

FUNDACIÓN



**MATERIAL DE DESPERDICIO EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN:
INCIDENCIA Y CONTROL**

Lucio Soibelman,

**GOTTHARD BASE-TUNNEL
UN RETO DE 57 KM A TRAVÉS DE LOS ALPES SUIZOS**

Heinz Ehrbar

35

CUADERNOS FICA

M É X I C O
2 0 0 0

Consejo Directivo de la Fundación ICA

Presidente

Ing. Bernardo Quintana

Vicepresidentes

Dr. Francisco Barnés de Castro

Dr. Daniel Resendiz Nuñez

Dr. Julio Rubio Oca

Ing. Luis Zárate Rocha

Director Ejecutivo

M.C. Fernando O. Luna Rojas

Cuerpos Colegiados de los Programas Operativos

Comité de Becas

Dr. Juan Casillas García de León

Dr. Sergio Gallegos Cazares

Ing. Miguel Ángel Parra Mena

Comité de Premios

Dr. Luis Esteva Maraboto

Ing. José Antonio González Fajardo

Ing. Gregorio Farias Longoria

Comité de Publicaciones

Dr. Oscar González Cuevas

Dr. Horacio Ramírez de Alba

M. I. Gabriel Moreno Pecero

Ing. Santiago Martínez Hernández

Ing. Gilberto García Santamaría G.

Comité de Investigación

Dr. José Luis Fernández Zayas

Dr. Bonifacio Peña Pardo

Dr. Ramón Padilla Mora

Dr. Roberto Meli Piralla

ISSN 1405-387X

FUNDACIÓN



**MATERIAL DE DESPERDICIO EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN:
INCIDENCIA Y CONTROL**

Lucio Soibelman,

**GOTTHARD BASE-TUNNEL
UN RETO DE 57 KM A TRAVÉS DE LOS ALPES SUIZOS**

Heinz Ehrbar

35

CUADERNOS FICA

M É X I C O
2 0 0 0

ISSN 1405-387X

Consejo Directivo de la Fundación ICA

Dr. José

Dr. Bernardo Quintana

Directores

Dr. Francisco Gómez

Dr. Daniel Rosado

Dr. Julio Rodríguez

Dr. Luis Zúñiga

Director Ejecutivo

M.C. Fernando E. López

Comité Consultivo de la Fundación ICA

Comité de Honor

Dr. Juan Cuatrecasas

Dr. Sergio Domínguez

Dr. Miguel Ángel

MATERIAL DE DESPERDICIO EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION

Dr. Luis Zúñiga

Dr. Juan Antonio

Dr. Lucio Solís

© Derechos Reservados 2000

Fundación ICA, A.C.

Av. del Parque 91

Colonia Nápoles

C.P. 03810 México, D.F.

Tel. 5669 3985, 5272 9991, 5272 9915

Ext. 4000-4001

Fax. 4083

Email: lunaf@fundacion-ica.org.mx

Email: lunaf@ica.com.mx

<http://www.fundacion-ica.org.mx>

ISBN 9968 7508 76-0

ISSN 1405-387X

Impreso en México

**MATERIAL DE DESPERDICIO EN LA INDUSTRIA DE LA
CONSTRUCCION: INCIDENCIA Y CONTROL.**

Lucio Soibelman
Profesor Asistente
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental
Universidad Nacional de La Plata, Argentina

**MATERIAL DE DESPERDICIO EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN:
INCIDENCIA Y CONTROL.**

Lucio Soibelman,

**GOTTHARD BASE - TUNNEL
UN RETO DE 57 KM A TRAVÉS DE LOS ALPES SUIZOS**

Heinz Ehrbar,

MATERIAL DE DESPERDICIO EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN: INCIDENCIA Y CONTROL.

Lucio Soibelman

Profesor Asistente

*Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental
Universidad de Illinois en Urbana-Champaign*

*3129c Newmark Civil Eng. Lab, MC-250 205 N. Mathews Av.
Urbana, Illinois 61801*

Conferencia presentada en el Séptimo Simposium Internacional de Ingeniería Civil en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, 1-3 de Marzo del 2000, evento apoyado por la Fundación ICA, A.C.

Introducción

Empezaremos con un poco de historia sobre mi persona y de lo que he estado haciendo durante los últimos diez años. Provengo de una familia un poco disfuncional, mi padre es un ingeniero civil, mi madre es una arquitecta, tengo tres hermanas más grandes que son arquitectas o ingenieros, casadas con arquitectos o ingenieros, yo soy un ingeniero casado con arquitecta. Las comidas familiares los domingos son algo muy difícil de llevar, esta es una de las razones por las cuales cambié mi residencia a los EUA. Pero durante toda mi vida, desde que nací, he vivido en sitios de construcción y toda mi vida he tenido el sentimiento de que hay algo mal en la forma en que estamos haciendo las construcciones y siempre me lo he estado cuestionando. Mi padre siempre me decía que me tenía que enfocar en el trabajo, que la compañía tenía que ser rentable y que no había lugar para pensar en como tenía que resolver todos los problemas, que yo sólo era una persona y que tenía que trabajar muy duro. Nunca pude resolver todos los problemas pero nunca dejé de pensar que no estábamos haciendo bien el trabajo. Vengo de Brasil, un país del Tercer Mundo, así que conseguí una beca a Japón pensando que ellos debían de tener más respuestas, sin embargo encontré que ellos no sabían más de lo que nosotros sabíamos. Regresé y terminé una maestría pensando que ello me ayudaría, pero no lo hizo, fui a los Estados Unidos y estudié un doctorado y eso tampoco me ayudó, aún pienso que no estamos haciendo bien las cosas.

El problema

Trabajando con mi padre empecé realizando horarios, estimados y costos. Trabajaba con todos esos libros que tienen infinidad de números y datos sobre costos llenando formatos con tiempos, actividades, organización del

trabajo, obtenía mis estimados, se los enseñaba a mi padre, que tiene 35 años de experiencia, y él me miraba con una gran sonrisa y me decía: estás mal, no consideraste que esto lo vamos a estar construyendo en el invierno, va a estar lloviendo y no lo vamos a poder construir tan rápido como quisiéramos, además nuestra economía no está en perfectas condiciones, hay una escasez de mano de obra para la producción y va a ser muy difícil encontrar buenos albañiles por lo que tendremos un gran desperdicio, por lo tanto te recomiendo que estimes un 30% más de uso de material y que al menos agregues al menos tres días a tus actividades o no podrás entregar a tiempo. Yo lo hacía, mi padre estaba en lo correcto y yo no. Mi padre me decía que no era suficiente estudiar y leer libros, que era necesario tener práctica para aprender a administrar proyectos de construcción. Pienso que él tenía razón pero la pregunta es:

- ¿Cuántas veces mi padre tuvo que hacer eso para no equivocarse?
- ¿Cuántas veces perdió dinero antes de aprender?
- ¿Tenía que pasar yo por el mismo proceso de aprendizaje para poder conocer todo lo que mi padre ya sabía?

El punto al que quiero llegar es que realmente no tenemos información estructurada sobre nuestros sitios de construcción para saber que tan bien o que tan mal lo estamos haciendo. Por esta razón y desde ese momento, en los últimos años he estado acumulando conocimiento de los sitios de construcción, generando bases de datos y tratando de encontrar esos patrones que ocurren una y otra vez.

El desperdicio de materiales

Voy a presentar hoy una investigación que realicé para mi maestría en 1993 en Brasil y que es un poco vieja, más sin embargo, dada la forma en que se construye en México, creo que se puede aplicar mucho de ella aquí y les puede ser útil a ustedes. ¿Porqué me estoy enfocando principalmente en el desperdicio de los materiales? Los materiales representan un costo muy importante, el de mayor porcentaje, en la construcción. En Brasil tenemos que hasta un 70% del costo de la construcción esta representado por el costo de los materiales, por lo tanto, si uno puede controlar el desperdicio, uno puede controlar un gran porcentaje del costo total. Mi segunda pregunta es: ¿qué es lo que realmente está pasando en la obra? ¿Esos números que obtenemos de los libros funcionan correctamente al estimar las composiciones de costos? Por ejemplo, ¿estimar un 5% de desperdicio en concreto es acertado? ¿Cuáles son los números reales? No tenemos la información. Además, tenemos otro gran problema, que es la ecología. No vamos a tener fuentes de materiales ilimitadas, en el futuro no vamos a tener madera, no vamos a tener la energía para producir cemento, para crear ladrillos, tenemos todos esos problemas y además estamos usando sistemas de transporte para llevar material a los sitios y removerlo en forma

innecesaria. Todos los pueblos, aún las ciudades grandes tienen grandes problemas para eliminar el desperdicio y escombros. Sao Paulo, una gran ciudad en Brasil estaba produciendo 2000 toneladas de escombros al día en 1989, no todo este material es escombros sino que es producto de demoliciones, pero en general es un problema enorme su disposición correcta.

Para que podamos entender de lo que estoy hablando, voy a parar aquí y les voy a explicar un poco lo que yo defino por desperdicio. Desperdicio no solo el material, sino el equipo, trabajo, mano de obra, capital, y todo lo que se usa más de lo que es necesario en el proceso de producción. Si se usa de más y no está generando un valor agregado o un valor al producto final, esto es un desperdicio.

Clasificación del desperdicio

Una manera de entender lo que es el desperdicio se obtiene al tratar de clasificarlo. Una clasificación se puede realizar dependiendo del nivel de control que se tenga sobre el desperdicio y con respecto a este criterio existen dos categorías. Existe un desperdicio natural que es inevitable, es un desperdicio para el cual se requiere invertir para no tenerlo y para el cual la inversión que se debe realizar resulta mayor que el ahorro que se obtiene al eliminarlo. Por otro lado, tenemos todo lo que efectivamente se puede evitar, eso es el desperdicio al cual nos referimos en esta plática.

Otra clasificación es de acuerdo al tipo de desperdicio que se tiene. En este respecto, he establecido una clasificación ligeramente diferente de aquella que normalmente se tiene. Tenemos por un lado lo que todos entienden como un desperdicio directo, que es aparente y obvio, es lo que se remueve directamente del sitio. Sin embargo lo que a mi más me importa es lo que llamo el desperdicio indirecto, que es aquél que está escondido, por ejemplo lo que sería una sustitución de material. Imaginen que soy el gerente del proyecto y porque no ordené la cantidad correcta de un material para los trabajos del día, y porque los albañiles necesitan trabajar, permito que se sustituya por un material más caro. Cualquier sustitución de este tipo se debe a una falta de planeación. Otro ejemplo es aquél en el cual el ingeniero, por no confiar en la calidad de su material, permite utilizar más cemento para elaborar el concreto sin respetar las especificaciones del proyecto. En otras palabras, fabrican un concreto más resistente sin necesitarlo. Un ejemplo más sería el que se produce por falta de supervisión en la construcción, como cuando las losas se construyen un poco más gruesas de lo especificado sin que ello se necesite.

Una clasificación más del desperdicio de material se debe a la forma en que éste ocurre. Por ejemplo, al transportar el material se genera desperdicio por utilizar equipo inadecuado y por tener una distribución inapropiada de

almacenamiento. Muy pocos sitios tienen en general una distribución adecuada para manejar el material. Tenemos también desperdicio generado por el manejo en el sitio, por inventario por producción y por otras causas como robos, vandalismo, accidentes, clima y algunas otras causas. También podemos clasificar el desperdicio de materiales dependiendo de su origen. Por ejemplo, se puede haber originado por el proceso de manufactura, el proceso de entrega, por el diseño, por la oficina administrativa, por el departamento de estimaciones, por el departamento de compras o en el sitio de construcción. Yo me voy a enfocar fundamentalmente en el desperdicio producido en el sitio de construcción, éste es el objetivo de mi investigación. Los otros tipos de desperdicio, como por ejemplo los producidos por un mal diseño no los considero aquí.

La investigación

La pregunta inicial que puede uno hacerse es ¿Quién es el responsable del desperdicio? ¿Son los obreros o la administración? En Brasil había una creencia, los administradores siempre pensaban que los obreros sin adecuada calificación eran los responsables de la enorme generación de desperdicios. Se pensaba que la solución al problema era un entrenamiento adecuado para los carpinteros, los obreros, los yeseros, etc. Este es el punto que yo traté de evaluar e investigar. Con ese objetivo en mente, en ese tiempo trabajé en cinco sitios de construcción diferentes concentrándome en la tecnología de construcción tradicional a base de concreto reforzado y muros de tabique. Así mismo, me concentré en pequeñas compañías constructoras dado que este tipo de compañías forma el 96% de la industria constructora brasileña. Existen también las grandes compañías constructoras que utilizan otros métodos de control y que saben hacer muy bien sus estimados, sin embargo decidí enfocarme en las pequeñas compañías, formadas por un camión y cinco trabajadores, cuyo principal objetivo es construir un edificio o una construcción chica.

El estudio se realizó con la ayuda de la Asociación de Contratistas en cinco sitios de construcción. No puedo generalizar los resultados ya que se tiene una muestra muy reducida sin valor estadístico, sin embargo, a partir de este estudio nos podemos dar una idea de que no estamos usando las cantidades correctas de desperdicio en la composición de nuestros estimados de costos. Tenemos edificios cuyo número de pisos va desde los cinco hasta los doce, cuya superficie cubre desde los 2000 m² hasta los 6000 m² y cuyo uso era residencial excepto por uno que era comercial.

Con respecto a los materiales estudiados, seleccioné aquéllos que tenían una influencia mayor en el costo total de la obra y eliminé algunos que no lo eran, como los elevadores. Entre los materiales que consideré importantes tenemos los tabiques y bloques cerámicos, el concreto hecho en obra, el

acero de las varillas, el cemento, la arena y el mortero, en particular este último representa un 20% del total del costo tradicional de la construcción.

Metodología

El método empleado para realizar esta investigación fue la inspección directa de los sitios durante un periodo de aproximadamente 8 meses. Algunas construcciones ya habían iniciado, algunas otras estaban por empezar. Lo primero que se realizó fue una inspección inicial en donde se midió y se contó todo lo que se tenía hasta ese momento en la obra. En la oficina se calculó cuanto material se tenía que haber utilizado para elaborar lo que hasta ese momento se había realizado y posteriormente se revisaron todos los recibos de las compras de todos material hasta ese momento y se determinó cuánto se había gastado. La diferencia es el desperdicio.

Desde la inspección inicial hasta la inspección final estuvieron trabajando conmigo 25 asistentes de investigación, estudiantes graduados, que llenaban unas formas especiales para capturar los datos y que estaban en las obras 12 horas diarias. Todo el tiempo que las obras estaban abiertas los estudiantes estaban ahí. Con los datos que se capturaron se medía el control que se tenía en las entregas externas, la forma en que se entregaba el material, medían la cantidad de material, la manera en que se transportaba internamente, el desperdicio por inventario, registraban las actividades de ejecución y se realizaron un gran número de mediciones porque realmente querían saber cómo es que el desperdicio se escondía en la obra.

Resultados

Acero.

Se observa una gran dispersión de resultados, que va desde un 7% hasta un 27% de desperdicio. Curiosamente el 18%, que sería el valor promedio observado está muy cerca del valor que se sugiere en los libros. Aquí no se tiene entonces un gran problema con respecto al promedio. Sin embargo, el problema real aquí es encontrar la razón por la cual unos sitios tienen un 7% de desperdicio mientras que otros tienen un 27%. Se observó que en ninguno de los sitios se manejaban procedimientos especiales para los cortes del acero, simplemente cortaban, ni tampoco tenían control en la medición de los cortes. En los sitios de más desperdicio, sin embargo, se tenía el inventario en contacto directo con el suelo y además en áreas abiertas. Lo que asombra aquí es que este detalle tenga un impacto tan grande (7% al 27%) en el nivel de desperdicio.

Concreto.

Aquí se tiene un desperdicio que va desde un 0.75% hasta un 25%. El valor esperado de acuerdo a los libros es de un 5%. Lo importante en esta gráfica es que este material no es desperdicio que se esté extrayendo de la obra directamente, es desperdicio empleado en espesores de losas, es material incorporado a la obra. Los sitios se veían perfectamente limpios y se pensaría que la obra estaba siendo manejada maravillosamente, sin embargo si se está construyendo un edificio con losas de 12 cm en lugar del espesor especificado de 11 cm, acumulando el material sobre toda el área que se construye, digamos 6000 m², entonces se tiene un enorme desperdicio. El sitio D tenía muy buenos resultados (0.75%) sin embargo estaban empleando losas de menor espesor que lo especificado. Aquí hay que tener mucho cuidado porque puede ser peligroso.

Cemento.

El cemento se empleaba para aplanados y en la fabricación de morteros para construir los muros. Aquí se observan números enormes y sorprendentes al igual que se observa con la arena. Si el estimado de libros es de 9% se observan valores desde un 30% hasta un 150%. Aquí el problema principal de desperdicio es con el espesor como se verá en las transparencias de muros y aplanados. No se tenía una preparación especial en el sitio para recibir el cemento, se recibía en bolsas pero en algunas ocasiones ni siquiera se contaban. Se tenía un buen inventario, con plataformas 30 cm por arriba del suelo y alejados de los muros, en esto no había problema alguno.

Mortero.

Aquí se tenía el mismo comportamiento que con el cemento. El sitio D era el peor (150%) y el mejor era el C (40%). El promedio real era de 94% de desperdicio, mientras que en los estimados se emplearía el valor de libros de 15%. Existe una diferencia enorme y alguien tiene que estar pagando por ella.

Arena.

La tendencia era parecida a las anteriores, con un estimado en libros del 15% pero un promedio real de 40%. El sitio D fue el peor con 110% y el mejor el C con 20%. Aquí el problema es que se tenían manejos múltiples de la arena sin preparación adecuada para recibir el material en obra, sin control de calidad ni de cantidad. En los sitios A y C no se tenía una base y en el A además no se tenían orillas para confinarlo.

Voy a comentar algunos resultados de Inglaterra que no son nada diferentes a lo anterior. La investigación fue realizada por Skoyles que investigó más de 100 edificios en 20 o 23 años que le tomó reunir los datos. Él midió el desperdicio directo únicamente y es por ello que sus números no se pueden comparar con los míos directamente. En uno de los sitios midió un enorme desperdicio de arena y no podía encontrar la razón para ello. La arena se

empleaba únicamente para producir concreto en la obra. Pensó inicialmente que se estaba empleando el porcentaje correcto de cemento con un porcentaje incorrecto de arena, así que fue y midió lo que se estaba realizando en obra para encontrar que la mezcla se estaba produciendo bien.

La otra explicación que encontraba es que el materialista no estaba surtiendo la cantidad correcta. La arena es un material que se entrega a granel y por lo tanto muy difícil de medir. Ideó un mecanismo para pesar los camiones materialistas antes y después de hacer la entrega. Medía el peso volumétrico de la arena y de esa forma determinada el volumen. No obstante, aún faltaba un 15% a un 20% de desperdicio que no se podía justificar. Finalmente alguien descubrió lo que estaba pasando. Los camiones traían un enorme tanque de agua con ellos al ser pesados inicialmente, al descargar la arena, simultáneamente descargaban el agua, de forma que estaban robando 15% del material. Les tomó 5 años darse cuenta del robo de este material.

En Brasil se ha dejado de emplear tabiques como elementos estructurales desde que se empezó a utilizar el concreto reforzado como el material estructural. Los tabiques han pasado a ser un bien de mercado, esto es, si el contratista necesita 1000 tabiques, los compra al que le da el mejor precio en el mercado. Por otro lado, los costos más importantes en la fabricación de tabiques está en el transporte y en la energía que se gasta para crearlos. Los productores de tabique encontraron que si hacían los tabiques más chicos podían transportar más en un camión y ahorrar más energía en el proceso de fabricación, de esa forma, en los últimos 20 años, los tabiques se han reducido en 50% de tamaño pasando de tener un espesor de 7 cm a un espesor de 5 cm. En consecuencia, los aplanados se han tenido que incrementar de 3 cm a 5 cm para utilizar los marcos de puertas y ventanas que se siguen produciendo para espesores de tabiques de 7 cm. Cuando esto ocurre en todo el edificio se tienen enormes diferencias entre lo estimado y lo gastado. Este no es un problema de la mano de obra, es un problema de la administración que tiene que comprar los tabiques del tamaño correcto o bien los marcos adecuados para el tamaño real del tabique.

En todos los sitios investigados tenemos todos estos factores sumados, los cuales son las causas de los enormes desperdicios observados.

Aplanados.

La gran diferencia aquí es el espesor. Para muros interiores se observó una diferencia de hasta 150% más gruesos que los esperados. Para muros exteriores se observó un desperdicio desde 40% hasta 106%.

Tabiques.

Se tiene un promedio de desperdicio de 26% mientras que el estimado normal es de 10%. No se tiene planeación para la entrega del material y no se

tiene control en la cantidad de material que se entrega. En uno de los sitios uno de mis estudiantes contó todas las piezas que se habían entregado y encontró un faltante de 20% en la cantidad esperada. Eso se debe a falta de control, los supervisores simplemente firmaban las notas e indicaban en donde descargar el material. En un sitio se perdía mucho material durante el transporte, en otro no existía control en el inventario e inclusive había un sitio en donde almacenaban los tabiques en la banqueta.

En Brasil existe mucha gente que vive en pocilgas, encontrarse tabiques en la calle puede ser lo mejor que les puede ocurrir en su vida. Inclusive había un sitio en donde el administrador pensó que iba a emplear mucho aplanado así que incrementó el tamaño de sus muros a tabique y medio partiendo los tabique a mano uno por uno.

Vamos a hablar ahora de la productividad. En ese momento ya sabía que había desperdicio y que se tenía un gran costo relacionado con él, pero ¿existía alguna relación con la productividad? Se que la muestra de sitios es muy pequeña y que no se pueden generalizar los resultados pero lo que si se puede afirmar es que en todos ellos existe la misma tendencia. En el sitio en que existía el menor desperdicio es en donde se tenía la mayor productividad y a la inversa, en donde se tenía el mayor desperdicio se tenía la menor productividad. De aquí empecé a comprender que existe una relación, tenemos buenas prácticas administrativas o malas, cuando se hace algo mal se está haciendo todo mal. Lo mismo sucede con la calidad; medir la calidad es muy difícil, así que lo que se hizo fue hablar con los superintendentes y pedirles que durante un año después de finalizado el estudio me siguieran mandando copias de los reportes de quejas de los inquilinos de los edificios, los cuales hablaban para que les arreglaran algo que estuviera mal. Se encontró que en los sitios en donde se tenía el mayor desperdicio era en donde tenían más quejas. Se puede observar claramente que si se están haciendo las cosas mal, se hacen realmente mal.

Todo lo que se ha discutido hasta ahora son volúmenes de material, no costos. Para entender qué es lo que estos desperdicios significan en términos de costo, se forma una gráfica colocando los volúmenes de desperdicio de los materiales estudiados en los cinco sitios de construcción junto con el costo teórico de esos materiales. Se puede observar que el costo de otros materiales más mano de obra suma cerca de un 80% del costo total de la obra en todos los casos. El costo del desperdicio se presenta en el renglón inferior y difiere de sitio a sitio. Se observa un rango de costo desde un 5% hasta un 12% del costo total de la obra. Si el contratista del sitio D pudiera bajar sus costos de desperdicio al 5%, ahorraría cerca de un 6%. ¿Saben cuál es la utilidad en una compañía constructora? En los Estados Unidos es el 3%, si en México es alrededor del 7%, se imaginan tener un 6% adicional y sin estar pidiendo tener un 0% de desperdicio.

Otros estudios

Skoyles en Inglaterra en 1976 reportó uno de los estudios más extensos que se han realizado sobre el desperdicio. Monitoreó 114 sitios de construcción concluyendo que existe una cantidad considerable de desperdicio que se puede evitar adoptando procedimientos preventivos relativamente simples.

Wyatt en Inglaterra en 1978 enfocó el problema más desde el punto de vista ecológico y enfatizó las consecuencias negativas de tener niveles altos de desperdicio al reducir la disponibilidad futura de materiales y de energía. Además de crear requerimientos innecesarios en los sistemas de transporte.

Otro resultado interesante se obtuvo en el Politécnico de Hong Kong junto con la Asociación de Construcción de Hong Kong en 1993. Ellos estaban interesados en reducir la generación de desperdicios en la fuente. Propusieron algunos métodos alternativos para tratar el desperdicio de construcción con objeto de reducir la demanda de áreas de disposición finales.

Brossik y Browsers en Holanda en 1996 realizaron investigaciones para medir y prevenir el desperdicio en la construcción. Debo anotar que todos ellos estaban tratando con el desperdicio directo exclusivamente, sin embargo obtuvieron números que son similares a los ya discutidos aquí.

Pinto en 1989, de la Universidad de San Carlos, fue el cuarto en estudiar en Brasil el problema del desperdicio. Sus resultados se basan en sólo un sitio pero fue el primero en mencionar que el desperdicio indirecto, o sea material incorporado innecesariamente, puede ser aún mayor que el desperdicio directo o escombros.

En 1998, después de mi investigación, el Instituto para la Tecnología y Calidad de la Construcción (ITQC) inició un enorme estudio con 15 universidades y en más de 100 sitios estudiando 18 materiales diferentes. Se empleó la misma metodología que yo utilicé. Los resultados se muestran en una tabla, obteniendo números que no son del todo diferentes a los números que yo obtuve y en muchos casos son mayores.

Conclusiones

La primer conclusión que obtuve de este estudio es que estamos desperdiciando hasta ocho veces el valor en las composiciones de costos. Esto genera problemas en nuestros estimados de costos, ¿Qué significan entonces todos esos números mágicos que obtenemos de los libros? Una gran parte del desperdicio es evitable. Esto significa que hay que estar en el sitio, no tratar de apilar montañas de 3 m de tabiques, simplemente hay que hacer lo que mandan los libros, eso es más que suficiente.

Los estudios mostraron una falta total de preocupación con el manejo del material. Aquí hay que hacer una anotación y es que en Brasil en 1993 se tenía una inflación del 2% diario. Los contratistas estaban más preocupados en cómo pagar sus deudas y en como sobrevivir en ese ambiente que en los materiales. Sin embargo, los estudios realizados en 1998 muestran que los números son todavía muy altos, además considerando que la muestra que realizaron tiene más validez estadística.

No existe ningún método disponible para controlar el material. En consecuencia se tiene una gran cantidad de desperdicio y una falta de conocimiento sobre la incidencia del desperdicio.

El desperdicio resulta, normalmente, por una combinación de factores más que originarse de un incidente aislado.

Se tiene una gran variabilidad en los índices de desperdicio de sitio a sitio, demostrando que se tiene mucho espacio para mejorar.

Finalmente, concluyo que el desperdicio de material es causado principalmente por pobres prácticas administrativas y no por el uso de mano de obra no calificada.

Esta fue una buena experiencia para mí. Después de obtener estos números aún no estaba claro para cuál era la causa y el efecto de este desperdicio. Fue cuando realicé un doctorado tratando de generar conocimiento a partir de estos datos. A raíz de esta experiencia, cuando voy a los sitios de construcción trato de reunir la mayor cantidad de información posible. Mi investigación actual trata de emplear técnicas avanzadas de manejo de datos, uso de bases de datos, manejo de herramientas estadísticas avanzadas, inteligencia artificial para tratar de digerir estas grandes cantidades de información y generar el conocimiento que está inmerso. En el futuro trataré de generar herramientas de simulación, de forma que uno pueda jugar con diferentes parámetros para tomar una decisión y tratar de encontrar qué sucedería si utilizo un estimado en lugar de otro antes de que en realidad ocurra.

Actualmente estoy empleando una gran cantidad de datos provistos por el Cuerpo de la Armada de los Estados Unidos (CERL) y datos proporcionados por dos compañías extra net, que ofrecen servicios de administración a través de la red y que me proveen de datos de 60 proyectos diferentes. Mediante esto trataré de generar las herramientas de simulación que permitan llevarnos de los datos al conocimiento en una forma sencilla y con el soporte y validez estadístico adecuados.

Muchas gracias.

UN RETO DE 57 KM. A TRAVÉS DE LOS ALPES SUIZOS GOTTHARD BASE -TUNNEL

Heinz Ehrbar

*Senior Project Manager of Transit Department
Business Unit Transportation
Electrowatt Engineering, LTD, Zurich*

Conferencia presentada en el Séptimo Simposium Internacional de Ingeniería Civil en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, 1-3 de Marzo del 2000, evento apoyado por la Fundación ICA, A.C.

Introducción

Damas y Caballeros Suiza es un país pequeño en el centro de Europa conocido por sus chocolates y sus relojes, pero también es el país de las montañas y los túneles. El túnel existente de St. Gotthard, el túnel ferroviario del Simplon, el túnel de la carretera de San Gotthard y el túnel de cuatro carriles de carretera de Salzburg, todos fueron los túneles más largos del mundo en la fecha de su inauguración y así fue por mucho tiempo. Basados en esta experiencia, en Suiza se va a construir otra vez el túnel más largo del mundo que es el túnel de base de St. Gotthard para trenes de alta velocidad.

A veces hay gente que me pregunta que hay de especial en construir un túnel... Construir un túnel es nada más que hacer un hoyo en la montaña, ese trabajo no puede ser muy difícil. Muchos ejemplos en el mundo entero muestran que construir un túnel puede ser muy difícil especialmente cuando los conceptos del diseño son mal hechos. En consecuencia, se gasta mucho tiempo y dinero. Un desarrollo en la ciencia de construcción de túneles es necesario.

En la siguiente presentación me gustaría mostrarles algunos conceptos útiles para la construcción de túneles para evitar situaciones críticas que fueron utilizadas en el proyecto del Túnel San Gotthard. Sin embargo, como con cualquier otro concepto, nunca vamos a tener una seguridad absoluta de que no vamos a tener situaciones críticas, ya que la naturaleza es muy variable.

Para mí es un gran honor el tener la oportunidad de presentar en este auditorio algunos detalles sobre la construcción del túnel más largo del mundo, quiero dar las gracias al Tecnológico de Monterrey por la oportunidad de presentar este proyecto.

Durante la presentación me gustaría explicar los siguientes puntos:

- ❖ La red ferroviaria en Europa y en Suiza
- ❖ La nueva red para los trenes de alta velocidad
- ❖ Proyecto Alp Transit en Suiza en general
- ❖ Túnel de Base de St. Gotthard en general
- ❖ El tramo de Sedrun que es el tramo más difícil de San Gotthard
- ❖ Conclusiones

Ver fig. 1 y 2 en el anexo único

❖ *La red ferroviaria en Europa y Suiza*

En la segunda mitad del siglo XIX y durante los primeros 10 años del siglo XX la parte más grande de la red del ferrocarril fue construida. Con la primera guerra mundial y la consecuente crisis económica se acabó la construcción de nuevas líneas grandes. Durante el tiempo de construcción miles de kilómetros fueron construidos en cada país.

Montañas tan altas como los Alpes no eran una barrera más para el tráfico, varias líneas importantes fueron construidas entre ellas, por ejemplo el Semarin de Viena a Venecia; el San Gotthard en Suiza; el Lotschberg, el MontSeny de Lyon a Turín.

En Suiza se construyó una red de ferrocarriles con una longitud de más de 5,000 km. y eso es una cifra muy alta para un país de 40,000 km². Desde 1920 hasta 1970 no se construyó ninguna línea importante.

La tecnología de las locomotoras sufrió cambios muy importantes, las locomotoras eléctricas fueron construidas con una capacidad más alta, y con una velocidad más rápida remplazando a las locomotoras de vapor. Ésta es una máquina de vapor. *Fig. 3*

Una de las primeras locomotoras eléctricas. Éste es uno de los últimos trenes que cruzan los Alpes, el Pendolino, es un tren italiano. *Fig. 4*

Gracias a estos avances, el tráfico aumentó considerablemente. Sin embargo, los trenes de hoy todavía usan la red de ferrocarriles construidos para las locomotoras de vapor. Las velocidades máximas son aproximadamente de 120 hasta 160 kilómetros por hora. En los años 60s, Japón empezó con la construcción de líneas de ferrocarril para trenes de alta velocidad. El Shinkansen Express alcanzó una velocidad máxima de 210 km. por hora, siendo de gran éxito. Como ejemplo tenemos el Shinkansen. *Fig. 5*

❖ *La nueva red para trenes de alta velocidad*

Los países europeos empezaron en los años 70 con la construcción de ferrocarriles de alta velocidad. Los proyectos más importantes para trenes de alta velocidad en Europa son las líneas en Francia, por ejemplo la línea de París a Lyon. *Fig. 6*

Las líneas marcadas en rojo son las líneas existentes, y en azul son los proyectos o las líneas bajo construcción. Entonces, en Francia, la línea a Lyon y la T. G. V Atlantic, con el Túnel de la Mancha; en Alemania de Hannover a Würzburg; en Italia la Livetisima de Florencia a Roma. En construcción, la línea de Colonia a Florencia. En España el A.V.E. de Madrid a Sevilla y el proyecto de Madrid a Barcelona.

Con todo lo antes mencionado está formándose una línea de alta velocidad. Desde los últimos 20 años hasta el año 2005 se construirán un total de más de 6000 km de líneas de alta velocidad. El tiempo para viajar se reducirá, el tren será el medio de transporte más rápido para distancias de 500 km.

En el plan maestro de las nuevas líneas de alta velocidad, los Alpes tendrán que ser atravesados también. Hoy en día existen 4 proyectos importantes que son: una nueva línea de Lyon a Turín, en Suiza los proyectos el St. Gotthard y el Lotschberg; y en Austria el proyecto del túnel de base del Rhin. Los proyectos suizos son los más avanzados y se encuentran bajo construcción desde hace cinco años. En los próximos minutos me gustaría explicar en general el proyecto Alp Transit en Suiza.

❖ *Proyecto Alp Transit en Suiza en general*

Desde hace muchos años se hicieron estudios sobre túneles de base abajo de los Alpes Suizos. Desde hace más de 60 años, se han hecho estudios privados para la construcción de un túnel multiusos, para la carretera y el ferrocarril en un solo túnel de tres pisos. Aquí se ve un dibujo de este túnel; abajo, dos carriles para el tren, arriba para la carretera y en el tercer nivel cables para alta tensión. Este proyecto nunca fue realizado. *Ver fig. 7*

Antes de la construcción del túnel de St. Gotthard para la autopista, se estudio nuevamente la solución para el problema del tráfico con un túnel de base para el ferrocarril con un sistema similar al sistema que hay ahora en el Túnel de la Mancha, donde los coches pueden subir al tren y cruzar por debajo de los Alpes. Ese proyecto tampoco fue realizado, en su lugar se construyó el túnel para la carretera con una longitud de 16 km. *Ver fig. 8*

La geología

Visto de norte a sur el túnel de base St.Gotthard cruza las siguientes unidades tectónicas: El Masivo del Aar en el norte, el Masivo de Gotthard y el Masivo de Leventina, una zona de Gneis benínico. Las zonas en color marrón son las zonas con roca mala y con dificultades y son: la zona de Intschi, la zona del TZM y la de Pióra porque el encampane es muy alto. Ver figs. 13 y 14)

Las tres unidades más importantes el masivo de la Aar, al masivo del Gotthard y la zona de Gneis benínico no presentarán dificultades especiales para la construcción del túnel. Ver fig. 13

Estas unidades están constituidas principalmente de rocas cristalinas metamórficas con una alta resistencia. Más del 90 % de la longitud total del túnel se encuentra en esas condiciones. Los peligros más importantes son el fenómeno de rock burst causado por el encampane grande y la inestabilidad de huecos y filtraciones importantes de agua en algunos casos especiales. Las zonas más difíciles para la construcción del túnel son el masivo intermedio de Tavetscher, la zona de Urseren que ya esta conocida desde la construcción del túnel para la autopista. En estas zonas se cuenta con rocas con una resistencia baja y un alto potencial para deformaciones grandes. En los años 95 y 97 se ejecutaron dos perforaciones para la investigación del masivo y en Tavetscher cada perforación contaba con una longitud de casi 2000 m. y terminaba abajo del futuro túnel y aquí se hicieron las perforaciones.

El resultado de todas estas investigaciones es una distribución muy desfavorable en la calidad de la roca en una zona de más de 1 km. El 70% de esta zona consiste en rocas muy malas como minonitos, una roca casi reducida a material suelto.

Mas tarde yo explicaré los métodos necesarios para la construcción de túneles en estas zonas. Para la alineación en general, en la primera fase del proyecto, se tuvo que definir un eje óptimo para el túnel, las condiciones siguientes dictaminaron el diseño final.

La geología, naturalmente, las zonas malas son estas zonas de color amarillo. Y de este color aquí y se buscaba un eje que cruzara estas zonas en las distancias más cortas. Ver fig. 14

Una segunda condición eran las presas. Hay diferentes presas, presas bóvedas sobre el eje del túnel y hubo un accidente hace quince años en Suiza con una presa bóveda cuando se construyó un túnel de exploración y se deformó causando muchos daños en la presa. Para evitar eso se buscó un eje a una distancia de algunos cientos de metros de las presas. Aquí se ven los lagos artificiales. Después se buscaba un eje con un mínimo de

Después de la construcción del túnel para la autopista no se habló de un túnel de base durante algunos años, pero con el aumento del tráfico en las carreteras, las discusiones sobre ese proyecto empezaron una vez más.

Durante años se ha buscado el eje ideal para el proyecto. Los intereses políticos, las condiciones geológicas, el tiempo para la construcción y finalmente los costos fueron analizados para los siguientes ejes. *Ver fig. 9*

Un eje en el este, uno que venga del este y que cruce los Alpes en el centro: Un eje desde Lucerna hasta el sur de Suiza; y finalmente los ejes en rojo, que son los que se construyen ahora: la línea de Zurich a Milano, St. Gotthard y la línea de Berna a Italia, el Lotschberg. Esos dos proyectos juntos, el túnel de Lotschberg de 36 km y el túnel de St. Gotthard de 57 km. Juntos se llaman el proyecto Alp Transit del gobierno Suizo. *Ver fig. 10*

El proyecto Alp Transit da la posibilidad de transformar gran parte del tráfico transalpino de la carretera al ferrocarril. Con el proyecto Alp Transit, también se realiza la conexión de la red Suiza con la red europea de trenes de alta velocidad. Los trenes van a cruzar los Alpes con una pendiente máxima de un poco más de un 1%, con su punto más alto a cerca de 800 m. sobre el nivel del mar y debajo de un encampane máximo de 2300 m.

Con dos votaciones en el año 1998 la población suiza aprobó el proyecto y los impuestos especiales para el financiamiento de los costos del proyecto con un total de más de 10 mil millones de dólares. El túnel más corto es el túnel de base de Lotschberg con una longitud de 35 kilómetros, se va a terminar de construir en el año 2007 y tiene una gran importancia en los contratos bilaterales de libre comercio de Suiza con la unidad económica europea.

❖ *Tunel de Base de San Gottardo en general*

La construcción más complicada es el túnel de St. Gotthard, se terminará de construir en el año 2011. El túnel de base de St. Gotthard contará con una longitud de 57 km. Es el objeto más importante.

También hay otros túneles que se van a construir como el Zimmerberg, que ya esta casi terminado y el túnel del Ceneri. Eso va a formar el eje del Gotthard de Zurich a Milán. *Ver fig. 11*

En el perfil longitudinal del túnel de St. Gotthard se puede ver la línea existente. Los trenes todavía tienen que subir hasta 1100 m y cruzar el túnel de 15 km para poder a bajar.

Dentro de 10 años se va a poder cruzar los Alpes sin subir a ese nivel. Al contrario el otro eje no tiene esta posibilidad el eje de Lotschberg todavía tiene una pendiente bastante fuerte en Italia. *Ver fig. 12*

La geología

Visto de norte a sur el túnel de base St.Gotthard cruza las siguientes unidades tectónicas: El Masivo del Aar en el norte, el Masivo de Gotthard y el Masivo de Leventina, una zona de Gneis benínico. Las zonas en color marrón son las zonas con roca mala y con dificultades y son: la zona de Intschi, la zona del TZM y la de Pióra porque el encampane es muy alto. Ver figs. 13 y 14)

Las tres unidades más importantes el masivo de la Aar, al masivo del Gotthard y la zona de Gneis benínico no presentarán dificultades especiales para la construcción del túnel. Ver fig. 13

Estas unidades están constituidas principalmente de rocas cristalinas metamórficas con una alta resistencia. Más del 90 % de la longitud total del túnel se encuentra en esas condiciones. Los peligros más importantes son el fenómeno de rock burst causado por el encampane grande y la inestabilidad de huecos y filtraciones importantes de agua en algunos casos especiales. Las zonas más difíciles para la construcción del túnel son el masivo intermedio de Tavetscher, la zona de Urseren que ya esta conocida desde la construcción del túnel para la autopista. En estas zonas se cuenta con rocas con una resistencia baja y un alto potencial para deformaciones grandes. En los años 95 y 97 se ejecutaron dos perforaciones para la investigación del masivo y en Tavetscher cada perforación contaba con una longitud de casi 2000 m. y terminaba abajo del futuro túnel y aquí se hicieron las perforaciones.

El resultado de todas estas investigaciones es una distribución muy desfavorable en la calidad de la roca en una zona de más de 1 km. El 70% de esta zona consiste en rocas muy malas como minonitos, una roca casi reducida a material suelto.

Mas tarde yo explicaré los métodos necesarios para la construcción de túneles en estas zonas. Para la alineación en general, en la primera fase del proyecto, se tuvo que definir un eje óptimo para el túnel, las condiciones siguientes dictaminaron el diseño final.

La geología, naturalmente, las zonas malas son estas zonas de color amarillo. Y de este color aquí y se buscaba un eje que cruzara estas zonas en las distancias más cortas. Ver fig. 14

Una segunda condición eran las presas. Hay diferentes presas, presas bóvedas sobre el eje del túnel y hubo un accidente hace quince años en Suiza con una presa bóveda cuando se construyó un túnel de exploración y se deformó causando muchos daños en la presa. Para evitar eso se buscó un eje a una distancia de algunos cientos de metros de las presas. Aquí se ven los lagos artificiales. Después se buscaba un eje con un mínimo de

encampane y también tenía que garantizar una velocidad de diseño de 200 km por hora. Finalmente también se buscaba una solución con un tiempo mínimo de construcción y de costos. Todas estas condiciones determinaron finalmente el eje del túnel de base de St. Gotthard que se puede ver aquí en la línea roja con unas curvas.

En una de las primeras fases de proyecto el sistema del túnel tuvo que ser seleccionado dentro de las soluciones siguientes:

- Dos túneles con un solo carril,
- dos túneles y uno de servicio
- Una solución con tres túneles y tres carriles
- Finalmente, un túnel de dos vías con un túnel de servicio

Ver fig. 15

Se decidió finalmente construir este sistema pero con dos extensiones intermedias dentro de la montaña. La pendiente máxima en el túnel de St. Gotthard es de 0.7% y la elevación máxima va a estar a un nivel de 550 m sobre el nivel del mar.

El radio horizontal mínimo en las curvas es de 5000 m y la sección mínima de aire libre es de 41 m². Con estas características el túnel base de St. Gotthard cumple las características de una línea de ferrocarril de alta velocidad. Aquí usted puede ver todo el sistema, los dos tubos, tubos de conexión a cada 300 m. Las dos estaciones intermedias mencionadas antes, la de Sedrun y la de Faido, los túneles de acceso de Faido y el sistema de Sedrun en el centro de todo el sistema con el túnel de acceso y el pozo vertical de 800 metros. *Ver fig. 16*

Los primeros trabajos empezaron hace cinco años, justamente en estos días el pozo llegará al nivel del futuro túnel, en los otros accesos los trabajos comenzaron el año pasado para la construcción. El túnel se dividió en cinco tramos diferentes tomando en consideración también las condiciones geológicas se aplican los siguientes métodos de excavación. *Ver fig. 17*

En este tramo con TBM o fresadora, o también es posible construir el túnel con método convencional, esto quiere decir con explosivo.

En Sedrun es posible construir el túnel con el método convencional porque no es posible bajar la fresadora por el pozo de 800 metros. Y también la geología no permite trabajar con TBM. En Faido y Bodio al contrario se puede trabajar con fresadora o con método convencional. La longitud de cada tramo es en Bodio de un poco más de 16 km. en Faido de 14 km. en Sedrún de casi 7 km. en Amsteg de 7 km. y en Erstfeld de 7 km.

La sección del túnel fue definida por diferentes condiciones durante la construcción y la futura operación. Los elementos son el perfil del tren, la sección del aire libre, que es de 41 m² (eso es muy importante porque cuando esta sección es más pequeña se pierde mucho en la fricción del aire con las paredes del túnel), también el carril sin balastro, una impermeabilización con el drenaje aquí y cableductos y paseos para los peatones en casos de emergencia. La forma de excavación es siempre circular, en zonas con fresadora esta forma se obtiene por medio de la fresadora, en zonas con excavación convencional una sección mínima tiene que ser garantizada y el perfil circular es la forma más económica para garantizar el espacio. En zonas de squeezing rock la forma circular es necesaria por razones estáticas, eso lo voy a explicar más tarde. *Ver fig. 18*

El programa de construcción

La construcción empezó en 1996, es decir dos años antes de tomar la decisión final de construir el túnel. Desde el Octubre de 1998 se está construyendo el pozo vertical en Sedrun y también en el verano del año pasado se empezó la construcción de los otros túneles de accesos.

Solamente en el tramo de Erstfeld faltan, por razones de políticas, los últimos permisos para construir. Los trabajos empezarán en el año 2002, por el momento se empezó con la licitación de los contactos principales.

Para el final del año 2000 se espera recibir ofertas y la firma de los contratos para el verano del año que entra, las excavaciones principales empezarán en 2002 y en Sedrun en el año 2003. La primera conexión en los tramos de Faido y Bodio se espera para el año 2004 y la última en el año 2007 dentro del área de Sedrun y Faido, esa es la última y la primera conexión en la gráfica. El resto de las obras civiles y la construcción del carril continuarán, los ensayos de operación empezaran en el año 2011 y después sigue la operación de todo el sistema. *Ver fig. 19*

Los costos totales del túnel de base de St. Gotthard son estimados en 5,000 millones de dólares, esta cantidad es baja para un túnel o una obra de este tamaño. La explicación para esta baja cifra es del tipo de financiamiento de la obra, el 75% de los costos totales son pagados como impuestos, así los costos para intereses son bajos y eso es diferente para al diferente al financiamiento del túnel de la mancha donde subieron mucho los costos del financiamiento.

❖ El tramo de Sedrun

En los próximos minutos yo voy a explicar el tramo de Sedrun, que es el tramo más difícil del túnel de San Gotthard. Sedrun es un pueblo pequeño en la parte central de los Alpes suizos a una altura de 1400 m sobre el nivel del mar, cerca de la fuente del río Rhin, un lugar para vacacionar en el verano

pero también en el invierno. El tramo crítico del túnel de St. Gotthard lleva el nombre de este pueblo y tiene una gran importancia en el conjunto de proyecto. Por razones de la geología y del programa de construcción se tomo la decisión de construir un acceso intermedio de Sedrun con el futuro túnel, que pasa 900 m debajo del pueblo. *Fig. 20*

Los siguientes trabajos se ejecutan desde Sedrun:

- El túnel de acceso de 1 km. de longitud
- Un pozo vertical de 800m.
- La estación multifuncional en el centro
- 4 km. de túneles en dirección del sur
- 2 km. en la dirección norte

Fig. 21

Por el momento, aproximadamente 150 personas trabajan en Sedrun, en el futuro, durante la construcción del túnel principal, más de 600 personas trabajarán en Sedrun. El túnel de acceso y el pozo vertical se usan principalmente durante el periodo de construcción del túnel principal. Más tarde durante el servicio del túnel de base del San Gottahrd, estas estructuras se utilizarán para la ventilación y para el acceso de mantenimiento, pero no esta previsto utilizarlos para casos de emergencia. El túnel de acceso tiene un área de 35 m² y esta definido por las instalaciones necesarias para la construcción del túnel que son el ferrocarril provisional, todos los tubos para el agua, agua de refrigeración, el drenaje, cables para electricidad y para comunicación, y un tubo para soplar el cemento de arriba a abajo. *Fig. 22*

Durante el período de construcción solamente el soporte provisional en la roca se aplica, la impermeabilización y el revestimiento final con concreto será hecho como trabajo final en 10 años. La excavación del túnel ya esta hecha y se terminó en 1997. Durante la construcción y más tarde durante la operación del túnel, el aire contaminado será soplado a la superficie del túnel por un pozo de ventilación. Aquí se puede ver la obra de salida, en maqueta, aunque ya está construida. *Fig. 23*

Cavernas de la cabeza del pozo principal

El diseño de la cabeza del pozo vertical esta definido también por las instalaciones necesarias durante la excavación del pozo vertical y durante la construcción del túnel, durante el periodo de servicio del túnel algunas partes de estas cavernas se utilizan para instalaciones de ventilación y para equipo electromecánico. La sección máxima de las cavernas es casi de 250 m², el revestimiento consiste en anclajes de 6 a 9 m. de longitud y con shotcrete de 50 cm. de espesor. Muchas conexiones dentro de las diferentes estructuras causaron algunas dificultades para la construcción de las cavernas. Aquí se puede ver el sistema de la cabeza con una caverna en

donde suben los trenes con el material y otra caverna para el winche del elevador. Este elevador sube y baja con una velocidad de 16 m. por segundo, o sea que baja el elevador en menos de un minuto todo el pozo de 800 m. Esta velocidad es muy importante para tener una capacidad suficiente para el transporte de todos los materiales. *Fig. 24*

La estructura principal de todo el sistema de acceso es el pozo vertical con una profundidad de 800 m. y un diámetro de 7.90 m. La sección del pozo es definida por las necesidades de la excavación del futuro túnel. La alimentación de los cinco frentes futuros del trabajo con aire de ventilación, materiales de construcción, agua y energía eléctrica tienen que pasar por el pozo vertical. Durante el período de la construcción del túnel el pozo tendrá los siguientes elementos para alimentación: el elevador, como ya mencionamos con una capacidad de 6,500 toneladas por día, un segundo elevador para personas, compartimento para el aire fresco, un compartimento para el aire usado y todos los sistemas de cables y tubos para la alimentación de frentes de abajo. *Fig. 25 y 26*

La excavación del pozo empezó en febrero del año 1999 y durará, como ya mencionamos hasta estos días. La excavación se hizo con una plataforma especial de 5 pisos utilizando el método por explosivos. Para la perforación de los taladros se utilizó un jumbo especial, el diámetro de la excavación es de 8.70 m. y el contratista excavó el pozo con una velocidad de 3 m. al día. Un método especial se utilizó para impermeabilizar el pozo contra probables filtraciones de agua, llamándose el método de cover drilling. Aquí un dibujo de este sistema, *Fig. 27*, se perforan ocho taladros alrededor de la sección con una longitud de 42 m. y se inyectan con cemento y eso se hace cada 36 m. así 6 metros tienen dos perforaciones. Este sistema funcionaba bastante bien porque hasta ahora las filtraciones nunca son de más de un litro por segundo y no causaron ningún problema. Después de cada etapa de excavación la superficie de la roca se protege con anclajes y shotcrete con mallas de acero. Aquí se tiene todo el proceso de la construcción del pozo, la perforación con el jumbo, la plataforma con cinco pisos, después el material se sube con un elevador pequeño y aquí se aplica el shotcrete como primera protección y en una distancia de 20 m. se construye un anillo de concreto en etapas de 6 m. *Fig. 28*

El transporte del concreto de la cabeza hasta el abajo del pozo se hace con un tubo con un diámetro de 40 cm. un concreto especial con una plasticidad alta tiene que ser utilizado. Finalmente, después de la construcción del túnel, el pozo vertical va a recibir una membrana de impermeabilización y el revestimiento final. Una pared en el centro del pozo divide el pozo en dos para la ventilación, una parte de aire fresco y una parte de aire usado. Eso es una imagen de la construcción como se presenta hasta ahora el pozo. *Fig. 29*

Las cavernas al pie del pozo

En estos días el contratista empezará con la excavación de las cavernas al nivel del futuro túnel al pie del pozo vertical. Estas cavernas son muy importantes para la construcción del túnel muchas de las instalaciones importantes se encuentran en estos lugares. Las cavernas al pie del pozo tienen un área máxima de 300 m² y debajo de un encampane de más de 1000 m. el sostenimiento se hace con anclajes de acero de 6 a 9 m. y también con shotcrete de 50 cm.

La estación multifuncional de Sedrun

Se utiliza para la instalación del equipo electromecánico y para parar los trenes en caso de emergencia. Aquí se puede ver todo el sistema de esta estación, las paradas de emergencia, un túnel de conexión y túneles para cambiar los trenes de un carril a otro. La dificultad en la construcción de la estación multifuncional consiste en la construcción de muchas obras de diferente tamaño en diferentes condiciones geológicas; un problema especial por ejemplo es la excavación de la ampliación para la los túneles de conexión, el perfil que hay que excavar cambia cada metro. *Fig. 30*

Tramo norte del túnel de San Gotthard

En los próximos minutos explicaré el tramo norte del túnel de St. Gotthard, que es el tramo más difícil del túnel. Como ya mencioné anteriormente, las condiciones más críticas desde el punto de vista de la geología se encuentran en el masivo intermedio del Tavetscher. Varios tipos de roca con un potencial alto para squeezing, que quiere decir con deformaciones grandes, tienen que ser usados en una longitud de 1 km. La combinación de roca mala con un encampane de 900 m. y una presión de agua probable son condiciones muy especiales en las que hasta ahora casi no hay experiencia para construir túneles.

La zona mala es la zona roja en la figura, que se conoce muy bien porque ahí está la perforación de investigación hasta abajo a nivel del túnel. La palabra squeezing rock tiene su origen en la construcción de los primeros túneles en los Alpes. La squeezing rock se caracteriza por la tendencia del área excavada a reducir el perfil excavado causado por una sobrecarga por la roca de baja resistencia. Esto es un ejemplo de roca de ese tipo después de los ensayos triaxiales en laboratorios, se puede ver la deformación. *Fig. 31 y 32*

Esta reducción del perfil excavado se llama convergencias, deformaciones que son radiales. Con un soporte de alta resistencia las deformaciones se reducen, correspondiendo a la resistencia del soporte.

El soporte actúa como una presión contra las fuerzas de la roca. Cuando la presión de la roca es mucho más grande que la resistencia del soporte, éste recibe daños y se deforma hasta que se produce un nuevo estado de equilibrio, cuando se producen deformaciones muy grandes el perfil tiene que ser reperfilado, un trabajo que causa grandes costos y consume mucho tiempo como lo han mostrado muchas experiencias en el mundo entero. Este es un ejemplo de una situación de squeezing rock en el túnel de carretera de San Gotthard, atrás se puede ver el perfil deformado y adelante el perfil reconstruido con una forma circular. *Fig. 33* De estas experiencias se pueden deducir los hechos siguientes, grandes deformaciones ocurren en roca de resistencia baja y con un módulo de deformabilidad bajo, la presión de la roca se disminuye cuando las deformaciones aumentan. Antes se aceptaban contracciones grandes con diferentes bases de perfilación. La presencia de agua o una presión alta de agua tiene efecto sobre el fenómeno de squeezing rock, todavía se producen deformaciones más grandes causado por la influencia del agua. También las deformaciones de la gota no ocurren de una manera uniforme alrededor de la excavación, muchas veces no se producen deformaciones en el piso aunque haya deformaciones grandes en la bóveda o en las paredes del túnel. En muchos casos las deformaciones del frente de la excavación no causan problemas. Aquí se puede ver que la deformación no es simétrica. *Fig. 34*

Para excavaciones del perfil entero es necesario estabilizar el frente de excavación cuando el diámetro es grande, estos trabajos exigen mucho tiempo, la intensidad de las deformaciones de la roca y la presión de la roca son muy variables en el mismo tipo de roca y finalmente la correlación lineal dentro del encampane y la presión de la roca no ha sido comprobada hasta ahora, todas las teorías hasta hoy suponen esta correlación.

Concepto constructivo para el tramo de Sedrun

Aquí se pueden ver los probables peligros: las deformaciones grandes o inestabilidades del frente. *Fig. 35* El concepto constructivo tiene que garantizar la construcción segura del túnel bajo todas las circunstancias críticas. El concepto constructivo seleccionado para las zonas con squeezing rock contiene los elementos constructivos siguientes en orden de su importancia: un perfil totalmente circular, si no ocurren cosas como las que hemos visto antes, la excavación en sección completa, anclajes sistemáticos del frente de la excavación en sus puntos aquí. Se van a poner hasta 210 m. de anclaje por cada metro de túnel. Después de una predeterminada sobreexcavación para permitir las convergencias, cerchas de acero y un anclaje sistemático radial, para evitar las deformaciones radiales. Hasta 300 m de anclaje cada metro se ponen. En el diseño de los perfiles de soporte, el máximo de las posibilidades constructivas de las cerchas se aplicó. Así resultó un soporte con una capacidad de 2.8 MPa que casi quiere decir 300 toneladas por metro cuadrado y una posibilidad de deformación radial de 70 cm.

Otros tipos de sostenimiento fueron diseñados utilizando los mismos principios de construcción, finalmente resultaron 10 tipos de soporte en un sistema modular que se aplica para la construcción del túnel. Se muestra el tipo más ligero y al contrario el tipo que hemos visto más fuerte. *Figs. 36, 37 y 38*

La secuencia de construcción

En una etapa de construcción del túnel se tienen los siguientes pasos:

- La excavación en sección completa con pasos de un metro
- La protección inmediata de superficie excavada con shotcrete con fibras
- Montaje de cerchas y hasta el frente
- Los trabajos de anclaje radial y cada 6 m. en el frente

Fig. 39

Una vez que las deformaciones radiales se terminan el shotcrete se pone. El shotcrete tiene como meta estabilizar las cerchas y crear una superficie más suave que la boca para recibir la membrana de impermeabilización. En un segundo lugar de trabajo, en unos cientos de metros atrás de la excavación, la membrana de impermeabilización y el revestimiento de concreto final con un espesor de 30 cm. hasta 1.20 m. son puestos. Con los trabajos para el drenaje final y la construcción del piso se terminan las obras civiles para el túnel, continuará la instalación de los carriles del equipo electromecánico, una vez terminados estos trabajos, empezaran los ensayos de operación y finalmente empezará la operación definitiva de todo el sistema.

El tramo sur

El tramo del sur es menos difícil que el tramo del norte. La dificultad en esta zona es cruzar una zona cercana a la presa bóveda de Nalps; como ya mencioné antes, hay una influencia de la construcción del túnel a la presa bóveda. Para evitar daños se aplica el sistema siguiente: con perforaciones horizontales protegidas por un evento sobre un total de 1 km. se investiga esta zona en su avance, cuando las investigaciones confirman la existencia de una zona de fallas el proyecto prevé la construcción de una zona inyectada con un diámetro de 50 m. Para una excavación segura del túnel, un sistema especial de control en el túnel y en la superficie del terreno para detectar los desplazamientos, va a tomar las decisiones correctas para evitar daños de la presa bóveda. *Fig. 40*

Las instalaciones

Para la construcción del túnel se necesita grandes instalaciones. Al aire libre se tienen las instalaciones de alojamiento para más de 500 persona, una estación de ferrocarril, una fábrica de granulado para el concreto, una planta

de purificación de aguas negras, transformadores, planta de refrigeración, bombes para el transporte de cemento y depósitos de material. *Fig. 41 y 42*

Las instalaciones subterráneas en las cavernas al pie del pozo vertical a nivel del túnel se construyen las instalaciones siguientes: la estación de ferrocarril para la construcción, bombes con una capacidad de 1000 litros por segundo sobre ochocientos metros, instalaciones de refrigeración porque la temperatura de la roca base es de 40 grados, un sistema de ventilación, transformadores y subestaciones eléctricas, una planta para el concreto e instalaciones de seguridad. *Fig. 43*

Balance de los materiales

Aquí se puede ver una comparación del material excavado con las pirámides de Egipto. En total se excava en el túnel del St. Gotthard 12 millones de m³ de roca, casi 50% del material se utiliza para construir carreteras y granulado de concreto. *Fig. 44* Para determinar los conceptos de seguridad, como ya lo mencionaba, el pozo vertical es el único acceso a nivel del túnel durante la excavación hasta que se termine la primera conexión con los otros tramos. Por esto un nivel muy alto grado de seguridad tiene que ser garantizado para los trabajadores en el túnel, las medidas siguientes ayudarán a garantizar el nivel máximo de seguridad. Todas las instalaciones se construyen en sistemas redundantes, que quiere decir en dos sistemas separados, este principio se aplicó en los sistemas siguientes: en el sistema de drenaje, sistemas de fuerza eléctrica y en los sistemas de comunicación. También se instalaron sistemas adicionales como elevadores de emergencia, tubos de aire puestos en el revestimiento de concreto y teléfono y sistemas de radio para comunicación. *Fig. 45* Con estas medidas se garantiza un nivel muy alto de seguridad, sin embargo queda un cierto riesgo: el concepto de seguridad durante la operación. La nueva línea de ferrocarril en St. Gotthard se utiliza principalmente para trenes de pasajeros y para trenes de carga rápida, los trenes con cargas peligrosas tienen que usar la línea actual del San Gotthard, también en el futuro, el peligro más grande es un incendio de un tren de pasajeros, el concepto de operación del túnel prevé que en ese caso el tren tiene que hacer lo necesario para llegar a la estación de emergencia o a la salida. En el caso de una parada de emergencia en la estación multifuncional, los pasajeros pueden salir del tren y pasar a la otra estación de emergencia en donde se paran los trenes del segundo tubo y los pasajeros pueden embarcar en esos trenes para salir del túnel.

Un sistema de ventilación tiene que asegurar que no puede entrar humo en las galerías de conexión y en el otro tubo del túnel.

Aquí se puede ver los túneles de emergencia, los túneles de conexión y el sistema de ventilación que tiene que garantizar que no habrá humo en esos túneles para que la gente pueda cruzar a la otra estación. *Fig. 46*

Cuando un tren no puede llegar hasta el total o la estación de emergencia, los pasajeros tiene que salir del túnel y pasar al otro tubo utilizando las galerías de conexión que hay cada 300 m. Todos los proyectos debajo de los Alpes, también en Francia y Austria tienen hoy este concepto de seguridad.

❖ *Conclusiones*

Deseo mostrarles varios aspectos del túnel de base de San Gotthard, que es el proyecto del túnel más largo por el momento. La construcción empezó hace cuatro años con los trabajos preliminares y con los trabajos de los accesos, en el año 2003 todos los tramos del túnel principal estarán en construcción. Para muchos problemas hay que encontrar una solución, para la mayoría de los problemas existen ya hoy experiencias por todo el mundo como por ejemplo la construcción debajo de un encampane alto o la construcción de túneles en squeezing rock o también hacer excavaciones sobre largas distancias con fresadora. Lo nuevo en el proyecto del túnel de St. Gotthard es la acumulación de tantos problemas en un proyecto único, hasta ahora hay muchas soluciones en el proyecto pero tenemos que considerar que estamos trabajando con las fuerzas de la naturaleza. Sería imprudente pensar que ya hemos previsto todo lo que vamos a encontrar, tenemos que vivir con sorpresas y buscar otras soluciones cuando sea necesario. Seguramente vamos a obtener muchas nuevas experiencias en la construcción de túneles, los próximos 10 años serán muy interesantes para la ingeniería de túneles. *Fig. 47*

Gotthard Base -Tunnel



AlpTransit Gotthard

Nueva línea de ferrocarril a través de los Alpes Suizos

Heinz Ehrbar

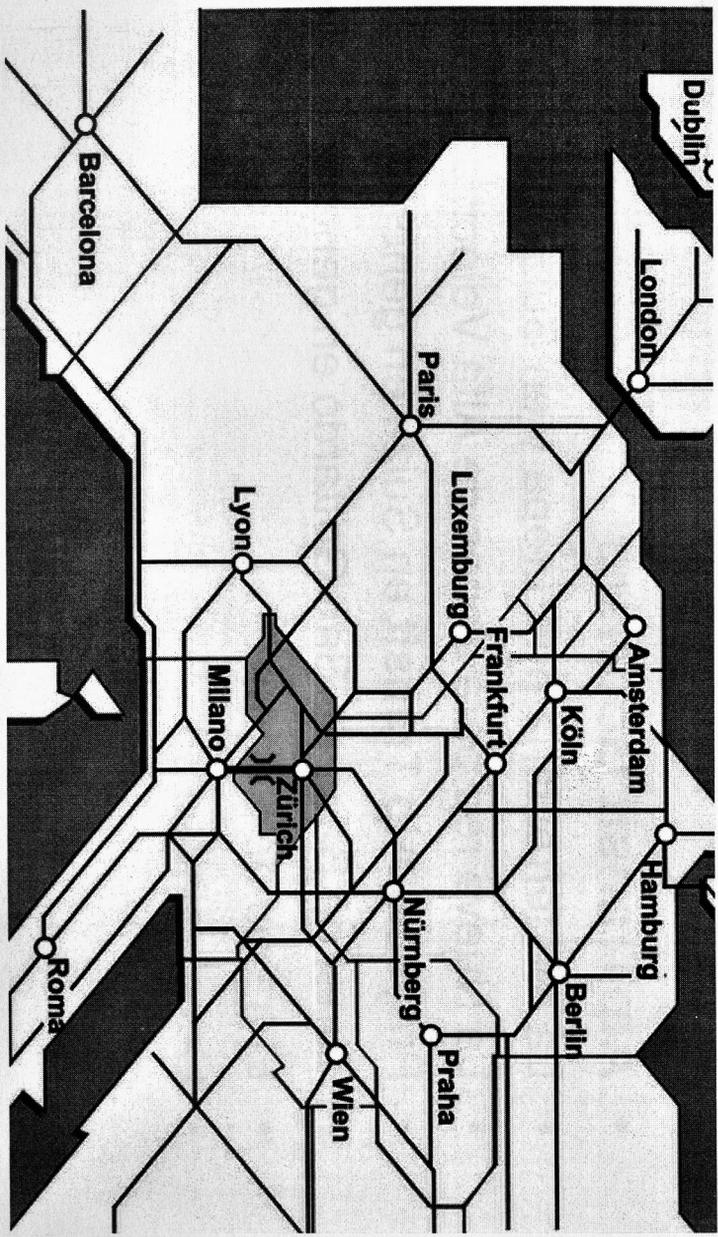
Electrowatt Engineering Ltd., Zurich



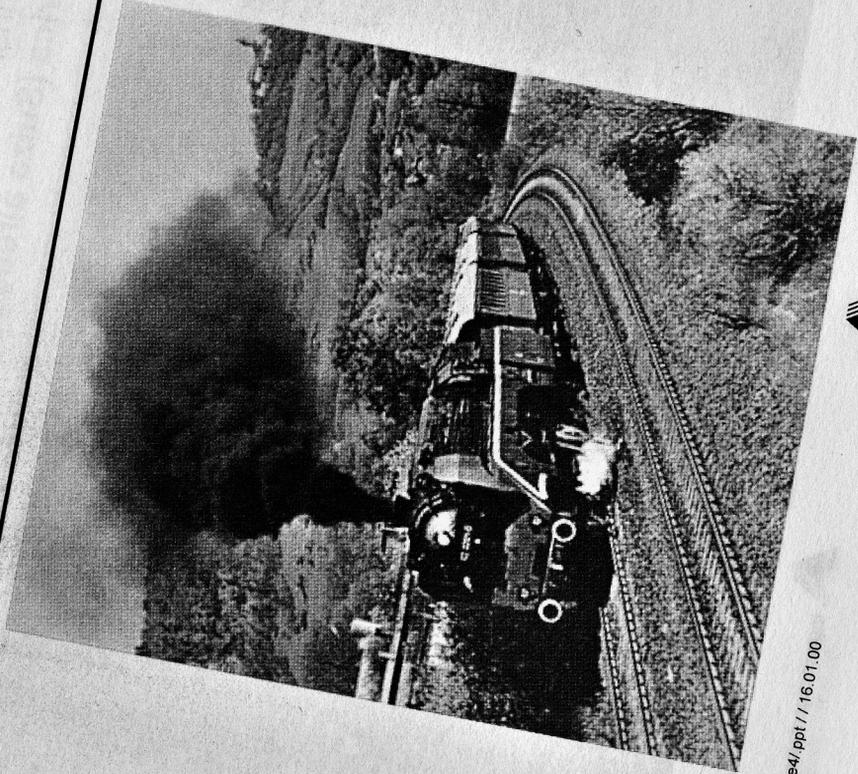
- **AlpTransit Gotthard**
- La red ferroviaria en Europa y en Suiza
- La Nueva red para trenes de Alta Velocidad
- Proyecto **Alp Transit** en Suiza en general
- Tunel de Base de San Gottardo en general
- El tramo de Sedrun
- Conclusiones

Gothard Base – Tunnel

Principales Líneas Ferroviarias en Europa

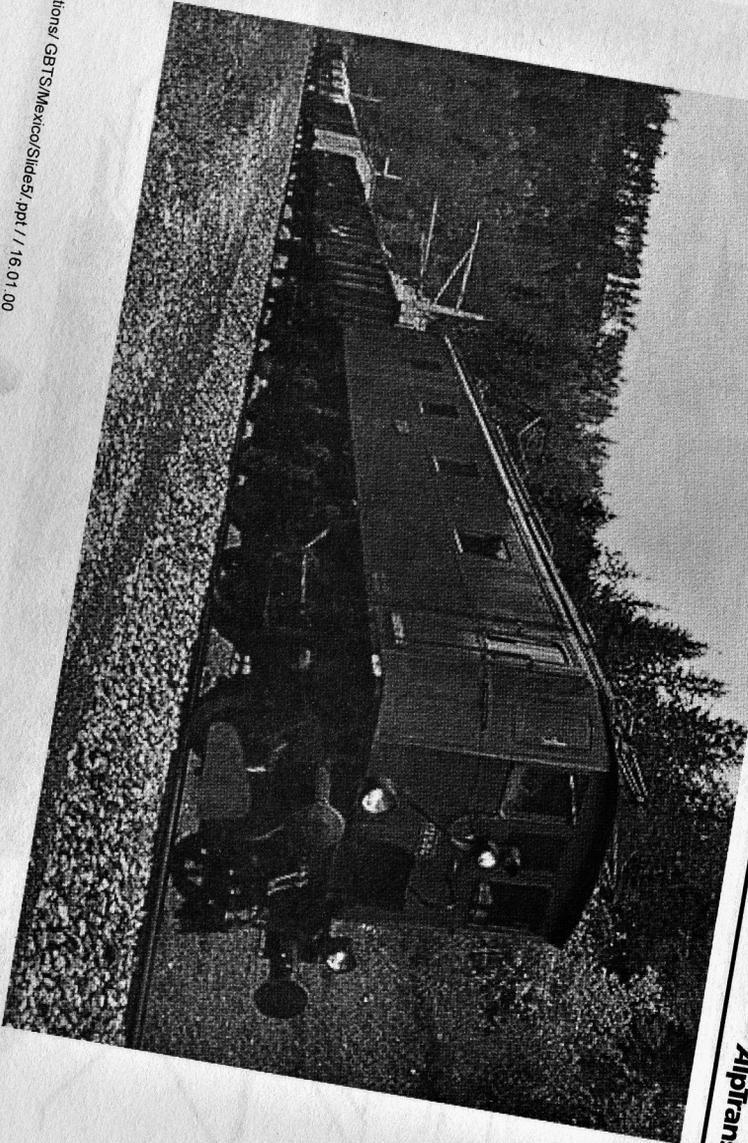


Gotthard Base - Tunnel Locomotora de Vapor



EWE/Presentations/GBTs/Mexico/Slide4/.ppt / / 16.01.00

Gotthard Base – Tunnel Locomotora Eléctrica (Suiza alrededor de 1920)

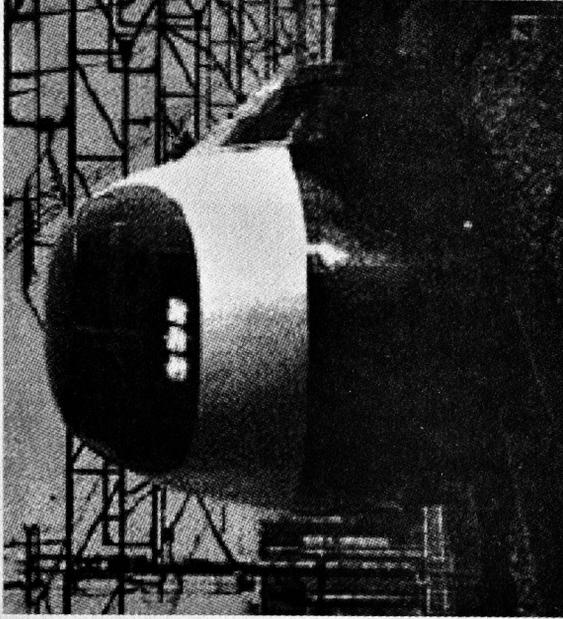


E:\ME\Presentations\GBT\Mexico\Slide51.ppt // 16.01.00

Gotthard Base –Tunnel Trenes Rápidos

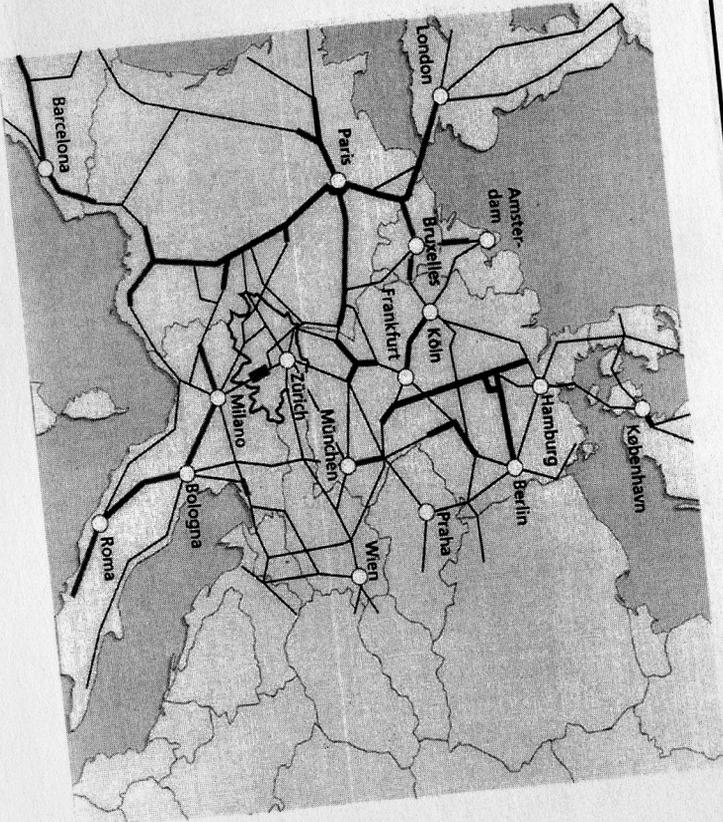


- Shinkansen
High Speed Train
(Japan)



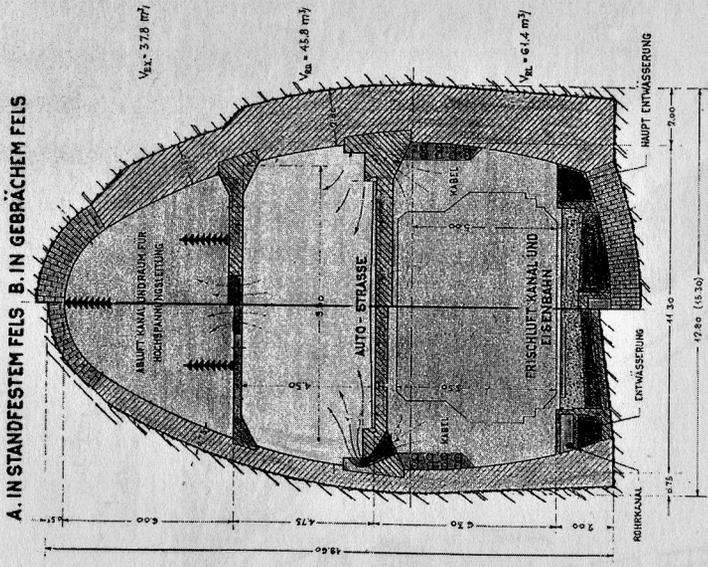
Gothard Base – Tunnel

Red Ferroviaria de Alta velocidad en Europa

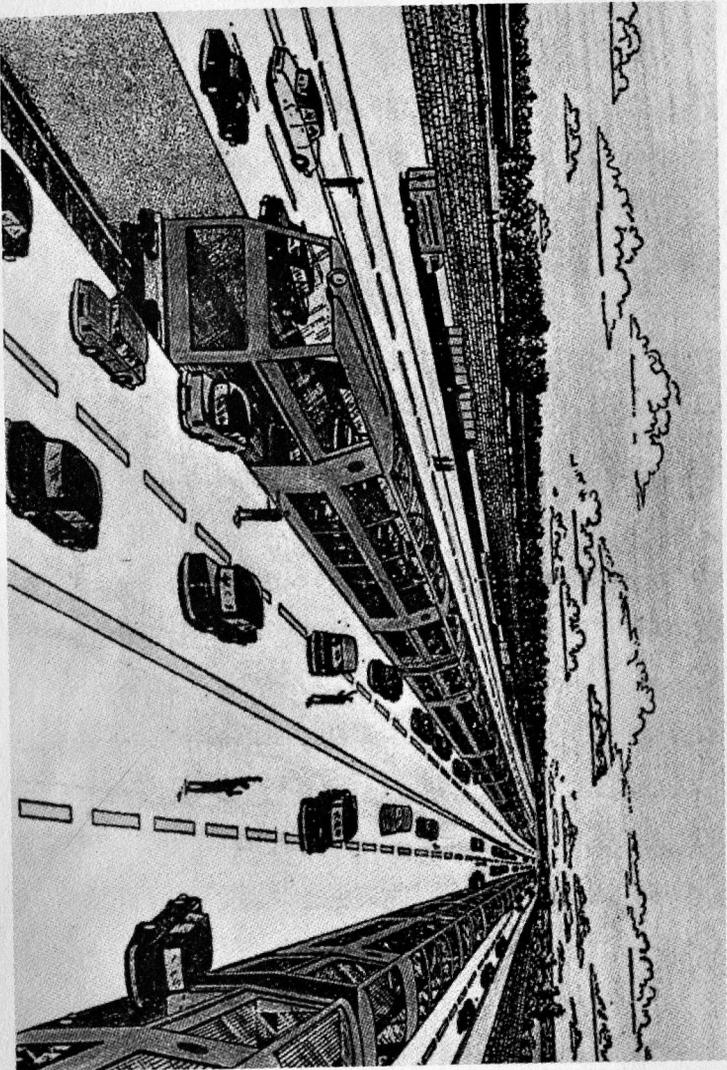


Gotthard Base - Tunnel

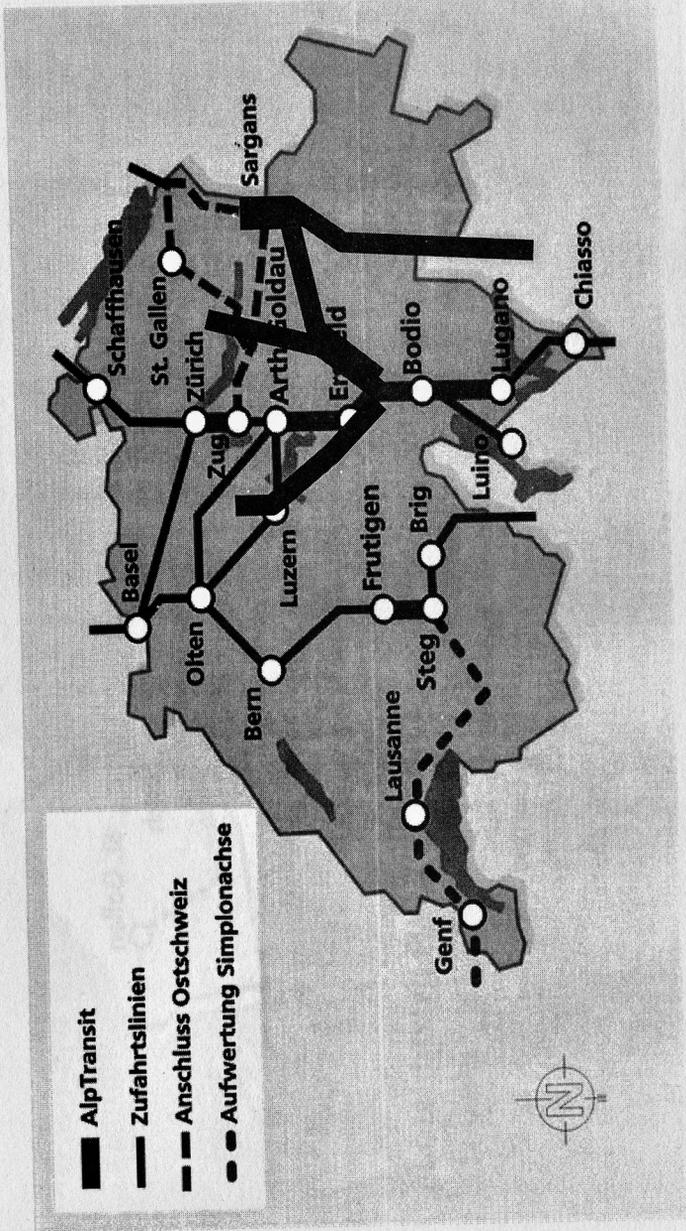
Estudios recientes



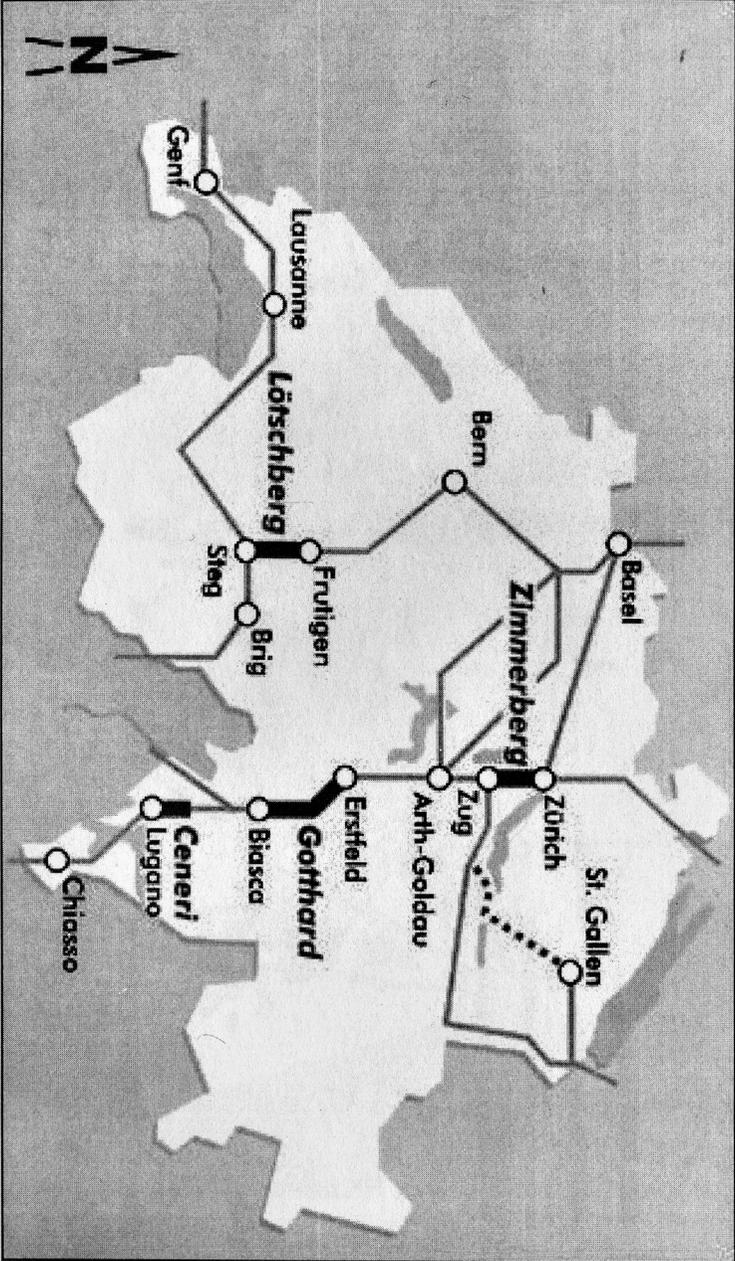
Gotthard Base - Tunnel Estudios de Proyección de Trenes para la Sustitución de Carreteras



Gotthard Base Tunnel Ejes Estudiados



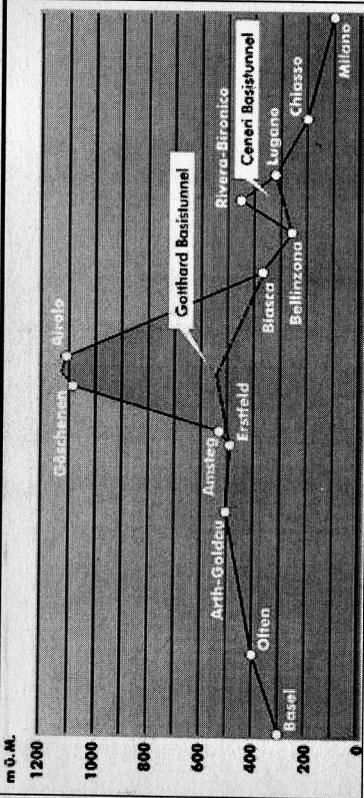
Gothard Base -Tunnel Proyecto Alp Transit en Suiza



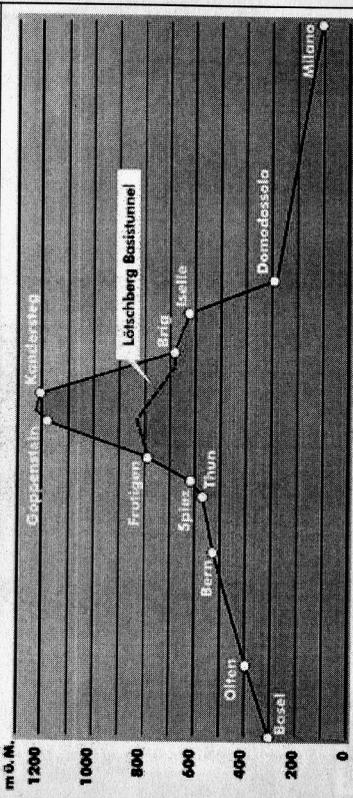
Gotthard Base-Tunnel Perfil Longitudinal



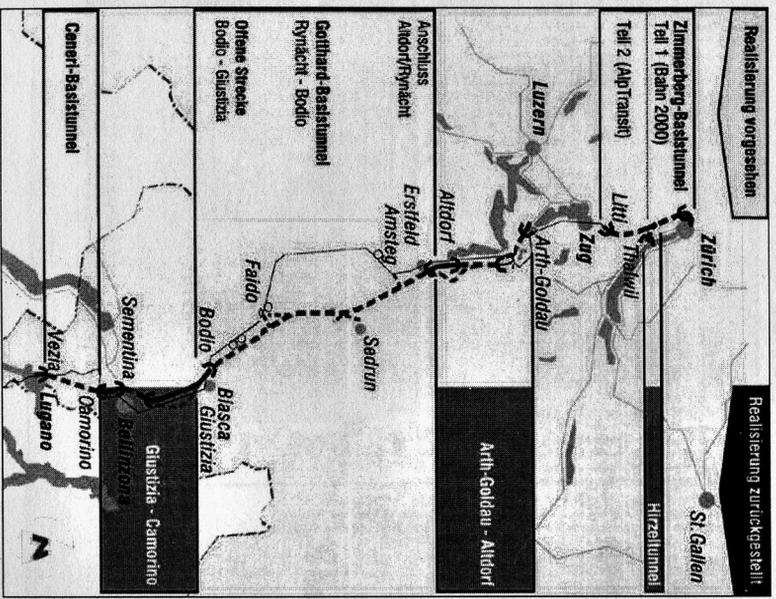
- Gotthard Base Tunnel



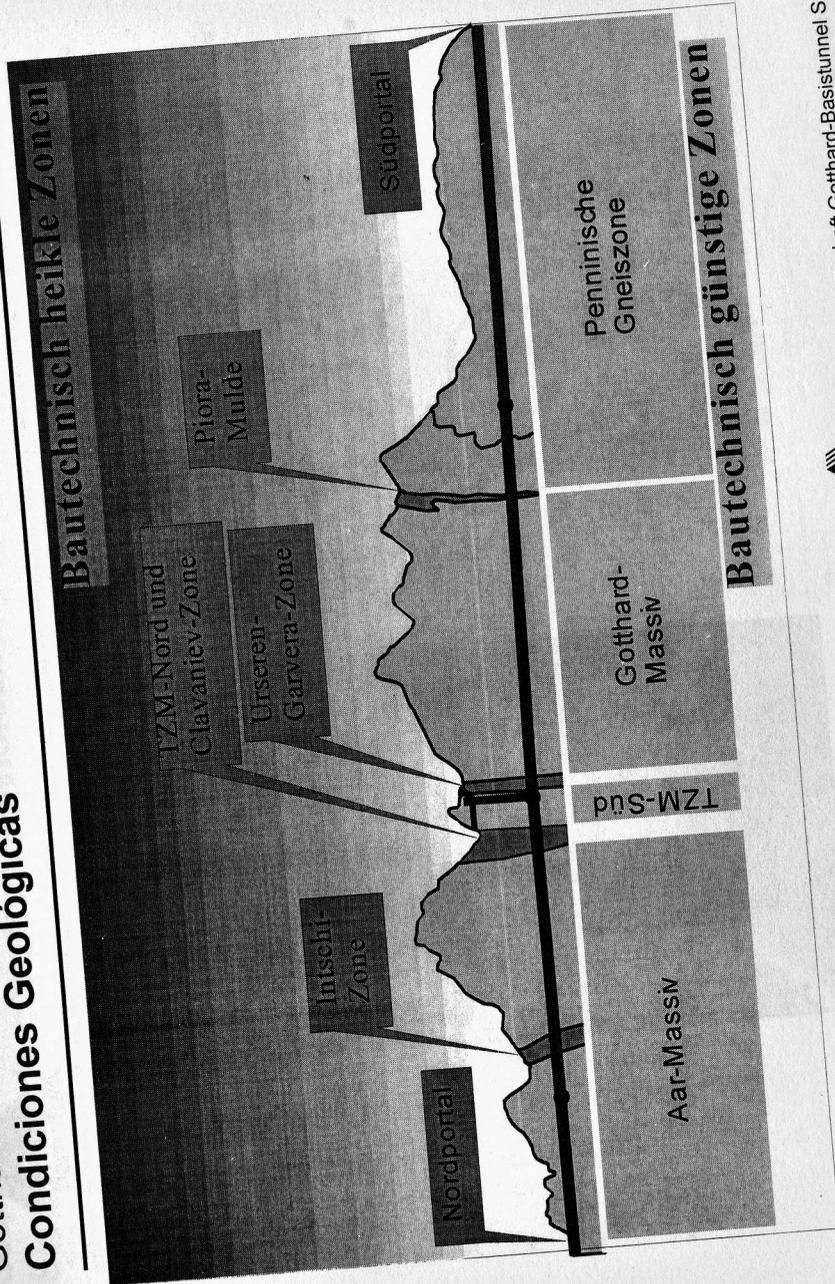
- Lötschberg Base Tunnel



Gotthard Base Tunnel Gotthard Axis



Gotthard Base - Tunnel Condiciones Geológicas

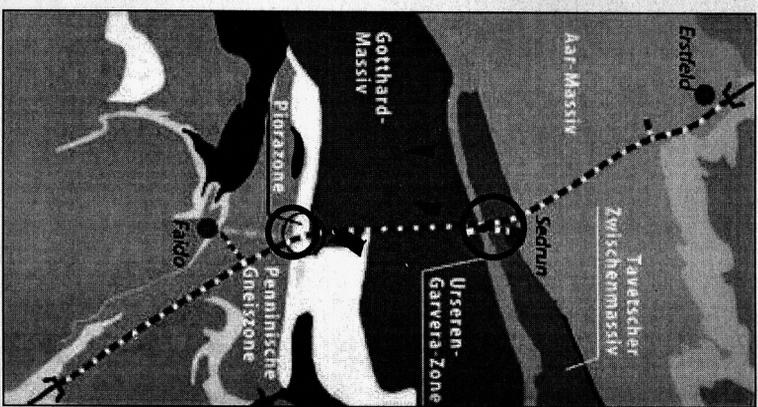


Gothard Base – Tunnel

Conditionantes para la construcción



- **Geología**
- **Presas**
- **Encampane**

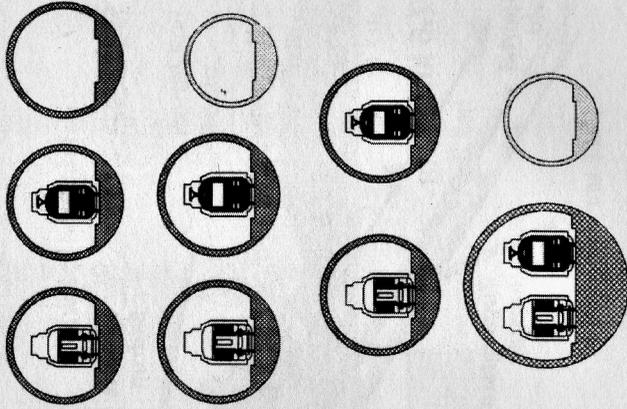


Gotthard-Basistunnel

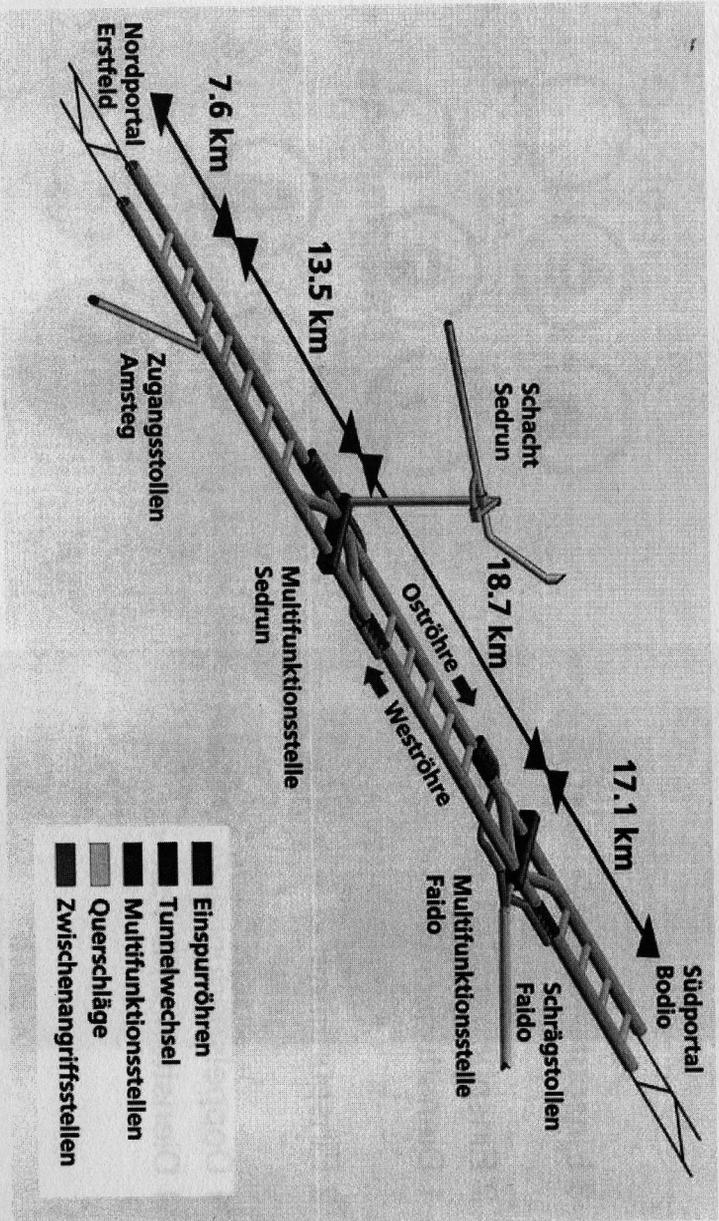
Sistemas de construcción



- 3 Einspurtunnel Ø 9.20 m
- 2 Einspurtunnel Ø 9.20 m
- 1 Dienststunnel Ø 7.00 m
- 2 Einspurtunnel Ø 9.20 m
- 1 Doppelspurtunnel Ø 12.30 m
- 1 Dienststunnel Ø 7.00 m

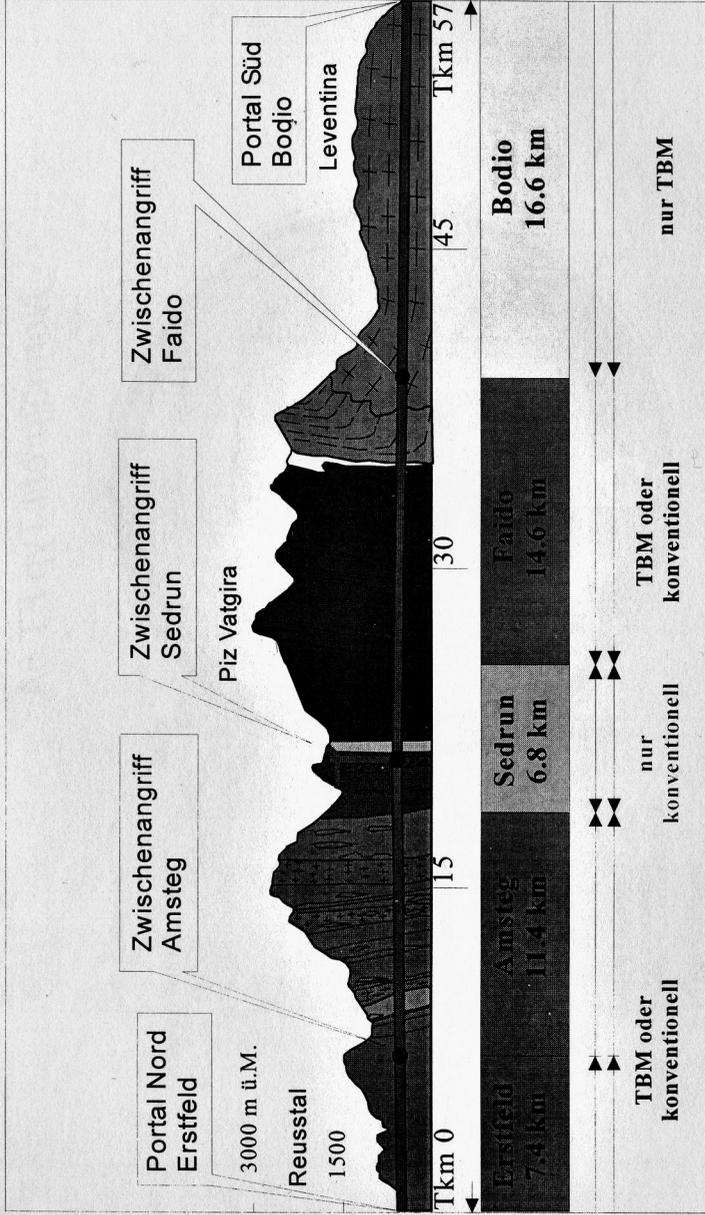


Gothard – Basistunnel Sistema interno del Tunnel



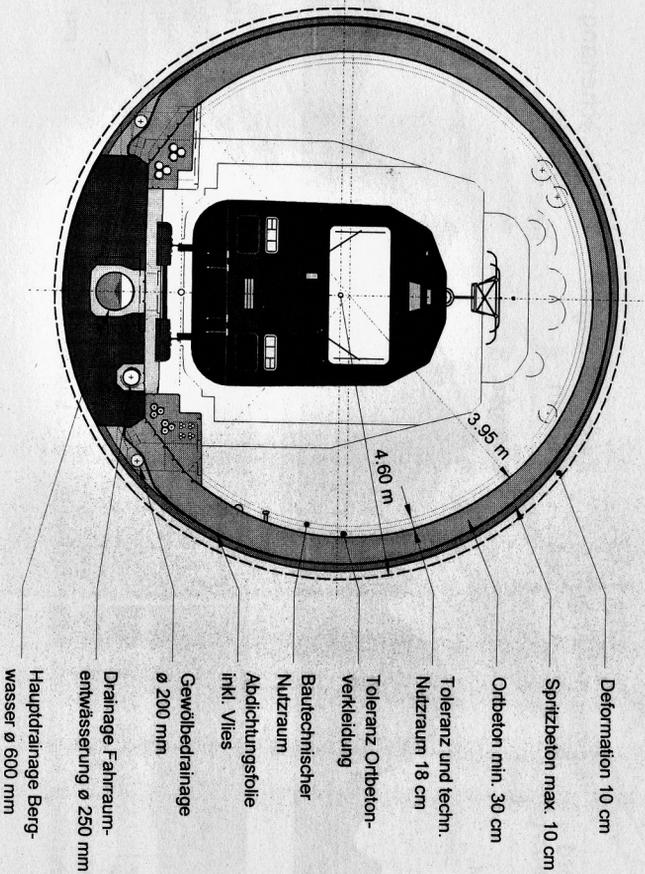
Gotthard Basistunnel

Métodos de Construcción por Segmentos

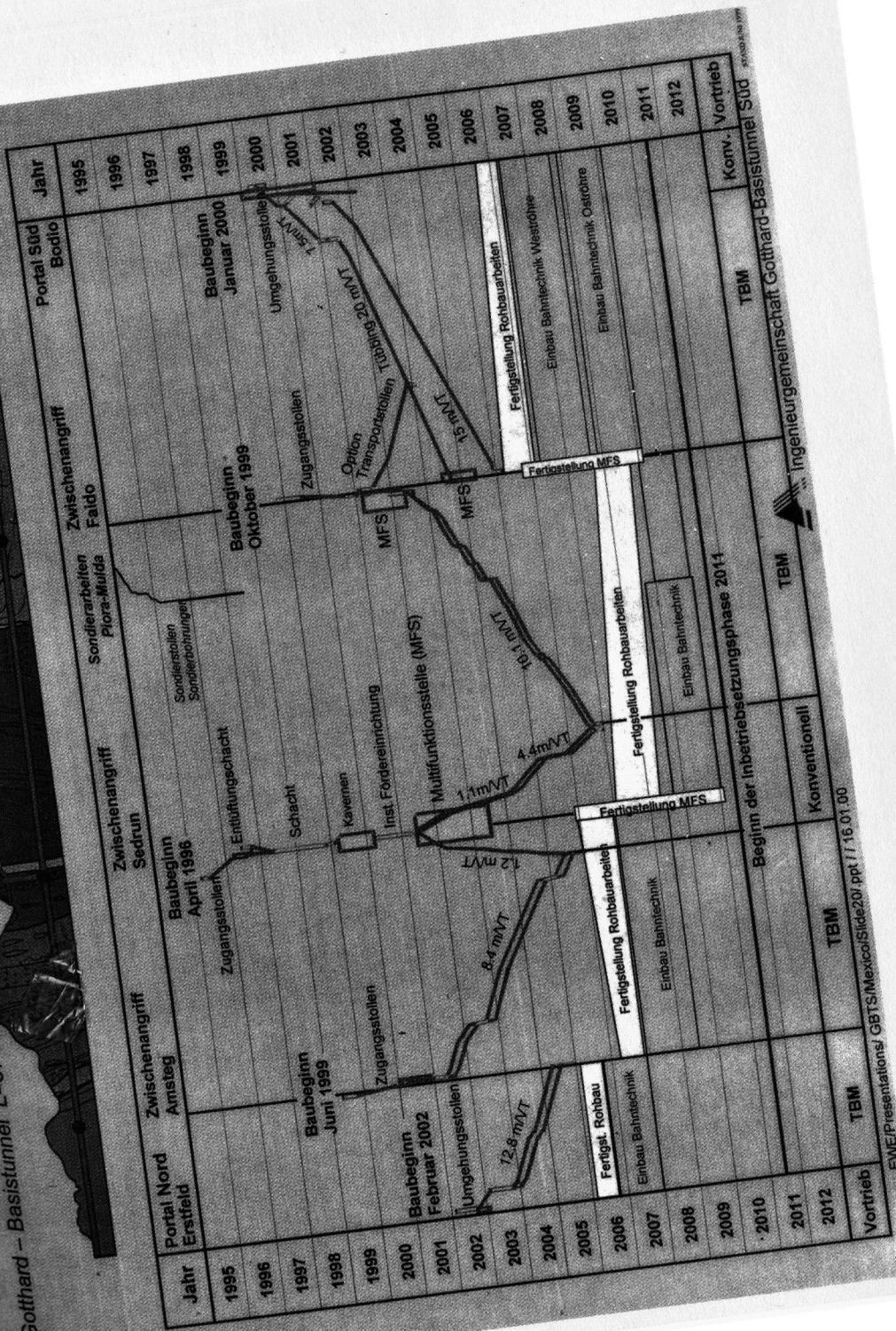


Gothard Basistunnel Perfil Normal

Normalprofil Typ FT 5A

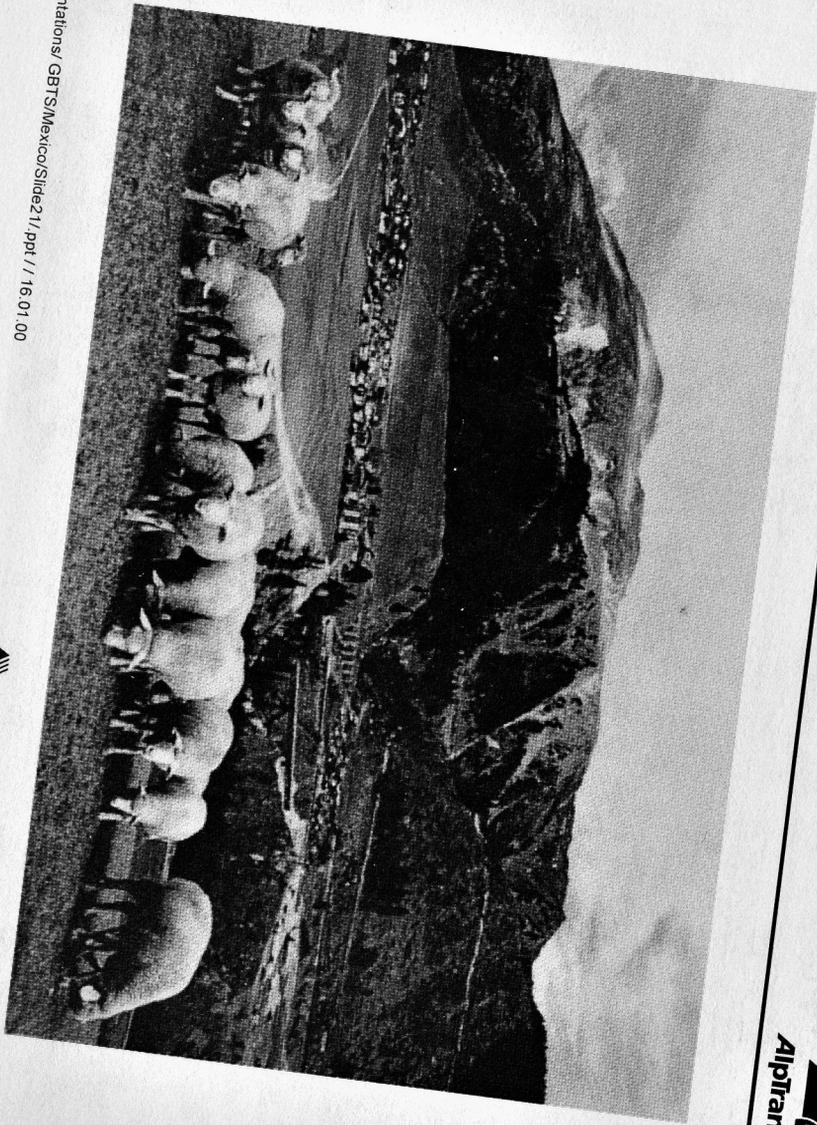


Gotthard – Basistunnel L=57 km



Jahr	Portal Nord Erstfeld	Zwischenangriff Amsteg	Zwischenangriff Sedrun	Zwischenangriff Faido	Portal Süd Bodö	Jahr
1995	Baubeginn Erstfeld	Baubeginn Amsteg April 1996	Baubeginn Sedrun April 1996	Sondierarbeiten Piora-Mulda	Baubeginn Bodö	1995
1996		Zugangsstollen	Entlüftungschacht	Sondierarbeiten Piora-Mulda		1996
1997			Schlacht	Sondierarbeiten Piora-Mulda		1997
1998			Kavernen	Sondierarbeiten Piora-Mulda		1998
1999		Baubeginn Juni 1999	Inst. Fördereinrichtung	Sondierarbeiten Piora-Mulda	Baubeginn Oktober 1999	1999
2000	Baubeginn Februar 2002	Zugangsstollen	Multifunktionsstelle (MFS)	Zugangsstollen	Umgehungsstollen	2000
2001	Umgehungsstollen			Option Transportstollen		2001
2002						2002
2003						2003
2004						2004
2005						2005
2006						2006
2007						2007
2008						2008
2009						2009
2010						2010
2011						2011
2012						2012
Vortrieb	TBM	TBM	Konventionell	TBM	TBM	Konv.
						Ingenieurgesellschaft Gotthard-Basistunnel Süd

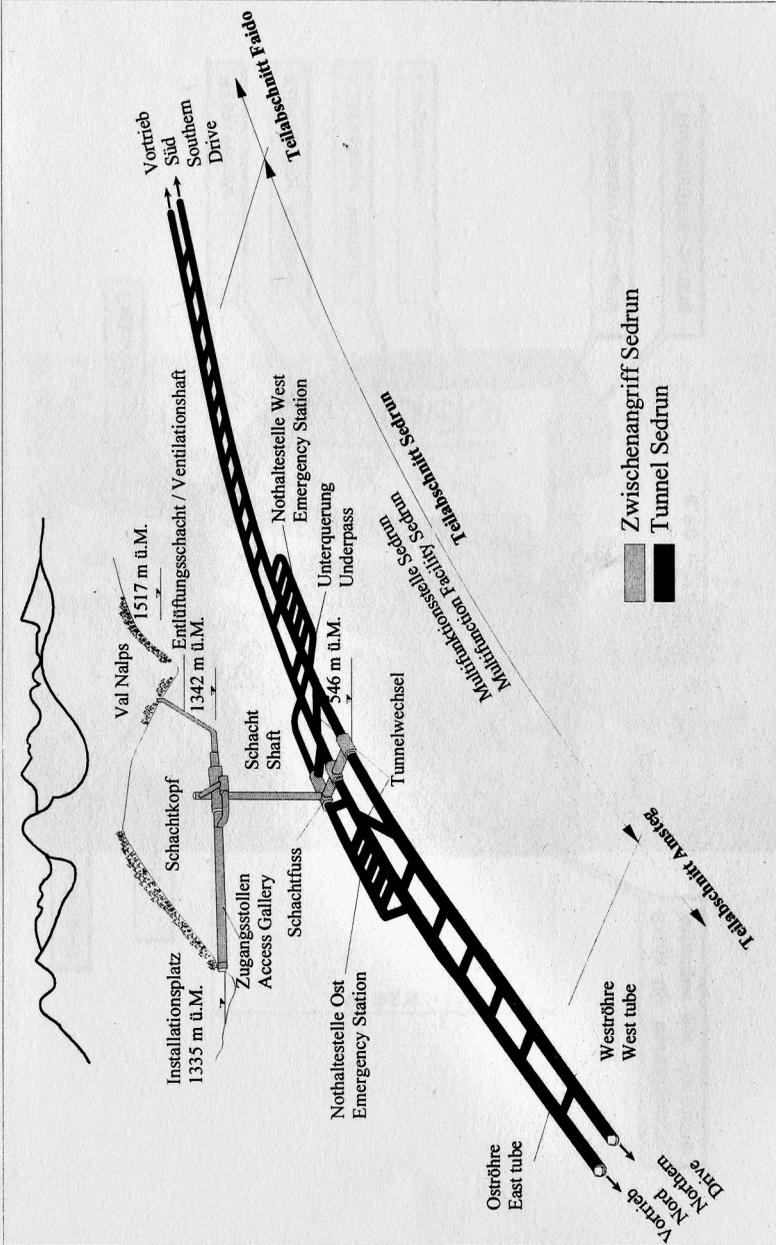
Gothard – Basisstunnel Teilabschnitt Sedrun



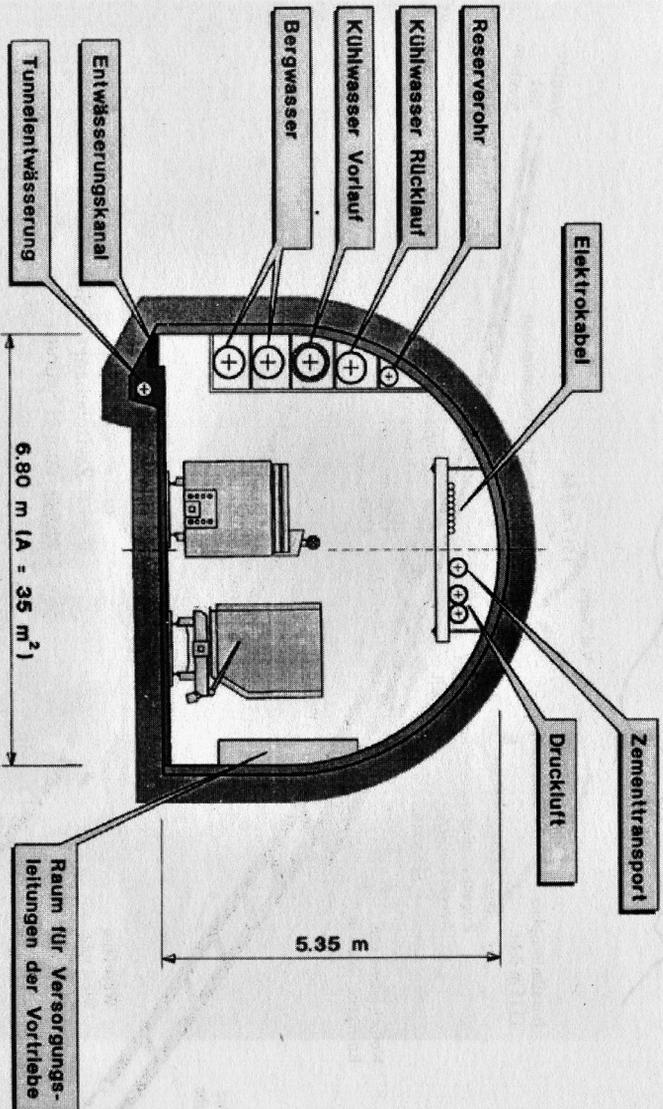
EWE/Presentations/ GRTS/Mexico/Slide21.ppt // 16.01.00



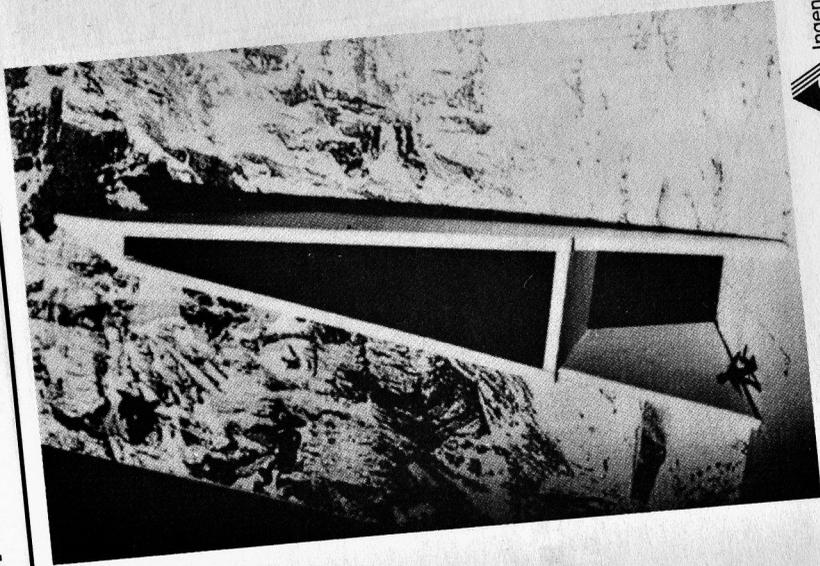
Gothard Base-Tunnel Tramo de Sedrun



Gothard-Basistunnel, Teilabschnitt Sedrun Tunnel de Acceso, Phase Baubetrieb Los 360

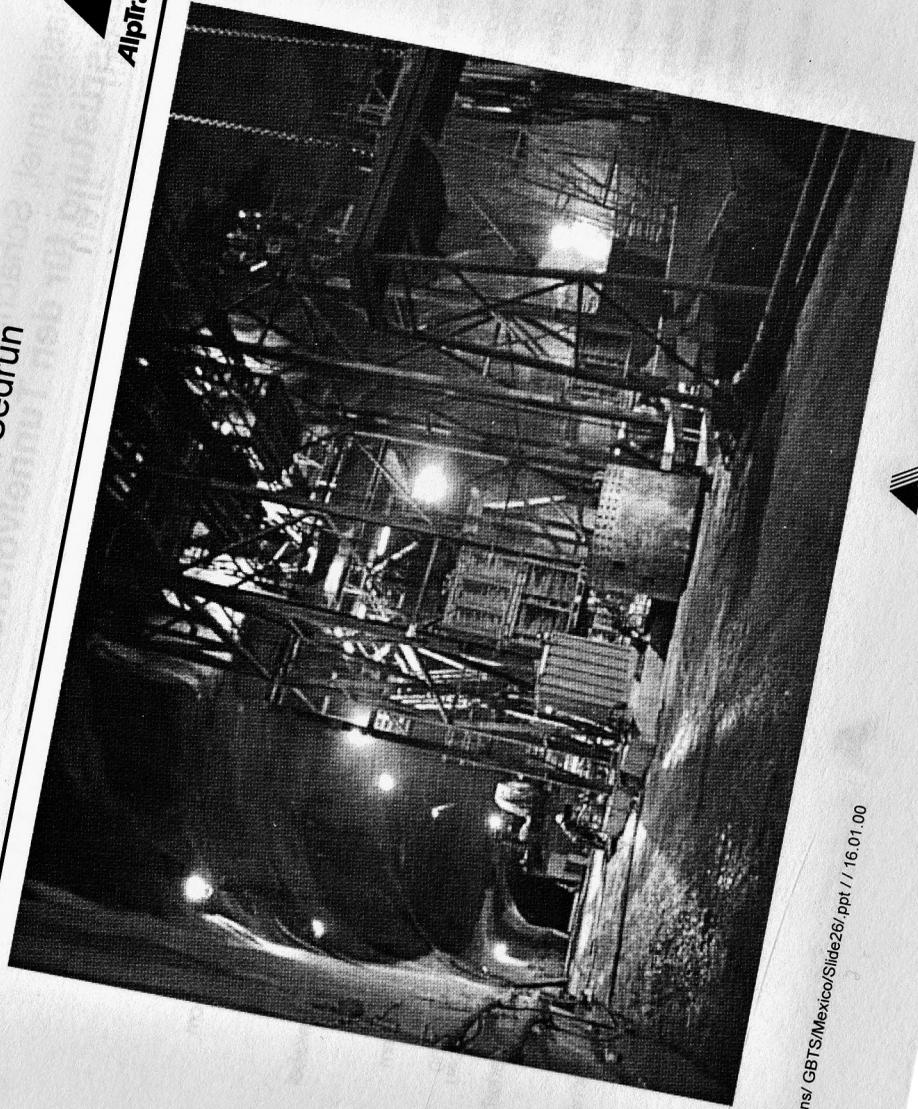


**Gotthard-Basistunnel, Teilabschnitt Sedrun
Obra de Salida del Tunel de Ventilación**

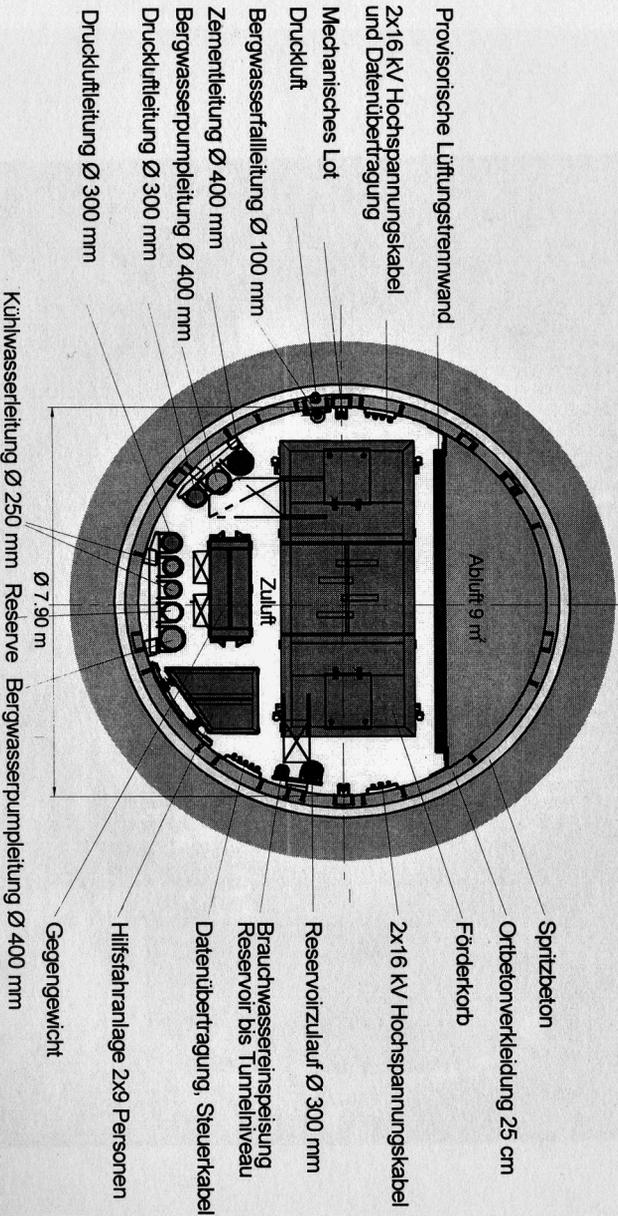


Ingenieurgesellschaft Gotthard-Basistunnel Süd

Gotthard – Basistunnel, Teilabschnitt Sedrun Cabeza del Pozo



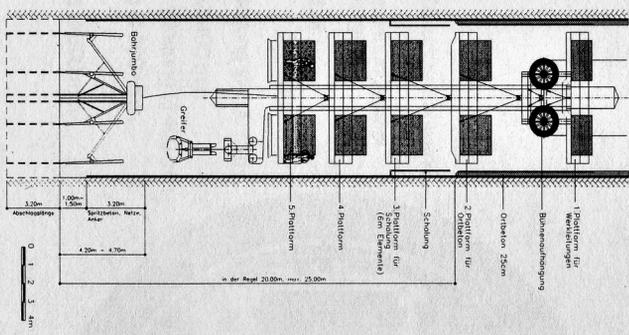
Gothard-Basistunnel, Schacht Sedrun Schachtausrüstung für den Tunnelvortrieb



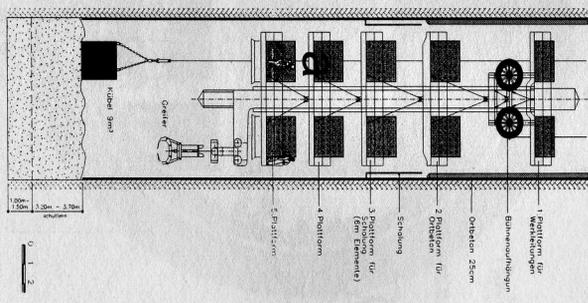
Gothard Basisstunnel, Schacht Sedrun Método de Construcción Utilizado



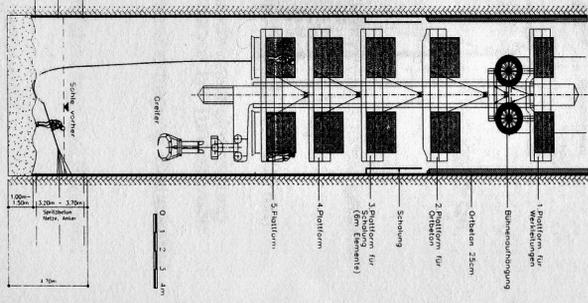
**Vertikalschnitt Schacht
Bauvorgang, Phase 1 "Bohren"**



**Vertikalschnitt Schacht
Bauvorgang, Phase 2 "Schüttern"**
(1. Schüttern)



**Vertikalschnitt Schacht
Bauvorgang, Phase 3 "Feissicherung"**
(Gegenspannen, Netz, Absperr)

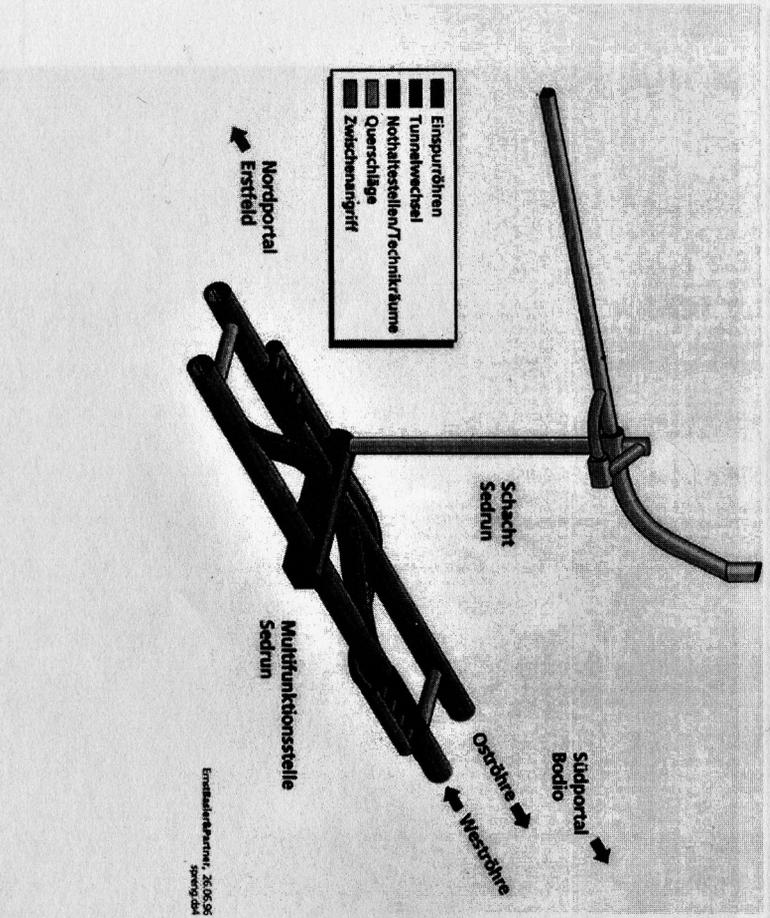


29
Gotthard – Basistunnel, Teilabschnitt Sedrun
Excavación del Pozo

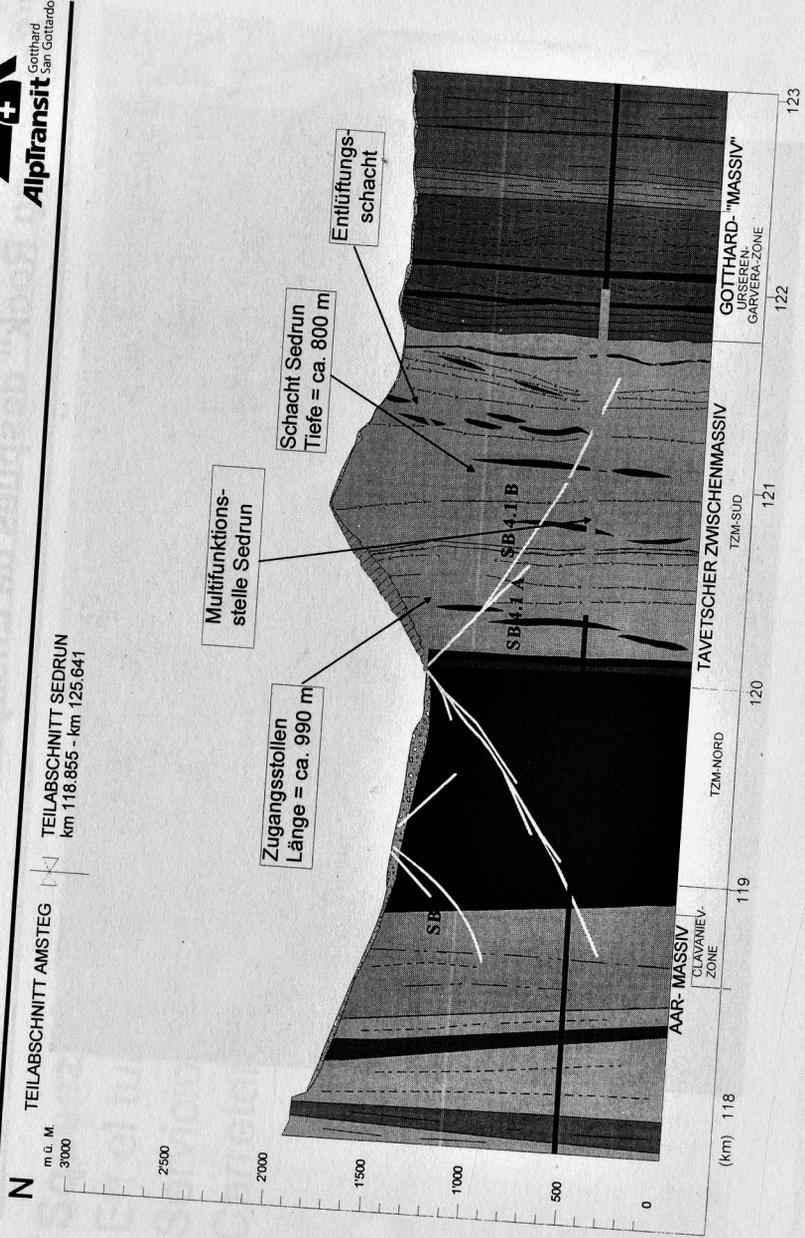


EWE/Presentations/ GBTS/Mexico/Slide30/.ppt / / 16.01.00

Gothard – Basistunnel Estación Multifuncional, Sedrun

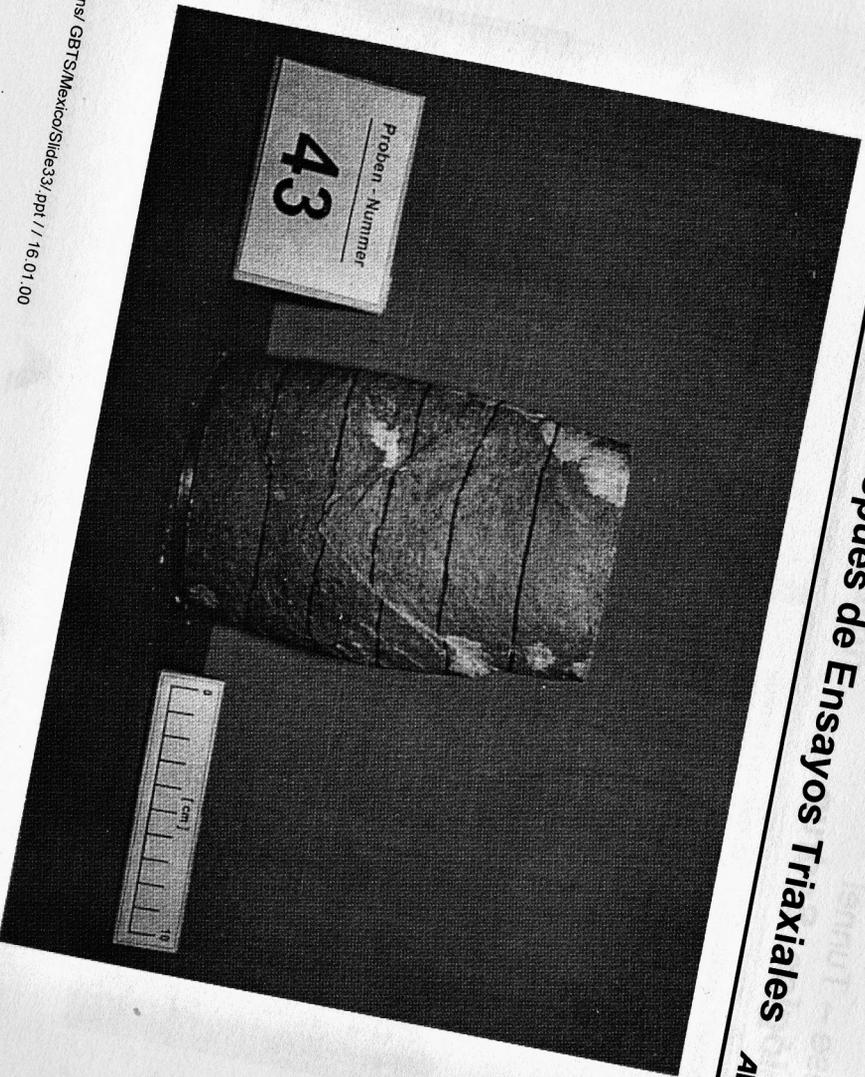


Gotthard Base – Tunnel Perfil Geológico, Sedrun



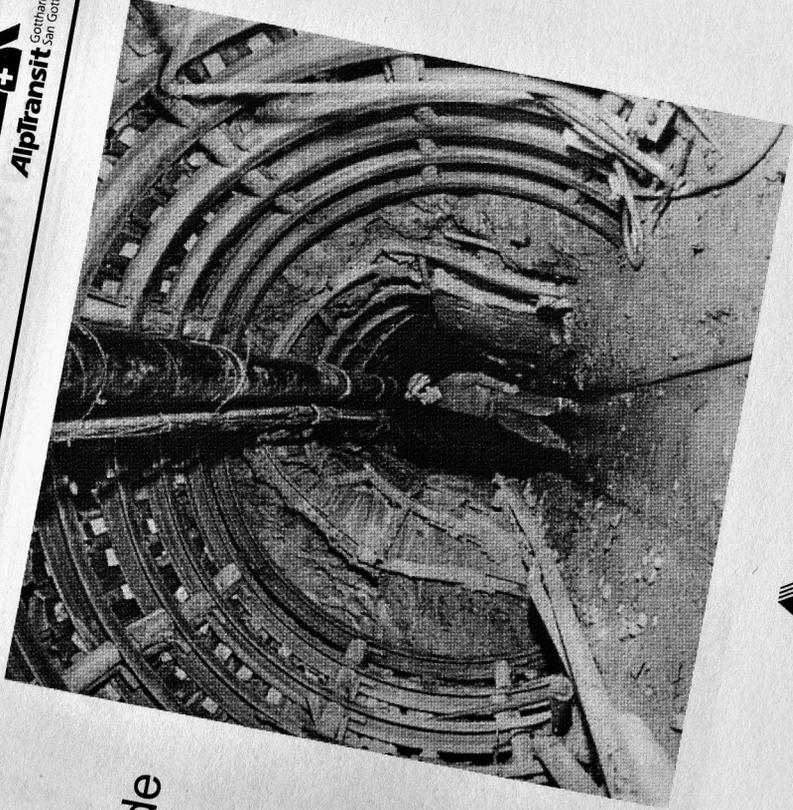
Gothard Base – Tunnel
“Squeezing Rock”

después de Ensayos Triaxiales



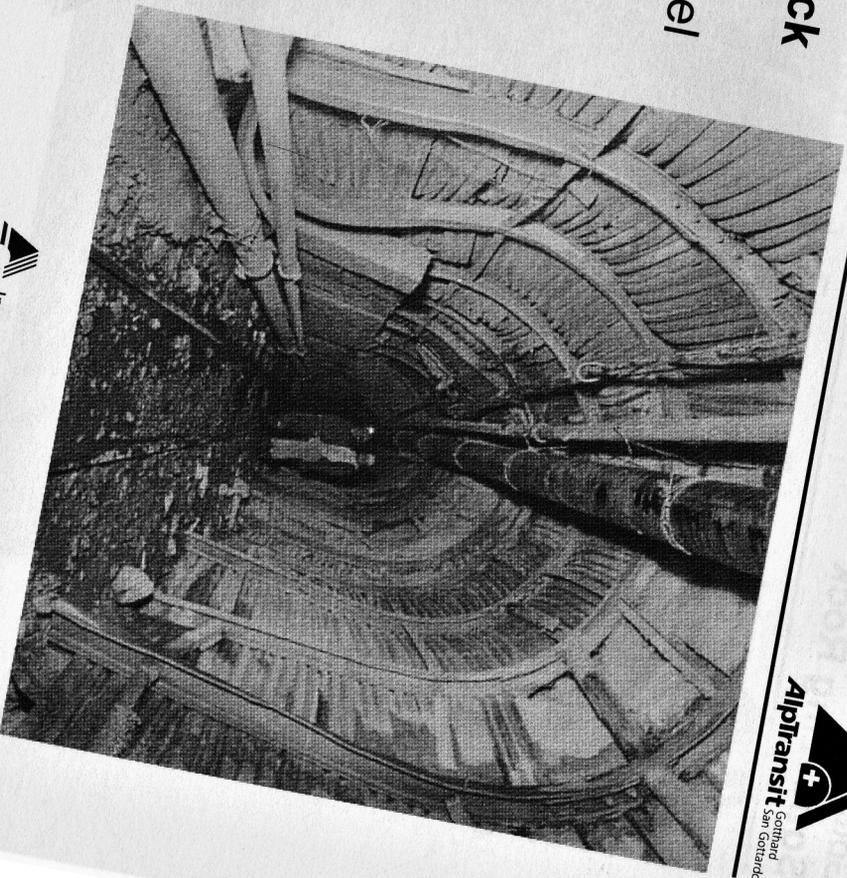
Gotthard Road-Tunnel Squeezing Rock

Squeezing Rock En el tunel de Servicio del Tunel de Carretera



Gotthard Road-Tunnel
Squeezing Rock

Squeezing Rock
En el tunel de
Servicio del Tunel
de Carretera



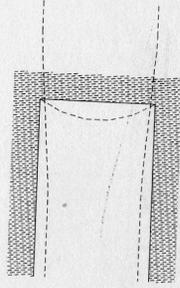
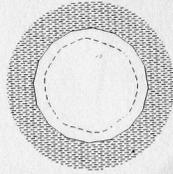
EWE/Presentations/GBTS/Mexico/Slide35/ppt/16.01.00

Gotthard Basistunnel Teilabschnitt Sedrun

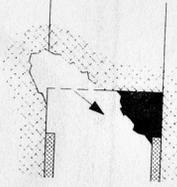
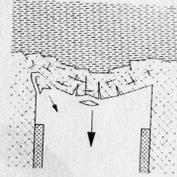


Probables areas de peligro

Plastische Deformationen, bzw. grosse Drücke



Plötzliche Instabilitäten in der Ortbrust



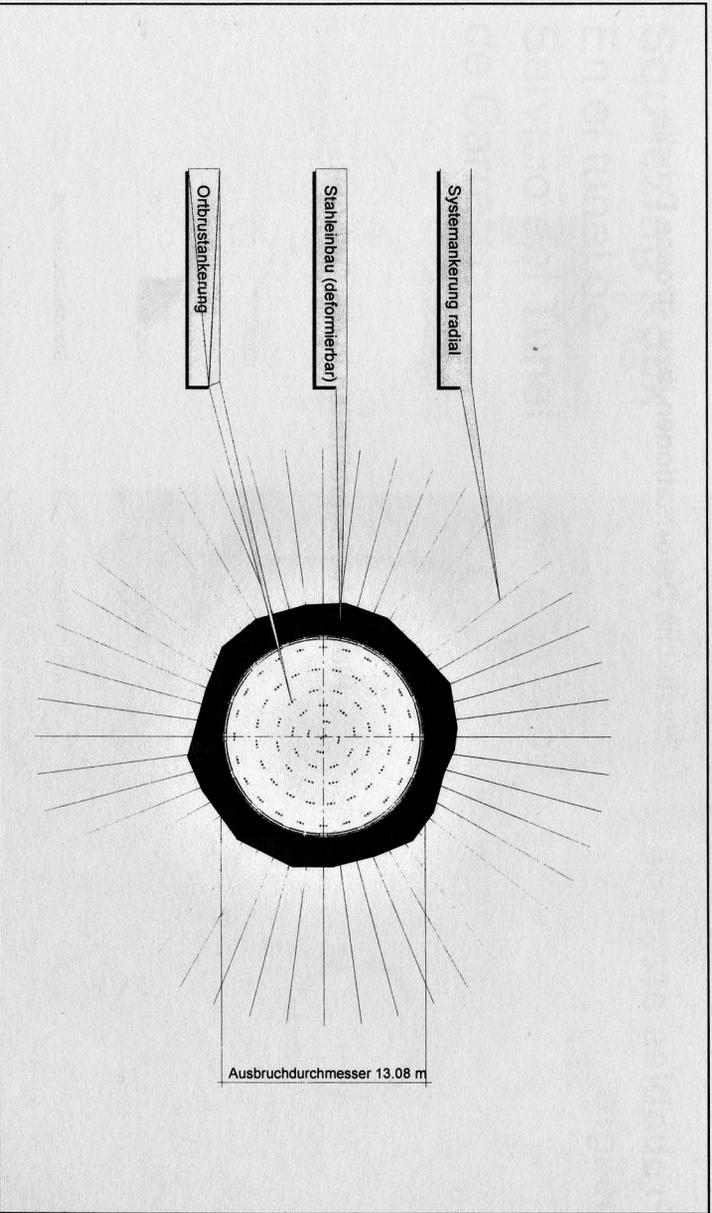
Druckhaftes Gebirge



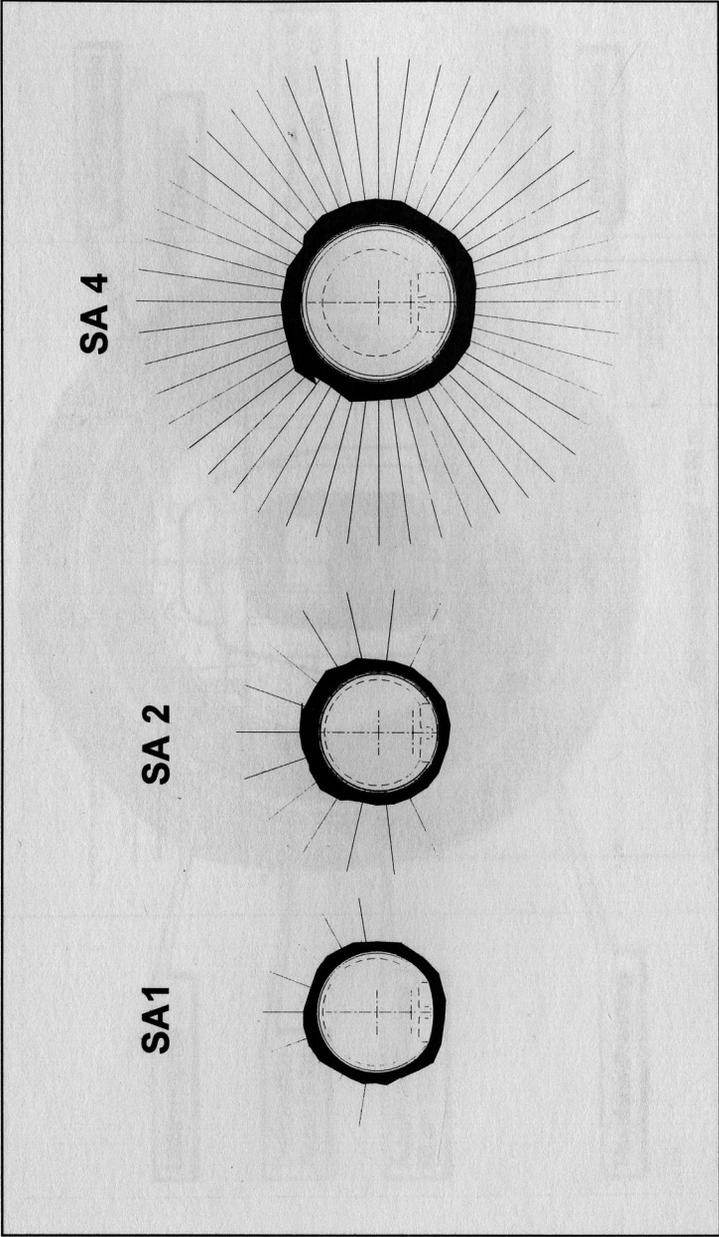
Standfestes Gebirge



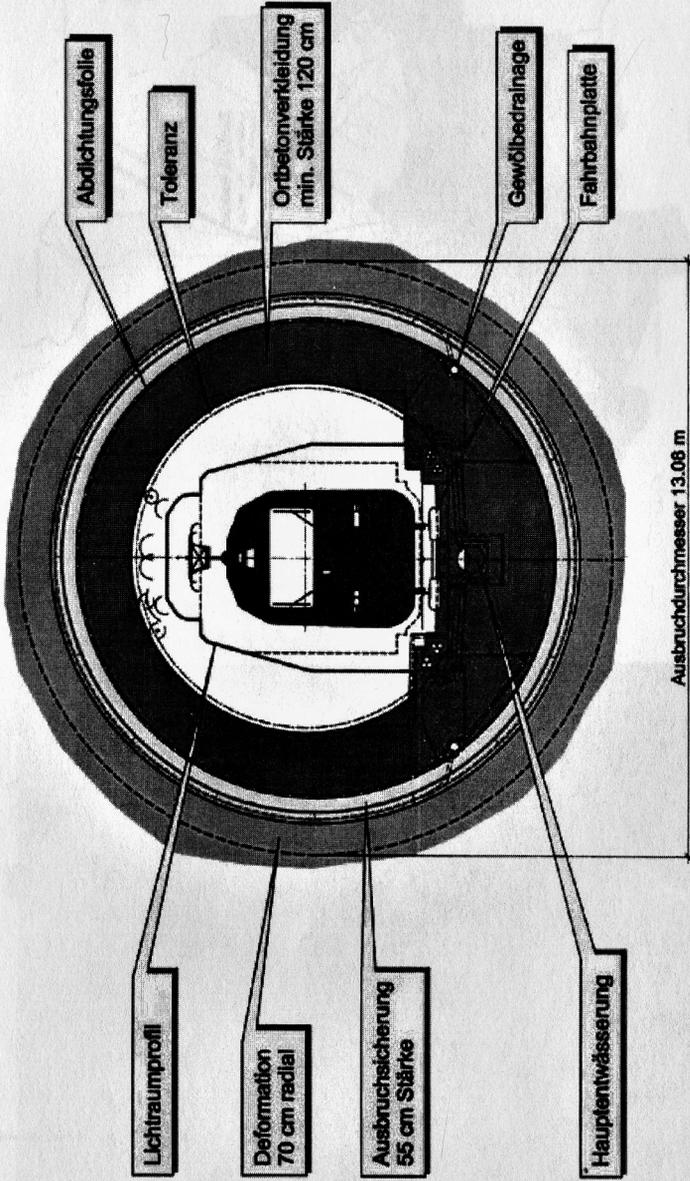
Gothard Basistunnel Tramo de Sedrun, Sopoorte



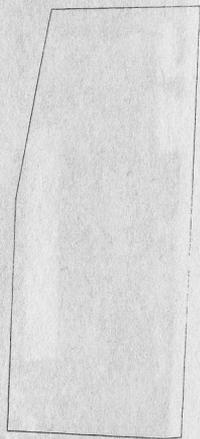
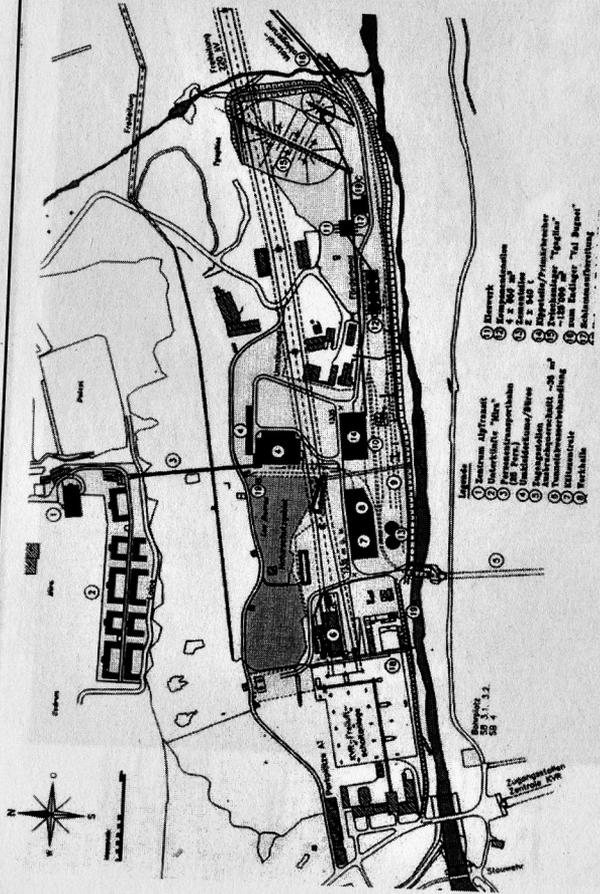
Gotthard Basistunnel Tunnel de Sedrun, Tipos de Soporte



Gotthard Basistunnel, Tunnel Sedrun Perfil Normal en zonas con Squeezing Rock



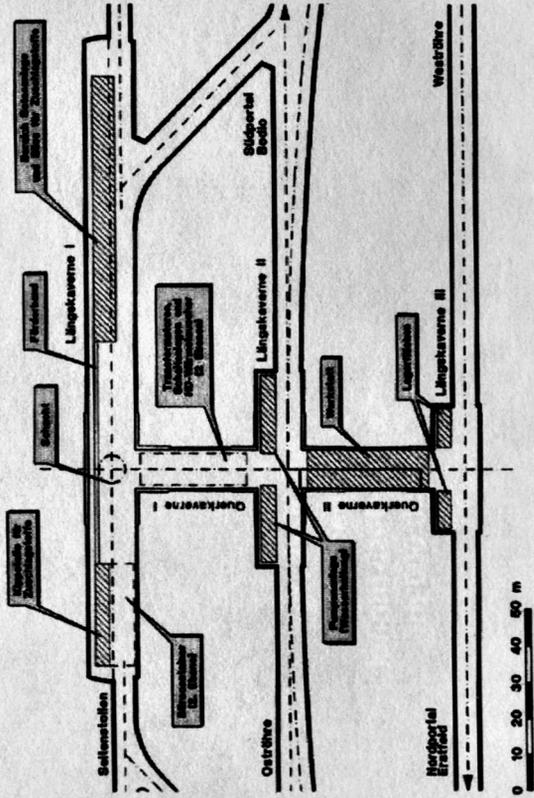
Gotthard Basistunnel, Teilabschnitt Sedrun Instalaciones Las Rueras



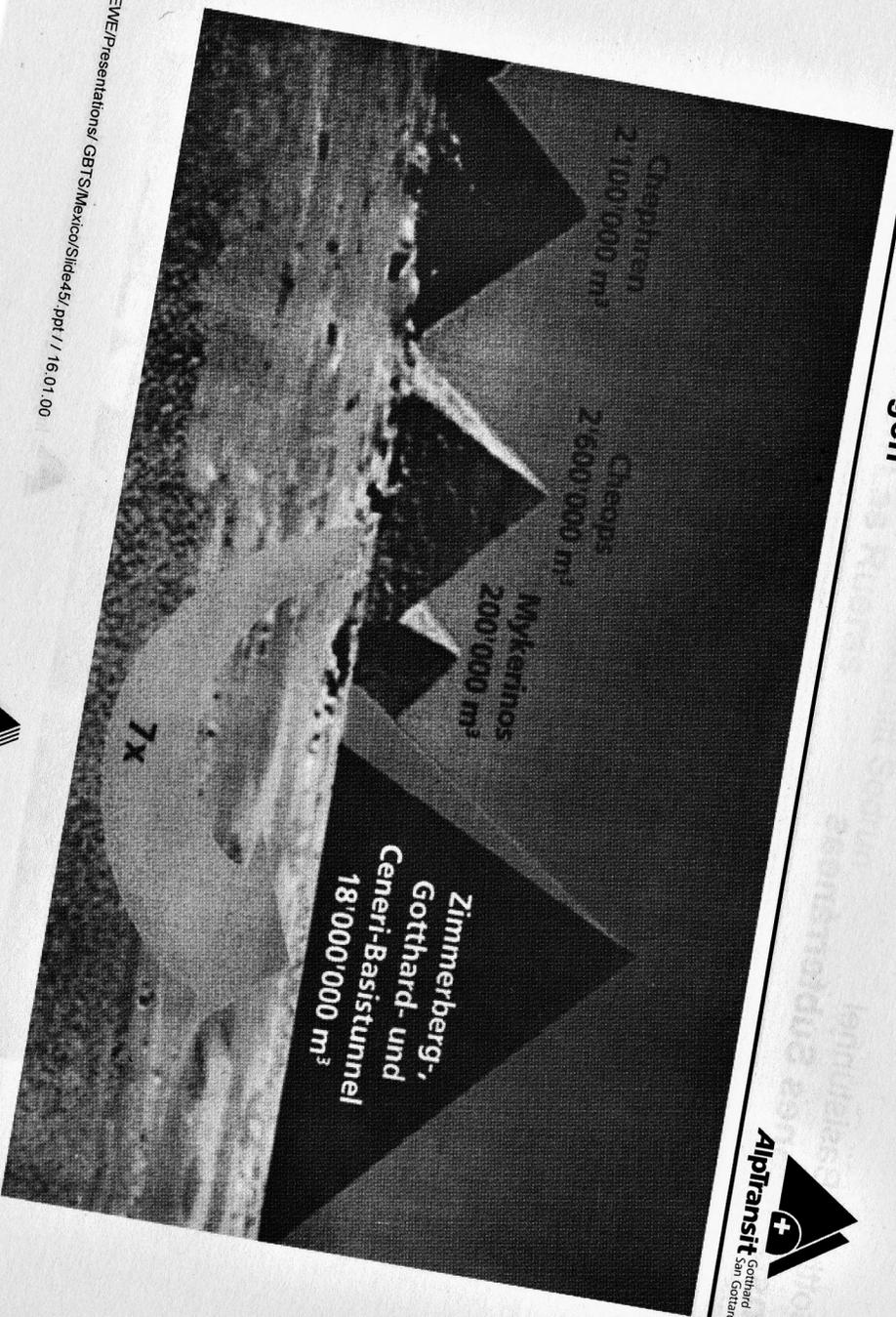
Gothard – Basistunnel, Teilabschnitt Sedrun Instalacionesen Las Rueras



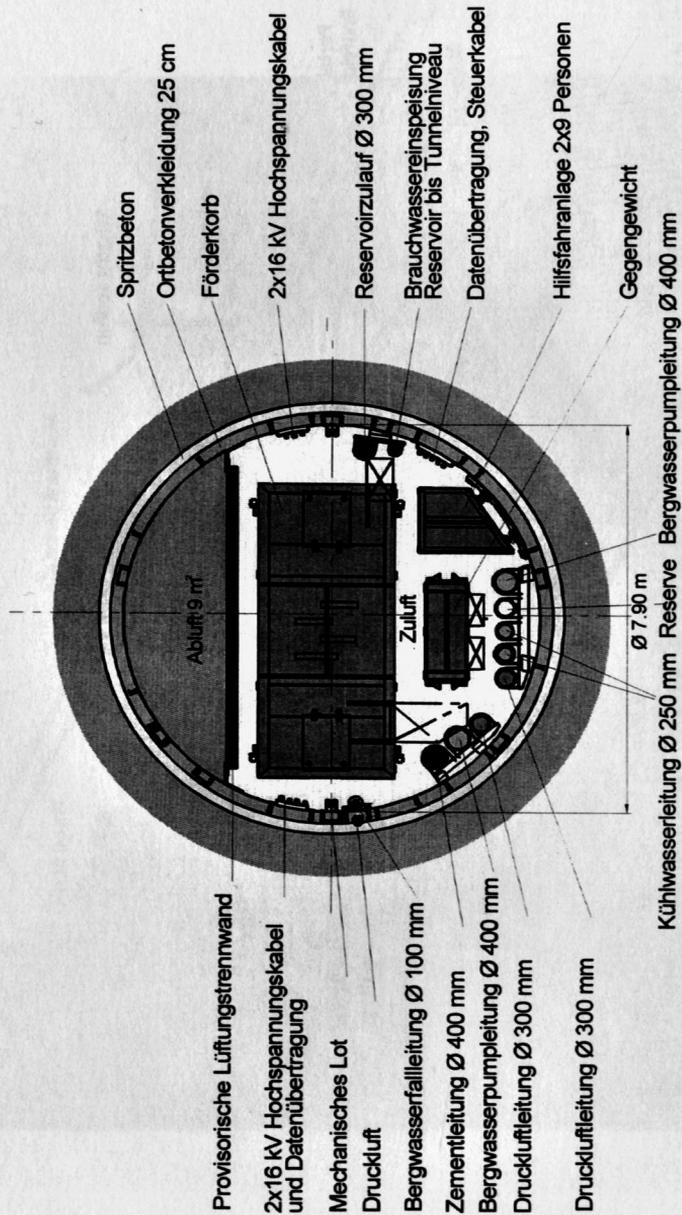
Gotthard Basistunnel Instalaciones Subterráneas



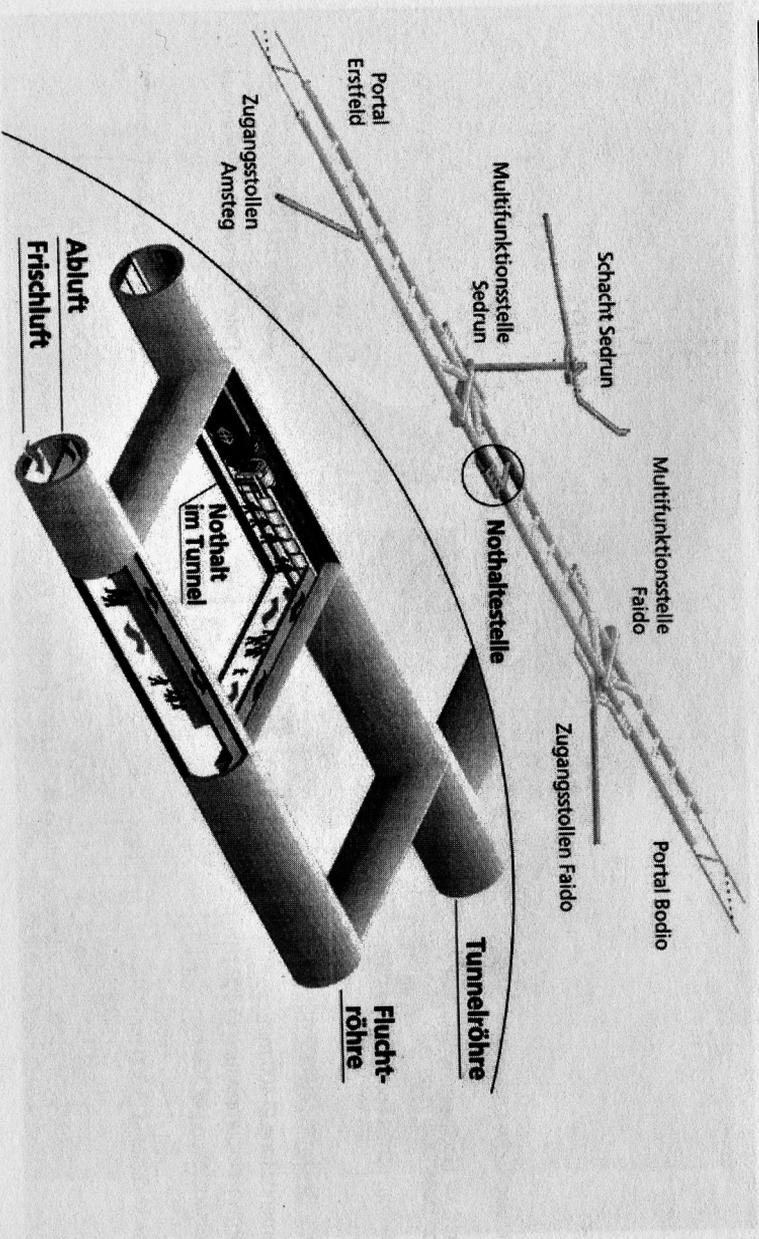
Gotthard Basistunnel Ausbruchmengen



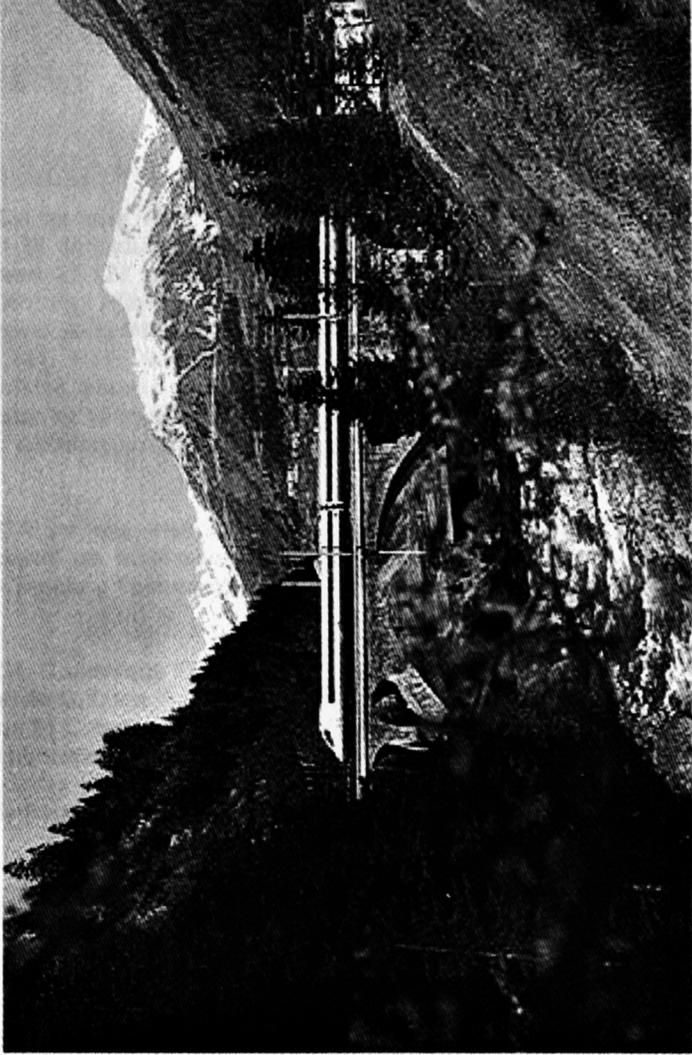
Gotthard Basistunnel, Schacht Sedrun Intalaciones en el Pozo



Gothard Basisstunnel, Teilabschnitt Sedrun Estación de Emergencia



Gotthard Basistunnel Pendolino en la Línea del Gotthard



Fundación ICA es una Asociación Civil constituida conforme a las leyes mexicanas el 26 de octubre de 1986, como se hace constar en la escritura pública número 21,127 pasada ante la fe del Lic. Eduardo Flores Castro Altamirano, Notario Público número 33 del Distrito Federal, inscrita en el Registro Público de la Propiedad en la sección de Personas Morales Civiles bajo folio 12,847. A fin de adecuar a las disposiciones legales vigentes los estatutos sociales, estos fueron modificados el 17 de octubre de 1994, como se hace constar en la escritura pública número 52,025 pasada ante la fe del Lic. Jorge A. Domínguez Martínez, Notario Público número 140 del Distrito Federal.

Fundación ICA es una institución científica y tecnológica inscrita en el registro Nacional de Instituciones Científicas y Tecnológicas del consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, con el número 99/213 del 13 de agosto de 1999.

Fundación ICA. Cuadernos FICA

Editor: Fernando O. Luna Rojas

Av. del Parque 91 Colonia Nápoles 03810 México, D.F.

Periodicidad bimestral

Certificado de Reserva de Derechos de Autor de la SEP:

04-199-031718492500-102

Certificado e Licitud de Título de la secretaría de Gobernación: 10745

Certificado de Licitud de Contenido de la Secretaría de Gobernación: 7428

Esta edición de "Material de desperdicio en la industria de la construcción: incidencia y control; y Gotthard base -tunnel. Un reto de 57 km. a través de los Alpes Suizos" se terminó en julio de 2000, se imprimieron dos mil ejemplares, cada ejemplar consta de 71 páginas, fue impreso en Lago Grada # 100 bis Colonia Anahuac, C.P. 11320 México, D.F. La edición estuvo al cuidado de Fernando O. Luna Rojas, Sergio Gallegos Cazares y Víctor Manuel Cervantes.

Comités del programa de becas de licenciatura en Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería de la UNAM.

M.C. Gerardo Ferrando Bravo
M. I. Gabriel Moreno Pecero
M. C. Salvador Landeros Ayala
M. I. Gilberto Sotelo Ávila
Ing. José Gaya Prado
Ing. Enrique César Valdés
Ing. Enrique Jiménez Espriú

Facultad de Ingeniería de la UAEM.

M.I. Ángel Albiter Rodríguez
M.I. Raúl Vera Noguel
Ing. Merced Torres Sánchez
Dr. Horacio Ramírez de Alba

División de Ciencias Básicas e Ingeniería de la UAM Azcapozalco.

M.C. Eduardo Campero Littlewood
Dr. Amador Terán Gilmore
Ing. Luis Antonio Rocha Chiu
Ing. Dante Alcántara García
Ing. Dario Guaycochea Guglielmi

Facultad de Ingeniería de la UAQuerétaro.

M. I. José de Jesús Hernández Espino
Ing. Gerardo René Serrano Gutiérrez
Ing. Jorge Martínez Carrillo

Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Zacatenco, IPN.

M. C. Pino Durán Escamilla
Ing. Felipe Márquez Quintero
Ing. Jorge Heinen Treviño
Arq. Rogelio Uriza Salgado

Facultad de Ingeniería Civil de la UMSNHgo.

Ing. Ernesto A. Nuñez Aguilar
Ing. David Hernández Hueramo
Ing. José Muñoz Chávez
Ing. Daniel Durand Flores

Facultad de Química de la UNAM.

Dr. Enrique Bazúa Rueda
I.Q. Mayo Martínez Kahn
I.Q. Federico Galdeano Biezobas
I.Q. Leticia Lozano Ríos
Q. Pilar Montagut Alvarado

Misión

**Contribuir al fortalecimiento científico y tecnológico
de la ingeniería mediante el impulso a la investigación,
a la preparación de técnicos de alto nivel y
al desarrollo tecnológico de México.**

**Av. del Parque 91 Col. Nápoles
03810 México, D.F.
5272 9991, 5272 9915, 5669 3985
extensiones 4000, 4001, 4079 y 4989
extensión – fax 4083**

**<http://www.fundacion-ica.org.mx>
[email:lunaf@fundacion-ica.org.mx](mailto:lunaf@fundacion-ica.org.mx)
[email:salazarg@ica.com.mx](mailto:salazarg@ica.com.mx)**