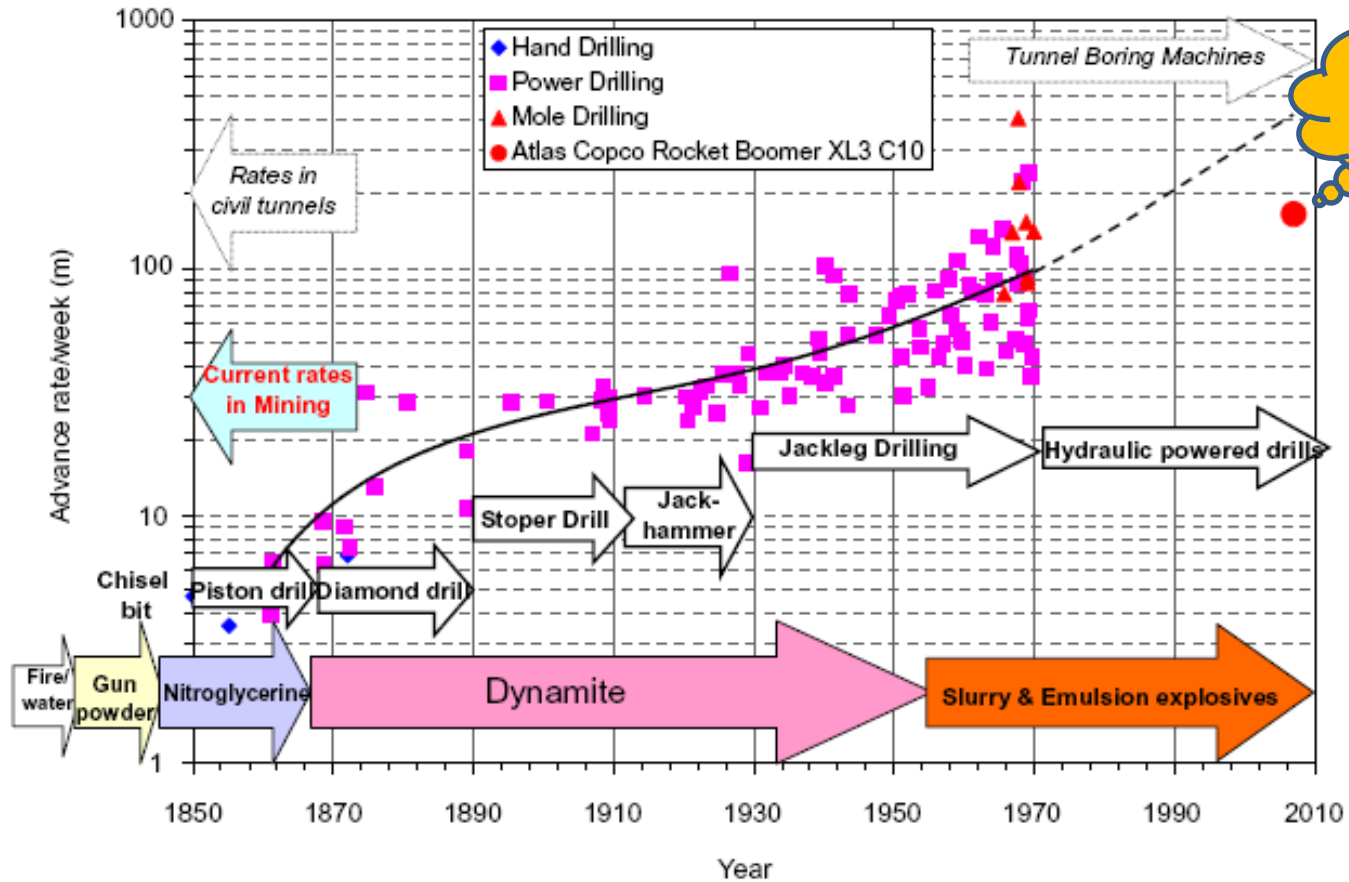
INTRODUCCIÓN

Profesor: Víctor Encina M.
victor.encina@usm.cl



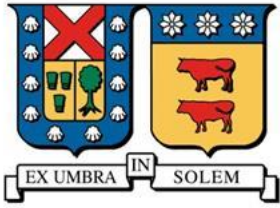
TÚNELES POR PERFORACIÓN Y TRONADURA

EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA



Túnel Noruega
Record 2007:
38 m² @ 165 m/w

Tomado de:
Tunneling Underground Space Technology 23(2008)
Safe Rapid Drifting _ Support Selection
Lautentian University Sudbury, Ontario Canada
F.T. Suorineni (MIRARCO); P.K. Kaiser (CEMI); J.G. Henning Goldcorp Canada Ltd.



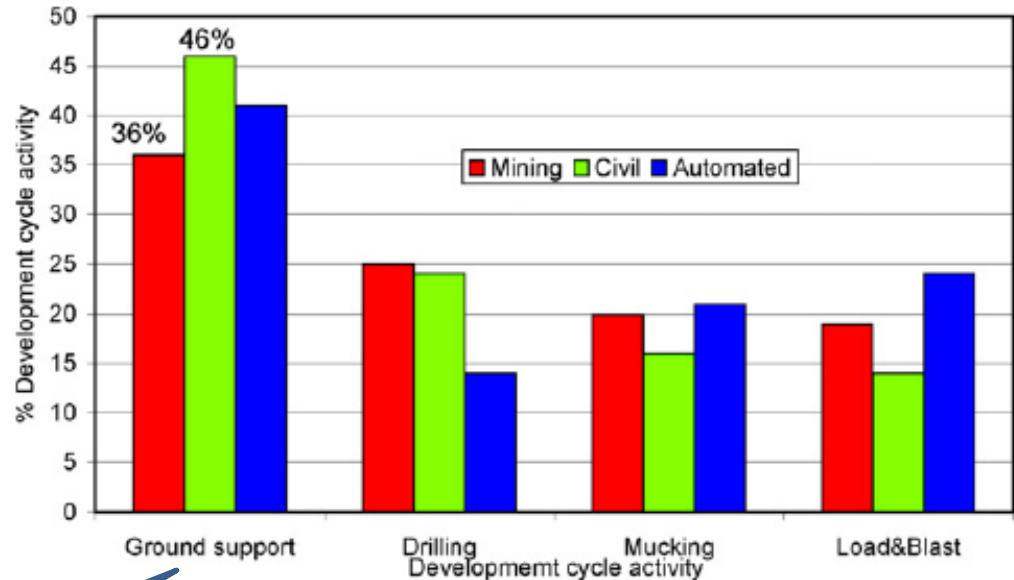
OPERACIONES UNITARIAS Y AUTOMATIZACIÓN

TÚNELES POR PERFORACIÓN Y TRONADURA



Principales Operaciones Unitarias de “tuneleo” P&T

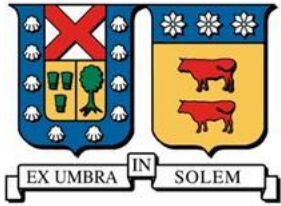
- Refuerzo: Support
- Perforación: Drilling
- Acuñar y sacar “marina” (sacar escombros): Mucking
- Cargar explosivos y tronar: Load & Blast



Aquí hay una oportunidad de mejorar

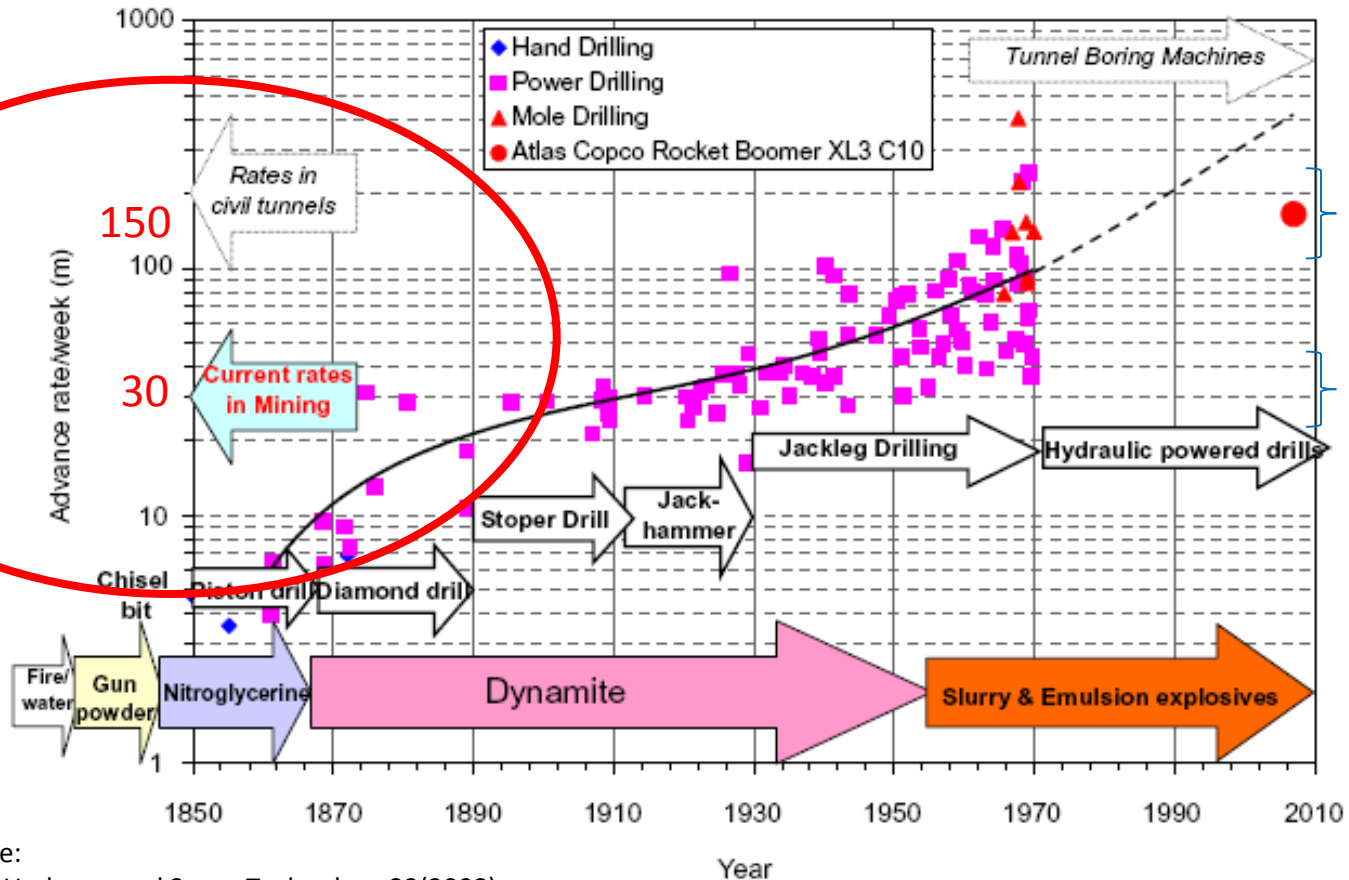
Tomado de:
Tunneling Underground Space Technology 23(2008)
Safe Rapid Drilling _ Support Selection
Lautentian University, Sudbury, Ontario Canada
F.T. Suorineni (M...), P.K.Kaiser (CEMI); J.G. Henning Goldcorp Canada Ltd.

Sólo en perforación ayuda la automatización



RENDIMIENTOS EN MINERÍA vs OBRAS CIVILES

TÚNELES POR PERFORACIÓN Y TRONADURA

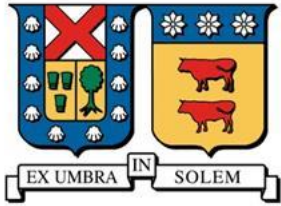


OO.CC.
100 A 200 MSF
Sec: > 40m2

MINERÍA:
20 a 40 MSF
Sec: 10 a 30 m2

MSF=M/SEMANA-FRENTE

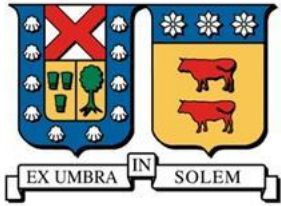
Tomado de:
Tunneling Underground Space Technology 23(2008)
Safe Rapid Drifting _ Support Selection
Lautentian University Sudbury, Ontario Canada
F.T. Suorineni (MIRARCO);P.K.Kaiser (CEMI); J.G. Henning Goldcorp Canada Ltd.



Algoritmo de asignación de tareas de desarrollo minero subterráneo

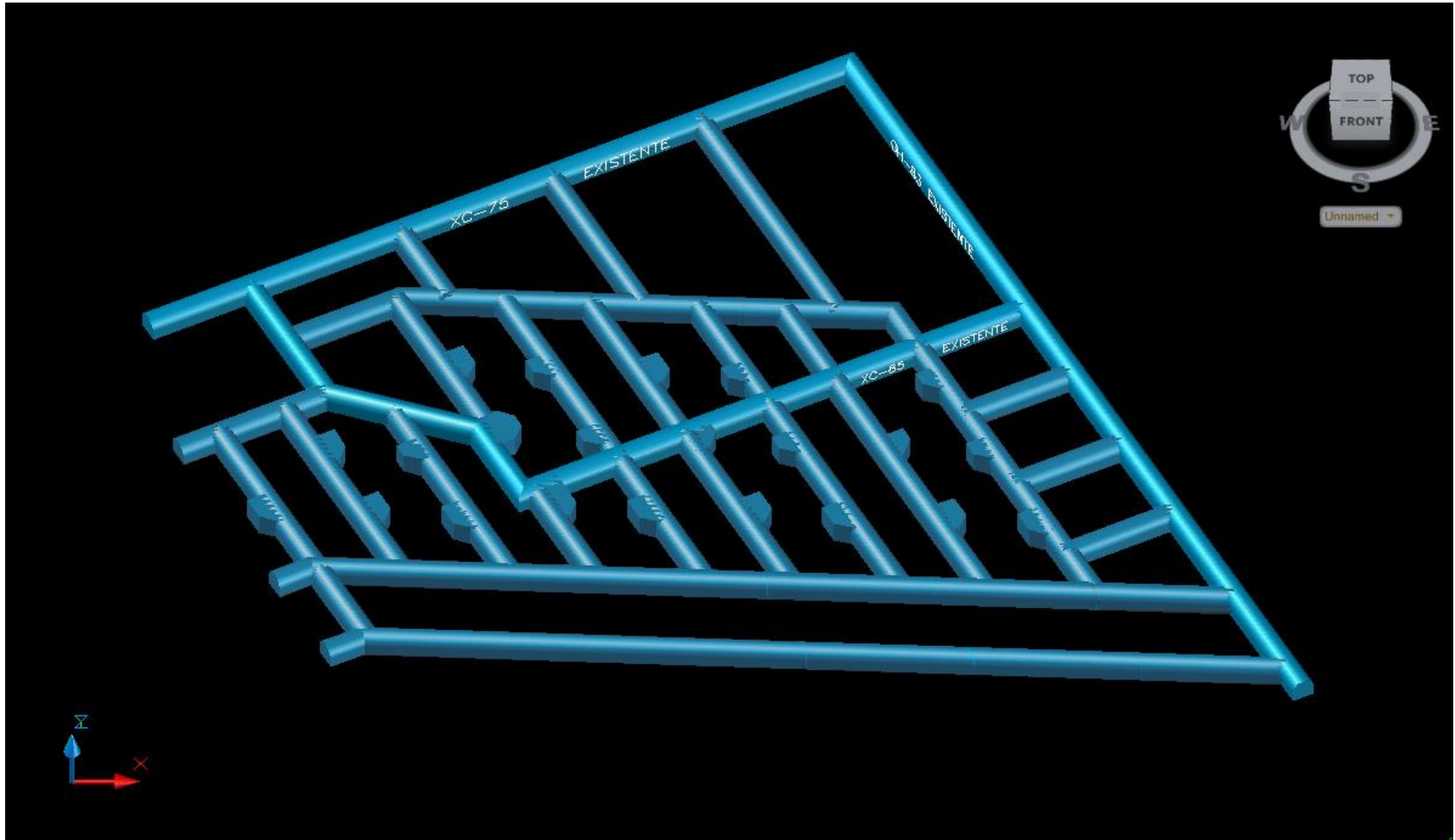
EL PROBLEMA

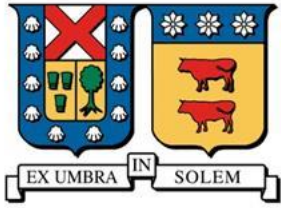
Profesor: Víctor Encina M.
victor.encina@usm.cl



DESARROLLO MINERO

Túneles Nivel de Perforación





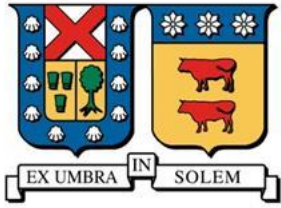
OPERACIONES UNITARIAS SECUENCIALES

Actividades directas



En cada frente de trabajo deben ejecutarse 10 operaciones secuenciales directas

- MC: Marcar la frente
- PF: Perforar
- CA: Cargar los tiros
- TV: Tronar y Ventilar
- RA: Regar y Acuñar
- SS: Colocar soporte transitorio (p.ej.: Split Set)
- SM: Sacar “marina” (=retirar escombros)
- PN: Colocar pernos lechados definitivos
- MY: Colocar malla
- SH: Colocar shotcrete



OPERACIONES UNITARIAS SECUENCIALES

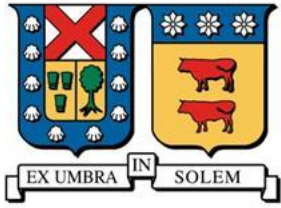
Actividades indirectas



Además de la acción directa en el avance, también se realizan las siguientes 6 actividades indirectas:

- SP: Supervisor propio
- SC: Supervisor del cliente
- CR: Cuadrilla de redes (energía, agua, ventilación)
- VV: Visitas
- MR: Mantenedores y Reparadores de equipos
- MM: Encargado de muestreo y mapeo de labores

Todos se movilizan en camioneta o vehículos utilitarios. No se admiten peatones. Una camioneta ocupa el mismo espacio que un agente de actividades directas

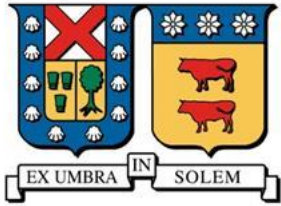


OPERACIONES UNITARIAS SECUENCIALES

Reglas de operación



- El “Nivel” se va construyendo a medida que se cumplen ciclos completos de trabajo en las frentes de trabajo. Cada ciclo completo deja 3m de túnel disponible para tránsito y/o estacionamiento de equipos móviles.
- Las frentes de trabajo están pre-diseñadas y los agentes sólo pueden realizar su trabajo en los sitios proyectados.
- Cada agente trabaja solo. Cuando termina su misión se retira hacia la instalación de faena, o hacia la siguiente frente de trabajo que esté disponible, y deja el paso al agente que sigue en la secuencia.
- Un agente representa una cuadrilla de operadores con sus equipos y materiales necesarios para desarrollar su actividad
- En cada recinto de trabajo o vía de acceso, sólo puede circular o permanecer un agente a la vez.

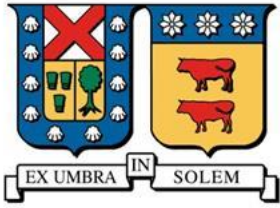


OPERACIONES UNITARIAS SECUENCIALES

Interferencias



- La faena se desarrolla a 3 turnos de 8 horas. Se pierde $\frac{1}{2}$ hora al ingreso y a la salida de cada turno.
- A mitad del turno, se retiran los agentes por 1 hora a colación. Las tronaduras sólo se hacen durante la hora de colación o a fin de turno.
- Una vez por turno (a cualquier hora), las actividades en la frente de trabajo se detienen por 30 minutos debido a la presencia de SP, SC, VV, MR.
- Cada 30 m de avance (10 ciclos), los trabajos se detienen por 1 turno para extender las redes de ventilación, energía eléctrica y agua.
- Cada vez que concluye el soporte transitorio, entra MM a tomar muestras y mapear la galería.

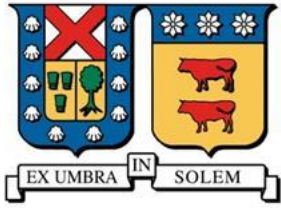


OPERACIONES UNITARIAS SECUENCIALES

Duración de actividades directas

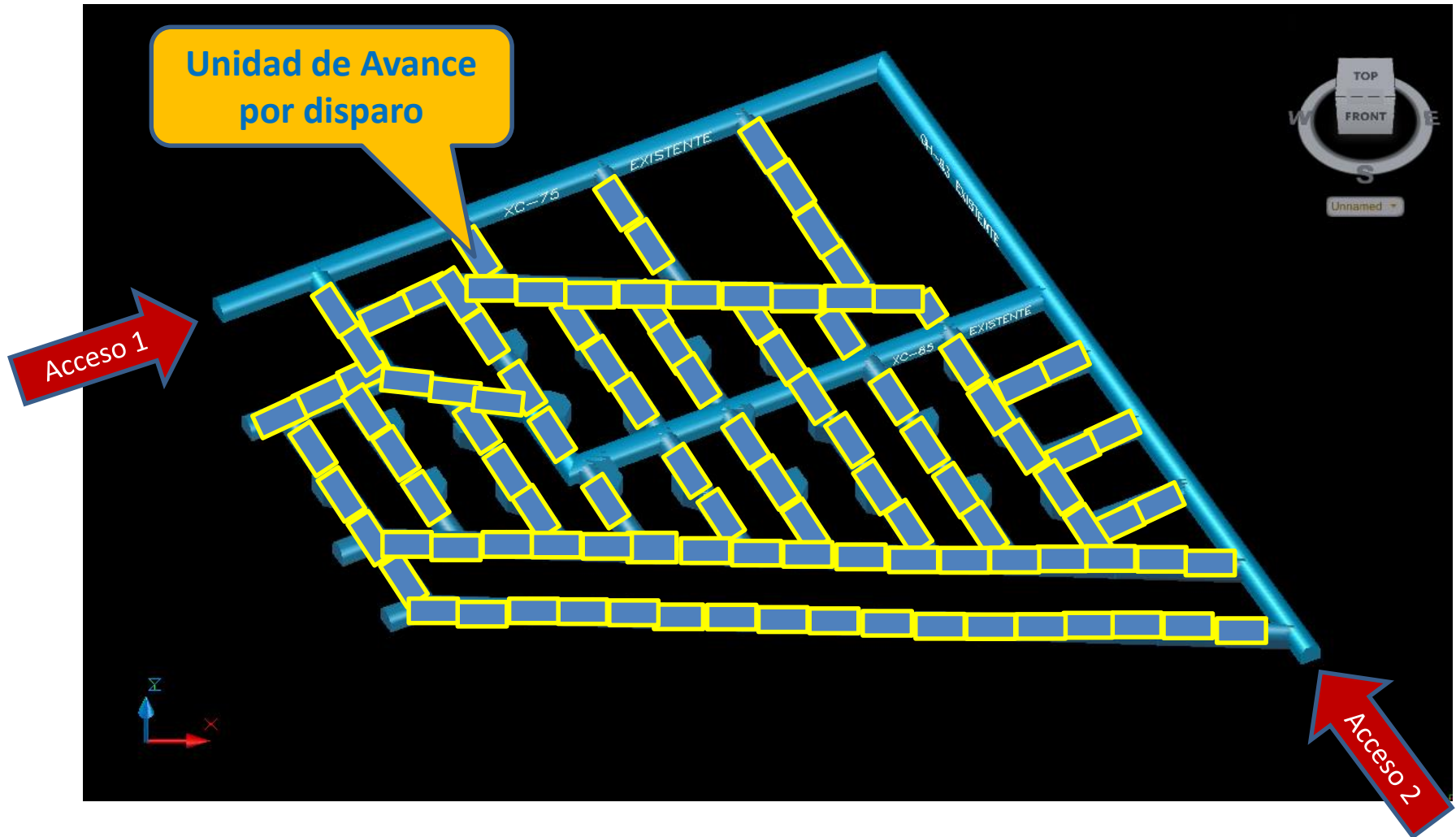


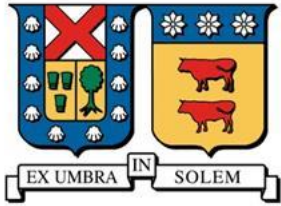
- Para modelar el proceso se tienen los siguientes tiempos medios de referencia. En el modelo deberían ser modificables:
 - MC: Marcar la frente (40')
 - PF: Perforar (200')
 - CA: Cargar los tiros (35')
 - TV: Tronar y Ventilar (Hasta fin colación o turno)
 - RA: Regar y Acuñar (40')
 - SS: Colocar soporte transitorio (Split Set) (50')
 - SM: Sacar marina (65')
 - PN: Colocar pernos lechados definitivos (80')
 - MY: Colocar malla (50')
 - SH: Colocar shotcrete (100')
- Todos los tiempos varían según una distribución Normal



DESARROLLO MINERO

Situación inicial - Unidades de avance

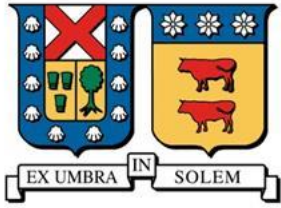




Algoritmo de asignación de tareas de desarrollo minero subterráneo

PROPÓSITO Y “ENTREGABLES” DEL TRABAJO

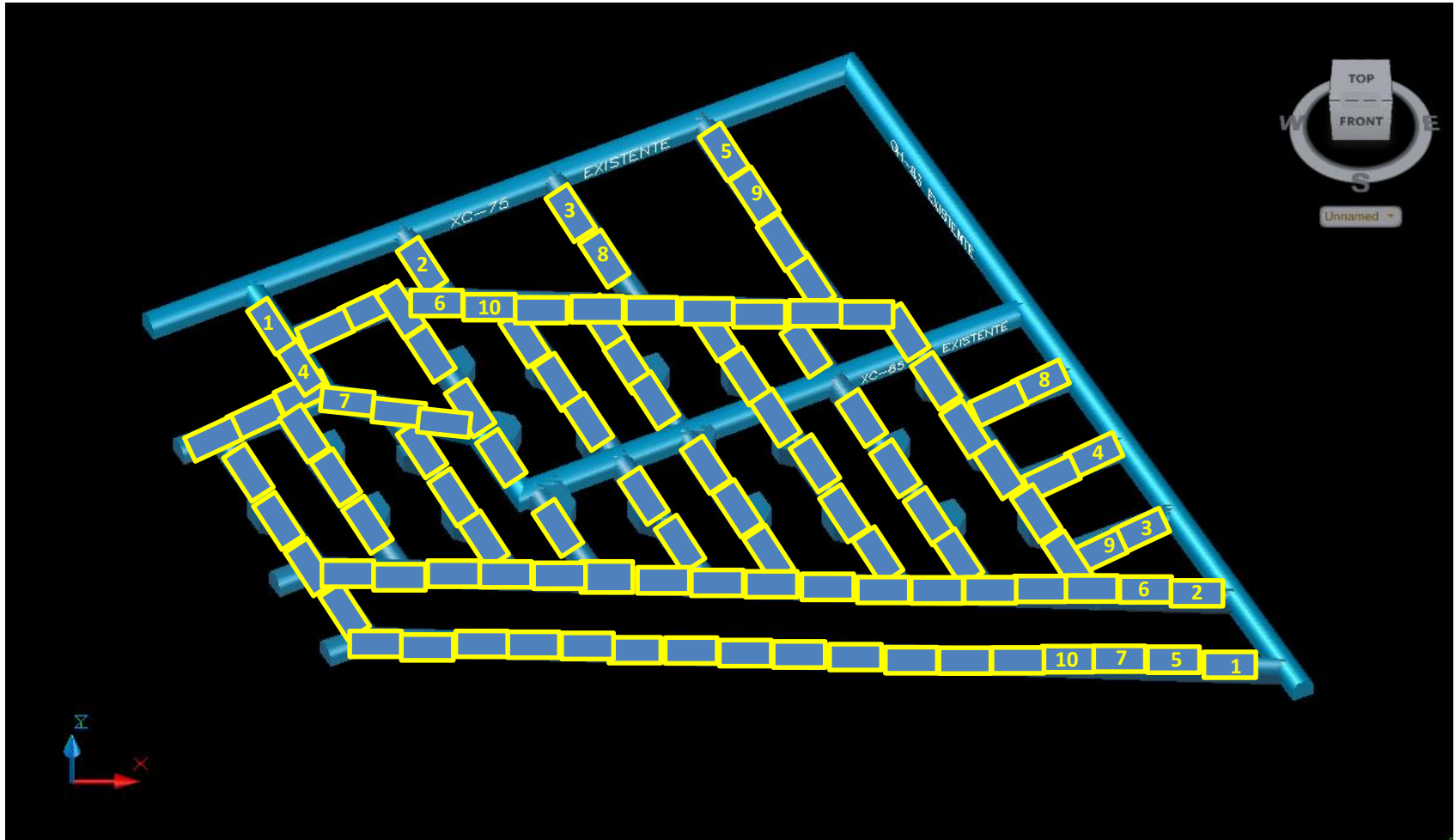
Profesor: Víctor Encina M.
victor.encina@usm.cl

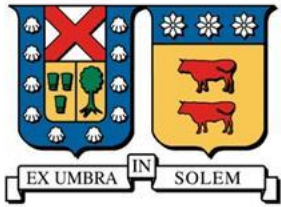


DESARROLLO MINERO

Primeras 20 unidades de avance

Estrategia 1: SECTORIZAR

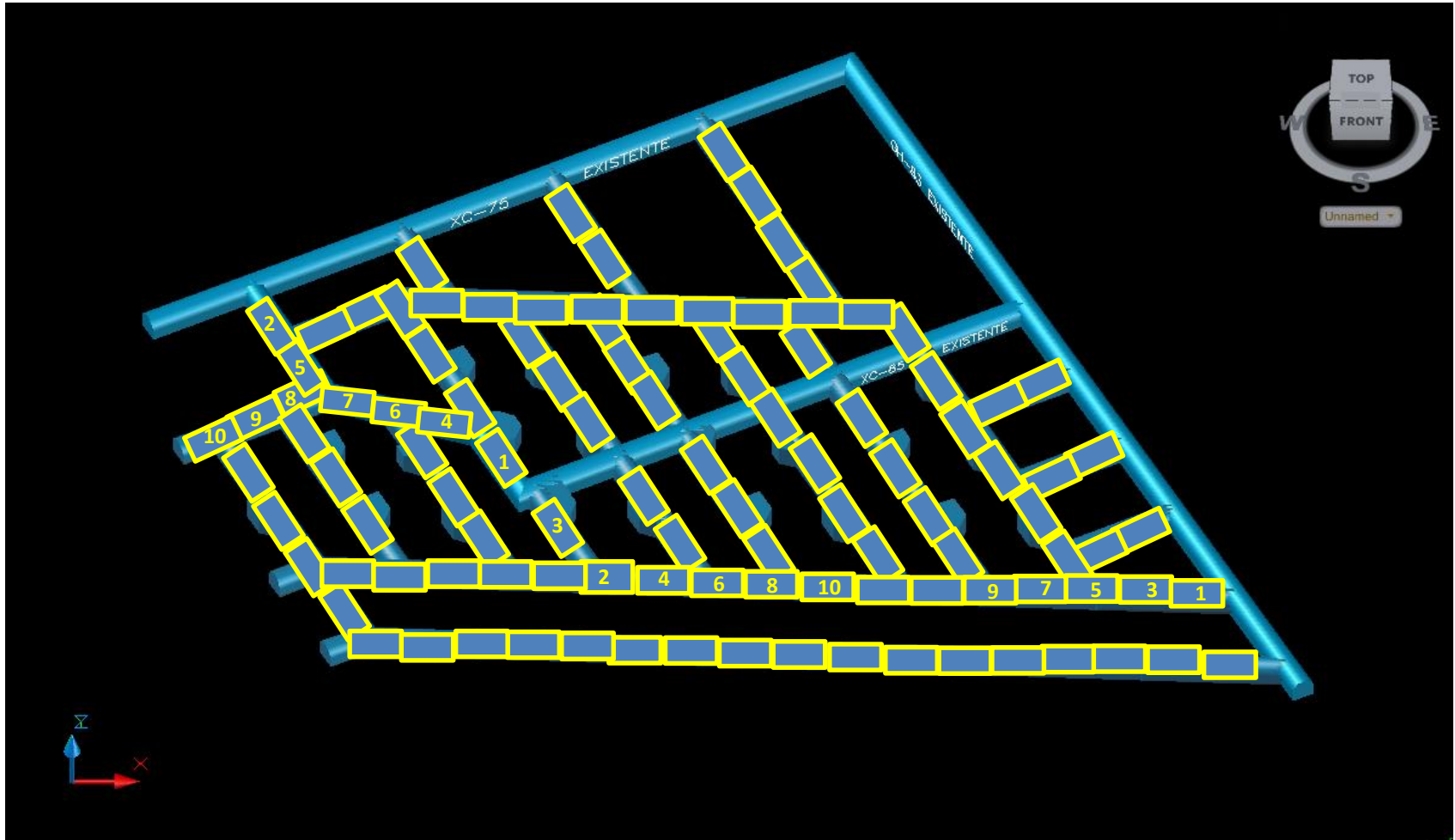


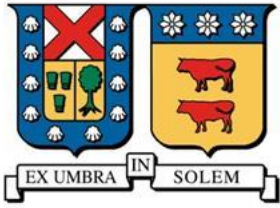


DESARROLLO MINERO

Primeras 20 unidades de avance

Estrategia 2: HABILITAR UN CIRCUITO

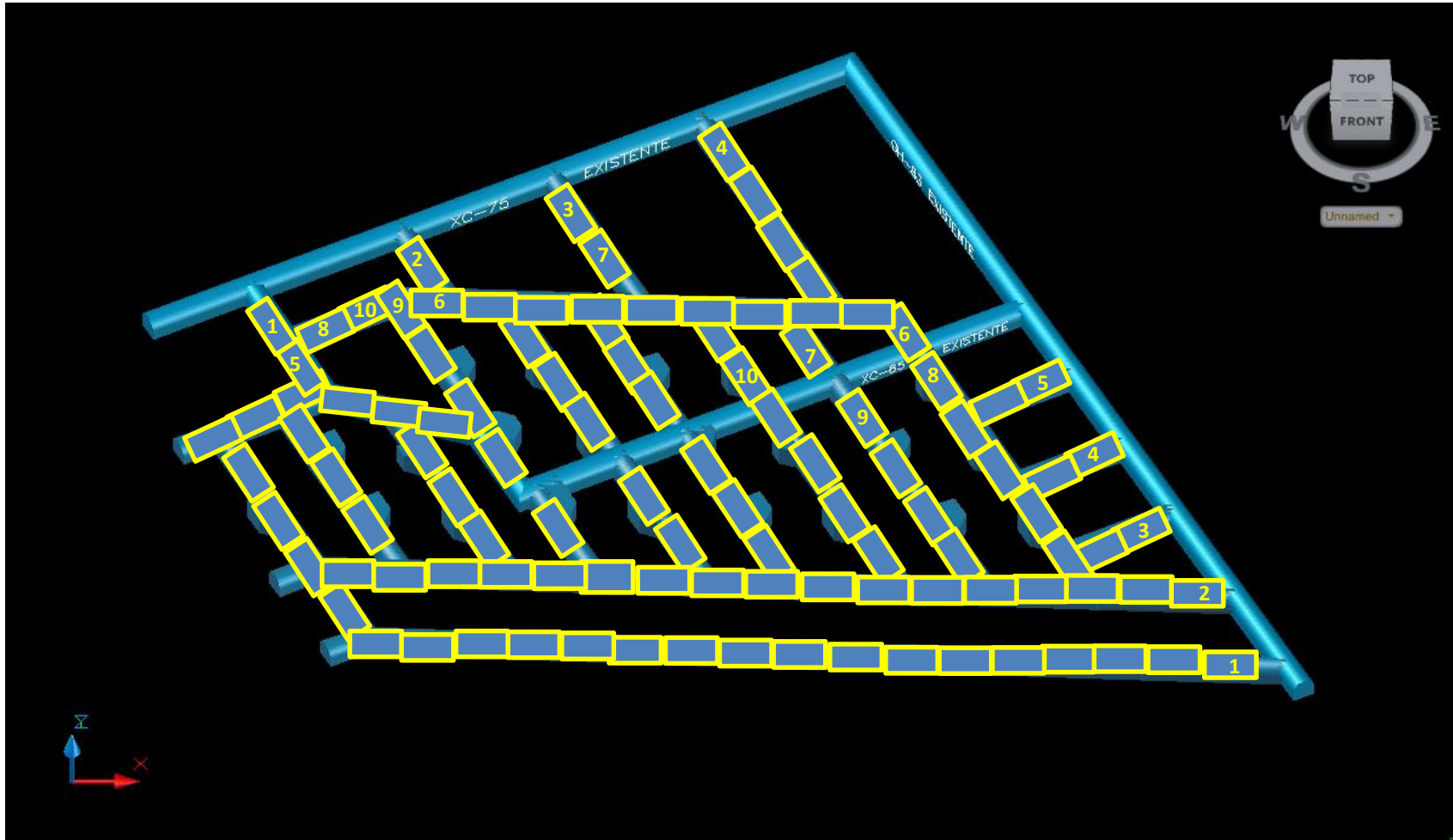


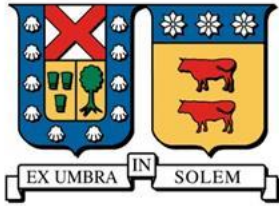


DESARROLLO MINERO

Primeras 20 unidades de avance

Estrategia 3: AVANZAR DONDE SEA





DESARROLLO MINERO

¿Cuál es la mejor estrategia?



HAY MILES DE ESTRATEGIAS POSIBLES

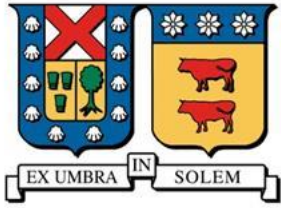
NO HAY UNA SECUENCIA QUE SE PUEDA ESTABLECER A PRIORI PARA LUEGO SEGUIRLA AL PIE DE LA LETRA. NO PIERDA EL TIEMPO EN BUSCAR LA SECUENCIA ÓPTIMA TIPO PERT O CPM

EN EL TRANSCURSO DE LA OBRA SE PRESENTAN SITUACIONES IMPREVISIBLES DE ATRASOS Y CONGESTIÓN QUE OBLIGAN A ALTERAR LA SECUENCIA PRE-ESTABLECIDA

SE REQUIERE UN ALGORITMO QUE DEFINA EN CADA MOMENTO CUÁL ES LA MEJOR "PRÓXIMA FRENTE" DONDE CONVIENE DESTINAR CADA AGENTE AL TÉRMINAR LO QUE ESTÁ HACIENDO AHORA Y CUAL SERÍA LA COMBINACIÓN DE AGENTES QUE MAXIMIZA EL AVANCE

- **EL PROBLEMA ES DINÁMICO:** Cada evento depende de la historia de eventos anteriores
- **EL PROBLEMA ES UN CASO DE SISTEMA COMPLEJO:** Muchos agentes, reglas simples, muchas interacciones entre agentes y su entorno

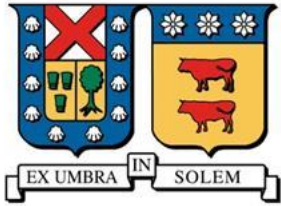
EN MINERÍA HAY UN MONTÓN DE PROBLEMAS CONCEPTUALMENTE PARECIDOS A ESTE



PROPÓSITO Y ENTREGABLES



- Propósito 1: Completar la obra en la menor tiempo posible
- Propósito 2: Completarla con la mínima cantidad de agentes
- Respuesta 1: ¿Cuál es la combinación de agentes que cumple los resultados 1 y 2?
- Respuesta 2: ¿Cuál es la secuencia de disparos que dió lugar a los resultados 1 y 2?
- Respuesta 3: ¿Cuál es la secuencia, con “flota” constante de agentes, que más se acerca a los resultados 1 y 2?
- Respuesta 4: ¿Qué actividades tienen duración crítica?



Algoritmo de asignación de tareas de desarrollo minero subterráneo

DESARROLLO MATEMÁTICO PARA
PROBLEMA MINERO

Profesor: Víctor Encina M.
victor.encina@usm.cl