



CLAF  
Centro Latinoamericano de Física  
Rio de Janeiro  
Brasil

# LABORATORIO SUBTERRÁNEO ANDES

## Nuevo Estudio Conceptual



Informe Técnico

6198.0-R-01

 **Lombardi**

Minusio, Enero de 2015

|                |              |                  |                   |
|----------------|--------------|------------------|-------------------|
|                |              |                  |                   |
|                |              |                  |                   |
| -              | 16.01.2015   | Gub              | RL                |
| <b>Versión</b> | <b>Fecha</b> | <b>Redactado</b> | <b>Verificado</b> |

**Lombardi SA** Ingenieros Consultores  
 Via R. Simen 19, C.P. 1535, CH-6648 Minusio  
 Teléfono +41(0)91 735 31 00, Fax +41 (0)91 743 97 37  
[www.lombardi.ch](http://www.lombardi.ch), [info@lombardi.ch](mailto:info@lombardi.ch)

# ÍNDICE

|      |                                                |    |
|------|------------------------------------------------|----|
| 1.   | INTRODUCCIÓN                                   | 1  |
| 1.1  | Objeto                                         | 1  |
| 1.2  | Objetivo y alcance de la fase actual           | 1  |
| 2.   | BASES Y ANTECEDENTES                           | 3  |
| 2.1  | Documentos                                     | 3  |
| 2.2  | Ubicación                                      | 3  |
| 2.3  | Espacios                                       | 3  |
| 2.4  | Accesos y tránsito interno                     | 4  |
| 2.5  | Aprovisionamiento y conexiones                 | 5  |
| 2.6  | Ventilación                                    | 5  |
| 3.   | GEOLOGÍA Y GEOTÉCNICA                          | 6  |
| 3.1  | Contexto geológico                             | 6  |
| 3.2  | Encuadramiento tectónico                       | 6  |
| 3.3  | Características del macizo                     | 6  |
| 3.4  | Escenarios de riesgo potencial previstos       | 6  |
| 3.5  | Sismicidad                                     | 8  |
| 4.   | NUEVO ESQUEMA CONCEPTUAL                       | 9  |
| 4.1  | Análisis crítico antecedentes                  | 9  |
| 4.2  | Nueva disposición de los espacios              | 10 |
| 4.3  | Nueva geometría de las cavernas                | 10 |
| 4.4  | Concepto de conexión vial con el TAN           | 11 |
| 4.5  | Concepto de revestimiento                      | 11 |
| 4.6  | Concepto de impermeabilización                 | 12 |
| 4.7  | Concepto de drenaje y desagüe                  | 12 |
| 4.8  | Concepto de las instalaciones electromecánicas | 12 |
| 4.9  | Concepto de aprovisionamiento eléctrico        | 13 |
| 4.10 | Concepto de ventilación                        | 13 |

|     |                                          |    |
|-----|------------------------------------------|----|
| 5.  | VARIANTES PROPUESTAS                     | 15 |
| 5.1 | Variante 1: Lado Sur                     | 15 |
| 5.2 | Variante 2: Lado Norte                   | 16 |
| 5.3 | Variante 3: Lado Sur, frontera           | 17 |
| 5.4 | Variante 4: Lado Norte, frontera         | 17 |
| 5.5 | Variante 5: Lado Sur, mínima             | 18 |
| 5.6 | Variante 6: Lado Norte, mínima, frontera | 19 |
| 6.  | EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS                | 21 |
| 6.1 | Métodos de ejecución                     | 21 |
| 6.2 | Programa de trabajos                     | 21 |
| 7.  | ESTIMACIÓN CÓMPUTO Y COSTOS              | 23 |
| 7.1 | Generalidades                            | 23 |
| 7.2 | Condiciones e hipótesis de la estimación | 23 |
| 7.3 | Cómputo métrico y estimación costos      | 23 |
| 8.  | COMPARACIÓN DE LAS VARIANTES             | 25 |
| 8.1 | Ubicación                                | 25 |
| 8.2 | Acceso                                   | 25 |
| 8.3 | Funcionalidad Laboratorio                | 26 |
| 8.4 | Sinergías e interferencias con el TAN    | 26 |
| 8.5 | Ejecución                                | 26 |
| 8.6 | Costos                                   | 27 |
| 8.7 | Posible expansión futura                 | 27 |
| 9.  | CONCLUSIONES                             | 28 |

## ANEXOS

- A Secciones esquemáticas Laboratorio
  - A.1 Caverna principal y caverna secundaria
  - A.2 Pozo principal
  - A.3 Pozo secundario y otros espacios
- B Planimetrías esquemáticas
  - B.1 Variante 1
  - B.2 Variante 2
  - B.3 Variante 3
  - B.4 Variante 4
  - B.5 Variante 5
  - B.6 Variante 6
- C Secciones esquemáticas de los accesos
  - C.1 Variantes 1 y 2
  - C.2 Variantes 3 y 4
  - C.3 Variante 5
  - C.4 Variante 6
- D Esquemas ventilación
  - D.1 Variante 1
  - D.2 Variante 2
  - D.3 Variante 3
  - D.4 Variante 4
  - D.5 Variante 5
  - D.6 Variante 6
- E Tablas Cómputo métrico y estimación costos
  - E.1 Variantes 1 y 2
  - E.2 Variantes 3 y 4
  - E.3 Variante 5
  - E.4 Variante 6

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Objeto

El Laboratorio ANDES (Agua Negra Deep Experiment Site) es un laboratorio subterráneo cuya construcción está prevista en el ámbito de la realización del Túnel carretero de Agua Negra de interconexión internacional entre Argentina y Chile (TAN) (ver **Figura 1**). Una vez realizado, el Laboratorio será el primero y único laboratorio subterráneo del hemisferio Sur. Gracias a su alta cobertura de roca, sus espacios estarán protegidos de la radiación cósmica y ofrecerán las condiciones ideales para llevar a cabo numerosos experimentos científicos, tanto latinoamericanos como internacionales, en diferentes temas específicos.



Figura 1: Ubicación del proyecto

## 1.2 Objetivo y alcance de la fase actual

Lombardi SA ha sido contratada por el Centro Latinoamericano de Física (CLAF) para realizar un Nuevo Estudio Conceptual (NEC) de las obras subterráneas del Laboratorio.

El Objetivo del NEC es la actualización y la optimización del concepto existente para el Laboratorio, de manera que pueda ser integrado en el proyecto actual del Túnel y realizado durante su construcción.

El alcance del NEC ha sido consensuado el 29 de Octubre de 2014 en la Ciudad de Buenos Aires, en una reunión entre representantes de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y de Lombardi SA Ingenieros Consultores (Lombardi), fijando los siguientes puntos como marco de referencia:

- Lombardi propondrá, en función de los antecedentes disponibles y luego de la entrega de las Respuestas al Memo LO/28.10.2014 por parte del CLAF, un nuevo Esquema conceptual factible de ANDES, como variante al esquema actual.
- El Nuevo Estudio Conceptual se desarrollará considerando la completa integración de ANDES al Proyecto actual del TAN, contemplando en su elaboración las fases de Proyecto, Construcción y Operación de todo el conjunto “Sistema Túnel - Laboratorio”.
- El Nuevo Estudio Conceptual considerará la construcción de ANDES durante la construcción del TAN. Es decir, no se considerará un escenario con construcción de ANDES luego de la Puesta en Servicio del TAN.
- El Nuevo Estudio Conceptual considerará la ubicación de ANDES en las proximidades de la Central de Ventilación Oeste del TAN. Si ésta Central debiera ser desplazada por las condiciones del macizo encontradas durante la ejecución, ANDES seguiría este desplazamiento como consecuencia.
- El Nuevo Estudio Conceptual planteará accesos de personas y vehículos medianos (autos/ambulancia) independientes. Es decir, durante la Operación del Laboratorio ANDES se contará con un acceso del Lado Chileno y otro del Lado Argentino.
- El transporte mediante camiones de instrumentos y equipos de gran volumen durante la Operación se realizará sólo del Lado que corresponda, según la ubicación final del Laboratorio. Es decir: si ANDES está ubicado al Sur del Túnel el acceso de camiones se realizará desde el Túnel Sur (Chile → Argentina); pero si ANDES está ubicado al Norte del Túnel dicho acceso se realizará desde el Túnel Norte (Argentina → Chile).
- Lombardi indicará, en base a su experiencia y a las características de ANDES y del TAN, los parámetros y las normas de la Ventilación que hayan sido considerados para el desarrollo del Nuevo Estudio Conceptual.
- Lombardi propondrá, en base a los datos recibidos, a su experiencia y a las características de ANDES y del TAN, las secciones típicas útiles para el alojamiento de los equipos del Laboratorio, para la circulación y que resultaren del Nuevo Estudio Conceptual.
- Lombardi, en base a la geometría integral resultante del Nuevo Estudio Conceptual, sin adentrarse aún en consideraciones geomecánicas, computará en forma aproximada las cantidades de excavación y componentes del sostenimiento y eventualmente del revestimiento. Esto permitirá estimar el costo aproximado ( $\pm 30\%$ ) de las obras correspondientes.

## 2. BASES Y ANTECEDENTES

### 2.1 Documentos

Los antecedentes considerados en el Nuevo Estudio Conceptual son los siguientes:

- [1] Obra Civil del Laboratorio ANDES en el Túnel Agua Negra, documento y planos,
- [2] Assessment of the Civil Plan for the Andes Lab, Tony Noble, Queen's University, Canada, 02.2014,
- [3] Informes y Planos del dossier de la Ingeniería Básica de Anteproyecto del Túnel Agua Negra, Lombardi SA, Minusio, Suiza, 15.12.2013 y 20.10.2014,
- [4] Propuesta técnica-económica para el Nuevo Estudio Conceptual del Laboratorio ANDES situado en el Túnel Agua Negra de interconexión internacional entre Argentina y Chile, Lombardi SA, Minusio, Suiza, 12.11.2014,
- [5] Respuestas elaboradas por la coordinación del proyecto ANDES al Memo de Lombardi SA LO/28.10.2014, Ref: INF/14-012, Bariloche, Argentina 24.11.2014,
- [6] Mail coordinador del Lab. Andes: X. Bertou, "Comentario después de la VC 09/12, 11.12.2014.

### 2.2 Ubicación

El emplazamiento del Laboratorio está dictado principalmente por las necesidades de tener la mayor cobertura posible de roca para proteger el Laboratorio de la radiación cósmica. Según [5] se considera necesario tener un mínimo de 1'500 m de roca de cobertura para mantener el Laboratorio Andes en la lista de los laboratorios capaces de recibir experimentos de materia oscura de tercera generación. Tener más de 1'700 m se considera muy conveniente. El emplazamiento será además condicionado por las características del macizo que deberán permitir la realización y la estabilidad de las cavernas previstas.

Considerado el carácter binacional del proyecto, se analizará además la posibilidad de ubicar el Laboratorio en el límite territorial entre Argentina y Chile.

### 2.3 Espacios

Según el concepto existente [1] el Laboratorio se compone de los siguientes espacios subterráneos principales:

- **Una caverna principal** con espacio libre interno de 21 m de ancho, 23 m de alto y 42 m de largo situada en la parte central del Laboratorio, donde se llevaran a cabo los experimentos. En la solera se deberá prever una cubeta de retención con un volumen de 500 m<sup>3</sup> para contener un eventual derrame de líquidos [5],
- **Un pozo principal** con 30 m de diámetro y 42 m de alto, donde se llevaran a cabo los experimentos de gran tamaño. El pozo estará conectado al Laboratorio con un acceso superior

(a una altura de 30 m respecto al fondo del pozo) y con un acceso al fondo del pozo. Según [6], se considera posible reducir la altura del techo hasta 8 m en lugar de 12 m,

- **Una caverna de servicios** con espacio libre interno de 16 m de ancho, 14 m de alto y 32 m de largo, donde se albergarán los equipos de servicios para el Laboratorio como:
  - Equipos de ventilación
  - Equipos de aire acondicionado
  - Equipos de alimentación, generador y baterías
  - Tanque almacenamiento y planta de tratamiento de agua y efluentes
  - Centro de almacenamiento y procesamiento datos
  - Centro de comunicaciones
  - Alimentación de servicios básicos para experimentos; aire comprimido, agua, datos, comunicaciones
  - Botiquín médico equipado para atención en caso de accidente laboral o mal de altura
  - Sistema de control de incendio
- **Un pozo secundario** con 9 m de diámetro y 15 m de profundidad, dedicado a mediciones en entornos de muy baja radiación,
- **3 Cavernas secundarias** con dimensiones 10 m x 10 m x 10 m, que proveerán espacio para experimentos de tamaño menor, oficinas e instalaciones secundarias.

En base a las recomendaciones del informe [2] se consideran además necesarios los siguientes espacios adicionales:

- **Una sala de emergencia** que sirva además como comedor, sala reunión y zona de descanso, para el personal activo en el Laboratorio, ubicada en una caverna separada en proximidad de las salidas del Laboratorio,
- **Una sala técnica** externa al área sensible del Laboratorio, fácilmente accesible, donde instalar las instalaciones ruidosas o que necesitan mantenimiento frecuente (transformadores, compresores de aire, generadores, etc.) y que sirva además como taller para trabajos de soldadura o similares.

## 2.4 Accesos y tránsito interno

Para el acceso y la salida hacia/desde el Laboratorio así como para el tránsito interno y las comunicación entre los distintos espacios se consideran los siguientes elementos:

- Un túnel de acceso y salida principal desde/hacia el Túnel carretero adyacente con un gálibo para el tránsito de vehículos de 3.50 m de ancho por 4.50 m de alto, que permita el tránsito de los camiones con contenedor marítimo de hasta 40 pies [5],
- Un eventual túnel secundario para acceso y salida desde/hacia el Túnel carretero opuesto, que permita el tránsito de vehículos livianos (autos, vehículos de emergencia),

- Una interconexión entre los distintos espacios del Laboratorio con una sección típica que permita el tránsito de los camiones para el transporte de los componentes y asegure al mismo tiempo el espacio para los conductos de ventilación, las bandejas cables, los conductos hídricos y el tránsito peatonal,
- Un acceso al fondo del pozo con pendiente máxima del 10-15% [5], que facilite los trabajos de excavación del pozo y asegure un acceso durante la fase de operación del Laboratorio.

## **2.5 Aprovevisionamiento y conexiones**

Para el funcionamiento del Laboratorio se consideran necesarios los siguientes aprovisionamientos/conexiones:

- Una conexión eléctrica que asegure una potencia máxima total para el Laboratorio de aproximadamente 2 MW [1],
- Una conexión hídrica que garantice el aprovisionamiento de agua para los experimentos y para el uso del personal estimado en algunos litros por segundo. El agua potable será provista mediante garrafas de agua,
- Un conexión de fibra óptica redundante hacia los dos portales del Túnel, para la transmisión de datos,
- Una conexión al sistema de comunicación del Túnel, que asegure en todo momento la comunicación y la coordinación entre el Laboratorio Andes y el Túnel Agua Negra.

## **2.6 Ventilación**

Según [1] el sistema de ventilación deberá mantener el Laboratorio con bajos niveles de radón mediante una recirculación de aire por un sistema de filtro. El valor mínimo requerido es de un recambio del volumen total de aire del Laboratorio por hora. Este valor se pone en duda en el informe [2], que recomienda verificar ese aspecto y aconseja prever un recambio más importante con un aporte de aire fresco proveniente del externo.

Según [5] la ventilación deberá ser dimensionada de manera que los niveles de radón en el Laboratorio sean inferiores a  $15 \text{ Bq/m}^3$  (caso ideal) o  $150 \text{ Bq/m}^3$  (requerimiento mínimo).

El informe [2] aconseja además prever un sistema de evacuación para los eventuales gases tóxicos provenientes del Laboratorio.

### 3. GEOLOGÍA Y GEOTÉCNICA

#### 3.1 Contexto geológico

Las obras subterráneas del Laboratorio se encuentran dentro de la formación geológica denominada Grupo Choiyoi, en lo específico, en un sector constituido por riolitas porfídicas y dacita, dos rocas volcánicas constituidas esencialmente por cuarzo, plagioclasas, feldespato y biotita. La dacita resulta además caracterizada por su alto contenido de hierro.

#### 3.2 Encuadramiento tectónico

En base a los datos geológicos disponibles, en el tramo considerado para la construcción del Laboratorio podrían estar presentes fallas con una inclinación tipo Sarmiento (orientación tipo NE-SO o ENE-OSO) con amplitud variable entre 1 y 5 m y fallas con inclinación tipo San Lorenzo (orientación tipo NO-SE o ONO-ESE). La inclinación de las fallas citadas resultaría, según los datos actualmente disponibles, tendencialmente sub-vertical ( $40\div 70^\circ$ ).

#### 3.3 Características del macizo

Basándose en la clasificación geomecánica realizada en el ámbito de la Ingeniería Básica de Anteproyecto (IBA) del TAN, es posible afirmar que el tramo donde se prevé realizar el Laboratorio se caracteriza por un 70-80% en clase III y por un 20-30% en clase IV (en correspondencia de las fallas) según la clasificación propuesta por Bieniaski (1989).

#### 3.4 Escenarios de riesgo potencial previstos

##### 3.4.1 Presencia de condiciones del macizo desfavorables

Teniendo en cuenta la elevada cobertura presente en el tramo considerado (hasta 1'700 m) los conocimientos geológicos/geomecánicos del sector son reducidos y basados esencialmente sobre observaciones de campaña y sobre material bibliográfico recolectado en la fase del Proyecto Preliminar.

La escasez de conocimientos impone una auscultación en continuo de las condiciones del frente de excavación con perforaciones de sondeo durante el avance en caso de necesidad.

Análogamente a la Central de Ventilación Oeste del TAN, para la factibilidad del Laboratorio se requiere como mínimo un macizo de clase III según la clasificación de Bieniawski (1989). En el caso que, durante la realización en el sector elegido, se constataran zonas con calidad del macizo de clase IV o V, el Laboratorio deberá ser reubicado.

#### 3.4.2 *Estados tensionales elevados*

Los cálculos geomecánicos y los modelos numéricos efectuados para el proyecto de la IBA del TAN han permitido reconocer como las importantes coberturas presentes en el tramo interesado por el proyecto del Laboratorio causan estados tensionales muy elevados alrededor de la excavación. Esto implica importantes deformaciones del borde de la excavación y consecuentes altas presiones del macizo sobre las estructuras de sostenimiento y revestimiento.

Este aspecto deberá ser considerado en el diseño de detalle de las obras subterráneas, optimizando la forma y la distancia entre las cavernas, con el fin de minimizar el efecto de las concentraciones de las tensiones citadas.

#### 3.4.3 *Spalling y rock-burst*

La necesidad de realizar el Laboratorio en un macizo con una clase de calidad elevada (I÷III) lleva consigo, junto con el carácter frágil de las rocas volcánicas presentes, el riesgo de que se produzcan fenómenos de descascaramiento (spalling) y golpe de montaña (rock-burst) en las superficies de las obras subterráneas a realizar. Particularmente afectadas por estos fenómenos serán las obras de mayor tamaño, como el Pozo y la Caverna Principal.

#### 3.4.4 *Desprendimiento de bloques*

Considerada la clase de calidad de roca mínima requerida (Clase III), se estima que el principal riesgo, desde el punto de vista de la estabilidad de las obras subterráneas será constituido por la posible formación de bloques de roca inestable al borde de la excavación. En este caso el diseño de las obras subterráneas deberá prever las medidas de sostenimientos necesarias a minimizar y controlar este riesgo.

#### 3.4.5 *Infiltraciones de agua del macizo*

Los conocimientos actuales del macizo no permiten determinar la presencia de un eventual nivel de napa natural. La circulación de las aguas parece más bien dictada por la fracturación natural con la posibilidad de formación de bolsas de acumulación en correspondencia de zonas con elevada fracturación (fallas). Esta condición, junto con la elevada cobertura, podría llevar el riesgo de atravesar zonas con agua en presión durante la excavación, dificultando así los trabajos de ejecución.

En base a los conocimientos actuales, las aguas del macizo no resultan particularmente agresivas (p.ej. sulfatos) comparado con otros tramos del Túnel, sin embargo, se considera igualmente oportuno sacar y analizar muestras de agua durante los trabajos para confirmar esta hipótesis.

#### 3.4.6 *Altas temperaturas*

Según los conocimientos actuales, la temperaturas del macizo en el tramo donde se ubicará el Laboratorio son de aproximadamente 50°C. Este aspecto deberá ser considerado, sea en la organización y la logística de la obra, sea en la fase de operación con el dimensionamiento de las

instalaciones de ventilación y acondicionamiento, que deberán asegurar el confort de los espacios del Laboratorio.

### 3.5 Sismicidad

La zona del proyecto se caracteriza por la presencia de un elevado riesgo sísmico. Conforme con lo previsto en la IBA del TAN, las estructuras de sostenimiento y revestimiento de las obras subterráneas deberán ser verificadas con dos niveles de terremoto:

- Terremoto de Operación Normal (TON): evento que debe poder ser absorbido sin anular la operatividad de la obra;
- Terremoto de Seguridad (TS): terremoto que puede implicar la necesidad de interrumpir o abandonar la operatividad de la obra, pero que no debe comportar el colapso total de la misma.

Asumiendo una vida útil para la obra de 100 años, se ha definido para el Terremoto Normal una probabilidad de excedencia durante la vida útil del 50%, mientras que para el Terremoto de Seguridad el umbral de excedencia en la vida útil se ha fijado en el 2%.

La **Tabla 1** siguiente resume los valores de período de retorno y los requisitos para los dos sismos de proyecto.

| Terremoto<br>[-] | Probabilidad de<br>excedencia<br>[%] | $T_r$<br>[años] | Requisito<br>[-]                                            | Niveles de<br>desempeño<br>[-] |
|------------------|--------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| TON              | 50%                                  | 144             | Daño menor<br>o ausencia de daños                           | Completamente<br>operacional   |
| TS               | 2%                                   | 5000            | Se acepta daño estructural.<br>Debe permitir la evacuación. | Prevención<br>de colapso       |

Tabla 1: Período de retorno y requisitos para los dos sismos de proyecto.

## 4. NUEVO ESQUEMA CONCEPTUAL

### 4.1 Análisis crítico antecedentes

El nuevo esquema conceptual de las obras subterráneas del Laboratorio Andes surge del análisis del concepto existente (ver informe y esquema general preliminar [1]) en el cual se evidenciaron los siguientes aspectos críticos:

- La distancia entre el Laboratorio y el Túnel Agua Negra prevista por el concepto existente es inferior a 30 m y resulta insuficiente para evitar la influencia recíproca entre las excavaciones. Esto podría causar dificultades durante la ejecución de los trabajos y exigir la puesta en obra de medidas de sostenimiento y revestimiento más importantes y onerosas en ambas obras,
- Análogamente, se considera oportuno aumentar la distancia entre las principales cavernas del Laboratorio (actualmente inferior a 12 m),
- El concepto existente carece de una vía de escape segura en caso de inaccesibilidad del Túnel adyacente (incendio, accidente o trabajos de mantenimiento). Se considera imprescindible añadir por lo menos una salida de emergencia peatonal y/o transitable hacia el Túnel opuesto o hacia una galería de interconexión del Túnel,
- La galería de acceso al fondo del pozo, que conecta el nivel superior del Laboratorio con el fondo del pozo principal ubicado 30 m más abajo, presenta una longitud de solo 75 m y una pendiente del 40%. Con el fin de permitir el tránsito de vehículos (durante la obra y la operación del Laboratorio) se considera oportuno aumentar la longitud de la galería, disminuyendo así la pendiente de esta a un valor máximo de aproximadamente 10-12%,
- La disposición de las cavernas secundarias, con sus galerías de acceso ramificadas resultan desventajosas del punto de vista ejecutivo. Para optimizar las excavaciones se propone reunir las tres cavernas en una única excavación,
- Se considera oportuno reubicar las instalaciones presentes en la caverna de servicios (equipos de ventilación y acondicionamiento, equipos de alimentación, tratamiento y retención agua, aire comprimido etc.) en la zona de acceso al Laboratorio afuera de la zona sensible, donde serían más accesibles para el mantenimiento y mejor comunicadas con los sistemas del Túnel,
- El concepto existente prevé dos salidas hacia el Túnel adyacente, la segunda de las cuales dedicada exclusivamente a los camiones que transportarán los componentes a instalar en el Laboratorio. Para minimizar las intersecciones con el Túnel Agua Negra y optimizar los costos de realización se considera conveniente suprimir la segunda salida organizando las vías de tránsito internas del Laboratorio de manera que los camiones puedan maniobrar (inversión o marcha atrás) y utilizar la misma salida principal prevista para los autos,
- Como evidenciado por el informe [2] el acceso a la cabeza del pozo principal a través de la caverna de servicios resulta desventajoso del punto de vista logístico. Se considera por lo tanto oportuno que el acceso al pozo sea directo e independiente,

- Las secciones transversales de las cavernas y de los accesos previstas por el concepto existente resultan poco definidas y se considera posible optimizar su forma y su revestimiento.

#### **4.2 Nueva disposición de los espacios**

Basándose en el concepto existente y considerando los aspectos listados en el capítulo anterior, en el presente estudio conceptual se propone una adaptación de la disposición de los espacios caracterizada por los siguientes puntos principales:

- Alejamiento de las grandes cavernas del Laboratorio respecto al Túnel carretero. De forma preliminar se estima adecuada una distancia de aproximadamente 100-150 m,
- Aumento de la distancia entre las principales cavernas del Laboratorio. Como valor prudencial se estima un mínimo de 40-60 m (2 veces la anchura de la caverna más grande),
- Eliminación de la caverna de servicios y reubicación de sus instalaciones en distintas salas puestas en la zona de acceso al Laboratorio:
  - Una sala de ventilación y acondicionamiento del aire en la zona del acceso al Laboratorio, donde llegarán los conductos de aire fresco provenientes de la galería de ventilación y se concentrarán los equipos que aseguran la ventilación, el acondicionamiento y la distribución del aire necesario a los distintos espacios del Laboratorio,
  - Una sala para el tratamiento y la retención de las aguas en la zona del acceso/salida del Laboratorio con conexión a los sistemas de drenaje y desagüe del Túnel,
  - Una sala técnica para los equipos de alimentación, generadores eléctricos y otros servicios básicos para los experimentos (aire comprimido, agua etc.), donde prever además un espacio para un taller equipado,
  - Una sala de emergencia combinada con un espacio comedor, una sala reunión y una zona de descanso y atención médica para el personal activo en el Laboratorio, ubicada en una caverna separada en proximidad de las salidas del Laboratorio. En la misma caverna se prevé además el espacio para una oficina equipada con un centro de almacenamiento y procesamiento de datos y un centro de comunicaciones,
  - Una sala limpia ubicada en la parte central del laboratorio [6] con parámetros ambientales controlados, donde realizar trabajos que requieren un ambiente controlado.

#### **4.3 Nueva geometría de las cavernas**

Con el objetivo de mejorar la eficiencia estática y facilitar su realización, el nuevo concepto propone una adaptación parcial de la geometría de las cavernas del Laboratorio:

- La caverna principal mantiene las dimensiones previstas por el concepto existente y se modifica en la zona de la solera, donde se elimina el pozo de 3 m de profundidad, sustituyéndolo con una solera plana y una cubeta de retención con un volumen de 500 m<sup>3</sup> para contener un eventual

derrame de líquidos [5]. La sección típica esquemática de la caverna principal se puede observar en el **Anexo A.1**,

- Las tres cavernas secundarias y el pozo secundario se disponen en una única excavación de 16 m de ancho por 14 m de largo, al interior de la cual se podrán organizar los espacios, separándolos si necesario con paredes de hormigón para crear salas independientes como previsto por el concepto inicial. Las secciones transversales esquemáticas de la caverna secundaria y del pozo secundario se representan en los **Anexos A.1 y A.3**,
- La geometría del pozo principal ha sido optimizada, manteniendo un diámetro interno útil de 30 m pero reduciendo la altura total a 38 m. Considerando sus dimensiones, la forma exacta de la excavación y las medidas de sostenimiento y revestimiento deberán ser estudiados en detalle en las próximas fases del proyecto. Los cortes esquemáticos (horizontal y vertical) del pozo se ilustran en el **Anexo A.2**,
- La sala técnica, la sala de emergencia y la sala limpia se instalarán en cavernas de dimensiones menores (aproximadamente 10 x 8 x 10 m). La sección típica esquemática se detalla en el **Anexo A.3**.

#### **4.4 Concepto de conexión vial con el TAN**

Para el acceso y la salida del Laboratorio el presente estudio propone una serie de variantes ilustradas en el capítulo 5. De forma general, el NEC propone aprovechar, donde disponibles, las bahías de detención ya prevista por el proyecto del Túnel. Donde necesario, se prevé la realización de bahías adicionales, limitando su longitud al espacio de maniobra para la entrada en los carriles de tránsito del Túnel.

Considerando el número reducido de vehículos que tendrán normalmente acceso al Laboratorio (2-3 al día), para asegurar la salida y la inmisión hacia y desde el Laboratorio, el NEC propone una moderación del tránsito del Túnel mediante semáforos. Una solución con carriles de deceleración y aceleración ubicados en tramos con sección transversal más ancha ha sido descartada debido a los altos costos de realización y en consideración del alto riesgo de accidente de tránsito, que este tipo de solución comporta.

#### **4.5 Concepto de revestimiento**

Conformemente al informe [1] el nuevo esquema conceptual prevé un revestimiento de las obras subterráneas del Laboratorio con hormigón proyectado de baja radiactividad. Donde las necesidades estáticas o funcionales lo requieran (grandes cavernas), podrán ser aplicados revestimientos particulares.

En el caso de alta emanación de radón a través de las rocas, las superficies internas del revestimiento podrán ser tratadas con un producto a base de resina (tipo MineGuard) que minimizará la permeabilidad frente al gas, disminuyendo así los requerimientos de la ventilación.

#### **4.6 Concepto de impermeabilización**

Considerado el tipo de revestimiento previsto, el Laboratorio no dispondrá de un sistema de impermeabilización sistemático. Eventuales infiltraciones de agua del macizo serán captadas y llevada al pied de la bóveda mediante medias cañas y membranas tipo Delta-drain recubiertas por una capa de hormigón proyectado.

El concepto considera admisibles zonas húmedas en las paredes pero no goteras en la bóveda que deberán ser controladas.

#### **4.7 Concepto de drenaje y desagüe**

El concepto de drenaje y desagüe del Laboratorio prevé, análogamente al Túnel, un sistema que recolecta y evacua las aguas del macizo y de desagüe del Laboratorio de forma separada.

Las infiltraciones del macizo, captadas por el sistema de impermeabilización descrito en el capítulo anterior son recolectadas por canaletas puestas al pie de la bóveda y llevadas mediante colector hasta el colector principal del Túnel para ser conducidas hacia el portal Chile junto con las aguas del macizo provenientes del TAN.

Otros líquidos provenientes del Laboratorio, potencialmente cargados con agentes contaminantes serán retenidos en tanques ubicados en la sala de tratamiento y retención de agua y evacuados mediante camiones cisterna. Eventualmente, con el acuerdo del gestor del Túnel, se podrá prever una conexión con el colector de desagüe del Túnel, aprovechando así la planta de tratamiento prevista para el TAN en el portal Chile.

#### **4.8 Concepto de las instalaciones electromecánicas**

El concepto de las instalaciones electromecánicas del Laboratorio prevé un sistema integrado y comunicante con el sistema del TAN y se compone de los siguientes elementos principales:

- Sistema de iluminación normal y de emergencia
- Sistema de alimentación eléctrica (ver cap. 4.9)
- Sistema de detección y extinción de incendio
- Sistema de video vigilancia
- Sistema de extracción de humos y gases (ver cap. 4.10)
- Sistema de ventilación, acondicionamiento y climatización (ver cap. 4.10)
- Sistema de control de la calidad del aire
- Sistema de control de accesos
- Red de datos (fibra óptica redundante)
- Sistema de comunicación (radio-SOS-teléfonos)
- Red de puesta a tierra

Para el funcionamiento del Laboratorio se consideran necesarios las siguientes instalaciones accesorias adicionales:

- Estructuras metálicas (puertas y portones)
- Sistema de aire comprimido
- Puentes grúa y sistemas elevadores
- Sistema de retención y tratamiento de las aguas
- Canales y trazados cables

Para la gestión del acceso/salida de los vehículos hacia/desde el Laboratorio se prevé además la implementación de un sistema semafórico en el sistema de señalización previsto para el Túnel.

En general, todas las instalaciones electromecánicas previstas en el Laboratorio serán gestionadas y controladas por un sistema de supervisión tanto a nivel local como en remoto y deberán considerar todos los escenarios de seguridad y emergencia originados por eventos tanto en el TAN como en el Laboratorio respectivamente.

#### **4.9 Concepto de aprovisionamiento eléctrico**

La potencia global instalada en el TAN es de 15 MVA, alimentada por dos puntos de suministro en alta tensión (lado Chile 110 kV y lado Argentina 132 kV), con distribución a las estaciones de media tensión mediante cable troncal en media tensión a 23 kV. En ambos portales, el proyecto del TAN prevé además grupos electrógenos capaces de proveer la totalidad de la carga eléctrica necesaria para el TAN.

El aprovisionamiento eléctrico del Laboratorio será derivado de la red de media tensión (MT) a 23 kV del TAN, considerando una potencia instalada de 2 MVA. Mediante transformadores idóneos MT/BT se realizará la distribución a los equipos en baja tensión (BT) con un tensión de 400V/220V.

En caso de cortes de la red eléctrica, para suplir la falta de tensión hasta el tiempo de inserción de la red de emergencia alimentadas por los grupos electrógenos, se prevé la instalación de grupos de continuidad (UPS) que asegurarán el aprovisionamiento eléctrico de las instalaciones prioritarias y de seguridad (iluminación de emergencia, servicios de comunicación, instalaciones de vigilancia) durante por lo menos una hora.

#### **4.10 Concepto de ventilación**

Aspecto fundamental para el diseño del Laboratorio es la ventilación, que deberá cumplir con tres funciones principales:

- Proveer la cantidad/calidad de aire necesaria para la estadía del personal, asegurando en todo momento la vía de escape segura hacia el exterior del Laboratorio y del Túnel,
- Mantener bajos los niveles de concentración de radón,

- Evacuar los eventuales gases tóxicos o humos presentes en el Laboratorio, preservando la seguridad del personal del Laboratorio y de los usuarios del TAN.

Como valor de pre-dimensionamiento cauteloso, aplicable en caso de ausencia de un capa de protección contra el radón sobre las paredes del Laboratorio, en el presente estudio conceptual se asume un aporte de aire fresco equivalente a 2 volúmenes totales del Laboratorio por hora. Considerando un volumen del aire del Laboratorio del orden de 50'000 hasta 60'000 m<sup>3</sup>, dos recambio de aire cada hora requieren un aporte de 100'000-120'000 m<sup>3</sup>/hora, es decir aproximadamente 30 m<sup>3</sup>/s.

Según el concepto propuesto, el aire fresco es llevado hasta el Laboratorio a través de la Galería de Ventilación del TAN, que se extiende desde el Portal Chile hasta la Central de Ventilación Oeste, mediante dos conductos metálicos con un diámetro interno de 1'200 mm. Cada conducto, aislado térmicamente para evitar problemas de condensación, asegurará una caudal máximo de 15 m<sup>3</sup>/s, con una velocidad del aire en su interior no superior a 14 m/s para limitar la caída de presión a lo largo del recorrido.

En la entrada del Laboratorio, el aire fresco es llevado a la sala de ventilación y climatización, donde dos ventiladores redundantes y un sistema de acondicionamiento ajustan la temperatura y la humedad del aire. De allí, mediante conductos/canales instalados en la bóveda, el aire fresco es distribuido en las cavernas y los pozos del Laboratorio, donde se aseguran los dos recambios horarios asumidos.

El aire de retorno fluye a través de las secciones de las distintas galerías hacia el TAN, con una velocidad no inferior a 0.2 m/s, garantizando así en todo momento las condiciones sanitarias mínimas en esos sectores. Un sistema especial está previsto para la galería de acceso al fondo del pozo principal (sin salida en fase de operación), donde para asegurar el recambio de aire se prevé la instalación de un conducto que lleve aire fresco hasta el fondo, ventilando así con el aire de retorno la sección de la galería.

Con el fin de mantener el Laboratorio y sus galerías constantemente en sobrepresión, las conexiones con el TAN serán dotadas de esclusas, que llevarán integradas compuertas de ventilación regulables para ajustar la distribución del aire de retorno en las galerías.

En caso de incendio o presencia de gases tóxicos, el concepto prevé la posibilidad de invertir el flujo de aire en los conductos y canales de ventilación, que pueden ser utilizados para la extracción de los humos/gases desde los locales afectados. Para lograr esto se propone conectar el canal de aire fresco al sistema de aspiración del TAN mediante un sistema de compuertas o prever ventiladores reversibles que en caso de evento se desconecten mediante unas compuertas de los conductos de aire fresco y evacuen los humos/gases a través de la galería de ventilación. En caso de un evento de este tipo en el Laboratorio, la aspiración de los humos de los espacios del Laboratorio aseguraría una depresión en el Laboratorio respecto al TAN y el aire de compensación entraría consecuentemente desde el Túnel, protegiendo eficazmente los usuarios del Túnel.

## 5. VARIANTES PROPUESTAS

### 5.1 Variante 1: Lado Sur

*[ver Anexos B.1 y C.1]*

#### 5.1.1 Ubicación y cobertura

La variante 1 prevé la ubicación del Laboratorio en correspondencia de la Central de Ventilación Oeste (km 4'560) en el lado Sur del TAN.

En base al modelo digital del terreno disponible, y tomando como punto de referencia el pozo principal a nivel del acceso superior, se estima una cobertura de roca omnidireccional mínima de aproximadamente 1'600 m.

#### 5.1.2 Accesos y disposición

El acceso principal al Laboratorio está constituido por una bifurcación del Túnel Sur (en subida, en dirección Argentina) a la cual se accede a través de la bahía de detención de la central. La galería de acceso tiene una longitud de aproximadamente 100 m y dispone de un gálibo de 3.50 m de ancho por 4.50 m de alto.

En la zona de tránsito central, delante de la sala de emergencia, se prevé una sección con dos carriles, que permita el cruce de vehículos y asegure además el espacio necesario para el estacionamiento de los vehículos del personal activo en el Laboratorio. Una galería de salida con el mismo gálibo del acceso principal permite la inmisión de los vehículos en el Túnel Sur, donde se prevé la realización de una bahía adicional.

El acceso y la salida hacia el Túnel Norte se aseguran mediante una galería de aproximadamente 470 m de longitud, que permite el tránsito de vehículos livianos (autos, vehículos de emergencia) con un gálibo máximo de 3.00 m de ancho por 3.50 m de alto. La galería parte perpendicularmente a la bahía de detención de la central y cruza el TAN con un paso superior para conectarse a la zona de tránsito central. La misma galería constituye además la vía de escape, que permite la salida hacia el Túnel Norte en caso de accidente o corte en el Túnel Sur.

Los espacios del Laboratorio (sala técnica, caverna y pozo secundario, caverna principal y pozo principal) se disponen a lo largo de una galería de conexión de unos 195 m de longitud con un gálibo para el tránsito de 3.50 x 4.50 y suficiente espacio para la instalación de todos los cables y conductos de ventilación y aprovisionamiento necesarios al funcionamiento del Laboratorio.

El acceso al fondo del pozo principal se asegura mediante una galería con una pendiente del 12%, una longitud de 250 m y un gálibo de 3.50 m de ancho por 4.00 m de alto.

#### 5.1.3 Ventilación

El esquema de ventilación se puede observar en el **Anexo D.1**.

## 5.2 Variante 2: Lado Norte

[ver Anexos B.2 y C.1]

### 5.2.1 Ubicación y cobertura

La variante 2 prevé la ubicación del Laboratorio en correspondencia de la Central de Ventilación Oeste (km 4'560) en el lado Norte del TAN.

En base al modelo digital del terreno disponible, y tomando como punto de referencia el pozo principal a nivel del acceso superior, se estima una cobertura de roca omnidireccional mínima de aproximadamente 1'450 m. Se debe observar que, modificando ligeramente la disposición del Laboratorio, se podría alcanzar la cobertura mínima requerida de 1'500 m.

### 5.2.2 Accesos y disposición

El acceso principal al Laboratorio está constituido por una bifurcación del Túnel Norte (en bajada, en dirección Chile) a la cual se accede a través de la bahía de detención de la central. El gálibo para el tránsito es de 3.50 m de ancho por 4.50 m de alto. Esta galería de aproximadamente 100 m de longitud conduce a la zona de tránsito central.

Análogamente a la variante 1, en la zona de tránsito central, delante de la sala de emergencia, se prevé una sección con dos carriles, que permita el cruce de vehículos y asegure además el espacio necesario para el estacionamiento de los vehículos del personal activo en el Laboratorio. Una galería de salida con el mismo gálibo del acceso principal permite la inmisión de los vehículos en el Túnel Norte, donde se prevé la realización de una bahía adicional, que tendrá una sección transversal análoga a las bahías ya previstas a nivel de la central.

El acceso y la salida hacia el Túnel Sur se aseguran mediante una galería de aproximadamente 440 m de longitud, que permite el tránsito de vehículos livianos (autos, vehículos de emergencia) con un gálibo máximo de 3.00 m de ancho por 3.50 m de alto. La galería parte perpendicularmente a la bahía de detención de la central y cruza el TAN con un paso inferior para conectarse a la zona de tránsito central. La misma galería constituye además la vía de escape, que permite la salida hacia el Túnel Sur en caso de accidente o corte en el Túnel Norte.

Los espacios del Laboratorio (sala técnica, caverna y pozo secundario, caverna principal y pozo principal) se disponen a lo largo de una galería de conexión de unos 195 m de longitud con un gálibo para el tránsito de 3.50 x 4.50 y suficiente espacio para la instalación de todos los cables y conductos de ventilación y aprovisionamiento necesarios al funcionamiento del Laboratorio.

El acceso al fondo del pozo principal se asegura mediante una galería con una pendiente del 12%, una longitud de 250 m y un gálibo de 3.50 m de ancho por 4.00 m de alto.

### 5.2.3 Ventilación

El esquema de ventilación se puede observar en el **Anexo D.2**.

### **5.3 Variante 3: Lado Sur, frontera**

*[ver Anexos B.3 y C.2]*

#### **5.3.1 Ubicación y cobertura**

La variante 3 prevé la ubicación del Laboratorio en correspondencia del límite territorial entre Argentina y Chile en el lado Sur del Túnel. Este límite territorial debe ser confirmado por las cancillerías de ambos países.

En base al modelo digital del terreno disponible, y tomando como punto de referencia el pozo principal a nivel del acceso superior, se estima una cobertura de roca omnidireccional mínima de aproximadamente 1'650 m.

#### **5.3.2 Accesos y disposición**

El acceso y la disposición de los espacios para la variante 3 es en todo similar a la variante 1. Debido a la ausencia de la central de ventilación, se deberán prever los siguientes elementos adicionales:

- Una bahía de detención en el Túnel Sur para la entrada principal del Laboratorio con las mismas dimensiones de las bahías ya previstas a nivel de la Central de Ventilación,
- Una bahía de detención en el Túnel Norte para el acceso/salida secundaria con las mismas dimensiones de las bahías ya previstas a nivel de la Central de Ventilación,
- Una galería técnica de conexión ( $L \approx 100$  m) entre la sala de ventilación y la galería de ventilación del TAN para la entrada de aire fresco y la evacuación de los humos/gases.

#### **5.3.3 Ventilación**

El esquema de ventilación se puede observar en el **Anexo D.3**.

### **5.4 Variante 4: Lado Norte, frontera**

*[ver Anexos B.4 y C.2]*

#### **5.4.1 Ubicación y cobertura**

La variante 4 prevé la ubicación del Laboratorio en correspondencia del límite territorial entre Argentina y Chile (km ~3'800) en el lado Norte del Túnel. Este límite territorial debe ser confirmado por las cancillerías de ambos países.

En base al modelo digital del terreno disponible, y tomando como punto de referencia el pozo principal a nivel del acceso superior, se estima una cobertura de roca omnidireccional mínima de aproximadamente 1'550 m.

#### **5.4.2 Accesos y disposición**

El acceso y la disposición de los espacios para la variante 4 es en todo similar a la variante 2. A causa de la dificultad de realizar un paso inferior por debajo de la de la galería de ventilación, el

trazado de la galería de acceso y salida hacia el Túnel Sur ha sido modificado y ubicado en el lado opuesto del Laboratorio con un paso superior.

Debido a la ausencia de la central de ventilación, se deberán además prever los siguientes elementos adicionales:

- Una bahía de detención en el Túnel Norte para la entrada principal del Laboratorio con las mismas dimensiones de las bahías ya previstas a nivel de la Central de Ventilación,
- Una bahía de detención en el Túnel Sur para el acceso/salida secundaria con las mismas dimensiones de las bahías ya previstas a nivel de la Central de Ventilación,
- Una galería técnica de conexión ( $L \approx 100$  m) entre la sala de ventilación y la galería de ventilación del TAN para la entrada de aire fresco y la evacuación de los humos/gases.

#### 5.4.3 Ventilación

El esquema de ventilación se puede observar en el **Anexo D.4**.

### 5.5 Variante 5: Lado Sur, mínima [ver Anexos B.5 y C.3]

#### 5.5.1 Observación preliminar

La Variante 5 ha sido representada únicamente en el lado Sur del TAN. La misma solución se puede realizar de forma simétrica en el lado Norte del TAN.

#### 5.5.2 Ubicación y cobertura

La variante 5 prevé la ubicación del Laboratorio en correspondencia de la Central de Ventilación Oeste (km 4'560) en el lado Sur del TAN.

En base al modelo digital del terreno disponible, y tomando como punto de referencia el pozo principal a nivel del acceso superior, se estima una cobertura de roca omnidireccional mínima de aproximadamente 1'600 m.

#### 5.5.3 Accesos y disposición

Con el objetivo de minimizar las excavaciones para los accesos del Laboratorio y las intersecciones con el TAN, la variante 5 prevé una solución con un túnel de conexión único, perpendicular al TAN conectado con el Túnel a través de la bahía de detención de la Central de Ventilación Oeste. El túnel dispone de una sección amplia que permite el tránsito bidireccional de los camiones con un galibo máximo de 3.50 m de ancho x 4.50 m de alto y asegura suficiente espacio para la instalación de todos los cables y conductos de ventilación y aprovisionamiento necesarios al funcionamiento del Laboratorio. Para asegurar la inversión del sentido de marcha de los camiones se prevé un lazo de inversión ubicado al final del túnel de conexión.

El acceso al fondo del pozo principal se asegura mediante una galería con una pendiente del 10%, una longitud de 290 m y un gálibo de 3.50 m de ancho por 4.00 m de alto.

La vía de escape hacia la central de ventilación y hacia el túnel opuesto se garantiza por medio de un canal peatonal previsto debajo de la calzada que llega hasta la bahía de detención del Túnel Norte.

#### 5.5.4 Ventilación

El esquema de ventilación se puede observar en el **Anexo D.5**.

### 5.6 Variante 6: Lado Norte, mínima, frontera

[ver Anexos B.6 y C.4]

#### 5.6.1 Observación preliminar

La Variante 6 ha sido representada únicamente en el lado Norte del TAN. La misma solución se puede realizar de forma simétrica en el lado Sur del TAN.

#### 5.6.2 Ubicación y cobertura

La variante 6 prevé la ubicación del Laboratorio en correspondencia del límite territorial entre Argentina y Chile (km ~3'800) en el lado Norte del TAN. Este límite territorial debe ser confirmado por las cancillerías de ambos países.

En base al modelo digital del terreno disponible, y tomando como punto de referencia el pozo principal a nivel del acceso superior, se estima una cobertura de roca omnidireccional mínima de aproximadamente 1'550 m.

#### 5.6.3 Accesos y disposición

El acceso y la disposición de los espacios para la variante 6 es en todo similar a la variante 5.

Debido a la ausencia de la central de ventilación, se deberán además prever los siguientes elementos adicionales:

- Una galería de interconexión vehicular adicional entre los dos Túneles del TAN, en substitución de la galería de interconexión peatonal (GIP\*15),
- Una bahía de detención en el Túnel Norte para la entrada principal del Laboratorio con las mismas dimensiones de las bahías ya previstas a nivel de la Central de Ventilación,
- Una bahía de detención en el Túnel Sur para el acceso/salida peatonal secundaria con las mismas dimensiones de las bahías ya previstas a nivel de la Central de Ventilación,
- Una conexión técnica entre el canal de ventilación y la galería de ventilación del TAN para la entrada de aire fresco y la evacuación de los humos/gases.

#### 5.6.4 Ventilación

El esquema de ventilación se puede observar en el **Anexo D.6**.

## 6. EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS

### 6.1 Métodos de ejecución

Antes del comienzo de la excavación, se prevé la ejecución de sondeos y perforaciones de exploración para verificar las condiciones del macizo y confirmar la zona de implantación del Laboratorio. En el caso que las condiciones del macizo resultasen muy adversas, el proyecto deberá prever la posibilidad de desplazar el Laboratorio en una zona geológica más favorable.

Análogamente a cuanto previsto para el Túnel Agua Negra, las excavaciones de las obras subterráneas del Laboratorio se realizarán con el método de perforación y voladura (Drill&Blast), parcializando las secciones de las cavernas y de los pozos según las necesidades.

Las instalaciones de obra externas necesarias para los trabajos del Laboratorio serán ubicadas en el Obrador lado Chile, donde se prevé aprovechar la infraestructura prevista para la realización del TAN. El acceso a la obra será asegurado a través de los Túneles y de la Galería de Ventilación del TAN, que permitirán el tránsito de equipos y materiales necesarios a la ejecución del Laboratorio. El concepto ejecutivo deberá prever todo lo necesario para evitar conflictos/traba de las obras del TAN.

La ventilación de obra del Laboratorio deberá asegurar el respeto de las normativas en materia de higiene del trabajo vigente y deberá ser integrada y coordinada con el concepto previsto para la obra del TAN.

Los trabajos de realización del Laboratorio serán acompañados por un sistema de auscultación completo, que asegurará la verificación y la calibración de las hipótesis del proyecto confirmando las medidas de sostenimiento y revestimiento de las cavernas. Interpretando los datos provenientes de la instrumentación se controlará la estabilidad de las estructuras y la influencia sobre las obras subterráneas del TAN.

### 6.2 Programa de trabajos

Los trabajos de construcción del Laboratorio deberán ser integrados en el programa de trabajos del TAN. En principio, la construcción del Laboratorio se realizará durante la ejecución de las obras del Túnel, en lo posible, sin provocar un retraso en la puesta en servicio del TAN.

Los trabajos de excavación deberán empezar lo antes posible, aprovechando eventualmente el acceso a través de la Galería de Ventilación de manera que la construcción gruesa del Laboratorio pueda ser ejecutada paralelamente a la obra civil del TAN.

Los trabajos de equipamiento y la puesta en servicio del Laboratorio podrán ser realizados independientemente del Túnel, si fuera necesario, también posteriormente de la puesta en servicio de este último.

En la **Figura 2** se visualiza un extracto del cronograma de trabajos preliminar del TAN, donde se esbozan las dos principales fases de realización del Laboratorio para ambas ubicaciones.

Los trabajos de obra gruesa (excavación y sostenimiento) empezarán lo antes posible aprovechando el primer acceso disponible (Túneles o Galería de Ventilación) con el objetivo de terminarlos antes de la pavimentación del TAN. Las instalaciones electromecánicas se montarán paralelamente a las del TAN y se finalizarán, en principio, antes de la puesta en servicio del Túnel.

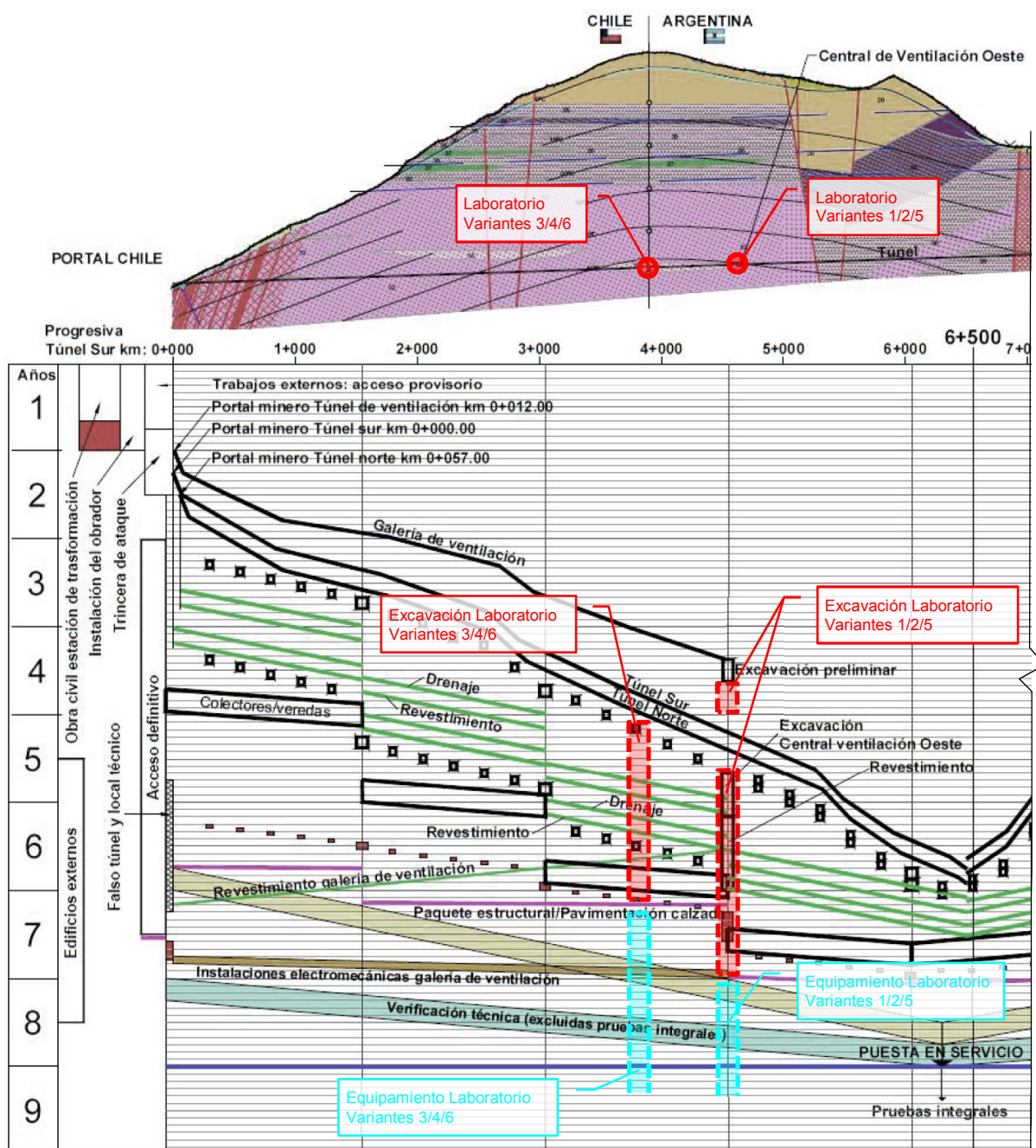


Figura 2: Extracto del cronograma preliminar del TAN con trabajos Laboratorio

## 7. ESTIMACIÓN CÓMPUTO Y COSTOS

### 7.1 Generalidades

En base a las geometrías y a las disposiciones de los espacios propuestas, el presente estudio conceptual expone un cómputo métrico aproximativo de las obras civiles, con el objetivo de estimar de forma preliminar los costos de realización de las distintas variantes y permitir su comparación.

Paralelamente, basándose sobre valores de experiencia, el estudio estima de forma preliminar el costo aproximado de las instalaciones electromecánicas necesarias al funcionamiento del Laboratorio.

### 7.2 Condiciones e hipótesis de la estimación

Para la estimación de los costos valen los siguientes puntos:

- La precisión de la estimación es de  $\pm 30\%$ ,
- La fecha de referencia para la estimación de los costos es 30.11.2013,
- Considerando la ejecución del Laboratorio junto con la construcción del TAN, el costo de los obradores (instalaciones de faena) y de los equipos necesarios para la realización de la obra se considera incluido en los precios unitarios estimados de la obra civil,
- Los precios unitarios considerados (USD/m<sup>3</sup>) se basan sobre valores de experiencia y de objetos similares,
- El costo estimado no considera el costo de los equipos y de las instalaciones específicas para la realización de los experimentos durante la operación del Laboratorio,
- El costo indicado no considera ningún suplemento por riesgo geológico o imprevistos,
- El costo indicado no considera el IVA ni otros impuestos o tasas,
- El costo indicado no considera los eventuales costos de financiamiento de la obra.

### 7.3 Cómputo métrico y estimación costos

Como se puede observar en las tablas del **Anexo E**, el cómputo métrico y la estimación de costos de cada variante se componen de distintos grupos de elementos:

- La componente principal está constituida por los espacios del Laboratorio y sus anexos que suman aproximadamente 70'000 m<sup>3</sup> de volumen de excavación, con un costo estimado de casi 19 millones de USD. Este conjunto de obras subterráneas es igual para todas las variantes,
- El segundo grupo de elementos comprende los accesos y las vías de tránsito interno que diferencian las variantes estudiadas y presentan un volumen y un costo estimado que varían entre los 26'000 m<sup>3</sup> y los 6 millones de USD (variantes 5 y 6) y los 40'000 m<sup>3</sup> y los 10 millones de USD (variantes 1 y 2),

- El último grupo de elementos de la obra civil comprende los elementos típicos de cada variante como bahías adicionales, galerías y canales de ventilación, lazos de inversión, etc. Que comportan costos adicionales variables entre 120'000 USD (Variante 1 y 2) y 3.6 millones de USD,
- Un grupo separado está formado por las instalaciones electromecánicas que se estiman con un costo total medio de aproximadamente 9 millones de USD.

En la **Tabla 2** se resumen los costos totales estimados para cada variante y la diferencia porcentual sobre la variante menos cara.

| Variante                                  | Costo estimado [USD] | Delta % |
|-------------------------------------------|----------------------|---------|
| Variante 1: Lado Sur                      | 38'268'000           | 6%      |
| Variante 2: Lado Norte                    | 38'268'000           | 6%      |
| Variante 3: Lado Sur, frontera            | 38'135'000           | 6%      |
| Variante 4: Lado Norte, frontera          | 38'135'000           | 6%      |
| Variante 5: Lado Sur, mínima              | 35'970'050           | 0%      |
| Variante 6: Lado Norte , mínima, frontera | 36'845'050           | 2%      |

Tabla 2: Estimación de los costos de realización de cada variante

En la presente estimación no se incluyen los mayores costos del TAN por las adaptaciones menores de la infraestructura debidas a la presencia del Laboratorio, los cuales serán analizados en detalle en la próxima fase de proyecto del Laboratorio (IBA). Entre ellas se citan:

- Adaptación de la disposición de los locales técnicos del Portal Chile para asegurar la toma de aire fresco destinado al Laboratorio,
- Adaptaciones en la obra civil y las instalaciones en la Central de Ventilación Oeste para permitir el paso de los conductos de aire fresco destinado al Laboratorio y la conexión con el sistema de aspiración de humos (Variantes 1, 2 y 5),
- Eventuales conductos y cables adicionales en el Túnel para asegurar la conexión con el Laboratorio.

Estos costos no son significativos considerando la precisión ( $\pm 30\%$ ) de la estimación de los costos del presente Estudio Conceptual.

## 8. COMPARACIÓN DE LAS VARIANTES

### 8.1 Ubicación

Una comparación de las distintas ubicaciones de las variantes consideradas en el presente estudio permite apreciar como la cobertura de roca es levemente superior en el lado Sur del TAN respecto al lado Norte. La misma cobertura resulta además levemente superior en correspondencia de la frontera Chile-Argentina respecto a la zona de la Central de Ventilación Oeste.

Cabe especificar que las coberturas citadas en el presente estudio conceptual son estimaciones calculadas en base al modelo digital de terreno disponible y considerando la posición definida en las planimetrías esquemáticas del Laboratorio.

La cobertura del Laboratorio depende del lugar de emplazamiento elegido y de la correspondiente morfología del terreno en superficie. Es posible optimizar la cobertura resultante para cada Variante modificando ligeramente la disposición del Laboratorio. Se puede concluir, que procediendo de este modo, sería posible lograr coberturas muy cercanas a los 1'500 metros para las Variantes dispuestas en el lado Norte del TAN y a los 1'700 metros para aquellas dispuestas en el lado Sur del TAN.

Con respecto a la ubicación definitiva del Laboratorio, se observa que la factibilidad de las posiciones propuestas en el NEC deberá ser confirmada in situ, en base a las condiciones del macizo.

Se recuerda además que el límite territorial considerado en el presente estudio es aproximativo y deberá ser confirmado por las cancillerías de ambos países.

### 8.2 Acceso

El lado de ubicación del Laboratorio define también la vía de acceso principal del Laboratorio. Con un emplazamiento del lado Sur, el acceso y la salida principal (para camiones) se sitúan en subida y quedan relativamente cerca del portal Chile y más alejados de Argentina, desde donde es necesario recorrer todo el Túnel Norte hasta Chile y luego regresar por el Túnel Sur hasta el Laboratorio.

Por el contrario, con un emplazamiento del lado Norte, el acceso y la salida principal (para camiones) se sitúan en bajada y, aun estando cerca de Chile, se alcanza directamente desde Argentina. Un acceso (para camiones) desde Chile es posible únicamente recorriendo todo el Túnel Sur hasta Argentina para luego regresar por el Túnel Norte hasta el Laboratorio.

La ubicación en correspondencia de la Central de Ventilación Oeste presenta la ventaja de poder aprovechar de la Galería de Interconexión Vehicular del TAN como eventual vía de comunicación entre los dos Túneles (durante la obra y la operación). Una eventual conexión similar en la frontera debería ser realizada opósitamente.

Las variantes 1, 2, 3 y 4 ofrecen además un acceso vehicular al Laboratorio a través de una galería secundaria desde el Túnel opuesto. En las variantes 5 y 6 se prevé, en cambio, únicamente una conexión peatonal a través de un canal.

Desde el punto de vista del tránsito interno al Laboratorio, las variantes 1, 2, 3 y 4 resultan más ventajosas que las variantes 5 y 6, cuya solución con una circulación en dos sentidos en un túnel de conexión y con una única vía de acceso/salida vehicular podría resultar limitativa.

### **8.3 Funcionalidad Laboratorio**

Considerando que la disposición de los espacios del Laboratorio es prácticamente la misma en todas las variantes consideradas, la funcionalidad del Laboratorio no presenta diferencias importantes y se considera equivalente.

### **8.4 Sinergías e interferencias con el TAN**

Analizando las variantes desde el punto de vista de las posibles sinergías e interferencias con el TAN se nota como las variantes ubicadas en correspondencia de la Central de Ventilación Oeste (variante 1, 2 y 5) presentan las siguientes ventajas:

- Para la conexión entre los accesos y el TAN es posible aprovechar las bahías de detención ya previstas en el proyecto del TAN, evitando/limitando la realización de bahías adicionales,
- La cercanía de la Central de Ventilación permite aprovechar de las instalaciones electromecánicas allí previstas para conectar los distintos sistemas (red hídrica, red eléctrica, comunicación, etc.) al Laboratorio,
- La cercanía de la Central de Ventilación y de la Galería de Ventilación permiten la conexión directa para el suministro de aire fresco y la evacuación de los eventuales gases y humos hacia/desde el Laboratorio.

### **8.5 Ejecución**

Desde el punto de vista ejecutivo, las variantes 1, 2, 3 y 4 resultan parecidas, aunque la ubicación en correspondencia de la Central de Ventilación Oeste asegura mayor flexibilidad logística gracias a la presencia de una interconexión vehicular y de la galería de ventilación a la altura del Túnel que puede ser aprovechada para la ventilación de obra y como acceso logístico de obra.

Las variantes 5 y 6 resultan en cambio desfavorecidas por la conexión única con el Túnel que podría limitar los rendimientos de la excavación y dificultar la logística y la ventilación de obra.

## **8.6 Costos**

Aunque relativizada por el margen de precisión de la estimación, la comparación de los costos muestra como la variante 5 resulta ser la más económica en razón de su menor volumen y de la optimización de sus accesos.

La variante 6, desfavorecida por la ausencia de la central de ventilación con su galería de interconexión vehicular, resulta un 2% más cara, a causa de la necesidad de realizar algunas obras anexas adicionales (bahías de detención, conexión técnica de la ventilación, interconexión vehicular entre los túneles).

Aún más caras resultan las variantes 1 y 2 y las variantes 3 y 4, con un 6% de mayor costo respecto a la variante 5, debido principalmente a la galería de acceso/salida y escape al Túnel opuesto y a la salida independiente desde el Laboratorio.

## **8.7 Posible expansión futura**

Considerando la sugerencia expresa en el informe [2] a propósito de una eventual expansión futura del Laboratorio, el análisis de las variantes propuestas muestra ciertas ventajas para las variantes 1, 2, 3 y 4. Aunque una expansión del Laboratorio durante la operación del Túnel parece hoy difícilmente realizable, es evidente que, gracias a la flexibilidad en los accesos, las variantes citadas podrían facilitar la ejecución de trabajos de excavación y evacuación del material aislándolos del resto del Laboratorio, pero complicando lógicamente la operación del Túnel.

## 9. CONCLUSIONES

En el presente estudio se han analizado las bases y los antecedentes del Laboratorio ANDES, y se han propuesto una serie de optimizaciones y un nuevo concepto, demostrando que es posible integrar el Laboratorio en el proyecto del Túnel Agua Negra.

Para evaluar las diferentes posibilidades de ubicación y acceso se han presentado 6 variantes distintas, que contemplan emplazamientos diferentes en los dos lados del TAN, con el objetivo de poner a disposición una gama de posibles soluciones remarcando las ventajas y los puntos críticos y estimando de manera preliminar los costos de realización de cada una.

La elección de la variante a desarrollar en las próximas etapas de proyecto debería basarse sobre los puntos analizados en el presente informe, considerando igualmente todos los aspectos e interés binacionales que no son objeto del presente estudio.

La variante elegida por el Comitente será desarrollada en la fase de la Ingeniería Básica de Anteproyecto (IBA), con el objetivo de estudiar en detalle los diferentes temas específicos, proponiendo además, donde sea posible, una ulterior optimización de los espacios. En particular se deberán afrontar y profundizar los siguientes aspectos:

- Definición de la ubicación definitiva y de la cobertura
- Definición de detalle de las obras subterráneas del Laboratorio con las siguientes tareas principales:
  - Pre-dimensionamiento de los sostenimientos y de los revestimientos, incluido impermeabilización
  - Definición de la planilla de los locales internos en las cavernas del Laboratorio
  - Definición altimétrica del Laboratorio
  - Definición del sistema de drenaje y desagüe de las aguas
  - Definición del trazado cables y de los conductos de aprovisionamiento (agua, aire)
- Definición de detalle de las instalaciones electromecánicas, incluido su integración en el sistema del TAN,
- Profundizar el proyecto de los puntos de contacto entre Laboratorio y Túnel resolviendo eventuales conflictos entre los dos proyectos,
- Profundizar los métodos de ejecución y el programa de trabajos del Laboratorio incluida su integración en el programa de trabajos preliminar del TAN,
- Actualizar y profundizar la estimación de costos reduciendo las incógnitas y considerando el nivel de detalle alcanzado con la respectiva fase de proyecto.

En base a los plazos previstos para Licitación del Túnel Agua Negra se deberá además definir la forma de integración de la Documentación Técnica de Licitación (DTL) del Laboratorio en el

Contrato del realización del TAN (integración en el proceso de licitación del TAN antes de la firma del Contrato o ampliación de obra luego de la firma del Contrato).

Minusio, 16 de Enero de 2015

Dr. Ing. Uwe Drost

Ing. Gabriele Gubler

Ing. Stefano Pomaro

Ing. Leonardo Rondi

Ing. Davide Vietti

Tec. Wolfgang Römer

## **ANEXO A**

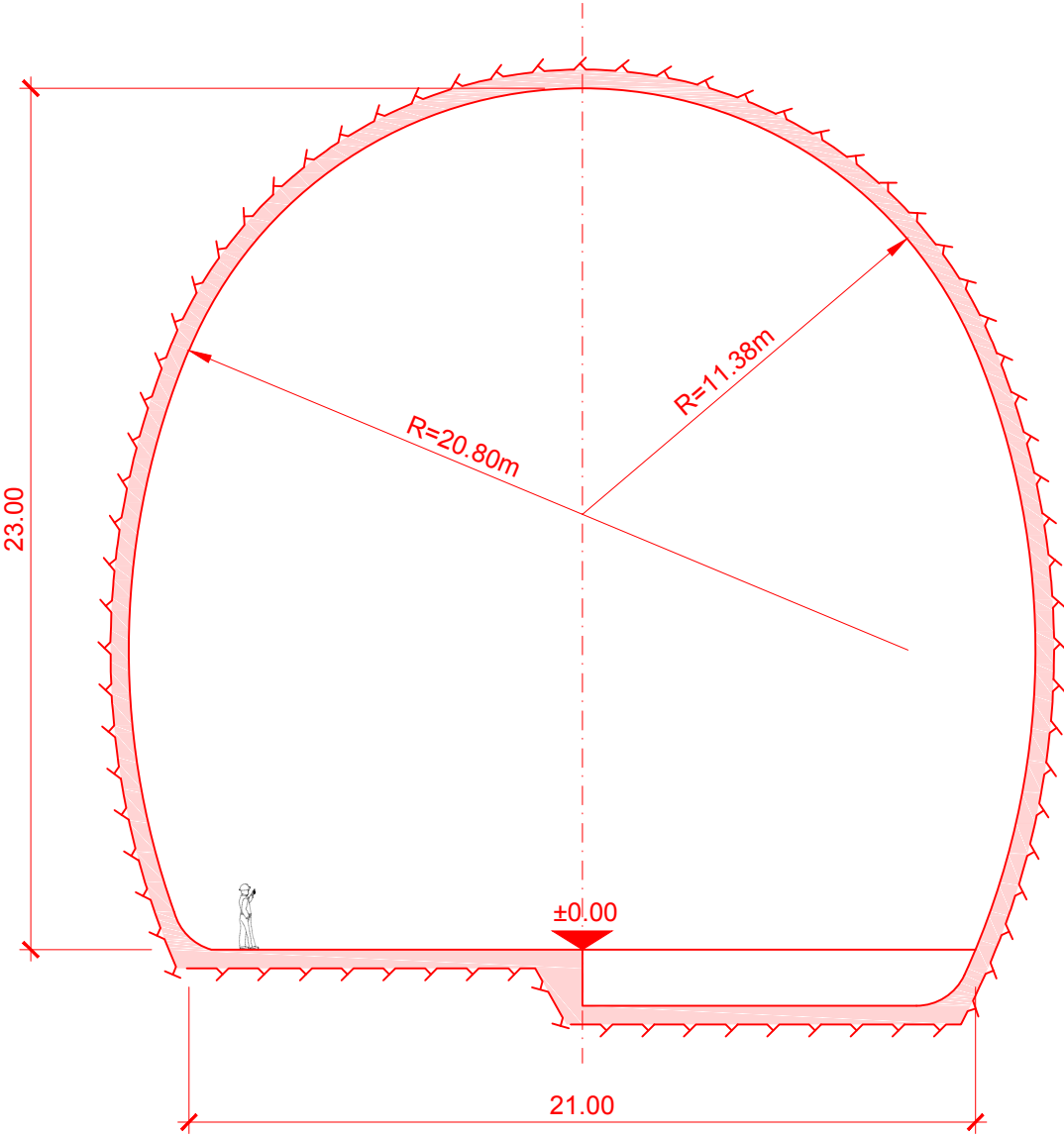
### Secciones esquemáticas Laboratorio

Caverna principal y caverna secundaria

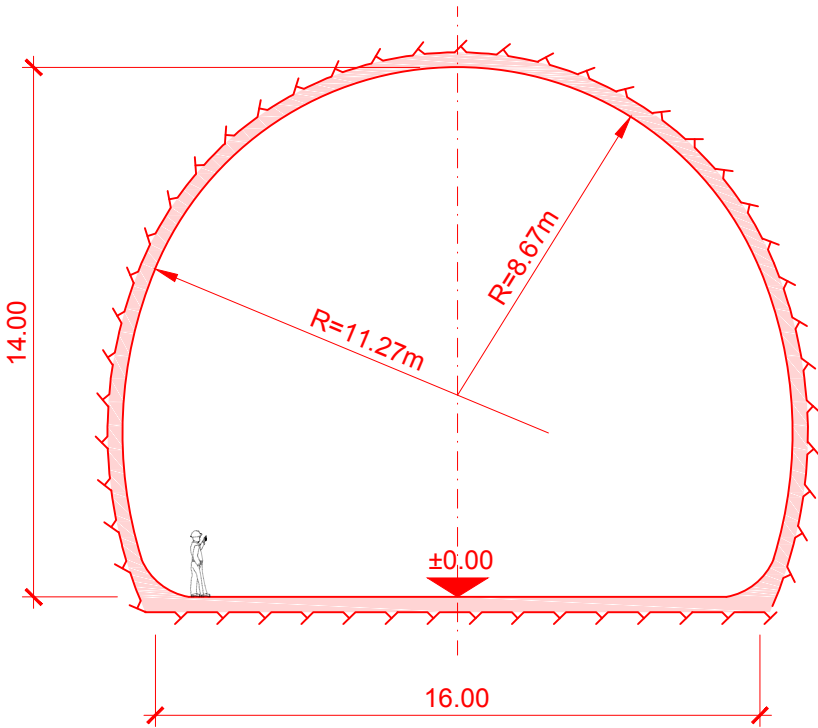
Secciones esquemáticas

(1:200)

Sección X-X  
Caverna principal  
A=530 m<sup>2</sup>

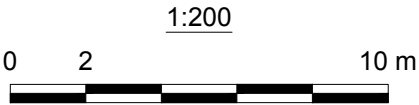


Sección Y-Y  
Caverna secundaria  
A=233 m<sup>2</sup>



Notas:

- Planimetrías esquemáticas ver Anexo B



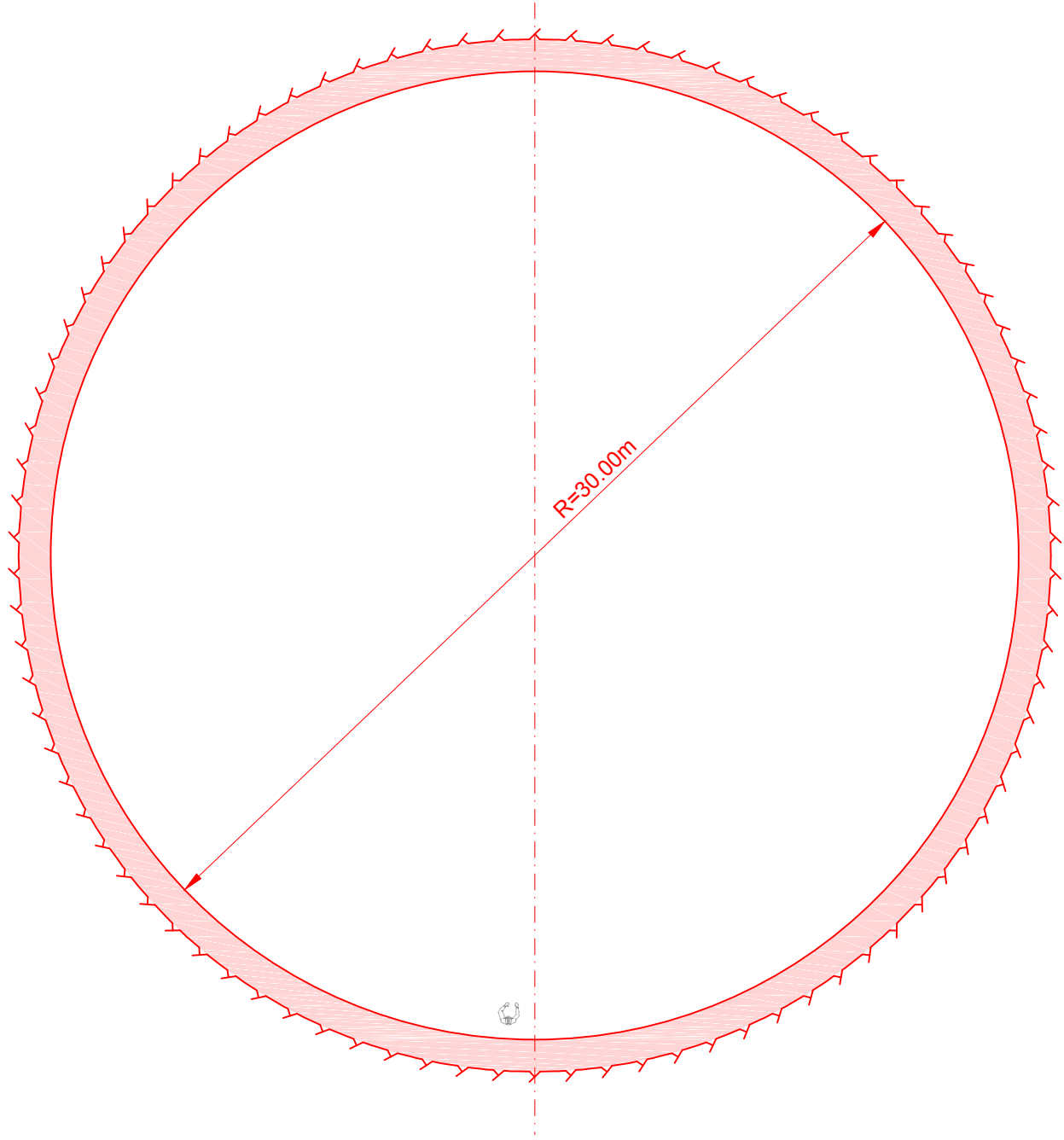
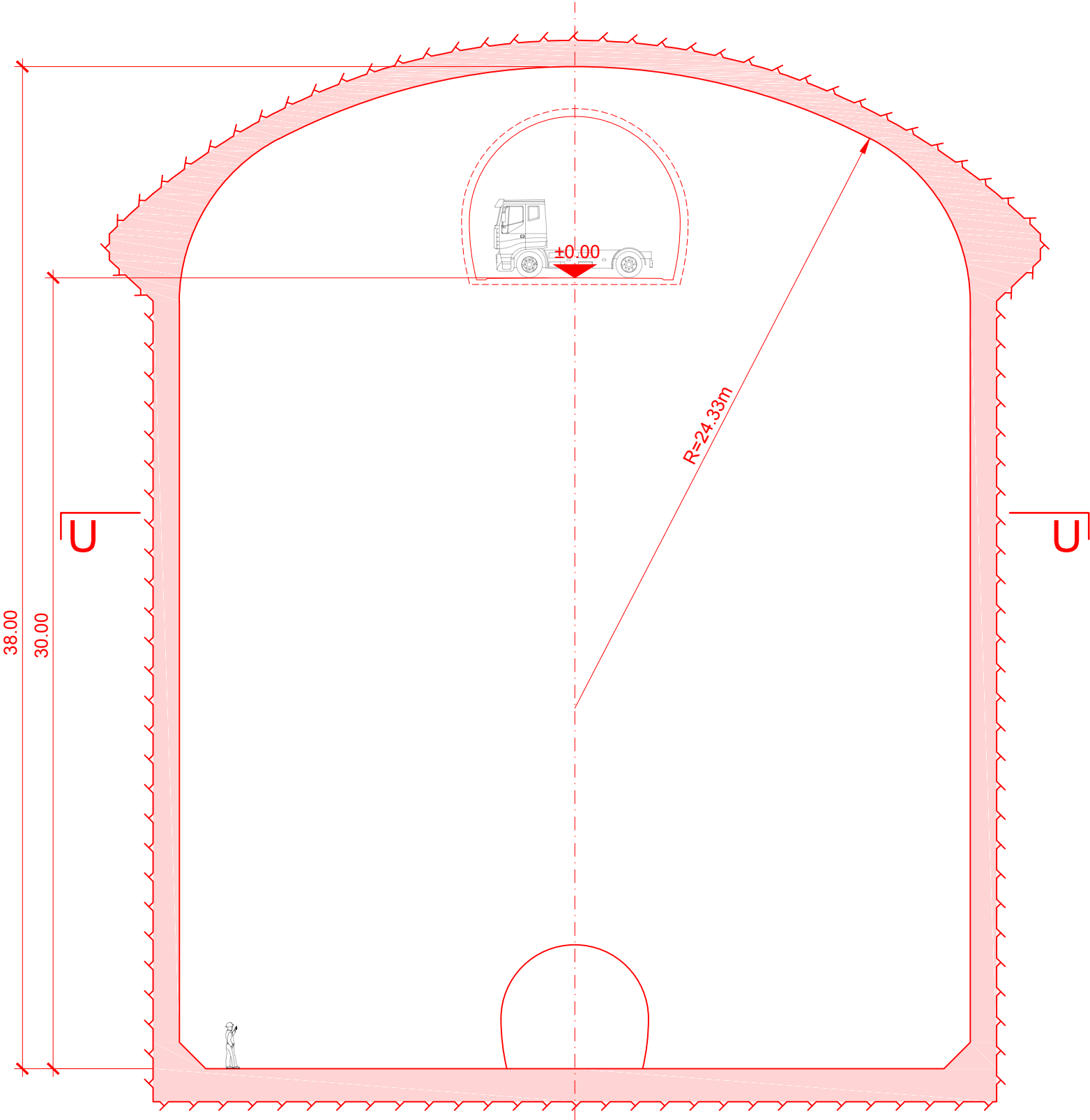
|                                                           |                                                                                                                                                          |                 |                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| CLIENTE:                                                  |  CLAF<br>Centro Latinoamericano de Física<br>Rio de Janeiro, Brasil | DISEÑO:         |  |
| LABORATORIO SUBTERRÁNEO ANDES<br>Nuevo Estudio Conceptual |                                                                                                                                                          |                 |                                                                                       |
| TÍTULO:                                                   | Caverna principal y secundaria - Secciones esquemáticas                                                                                                  |                 |                                                                                       |
| DIBUJADO:<br>Sc                                           | CONTROLADO:<br>Gub                                                                                                                                       | APROBADO:<br>RL | No. Documento: Anexo A.1                                                              |
|                                                           |                                                                                                                                                          |                 | FECHA:<br>19.12.2014                                                                  |

Pozo principal  
Secciones esquemáticas

Sección Z-Z  
V=30'600 m³

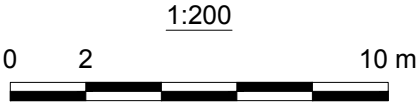
(1:200)

Sección U-U  
A= 804 m²



Notas:

- Planimetrías esquemáticas ver Anexo B

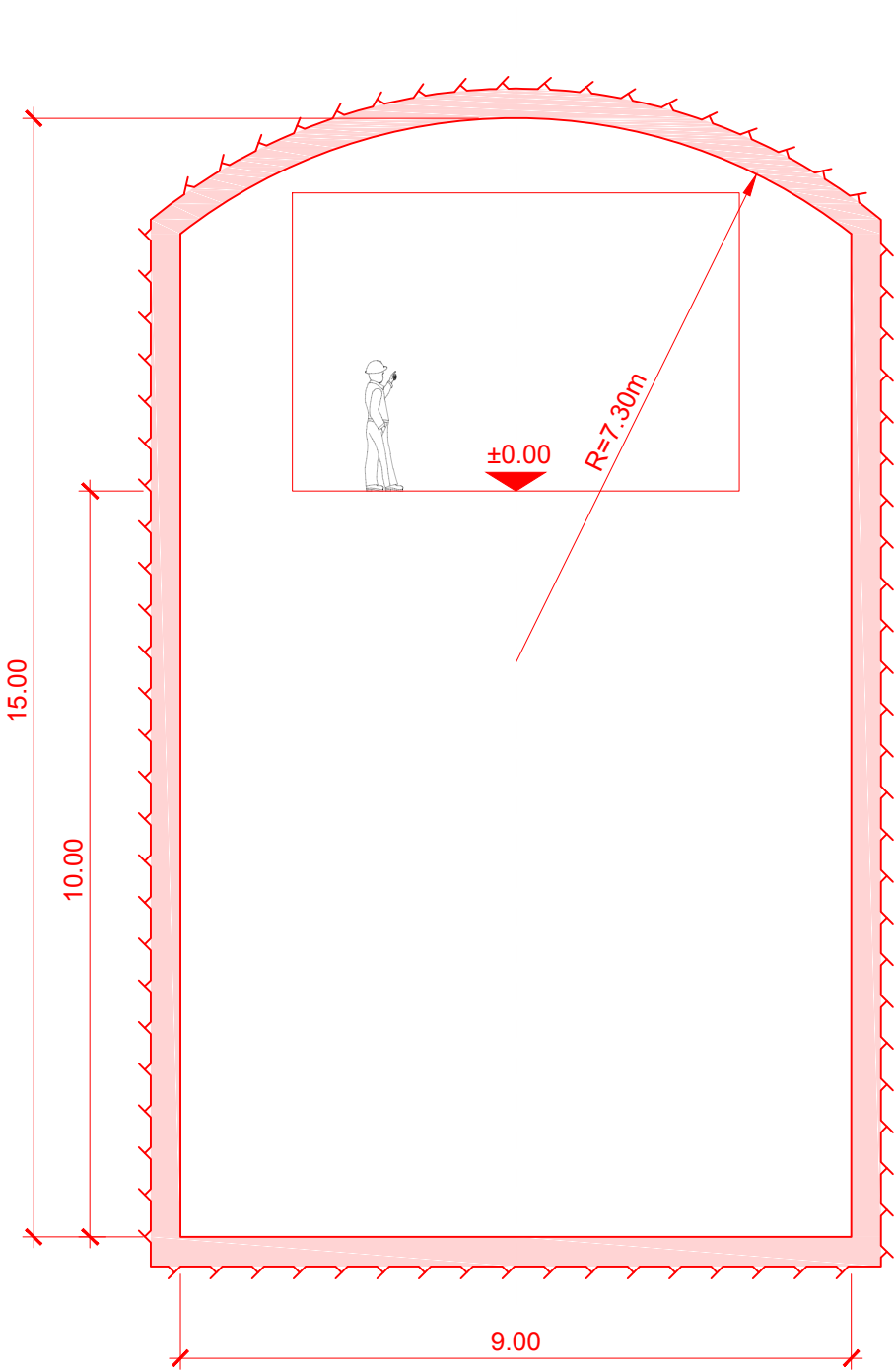


|                                                           |  |                                                                                                                                                          |  |           |  |                                                                                                       |  |
|-----------------------------------------------------------|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-----------|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| CLIENTE:                                                  |  |  CLAF<br>Centro Latinoamericano de Física<br>Rio de Janeiro, Brasil |  | DISEÑO:   |  |  <b>Lombardi</b> |  |
| LABORATORIO SUBTERRÁNEO ANDES<br>Nuevo Estudio Conceptual |  |                                                                                                                                                          |  |           |  |                                                                                                       |  |
| TÍTULO: Pozo principal - Secciones esquemáticas           |  |                                                                                                                                                          |  |           |  |                                                                                                       |  |
| DIBUJADO:                                                 |  | CONTROLADO:                                                                                                                                              |  | APROBADO: |  | No. Documento: Anexo A.2                                                                              |  |
| Sc                                                        |  | Gub                                                                                                                                                      |  | RL        |  | FECHA:<br>19.12.2014                                                                                  |  |

Pozo secundario y otros espacios

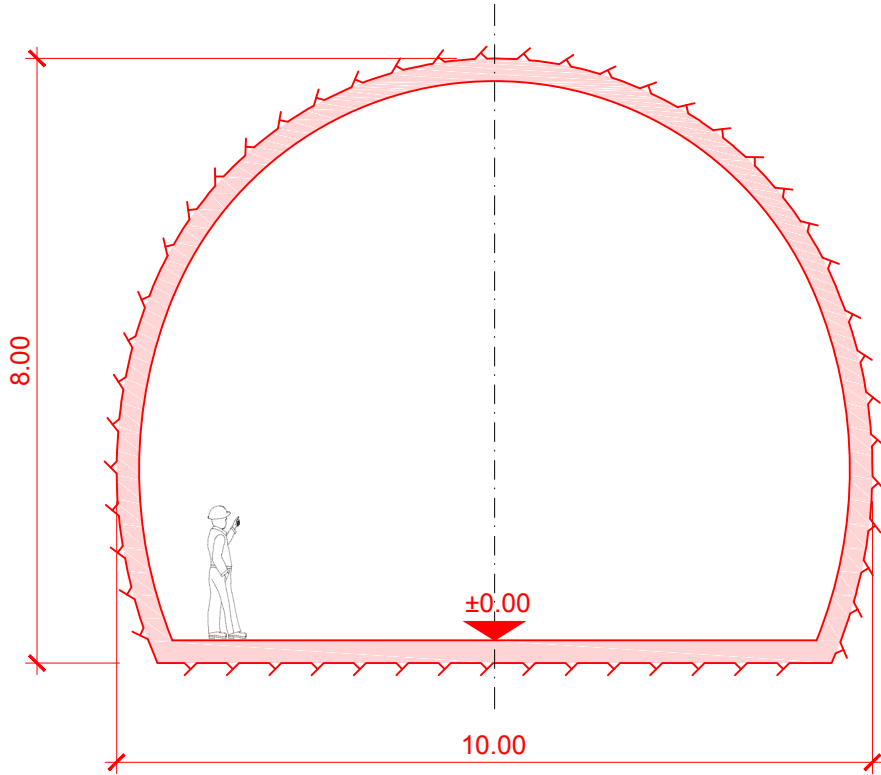
Secciones esquemáticas

Sección W-W  
Pozo secundario  
V=1'125 m³



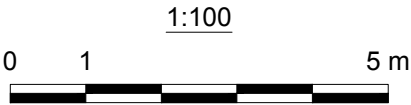
(1:100)

Sección V-V  
Sala de emergencia/oficina/comedor  
Sala técnica  
Sala limpia  
A=68 m²



Notas:

- Planimetrías esquemáticas ver Anexo B



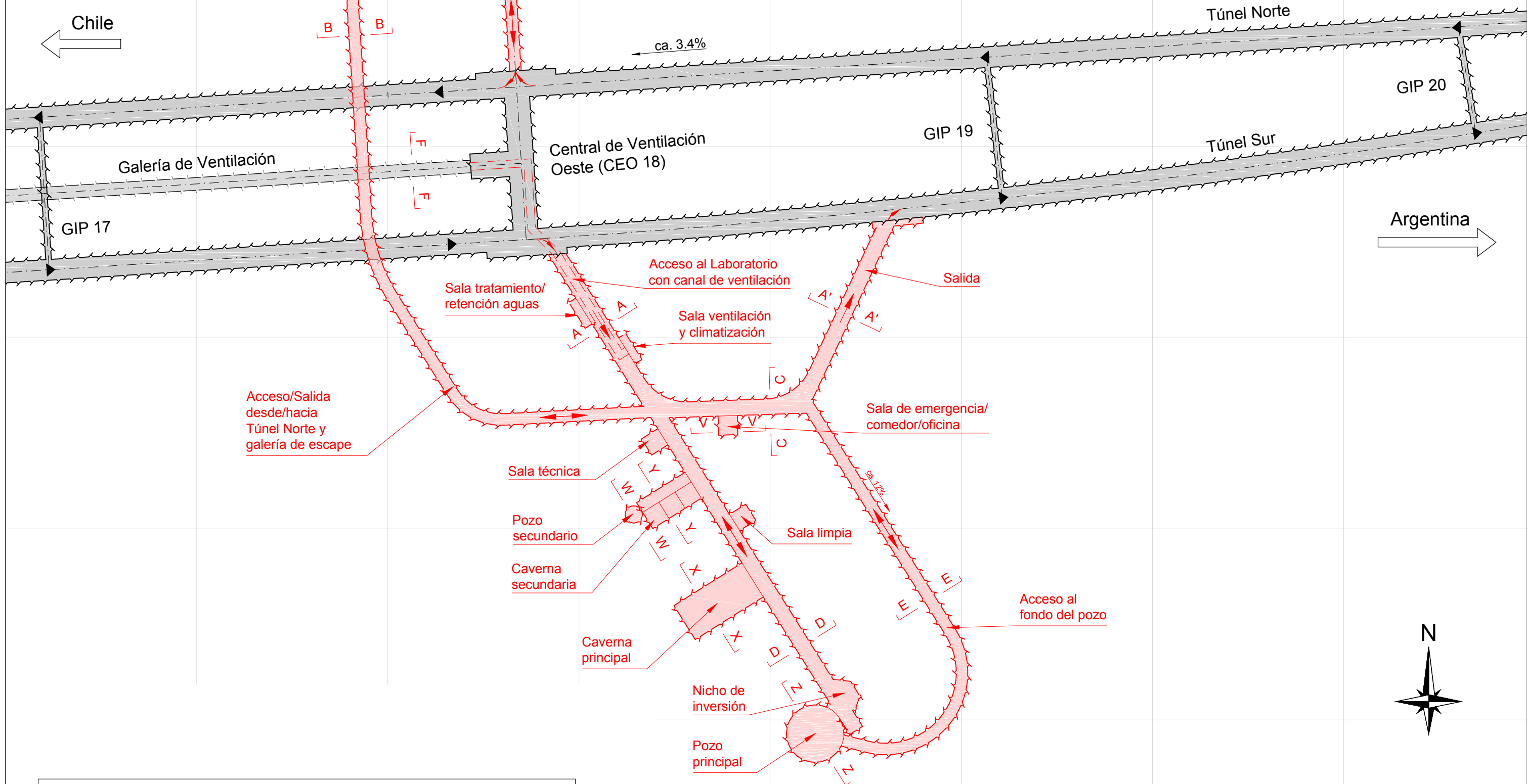
|                                                           |                                                                                                                                                          |                 |                                                                                                |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CLIENTE:                                                  |  CLAF<br>Centro Latinoamericano de Física<br>Rio de Janeiro, Brasil | DISEÑO:         |  Lombardi |
| LABORATORIO SUBTERRÁNEO ANDES<br>Nuevo Estudio Conceptual |                                                                                                                                                          |                 |                                                                                                |
| TÍTULO:                                                   | Pozo secundario y otros espacios - Secciones esquemáticas                                                                                                |                 |                                                                                                |
| DIBUJADO:<br>Sc                                           | CONTROLADO:<br>Gub                                                                                                                                       | APROBADO:<br>RL | No. Documento: Anexo A.3                                                                       |
|                                                           |                                                                                                                                                          |                 | FECHA:<br>19.12.2014                                                                           |

## **ANEXO B**

### Planimetrías esquemáticas

Variante 1: Lado Sur  
Planimetría esquemática

(1:2'000)



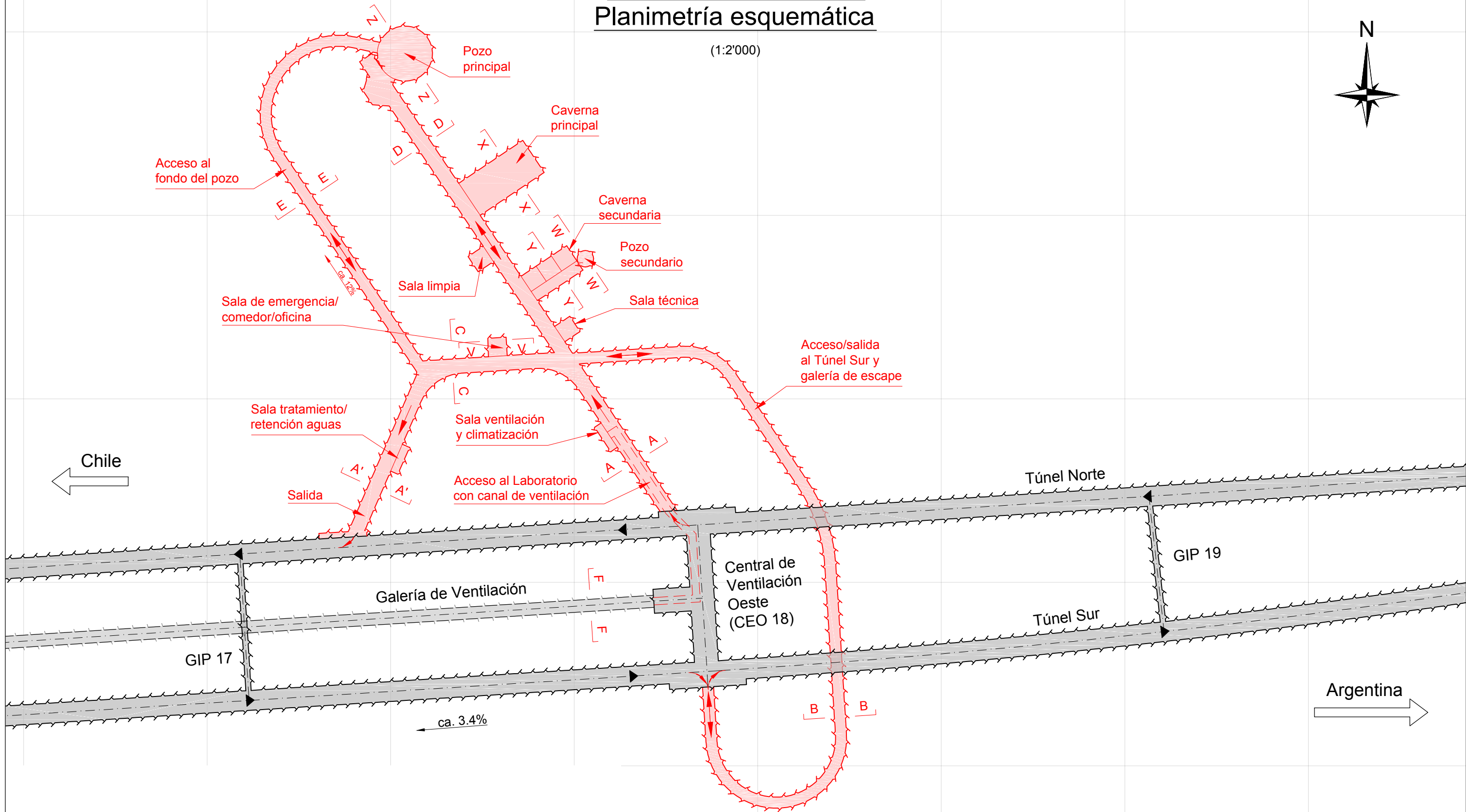
Notas:

- GIP: Galería de interconexión peatonal
- Secciones V-V, W-W, X-X, Y-Y y Z-Z ver Anexos A.1, A.2 y A.3
- Secciones A-A, A'-A', B-B, C-C, D-D, E-E y F-F ver Anexo C.1

|                                                           |                                                                                                                                                          |           |                                                                                                |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CLIENTE:                                                  |  CLAF<br>Centro Latinoamericano de Física<br>Rio de Janeiro, Brasil | DISEÑO:   |  Lombardi |
| LABORATORIO SUBTERRÁNEO ANDES<br>Nuevo Estudio Conceptual |                                                                                                                                                          |           |                                                                                                |
| TÍTULO:                                                   | Variante 1 - Planimetría esquemática                                                                                                                     |           |                                                                                                |
| DIBUJADO:                                                 | CONTROLADO:                                                                                                                                              | APROBADO: | No. Documento: Anexo B.1                                                                       |
| Sc                                                        | Gub                                                                                                                                                      | RL        | FECHA:<br>19.12.2014                                                                           |

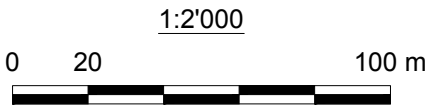
Variante 2: Lado Norte  
Planimetría esquemática

(1:2'000)



Notas:

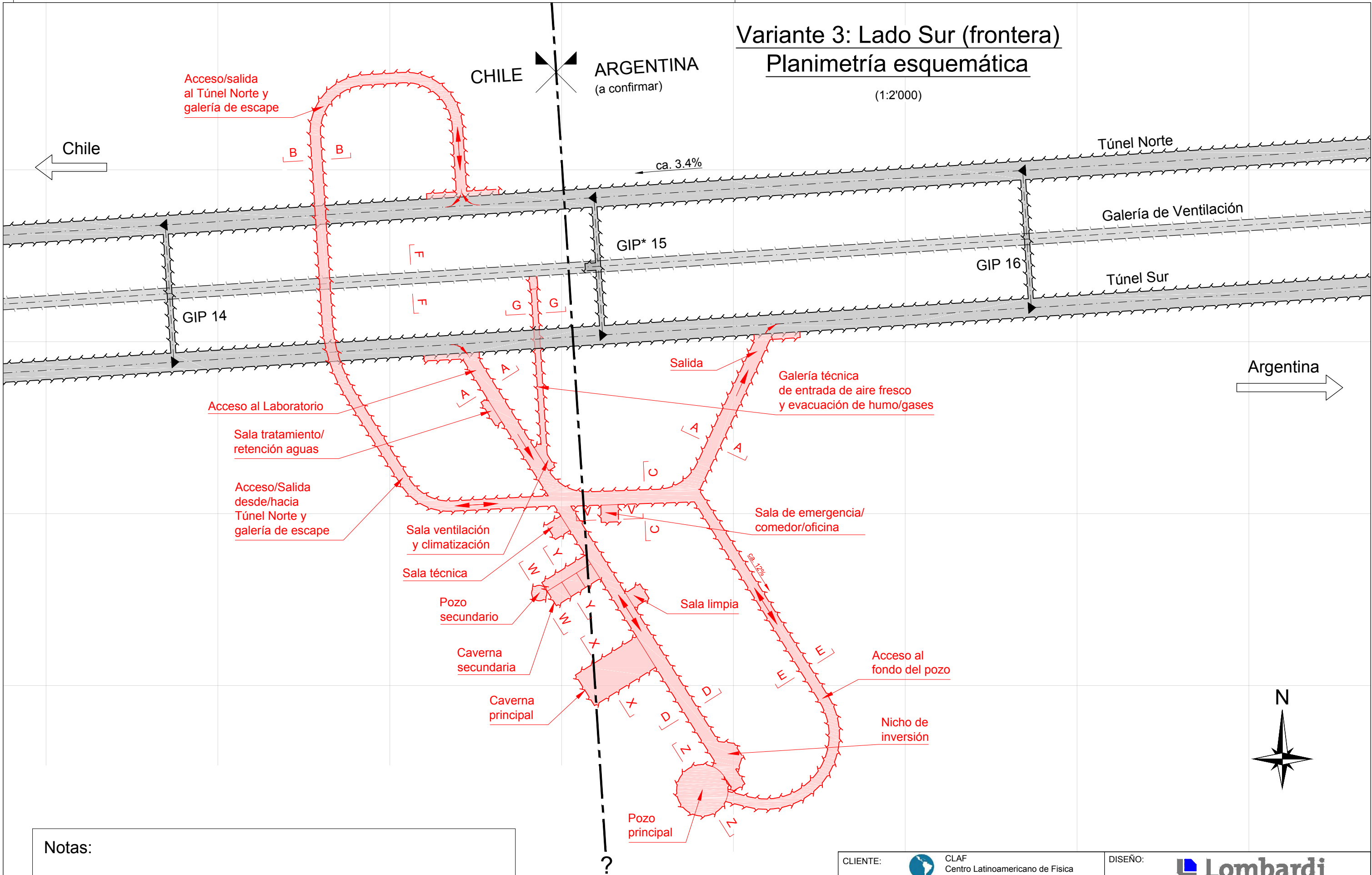
- GIP: Galería de interconexión peatonal
- Secciones V-V, W-W, X-X, Y-Y y Z-Z ver Anexos A.1, A.2 y A.3
- Secciones A-A, A'-A', B-B, C-C, D-D, E-E y F-F ver Anexo C.1



|                                                           |                                                                                                                                                          |           |                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| CLIENTE:                                                  |  CLAF<br>Centro Latinoamericano de Física<br>Rio de Janeiro, Brasil | DISEÑO:   |  |
| LABORATORIO SUBTERRÁNEO ANDES<br>Nuevo Estudio Conceptual |                                                                                                                                                          |           |                                                                                       |
| TÍTULO:                                                   | Variante 2 - Planimetría esquemática                                                                                                                     |           |                                                                                       |
| DIBUJADO:                                                 | CONTROLADO:                                                                                                                                              | APROBADO: | No. Documento:                                                                        |
| Sc                                                        | Gub                                                                                                                                                      | RL        | Anexo B.2                                                                             |
|                                                           |                                                                                                                                                          |           | FECHA:                                                                                |
|                                                           |                                                                                                                                                          |           | 19.12.2014                                                                            |

Variante 3: Lado Sur (frontera)  
Planimetría esquemática

(1:2'000)



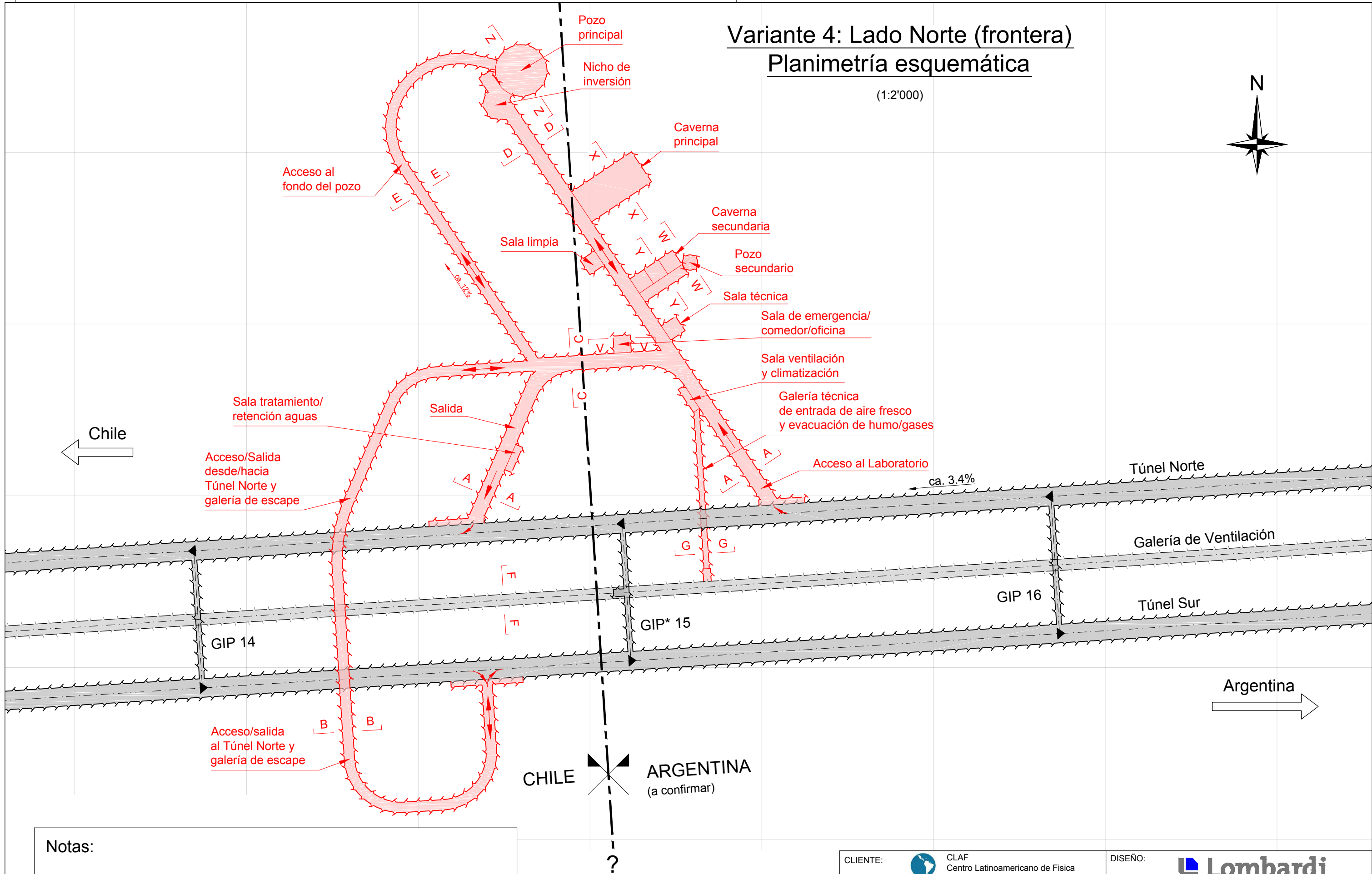
Notas:

- GIP: Galería de interconexión peatonal
- Secciones V-V, W-W, X-X, Y-Y y Z-Z ver Anexos A.1, A.2 y A.3
- Secciones A-A, B-B, C-C, D-D, E-E, F-F y G-G ver Anexo C.2
- Límite territorial Chile-Argentina a confirmar por ambas cancillerías

|                                                           |                                                                                                                                                          |           |                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CLIENTE:                                                  |  CLAF<br>Centro Latinoamericano de Física<br>Rio de Janeiro, Brasil | DISEÑO:   |  <b>Lombardi</b> |
| LABORATORIO SUBTERRÁNEO ANDES<br>Nuevo Estudio Conceptual |                                                                                                                                                          |           |                                                                                                       |
| TÍTULO:                                                   | Variante 3 - Planimetría esquemática                                                                                                                     |           |                                                                                                       |
| DIBUJADO:                                                 | CONTROLADO:                                                                                                                                              | APROBADO: | No. Documento:                                                                                        |
| Sc                                                        | Gub                                                                                                                                                      | RL        | <b>Anexo B.3</b>                                                                                      |
|                                                           |                                                                                                                                                          |           | FECHA:                                                                                                |
|                                                           |                                                                                                                                                          |           | 19.12.2014                                                                                            |

Variante 4: Lado Norte (frontera)  
Planimetría esquemática

(1:2'000)



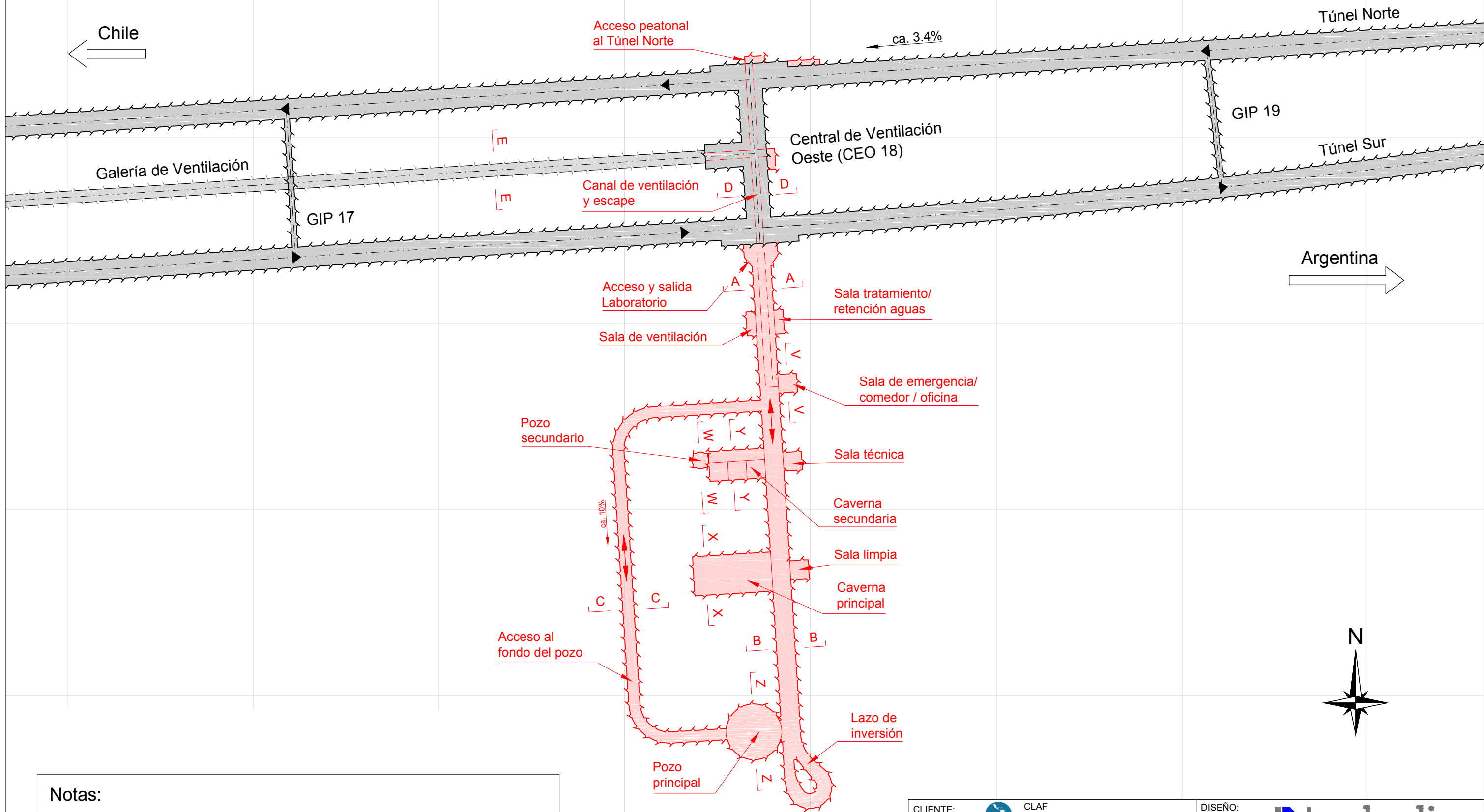
Notas:

- GIP: Galería de interconexión peatonal
- Secciones V-V, W-W, X-X, Y-Y y Z-Z ver Anexos A.1, A.2 y A.3
- Secciones A-A, B-B, C-C, D-D, E-E, F-F y G-G ver Anexo C.2
- Límite territorial Chile-Argentina a confirmar por ambas cancillerías

|                                                           |                                                                                                                                                          |           |                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| CLIENTE:                                                  |  CLAF<br>Centro Latinoamericano de Física<br>Rio de Janeiro, Brasil | DISEÑO:   |  |
| LABORATORIO SUBTERRÁNEO ANDES<br>Nuevo Estudio Conceptual |                                                                                                                                                          |           |                                                                                       |
| TÍTULO:                                                   | Variante 4 - Planimetría esquemática                                                                                                                     |           |                                                                                       |
| DIBUJADO:                                                 | CONTROLADO:                                                                                                                                              | APROBADO: | No. Documento:                                                                        |
| Sc                                                        | Gub                                                                                                                                                      | RL        | Anexo B.4                                                                             |
|                                                           |                                                                                                                                                          |           | FECHA:                                                                                |
|                                                           |                                                                                                                                                          |           | 19.12.2014                                                                            |

Variante 5: Lado Sur (mínima)  
Planimetría esquemática

(1:2'000)



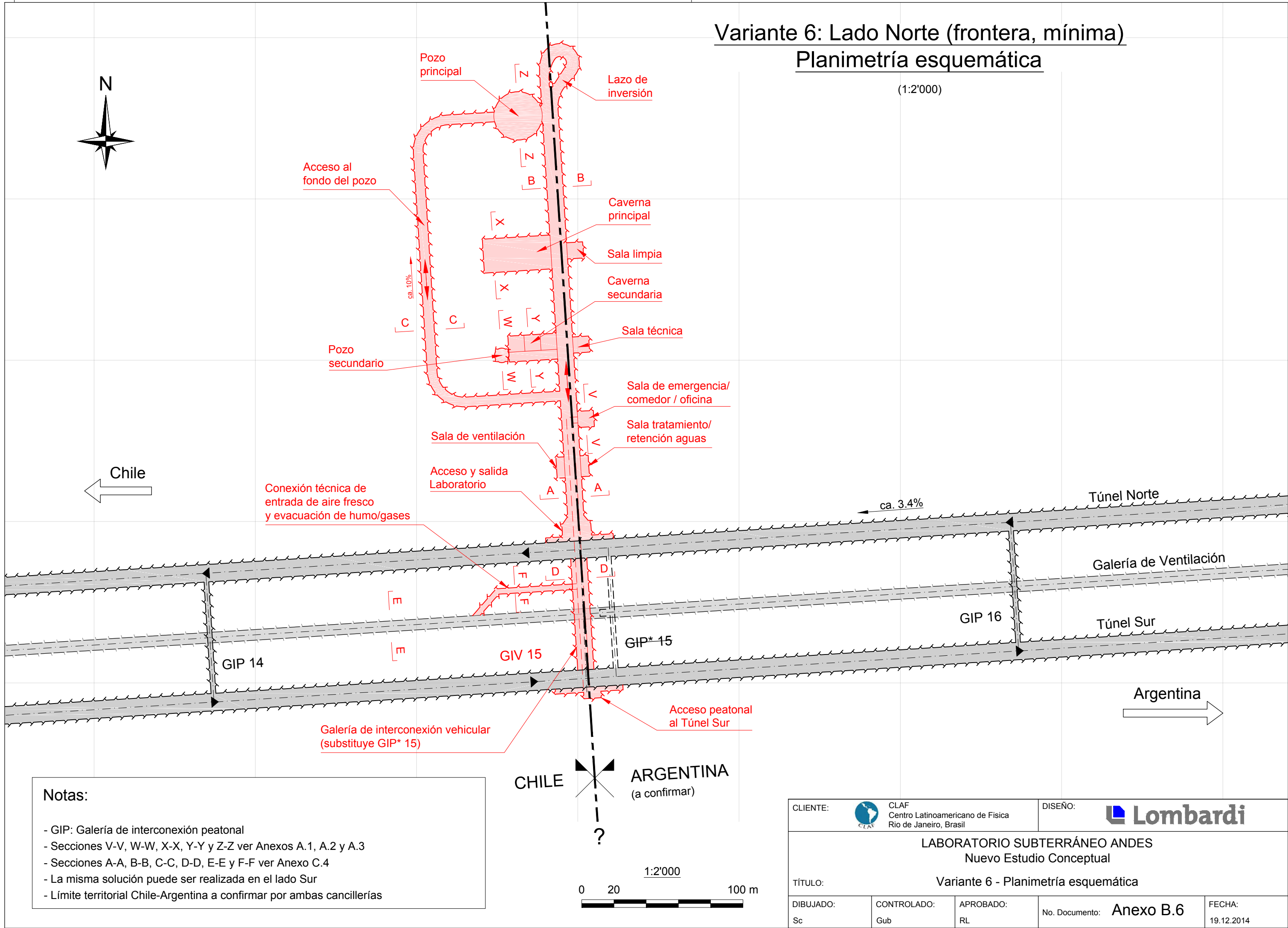
Notas:

- GIP: Galería de interconexión peatonal
- Secciones V-V, W-W, X-X, Y-Y y Z-Z ver Anexos A.1, A.2 y A.3
- Secciones A-A, B-B, C-C, D-D y E-E ver Anexo C.3
- La misma solución puede ser realizada en el lado Norte

|                                                           |                                                                                                                                                          |           |                                                                                                |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CLIENTE:                                                  |  CLAF<br>Centro Latinoamericano de Física<br>Rio de Janeiro, Brasil | DISEÑO:   |  Lombardi |
| LABORATORIO SUBTERRÁNEO ANDES<br>Nuevo Estudio Conceptual |                                                                                                                                                          |           |                                                                                                |
| TÍTULO:                                                   | Variante 5 - Planimetría esquemática                                                                                                                     |           |                                                                                                |
| DIBUJADO:                                                 | CONTROLADO:                                                                                                                                              | APROBADO: | No. Documento:                                                                                 |
| Sc                                                        | Gub                                                                                                                                                      | RL        | Anexo B.5                                                                                      |
|                                                           |                                                                                                                                                          |           | FECHA:                                                                                         |
|                                                           |                                                                                                                                                          |           | 19.12.2014                                                                                     |

Variante 6: Lado Norte (frontera, mínima)  
Planimetría esquemática

(1:2'000)



## **ANEXO C**

Secciones esquemáticas de los accesos

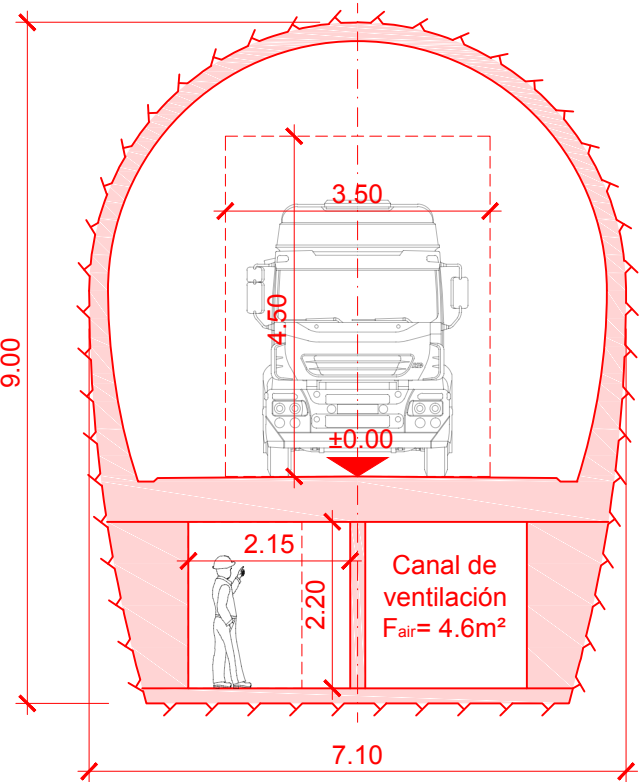
Variante 1: Lado Sur / Variante 2: Lado Norte

Secciones esquemáticas accesos

(1:100)

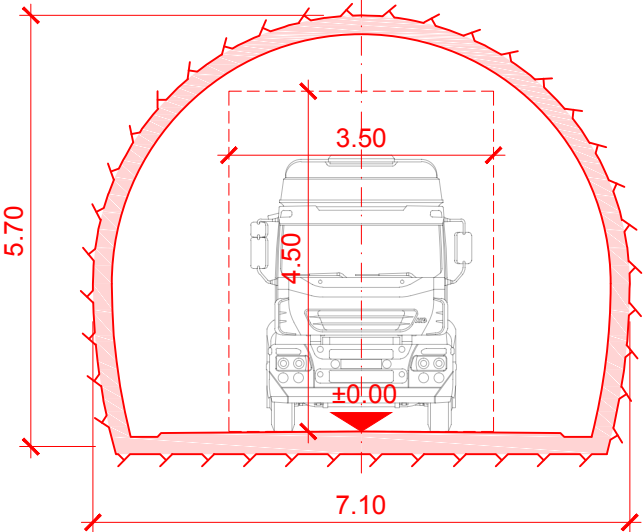
Sección A-A  
Galería de acceso principal

A= 56 m2



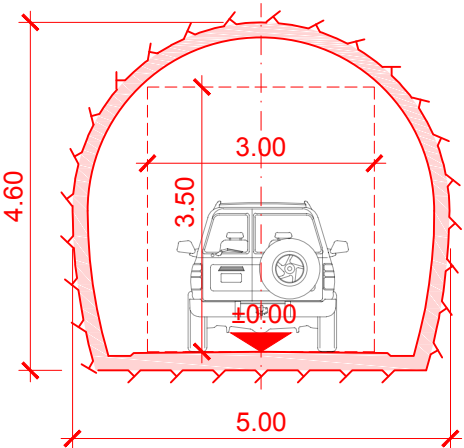
Sección A'-A'  
Galería de salida principal

A= 35 m2



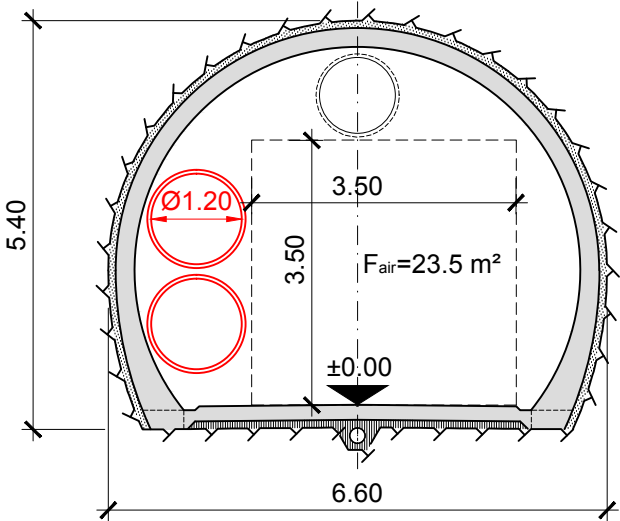
Sección B-B  
Galería de acceso/salida secundaria

A= 20 m2



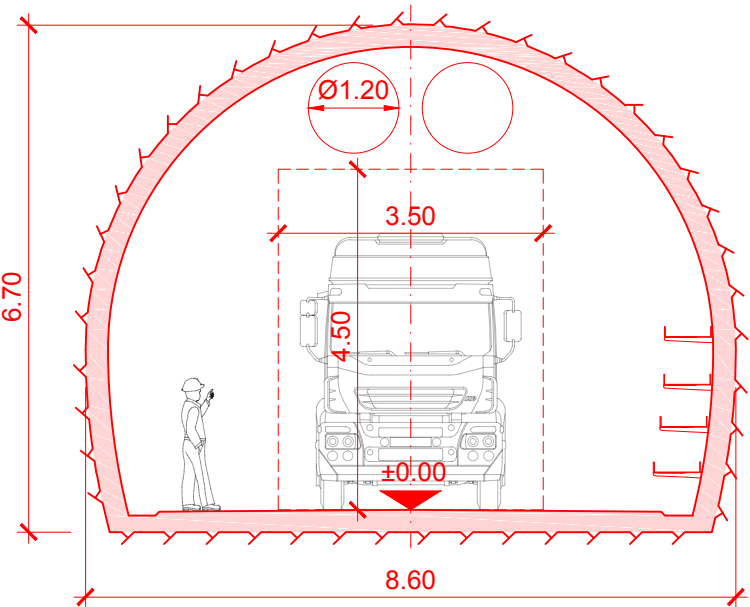
Sección F-F  
Galería de ventilación

(Proyecto TAN)



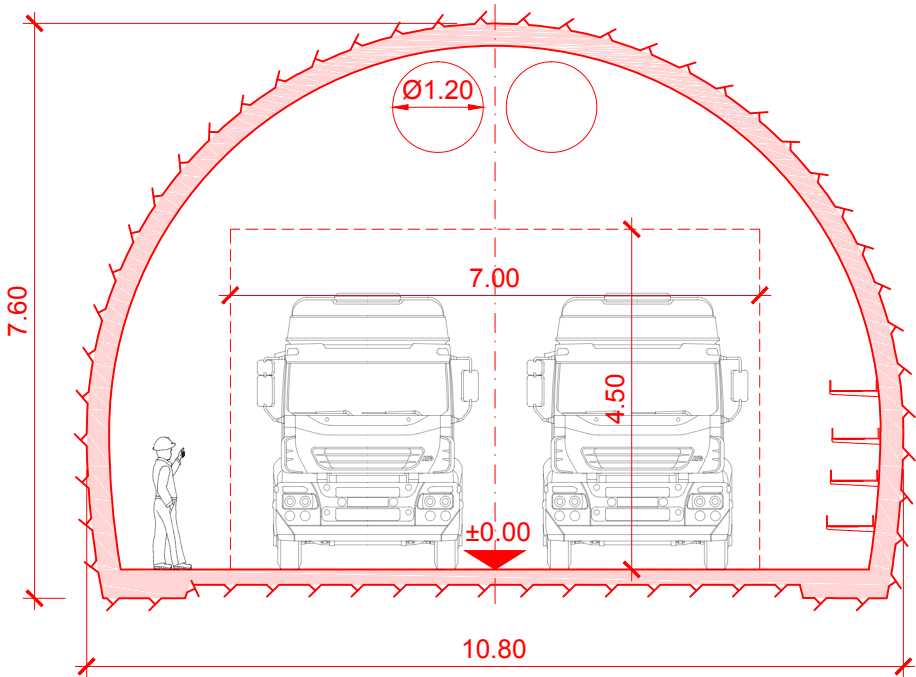
Sección D-D  
Galería de conexión interna Laboratorio

A= 49 m2



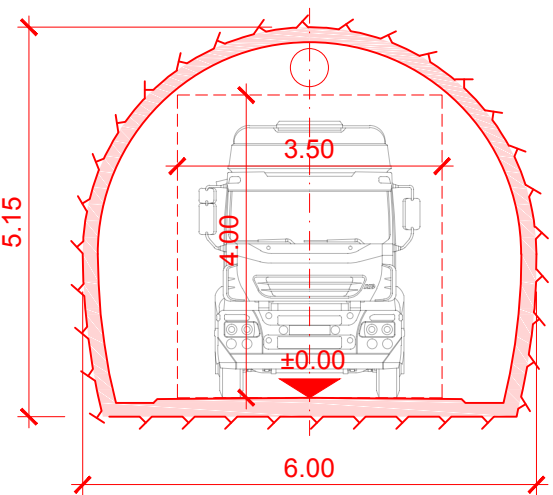
Sección C-C  
Zona de tránsito central

A= 68 m2



Sección E-E  
Galería de acceso al fondo del pozo

A= 27 m2



Notas:

- Planimetría esquemática variante 1 ver Anexo B.1
- Planimetría esquemática variante 2 ver Anexo B.2



|           |                                                                                                                                                          |           |                                                                                                |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CLIENTE:  |  CLAF<br>Centro Latinoamericano de Física<br>Rio de Janeiro, Brasil | DISEÑO:   |  Lombardi |
| TÍTULO:   | LABORATORIO SUBTERRÁNEO ANDES<br>Nuevo Estudio Conceptual<br>Variantes 1 y 2 - Secciones esquemáticas                                                    |           |                                                                                                |
| DIBUJADO: | CONTROLADO:                                                                                                                                              | APROBADO: | No. Documento: Anexo C.1                                                                       |
| Sc        | Gub                                                                                                                                                      | RL        | FECHA:<br>19.12.2014                                                                           |

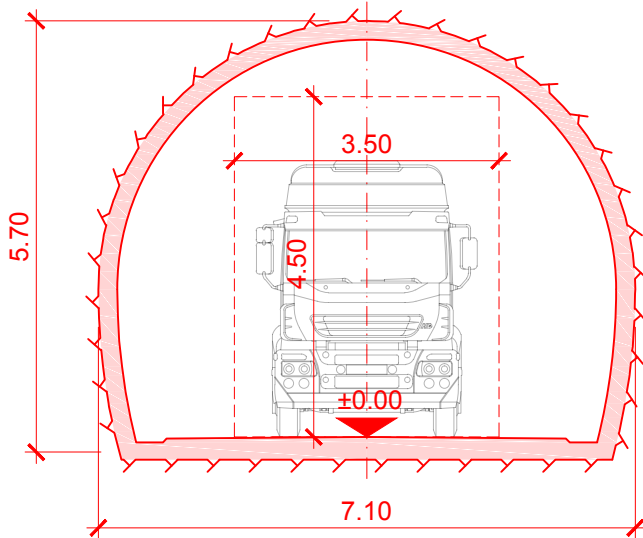
Variante 3: Lado Sur, frontera / Variante 4: Lado Norte, frontera

Secciones esquemáticas accesos

(1:100)

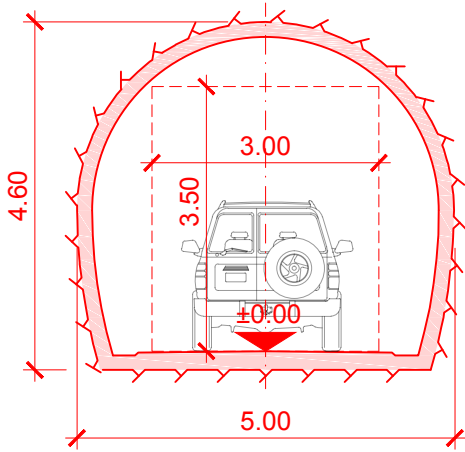
Sección A-A  
Galería de acceso/salida principal

A= 35 m2



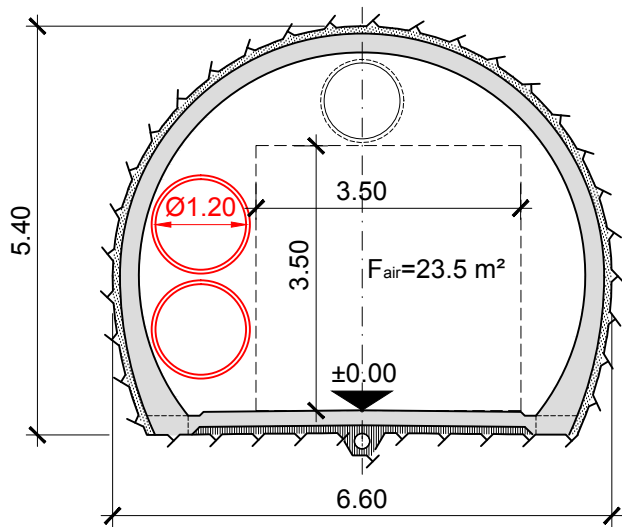
Sección B-B  
Galería de acceso/salida secundaria

A= 20 m2



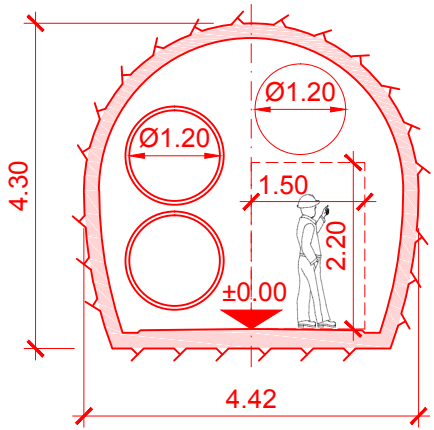
Sección F-F  
Galería de ventilación

(Proyecto TAN)



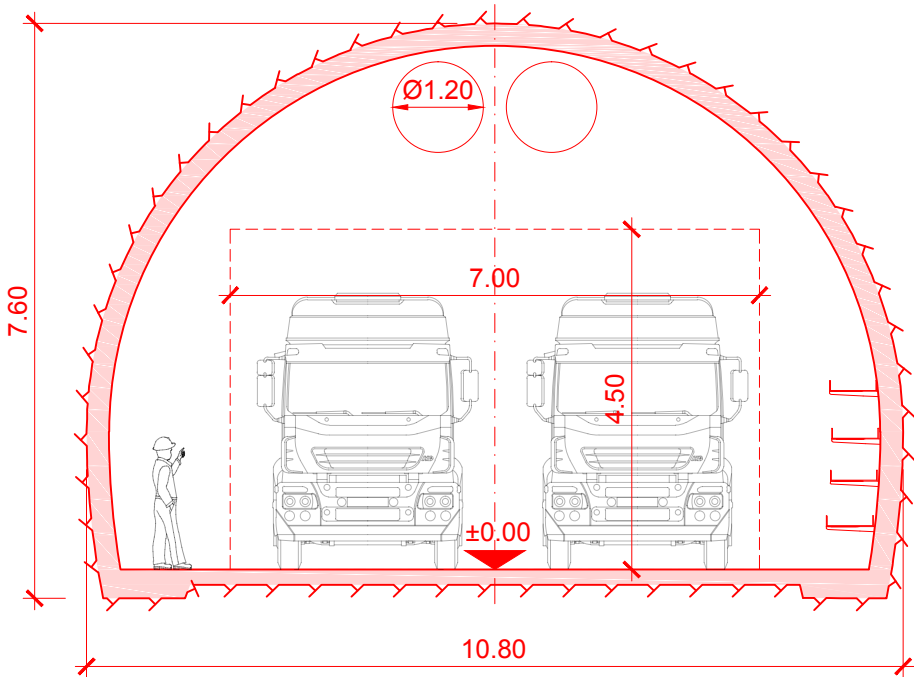
Sección G-G  
Galería técnica de ventilación

A= 16 m2



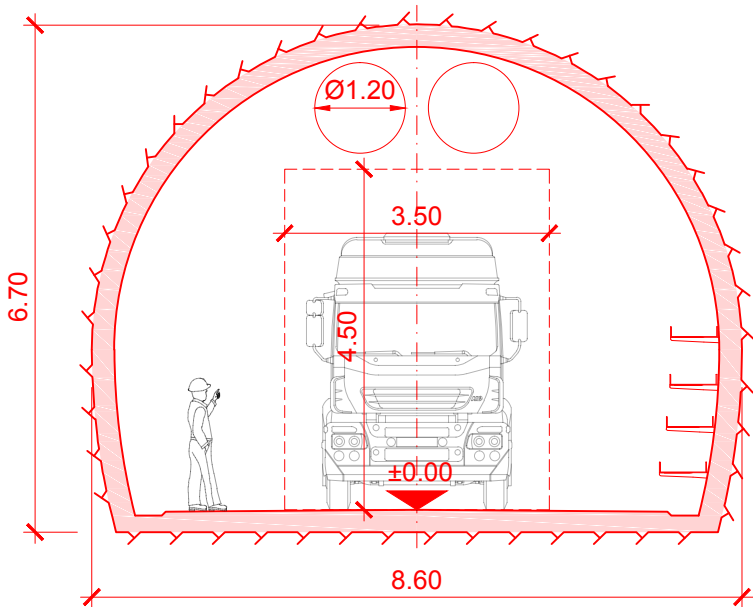
Sección C-C  
Zona de tránsito central

A= 68 m2



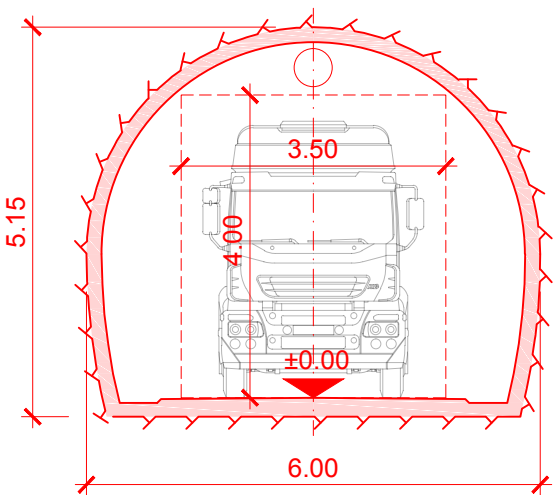
Sección D-D  
Galería de conexión interna Laboratorio

A= 49 m2



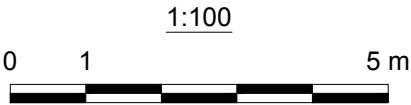
Sección E-E  
Galería de acceso al fondo del pozo

A= 27 m2



Notas:

- Planimetría esquemática variante 3 ver Anexo B.3
- Planimetría esquemática variante 4 ver Anexo B.4



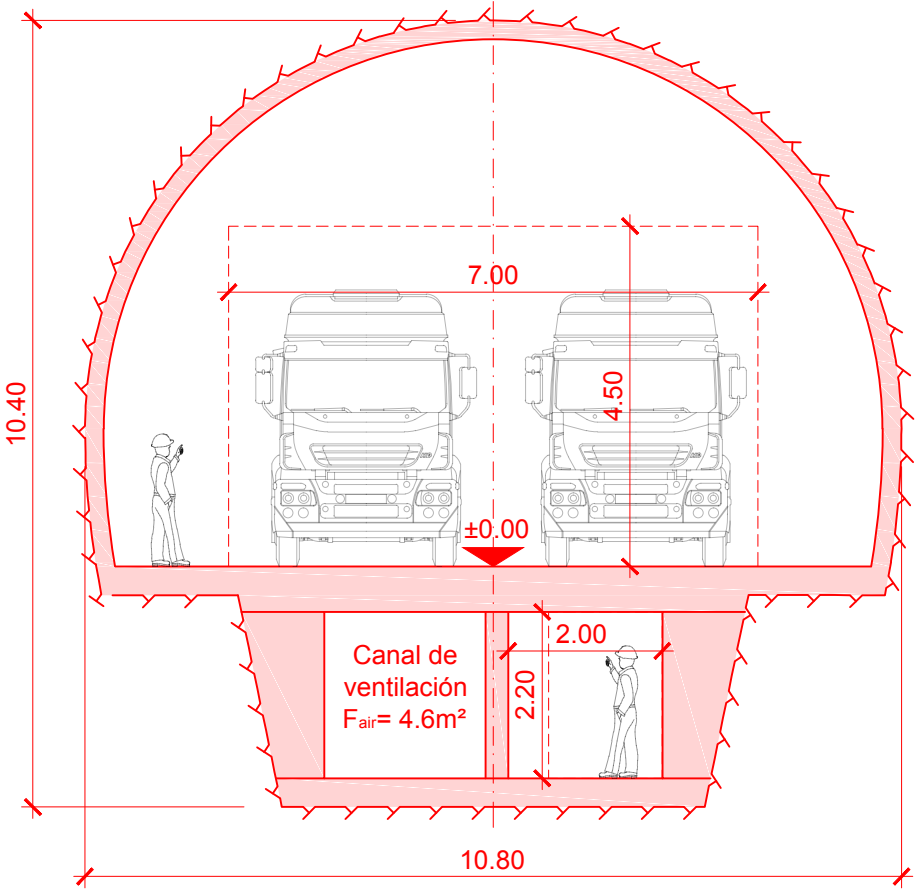
|                                                           |                                                                                       |                                                                    |                |                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CLIENTE:                                                  |  | CLAF<br>Centro Latinoamericano de Física<br>Rio de Janeiro, Brasil | DISEÑO:        |  <b>Lombardi</b> |
| LABORATORIO SUBTERRÁNEO ANDES<br>Nuevo Estudio Conceptual |                                                                                       |                                                                    |                |                                                                                                       |
| TÍTULO:<br>Variantes 3 y 4 - Secciones esquemáticas       |                                                                                       |                                                                    |                |                                                                                                       |
| DIBUJADO:                                                 | CONTROLADO:                                                                           | APROBADO:                                                          | No. Documento: | FECHA:                                                                                                |
| Sc                                                        | Gub                                                                                   | RL                                                                 | Anexo C.2      | 19.12.2014                                                                                            |

Variante 5: Lado Sur, mínima  
Secciones esquemáticas accesos

(1:100)

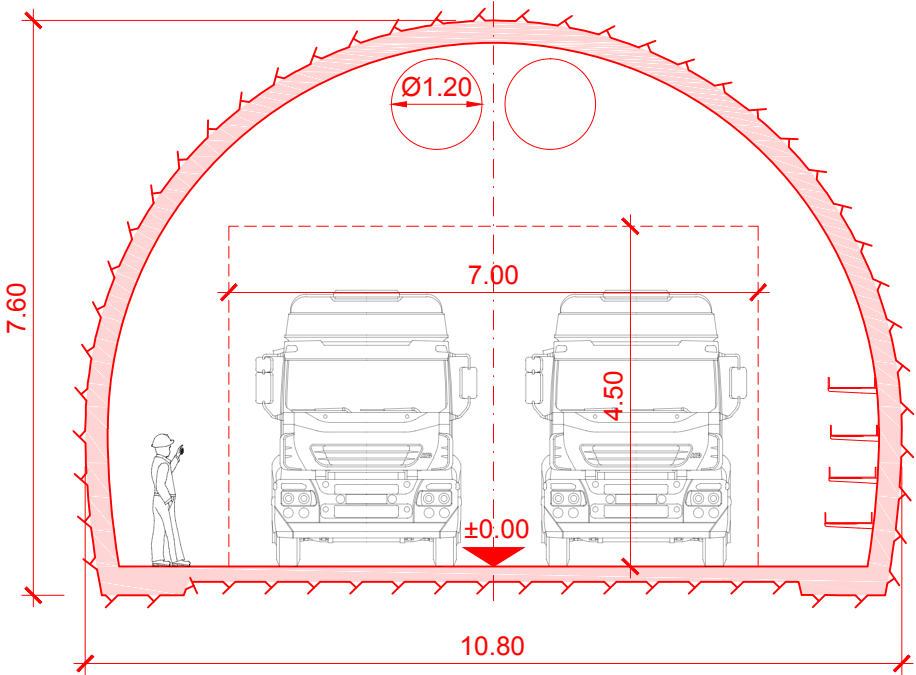
Sección A-A  
Galería de acceso principal

A= 86 m2



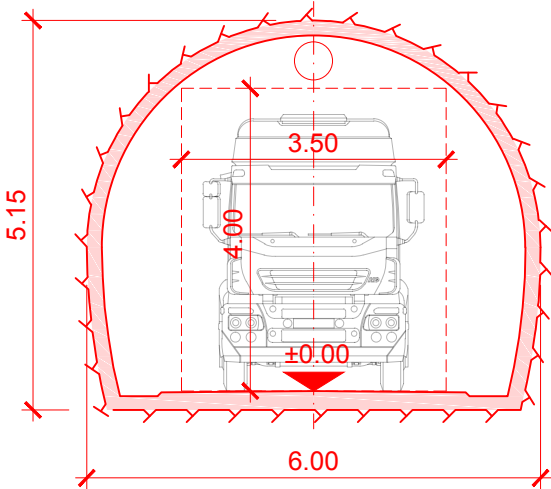
Sección B-B  
Galería de conexión interna Laboratorio

A= 68 m2



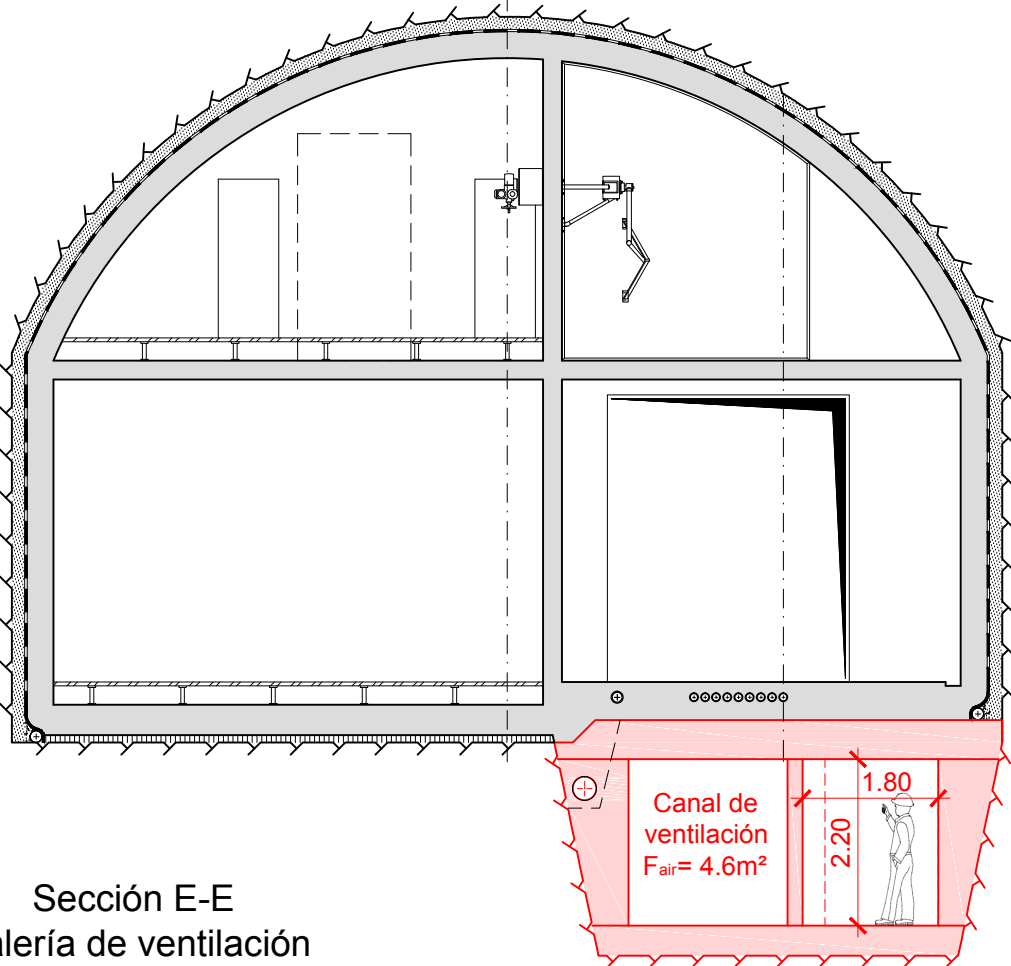
Sección C-C  
Galería de acceso al fondo del pozo

A= 27 m2



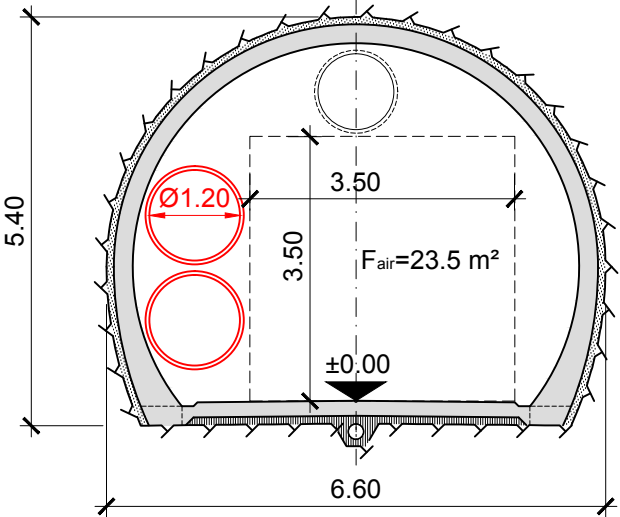
Sección D-D  
Galería de interconexión (CEO 18)

(Proyecto TAN)



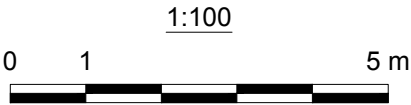
Sección E-E  
Galería de ventilación

(Proyecto TAN)



Notas:

- Planimetría esquemática variante 5 ver Anexo B.5
- La misma solución puede ser realizada en el lado Norte

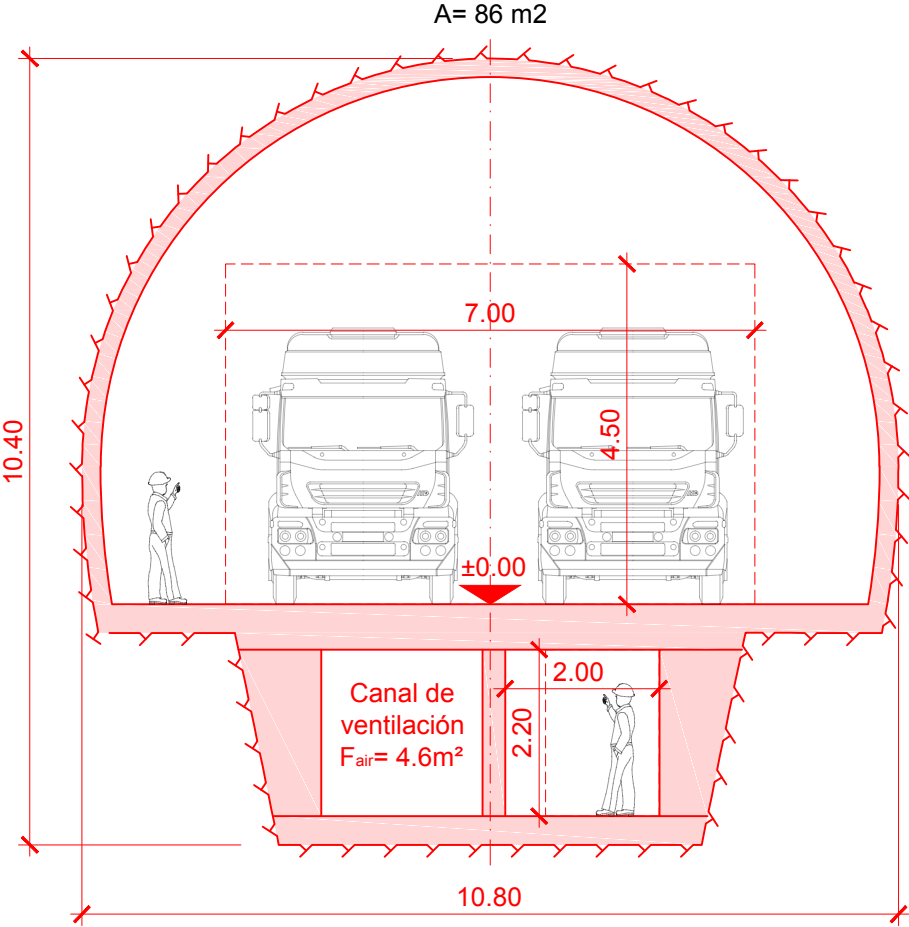


|                                                           |                                                                                                                                                             |           |                |                      |                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CLIENTE:                                                  | <br>CLAF<br>Centro Latinoamericano de Física<br>Rio de Janeiro, Brasil | DISEÑO:   |                |                      |  <b>Lombardi</b> |
| LABORATORIO SUBTERRÁNEO ANDES<br>Nuevo Estudio Conceptual |                                                                                                                                                             |           |                |                      |                                                                                                       |
| TÍTULO: Variante 5 - Secciones esquemáticas               |                                                                                                                                                             |           |                |                      |                                                                                                       |
| DIBUJADO:                                                 | CONTROLADO:                                                                                                                                                 | APROBADO: | No. Documento: | Anexo C.3            |                                                                                                       |
| Sc                                                        | Gub                                                                                                                                                         | RL        |                | FECHA:<br>19.12.2014 |                                                                                                       |

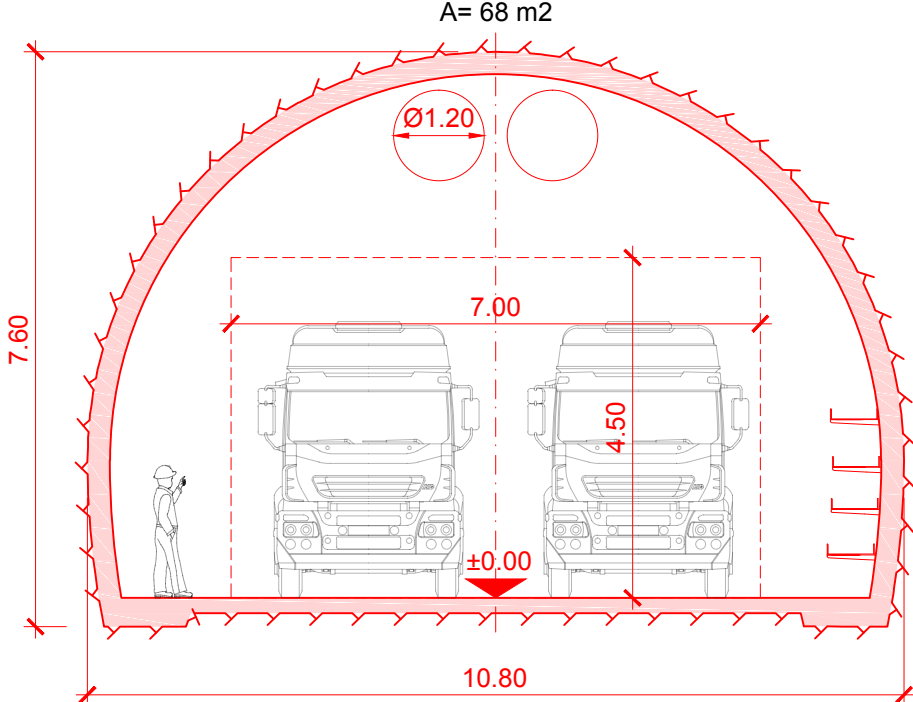
Variante 6: Lado Norte, mínima, frontera

Secciones esquemáticas accesos

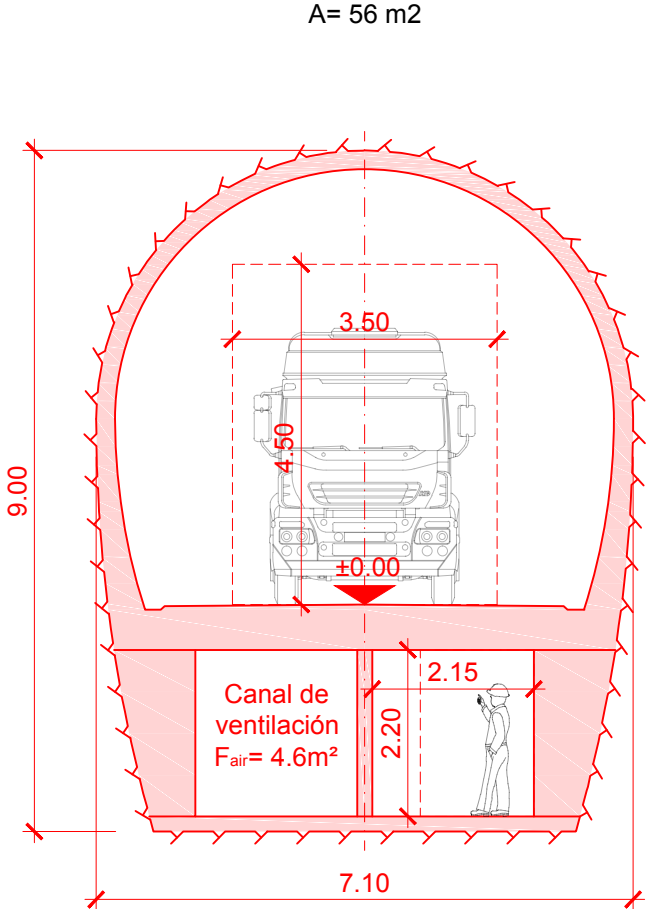
Sección A-A  
Galería de acceso principal



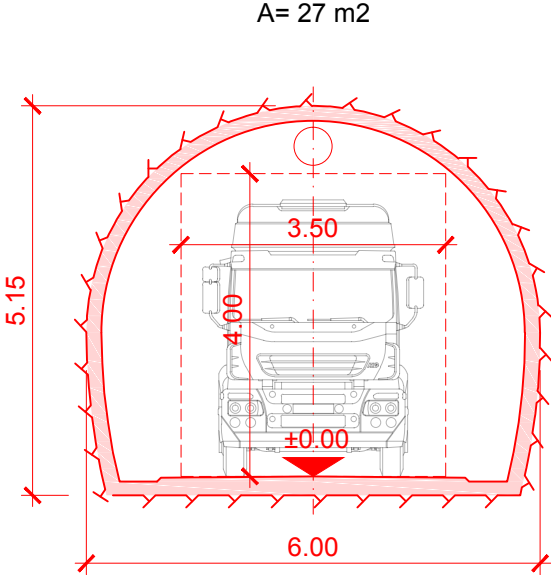
Sección B-B  
Galería de conexión interna Laboratorio



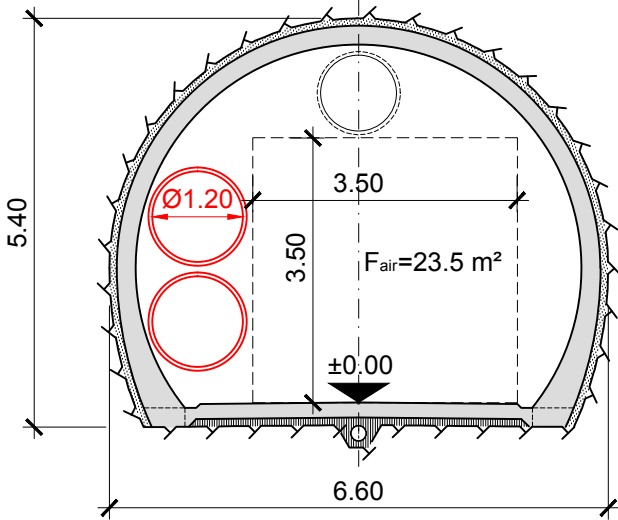
Sección D-D  
Galería de interconexión vehicular (GIV 15)



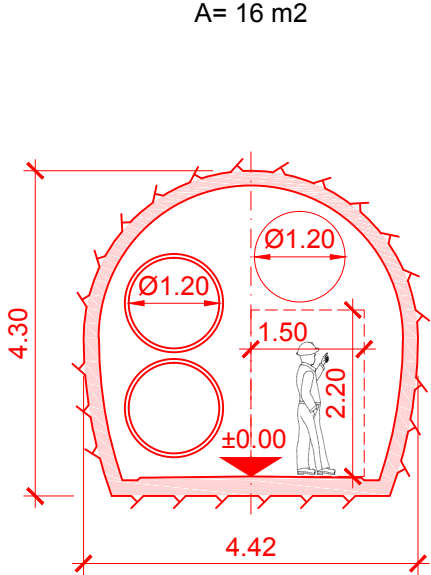
Sección C-C  
Galería de acceso al fondo del pozo



Sección E-E  
Galería de ventilación  
(Proyecto TAN)



Sección F-F  
Conexión técnica de ventilación



Notas:

- Planimetría esquemática variante 6 ver Anexo B.6
- La misma solución puede ser realizada en el lado Sur



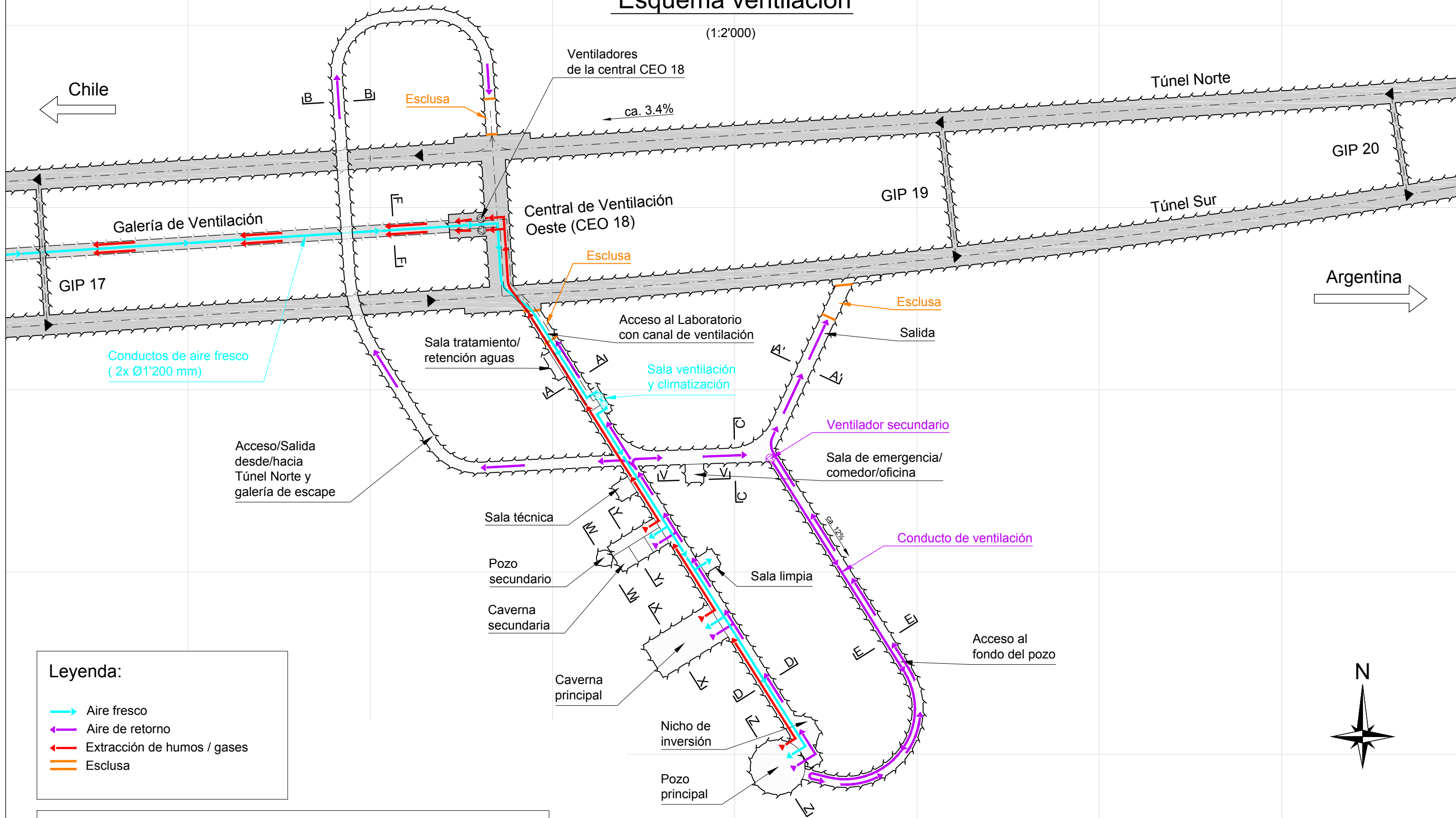
|                                                           |                                                                                       |                                                                    |                |                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CLIENTE:                                                  |  | CLAF<br>Centro Latinoamericano de Física<br>Rio de Janeiro, Brasil | DISEÑO:        |  <b>Lombardi</b> |
| LABORATORIO SUBTERRÁNEO ANDES<br>Nuevo Estudio Conceptual |                                                                                       |                                                                    |                |                                                                                                       |
| TÍTULO: Variante 6 - Secciones esquemáticas               |                                                                                       |                                                                    |                |                                                                                                       |
| DIBUJADO:                                                 | CONTROLADO:                                                                           | APROBADO:                                                          | No. Documento: | FECHA:                                                                                                |
| Sc                                                        | Gub                                                                                   | RL                                                                 | Anexo C.4      | 19.12.2014                                                                                            |

## **ANEXO D**

### Esquemas de ventilación

Variante 1: Lado Sur  
Esquema ventilación

(1:2'000)



Leyenda:

- Aire fresco
- ← Aire de retorno
- Extracción de humos / gases
- Esclusa

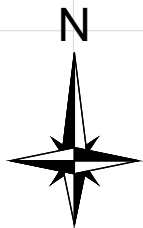
Notas:

- GIP: Galería de interconexión peatonal
- Secciones V-V, W-W, X-X, Y-Y y Z-Z ver Anexos A.1, A.2 y A.3
- Secciones A-A, A'-A', B-B, C-C, D-D, E-E y F-F ver Anexo C.1

|                                                           |  |                                                                                                                                                          |  |           |  |                                                                                                |  |
|-----------------------------------------------------------|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-----------|--|------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| CLIENTE:                                                  |  |  CLAF<br>Centro Latinoamericano de Física<br>Rio de Janeiro, Brasil |  | DISEÑO:   |  |  Lombardi |  |
| LABORATORIO SUBTERRÁNEO ANDES<br>Nuevo Estudio Conceptual |  |                                                                                                                                                          |  |           |  |                                                                                                |  |
| TÍTULO: Variante 1 - Esquema ventilación                  |  |                                                                                                                                                          |  |           |  |                                                                                                |  |
| DIBUJADO:                                                 |  | CONTROLADO:                                                                                                                                              |  | APROBADO: |  | No. Documento: Anexo D.1                                                                       |  |
| Sc                                                        |  | Gub                                                                                                                                                      |  | RL        |  | FECHA:<br>19.12.2014                                                                           |  |

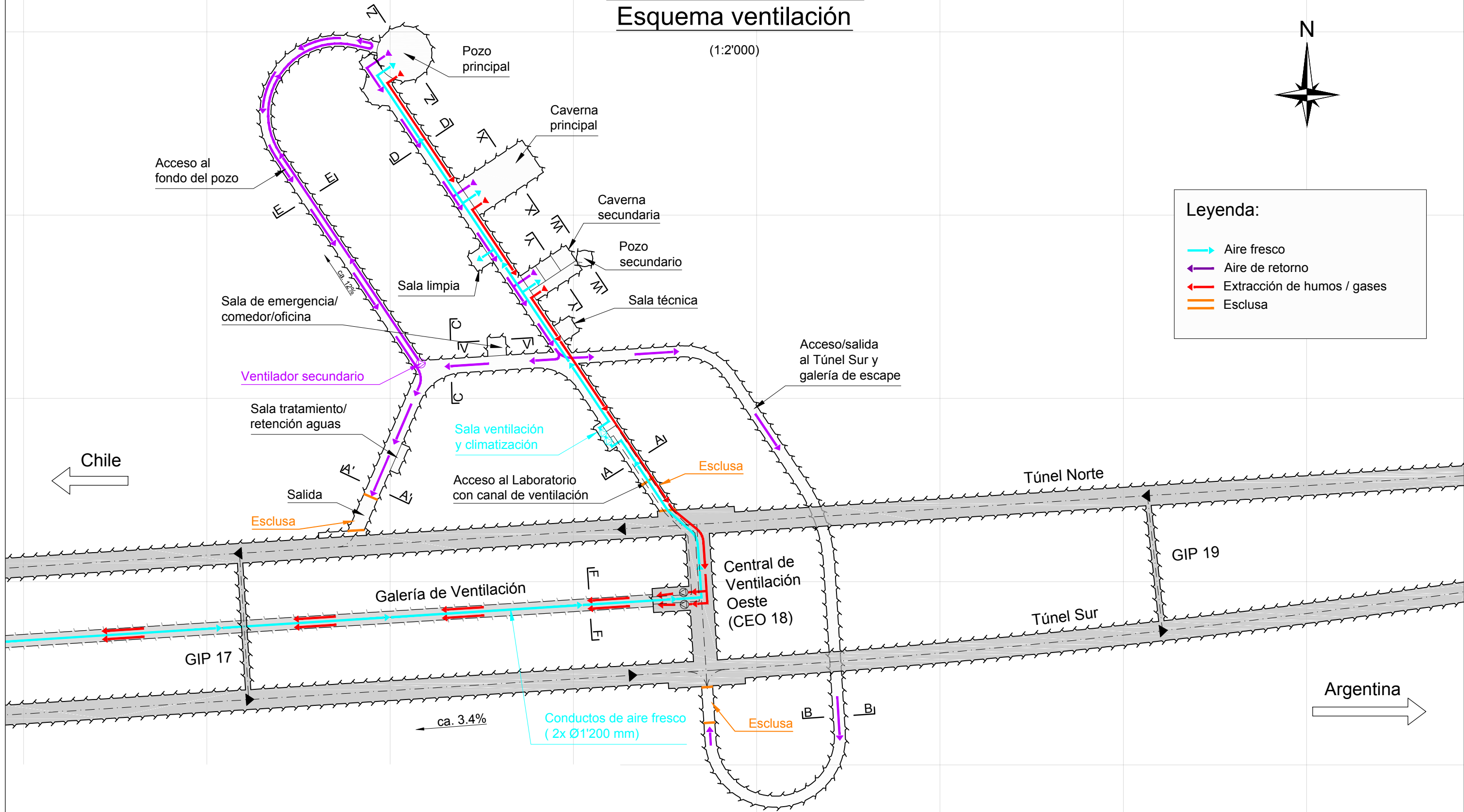
Variante 2: Lado Norte  
Esquema ventilación

(1:2'000)



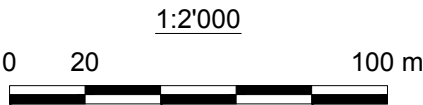
Leyenda:

- Aire fresco
- Aire de retorno
- Extracción de humos / gases
- Esclusa



Notas:

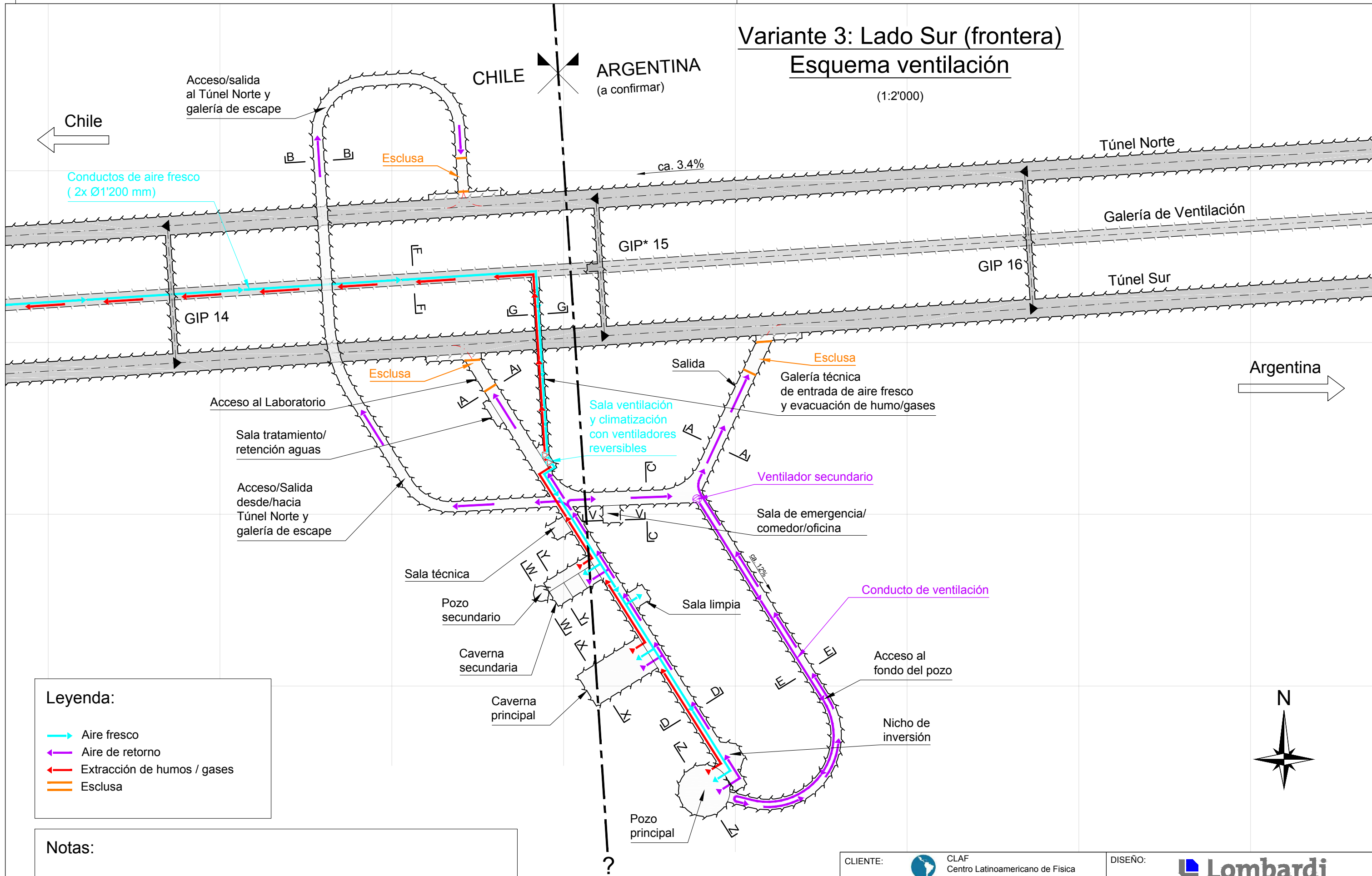
- GIP: Galería de interconexión peatonal
- Secciones V-V, W-W, X-X, Y-Y y Z-Z ver Anexos A.1, A.2 y A.3
- Secciones A-A, A'-A', B-B, C-C, D-D, E-E y F-F ver Anexo C.1



|                                                           |                                                                                                                                                          |                 |                                                                                                       |                      |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| CLIENTE:                                                  |  CLAF<br>Centro Latinoamericano de Física<br>Rio de Janeiro, Brasil | DISEÑO:         |  <b>Lombardi</b> |                      |
| LABORATORIO SUBTERRÁNEO ANDES<br>Nuevo Estudio Conceptual |                                                                                                                                                          |                 |                                                                                                       |                      |
| TÍTULO: Variante 2 - Esquema ventilación                  |                                                                                                                                                          |                 |                                                                                                       |                      |
| DIBUJADO:<br>Sc                                           | CONTROLADO:<br>Gub                                                                                                                                       | APROBADO:<br>RL | No. Documento: Anexo D.2                                                                              | FECHA:<br>19.12.2014 |

Variante 3: Lado Sur (frontera)  
Esquema ventilación

(1:2'000)



Leyenda:

- Aire fresco
- ← Aire de retorno
- Extracción de humos / gases
- Esclusa

Notas:

- GIP: Galería de interconexión peatonal
- Secciones V-V, W-W, X-X, Y-Y y Z-Z ver Anexos A.1, A.2 y A.3
- Secciones A-A, B-B, C-C, D-D, E-E, F-F y G-G ver Anexo C.2
- Límite territorial Chile-Argentina a confirmar por ambas cancillerías

|                                                           |                                                                                                                                                          |           |                                                                                                |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CLIENTE:                                                  |  CLAF<br>Centro Latinoamericano de Física<br>Rio de Janeiro, Brasil | DISEÑO:   |  Lombardi |
| LABORATORIO SUBTERRÁNEO ANDES<br>Nuevo Estudio Conceptual |                                                                                                                                                          |           |                                                                                                |
| TÍTULO:                                                   | Variante 3 - Esquema ventilación                                                                                                                         |           |                                                                                                |
| DIBUJADO:                                                 | CONTROLADO:                                                                                                                                              | APROBADO: | No. Documento:                                                                                 |
| Sc                                                        | Gub                                                                                                                                                      | RL        | Anexo D.3                                                                                      |
|                                                           |                                                                                                                                                          |           | FECHA:                                                                                         |
|                                                           |                                                                                                                                                          |           | 19.12.2014                                                                                     |

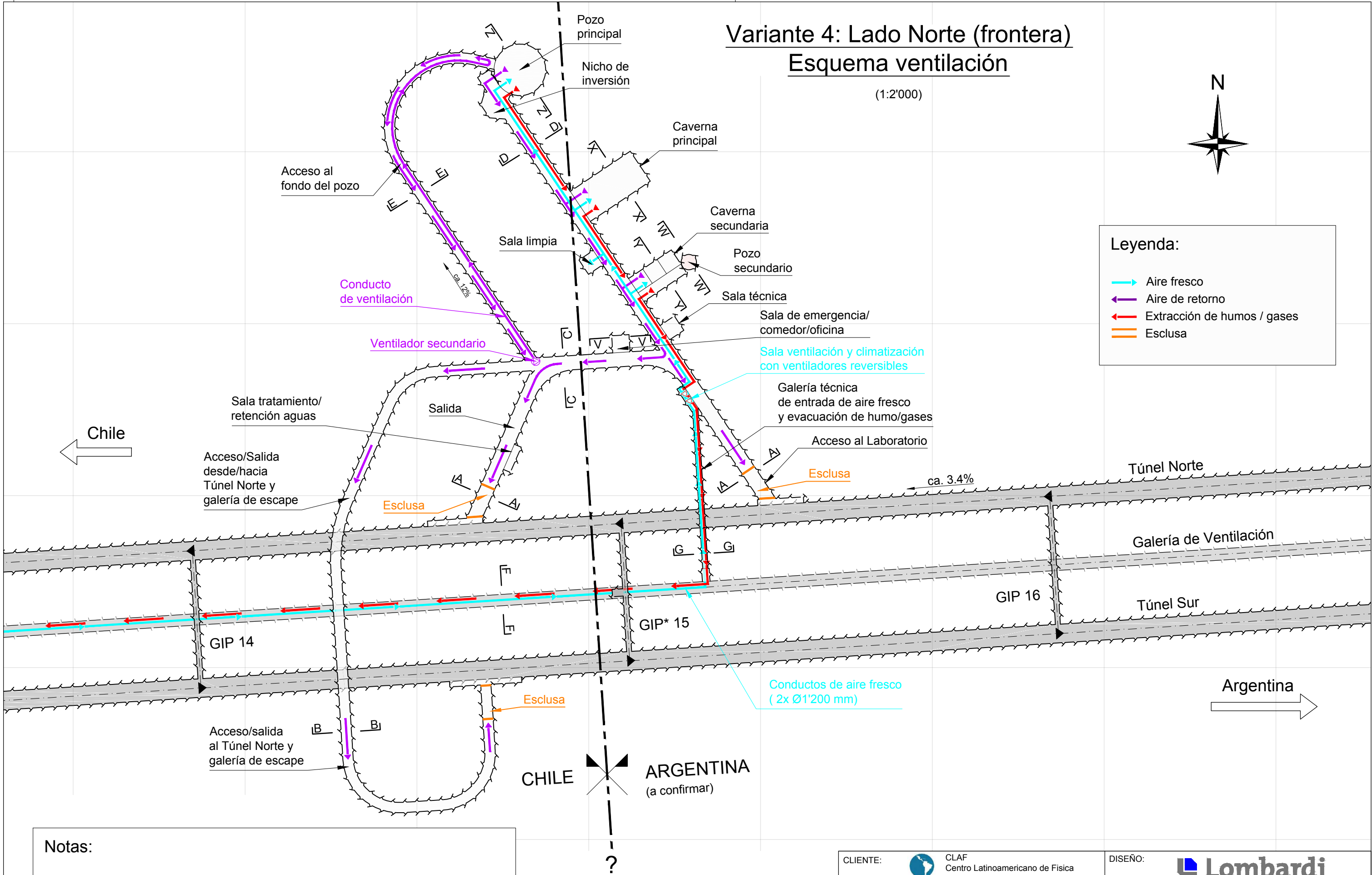
Variante 4: Lado Norte (frontera)  
Esquema ventilación

(1:2'000)



Leyenda:

- Aire fresco
- Aire de retorno
- Extracción de humos / gases
- Esclusa



Notas:

- GIP: Galería de interconexión peatonal
- Secciones V-V, W-W, X-X, Y-Y y Z-Z ver Anexos A.1, A.2 y A.3
- Secciones A-A, B-B, C-C, D-D, E-E, F-F y G-G ver Anexo C.2
- Límite territorial Chile-Argentina a confirmar por ambas cancillerías

CLIENTE:



CLAF  
Centro Latinoamericano de Física  
Rio de Janeiro, Brasil

DISEÑO:

**Lombardi**

LABORATORIO SUBTERRÁNEO ANDES  
Nuevo Estudio Conceptual

TÍTULO:

Variante 4 - Esquema ventilación

DIBUJADO:

Sc

CONTROLADO:

Gub

APROBADO:

RL

No. Documento:

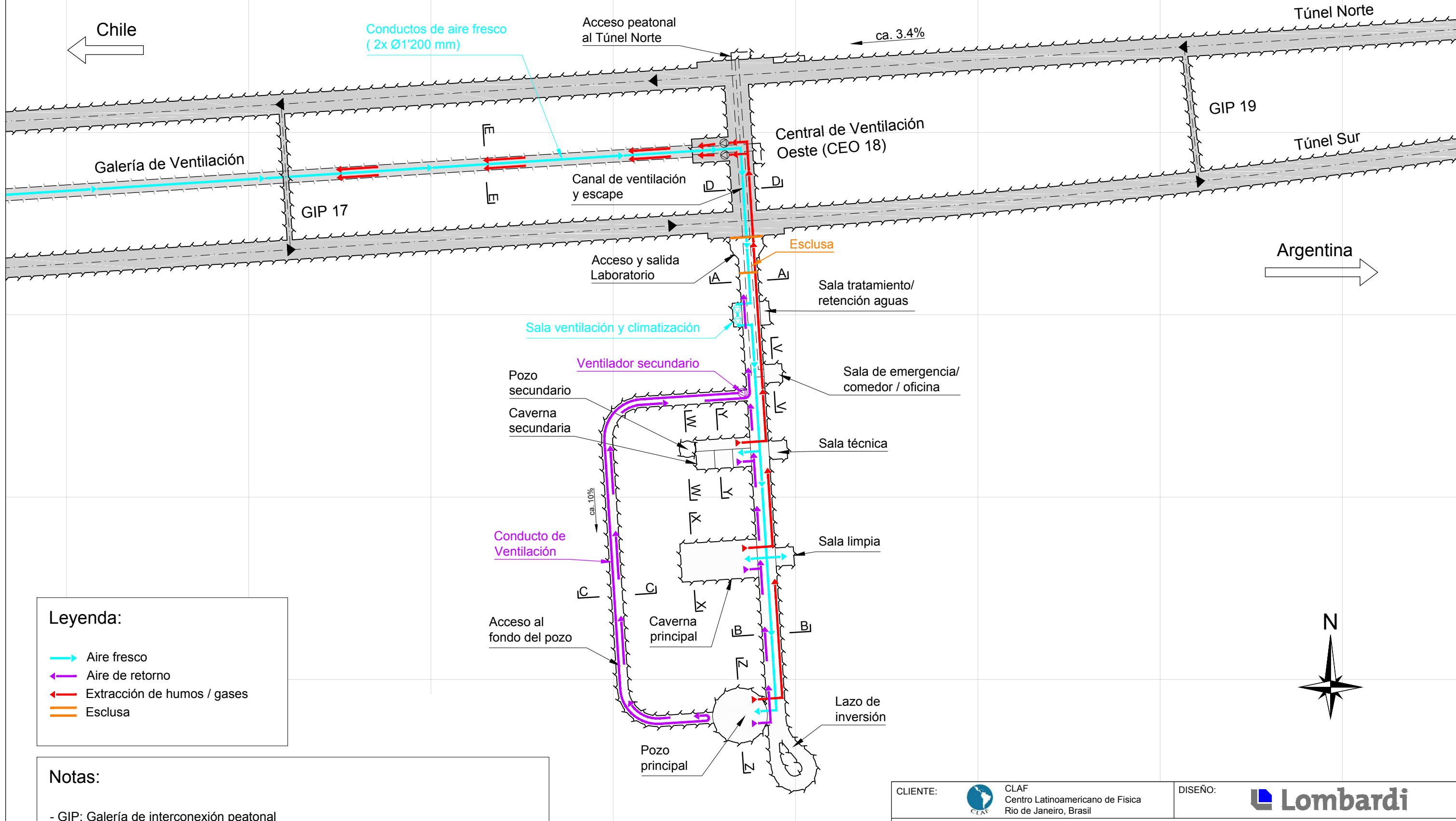
Anexo D.4

FECHA:

19.12.2014

Variante 5: Lado Sur (mínima)  
Esquema ventilación

(1:2'000)



Leyenda:

- Aire fresco
- ← Aire de retorno
- ↔ Extracción de humos / gases
- Esclusa

Notas:

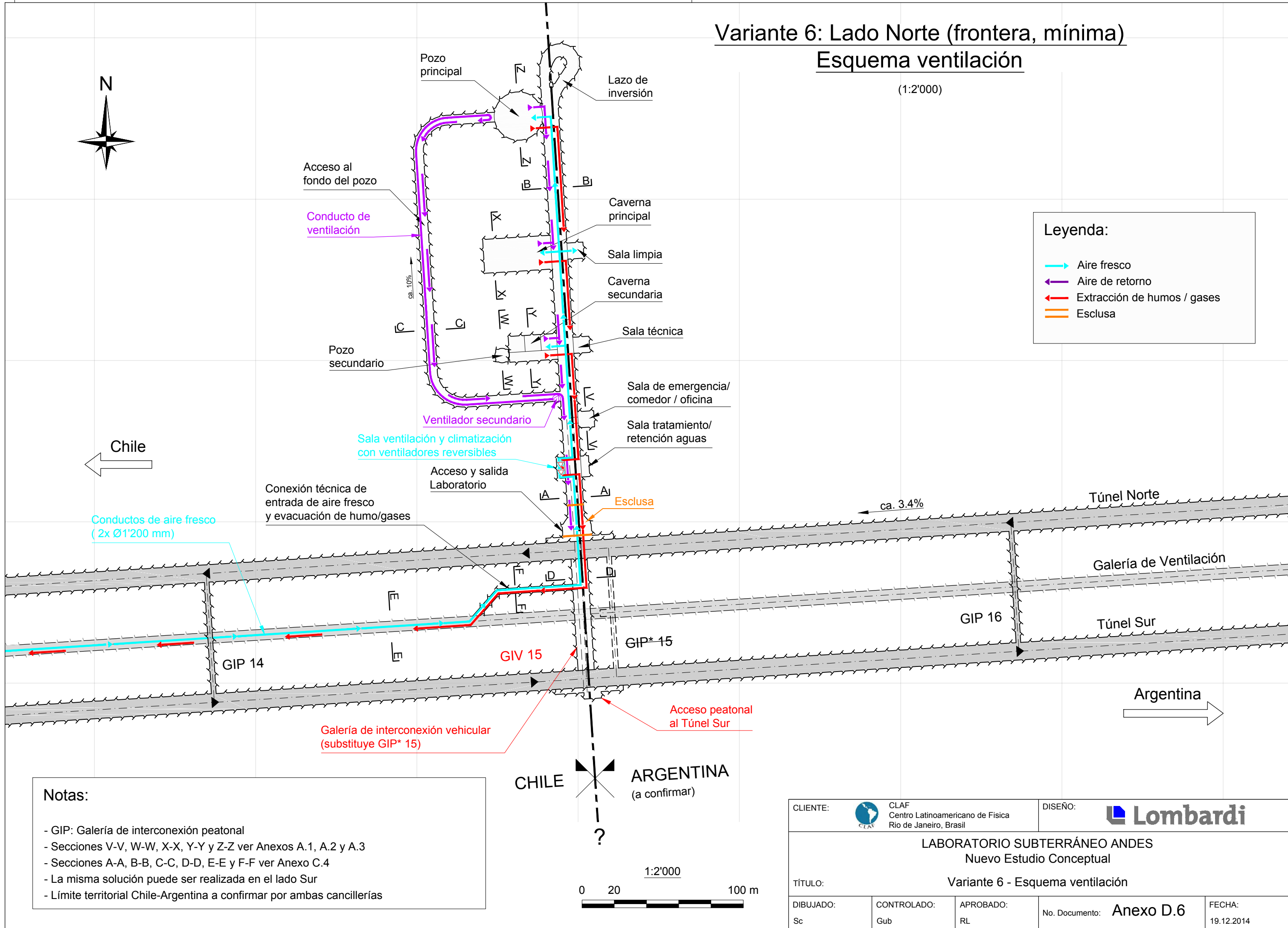
- GIP: Galería de interconexión peatonal
- Secciones V-V, W-W, X-X, Y-Y y Z-Z ver Anexos A.1, A.2 y A.3
- Secciones A-A, B-B, C-C, D-D y E-E ver Anexo C.3
- La misma solución puede ser realizada en el lado Norte

|                                                           |                                                                                                                                                                       |           |                                                                                                       |                      |  |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--|
| CLIENTE:                                                  |  <div>CLAF<br/>Centro Latinoamericano de Física<br/>Rio de Janeiro, Brasil</div> | DISEÑO:   |  <b>Lombardi</b> |                      |  |
| LABORATORIO SUBTERRÁNEO ANDES<br>Nuevo Estudio Conceptual |                                                                                                                                                                       |           |                                                                                                       |                      |  |
| TÍTULO:                                                   | Variante 5 - Esquema ventilación                                                                                                                                      |           |                                                                                                       |                      |  |
| DIBUJADO:                                                 | CONTROLADO:                                                                                                                                                           | APROBADO: | No. Documento:                                                                                        | Anexo D.5            |  |
| Sc                                                        | Gub                                                                                                                                                                   | RL        |                                                                                                       | FECHA:<br>19.12.2014 |  |

Variante 6: Lado Norte (frontera, mínima)

Esquema ventilación

(1:2'000)



Notas:

- GIP: Galería de interconexión peatonal
- Secciones V-V, W-W, X-X, Y-Y y Z-Z ver Anexos A.1, A.2 y A.3
- Secciones A-A, B-B, C-C, D-D, E-E y F-F ver Anexo C.4
- La misma solución puede ser realizada en el lado Sur
- Límite territorial Chile-Argentina a confirmar por ambas cancillerías

|                                                           |                                                                                                                                                          |           |                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| CLIENTE:                                                  |  CLAF<br>Centro Latinoamericano de Física<br>Rio de Janeiro, Brasil | DISEÑO:   |  |
| LABORATORIO SUBTERRÁNEO ANDES<br>Nuevo Estudio Conceptual |                                                                                                                                                          |           |                                                                                       |
| TÍTULO:                                                   | Variante 6 - Esquema ventilación                                                                                                                         |           |                                                                                       |
| DIBUJADO:                                                 | CONTROLADO:                                                                                                                                              | APROBADO: | No. Documento:                                                                        |
| Sc                                                        | Gub                                                                                                                                                      | RL        | Anexo D.6                                                                             |
|                                                           |                                                                                                                                                          |           | FECHA:                                                                                |
|                                                           |                                                                                                                                                          |           | 19.12.2014                                                                            |

## **ANEXO E**

Tablas de cómputo métrico y estimación de costos

## Anexo E.1: Cálculo métrico y estimación costos

### Variantes 1 y 2

| Objeto                                                                 | Longitud<br>[m] | Area sección<br>[m2] | Volumen<br>[m3] | Costo unitario |                 | Costo<br>[USD] |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------|----------------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| Espacios Laboratorio                                                   |                 |                      |                 |                |                 |                |
| Caverna principal                                                      | 50              | 530                  | 26'500          | 250            | USD/m3          | 6'625'000      |
| Pozo principal                                                         | -               | -                    | 30'600          | 300            | USD/m3          | 9'180'000      |
| Caverna secundaria                                                     | 40              | 233                  | 9'320           | 240            | USD/m3          | 2'236'800      |
| Pozo secundario                                                        | -               | -                    | 1'125           | 300            | USD/m3          | 337'500        |
| Otros espacios                                                         |                 |                      |                 |                |                 |                |
| Sala emergencia, comedor, oficina                                      | 10              | 68                   | 680             | 300            | USD/m3          | 204'000        |
| Sala limpia                                                            | 10              | 68                   | 680             | 300            | USD/m3          | 204'000        |
| Sala técnica                                                           | 10              | 68                   | 680             | 250            | USD/m3          | 170'000        |
| Sala tratamiento aguas                                                 | 5               | 68                   | 340             | 250            | USD/m3          | 85'000         |
| Sala ventilación                                                       | 5               | 68                   | 340             | 250            | USD/m3          | 85'000         |
| Accesos y tránsito interno                                             |                 |                      |                 |                |                 |                |
| Entrada principal incluido canal ventilación                           | 100             | 56                   | 5'600           | 250            | USD/m3          | 1'400'000      |
| Salida principal                                                       | 100             | 35                   | 3'500           | 250            | USD/m3          | 875'000        |
| Zona central                                                           | 80              | 68                   | 5'440           | 250            | USD/m3          | 1'360'000      |
| Acceso/salida túnel opuesto/galería de escape                          | 460             | 20                   | 9'200           | 250            | USD/m3          | 2'300'000      |
| Acceso al fondo del pozo                                               | 250             | 27                   | 6'750           | 320            | USD/m3          | 2'160'000      |
| Túnel de conexión laboratorio                                          | 195             | 49                   | 9'555           | 190            | USD/m3          | 1'815'450      |
| Otros objetos                                                          |                 |                      |                 |                |                 |                |
| Bahía salida principal                                                 | -               | -                    | 600             | 200            | USD/m3          | 120'000        |
| TOTAL parcial obra civil                                               |                 |                      | 110'910         | 263            | USD/m3<br>medio | 29'157'750     |
| Instalaciones electromecánicas                                         |                 |                      |                 |                |                 |                |
| Aprovisionamiento eléctrico                                            |                 |                      |                 |                |                 | 1'173'750      |
| Instalaciones internas (iluminación, conductos y bandejas cables)      |                 |                      |                 |                |                 | 147'500        |
| Instalaciones especiales (radio, comunicación, vigilancia)             |                 |                      |                 |                |                 | 570'000        |
| Elementos metálicos (puertas, portones y puentes grúa)                 |                 |                      |                 |                |                 | 799'000        |
| Instalaciones de ventilación, acondicionamiento y gestión de las aguas |                 |                      |                 |                |                 | 6'420'000      |
| TOTAL parcial instalaciones EM                                         |                 |                      |                 |                |                 | 9'110'250      |
| TOTAL                                                                  |                 |                      |                 |                |                 | 38'268'000     |

## Anexo E.2: Cálculo métrico y estimación costos

### Variantes 3 y 4

| Objeto                                                                 | Longitud<br>[m] | Area sección<br>[m2] | Volumen<br>[m3] | Costo unitario |                 | Costo<br>[USD] |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------|----------------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| <b>Espacios Laboratorio</b>                                            |                 |                      |                 |                |                 |                |
| Caverna principal                                                      | 50              | 530                  | 26'500          | 250            | USD/m3          | 6'625'000      |
| Pozo principal                                                         | -               | -                    | 30'600          | 300            | USD/m3          | 9'180'000      |
| Caverna secundaria                                                     | 40              | 233                  | 9'320           | 240            | USD/m3          | 2'236'800      |
| Pozo secundario                                                        | -               | -                    | 1'125           | 300            | USD/m3          | 337'500        |
| <b>Otros espacios</b>                                                  |                 |                      |                 |                |                 |                |
| Sala emergencia, comedor, oficina                                      | 10              | 68                   | 680             | 300            | USD/m3          | 204'000        |
| Sala limpia                                                            | 10              | 68                   | 680             | 300            | USD/m3          | 204'000        |
| Sala técnica                                                           | 10              | 68                   | 680             | 250            | USD/m3          | 170'000        |
| Sala tratamiento aguas                                                 | 5               | 68                   | 340             | 250            | USD/m3          | 85'000         |
| Sala ventilación                                                       | 5               | 68                   | 340             | 250            | USD/m3          | 85'000         |
| <b>Accesos y tránsito interno</b>                                      |                 |                      |                 |                |                 |                |
| Entrada principal                                                      | 100             | 35                   | 3'500           | 250            | USD/m3          | 875'000        |
| Salida principal                                                       | 100             | 35                   | 3'500           | 250            | USD/m3          | 875'000        |
| Zona central                                                           | 80              | 68                   | 5'440           | 250            | USD/m3          | 1'360'000      |
| Acceso/salida túnel opuesto/galería de escape                          | 460             | 20                   | 9'200           | 250            | USD/m3          | 2'300'000      |
| Acceso al fondo del pozo                                               | 250             | 27                   | 6'750           | 320            | USD/m3          | 2'160'000      |
| Túnel de conexión laboratorio                                          | 195             | 49                   | 9'555           | 190            | USD/m3          | 1'815'450      |
| <b>Otros objetos</b>                                                   |                 |                      |                 |                |                 |                |
| Bahía salida principal                                                 | -               | -                    | 600             | 200            | USD/m3          | 120'000        |
| Bahía acceso principal                                                 | -               | -                    | 1'200           | 200            | USD/m3          | 240'000        |
| Bahía acceso/salida Túnel Norte/Sur                                    | -               | -                    | 1'200           | 200            | USD/m3          | 240'000        |
| Galería técnica ventilación                                            | 100             | 16                   | 1'600           | 320            | USD/m3          | 512'000        |
| <b>TOTAL parcial obra civil</b>                                        |                 |                      | 112'810         | 263            | USD/m3<br>medio | 29'624'750     |
| <b>Instalaciones electromecánicas</b>                                  |                 |                      |                 |                |                 |                |
| Aprovisionamiento eléctrico                                            |                 |                      |                 |                |                 | 1'173'750      |
| Instalaciones internas (iluminación, conductos y bandejas cables)      |                 |                      |                 |                |                 | 147'500        |
| Instalaciones especiales (radio, comunicación, vigilancia)             |                 |                      |                 |                |                 | 570'000        |
| Elementos metálicos (puertas, portones y puentes grúa)                 |                 |                      |                 |                |                 | 799'000        |
| Instalaciones de ventilación, acondicionamiento y gestión de las aguas |                 |                      |                 |                |                 | 5'820'000      |
| <b>TOTAL parcial instalaciones EM</b>                                  |                 |                      |                 |                |                 | 8'510'250      |
| <b>TOTAL</b>                                                           |                 |                      |                 |                |                 | 38'135'000     |

### Anexo E.3: C  puto métrico y estimación costos

#### Variante 5

| Objeto                                                                   | Longitud<br>[m] | Area sección<br>[m2] | Volumen<br>[m3] | Costo unitario |                 | Costo<br>[USD] |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| <b>Espacios Laboratorio</b>                                              |                 |                       |                 |                |                 |                |
| Caverna principal                                                        | 50              | 530                   | 26'500          | 250            | USD/m3          | 6'625'000      |
| Pozo principal                                                           | -               | -                     | 30'600          | 300            | USD/m3          | 9'180'000      |
| Caverna secundaria                                                       | 40              | 233                   | 9'320           | 240            | USD/m3          | 2'236'800      |
| Pozo secundario                                                          | -               | -                     | 1'125           | 300            | USD/m3          | 337'500        |
| <b>Otros espacios</b>                                                    |                 |                       |                 |                |                 |                |
| Sala emergencia, comedor, oficina                                        | 10              | 68                    | 680             | 300            | USD/m3          | 204'000        |
| Sala limpia                                                              | 10              | 68                    | 680             | 300            | USD/m3          | 204'000        |
| Sala técnica                                                            | 10              | 68                    | 680             | 250            | USD/m3          | 170'000        |
| Sala tratamiento aguas                                                   | 5               | 68                    | 340             | 250            | USD/m3          | 85'000         |
| Sala ventilación                                                        | 5               | 68                    | 340             | 250            | USD/m3          | 85'000         |
| <b>Accesos y tránsito interno</b>                                       |                 |                       |                 |                |                 |                |
| Túnel de conexión laboratorio incluido acceso                          | 270             | 68                    | 18'360          | 190            | USD/m3          | 3'488'400      |
| Acceso al fondo del pozo                                                 | 290             | 27                    | 7'830           | 320            | USD/m3          | 2'505'600      |
| <b>Otros objetos</b>                                                     |                 |                       |                 |                |                 |                |
| Canal ventilación y escape incluido ascensos                            | 175             | 18                    | 3'150           | 510            | USD/m3          | 1'606'500      |
| Lazo de inversión                                                       | 80              | 35                    | 2'800           | 190            | USD/m3          | 532'000        |
| <b>TOTAL parcial obra civil</b>                                          |                 |                       | 102'405         | 266            | USD/m3<br>medio | 27'259'800     |
| <b>Instalaciones electromecánicas</b>                                   |                 |                       |                 |                |                 |                |
| Aprovisionamiento eléctrico                                             |                 |                       |                 |                |                 | 1'173'750      |
| Instalaciones internas (iluminación, conductos y bandejas cables)       |                 |                       |                 |                |                 | 147'500        |
| Instalaciones especiales (radio, comunicación, vigilancia)              |                 |                       |                 |                |                 | 570'000        |
| Elementos metálicos (puertas, portones y puentes grúa)                 |                 |                       |                 |                |                 | 399'000        |
| Instalaciones de ventilación, acondicionamiento y gestión de las aguas |                 |                       |                 |                |                 | 6'420'000      |
| <b>TOTAL parcial instalaciones EM</b>                                    |                 |                       |                 |                |                 | 8'710'250      |
| <b>TOTAL</b>                                                             |                 |                       |                 |                |                 | 35'970'050     |

## Anexo E.4: C  puto métrico y estimación costos

### Variante 6

| Objeto                                                                 | Longitud<br>[m] | Area secci3n<br>[m2] | Volumen<br>[m3] | Costo unitario |                 | Costo<br>[USD] |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------|----------------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| Espacios Laboratorio                                                   |                 |                      |                 |                |                 |                |
| Caverna principal                                                      | 50              | 530                  | 26'500          | 250            | USD/m3          | 6'625'000      |
| Pozo principal                                                         | -               | -                    | 30'600          | 300            | USD/m3          | 9'180'000      |
| Caverna secundaria                                                     | 40              | 233                  | 9'320           | 240            | USD/m3          | 2'236'800      |
| Pozo secundario                                                        | -               | -                    | 1'125           | 300            | USD/m3          | 337'500        |
| Otros espacios                                                         |                 |                      |                 |                |                 |                |
| Sala emergencia, comedor, oficina                                      | 10              | 68                   | 680             | 300            | USD/m3          | 204'000        |
| Sala limpia                                                            | 10              | 68                   | 680             | 300            | USD/m3          | 204'000        |
| Sala t3cnica                                                           | 10              | 68                   | 680             | 250            | USD/m3          | 170'000        |
| Sala tratamiento aguas                                                 | 5               | 68                   | 340             | 250            | USD/m3          | 85'000         |
| Sala ventilaci3n                                                       | 5               | 68                   | 340             | 250            | USD/m3          | 85'000         |
| Accesos y tr3nsito interno                                             |                 |                      |                 |                |                 |                |
| T3nel de conexi3n laboratorio incluido acceso                          | 270             | 68                   | 18'360          | 190            | USD/m3          | 3'488'400      |
| Acceso al fondo del pozo                                               | 290             | 27                   | 7'830           | 320            | USD/m3          | 2'505'600      |
| Otros objetos                                                          |                 |                      |                 |                |                 |                |
| Bahia T3nel Norte                                                      | -               | -                    | 1'200           | 200            | USD/m3          | 240'000        |
| Bahia T3nel Sur                                                        | -               | -                    | 1'200           | 200            | USD/m3          | 240'000        |
| Lazo de inversi3n                                                      | 80              | 35                   | 2'800           | 190            | USD/m3          | 532'000        |
| Conexi3n t3cnica ventilaci3n                                           | 70              | 16                   | 1'120           | 500            | USD/m3          | 560'000        |
| Canal ventilaci3n y escape incluido ascensos                           | 175             | 18                   | 3'150           | 510            | USD/m3          | 1'606'500      |
| Nuevo GIV 15                                                           | 70              | 35                   | 2'450           | 300            | USD/m3          | 735'000        |
| Menor costo GIP*15                                                     | -               | -                    | -               | -              | -               | -300'000       |
| TOTAL parcial obra civil                                               |                 |                      | 108'375         | 268            | USD/m3<br>medio | 28'734'800     |
| Instalaciones electromec3nicas                                         |                 |                      |                 |                |                 |                |
| Aprovisionamiento el3ctrico                                            |                 |                      |                 |                |                 | 1'173'750      |
| Instalaciones internas (iluminaci3n, conductos y bandejas cables)      |                 |                      |                 |                |                 | 147'500        |
| Instalaciones especiales (radio, comunicaci3n, vigilancia)             |                 |                      |                 |                |                 | 570'000        |
| Elementos met3licos (puertas, portones y puentes grúa)                 |                 |                      |                 |                |                 | 399'000        |
| Instalaciones de ventilaci3n, acondicionamiento y gesti3n de las aguas |                 |                      |                 |                |                 | 5'820'000      |
| TOTAL parcial instalaciones EM                                         |                 |                      |                 |                |                 | 8'110'250      |
| TOTAL                                                                  |                 |                      |                 |                |                 | 36'845'050     |