



**SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTECNIA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA**



BOGOTÁ D.C.- TREN METROPOLITANO - METRO

OBSERVACIONES GEOTÉCNICAS

**ALVARO J. GONZALEZ G. - Ing. Civil UN- M.Sc.(Hons)- DIC
Ex-Presidente Sociedad Colombiana de Geotecnia-SCG
Coordinador Comisión de Normatividad - SCG
Socio y Gerente AGC Ltda
Catedrático Emérito- Universidad Nacional de Colombia**

Bogotá D.C., Febrero de 2017

METRO SUBTERRÁNEO



METRO- LOCALIZACIÓN LÍNEA SUBTERRÁNEA

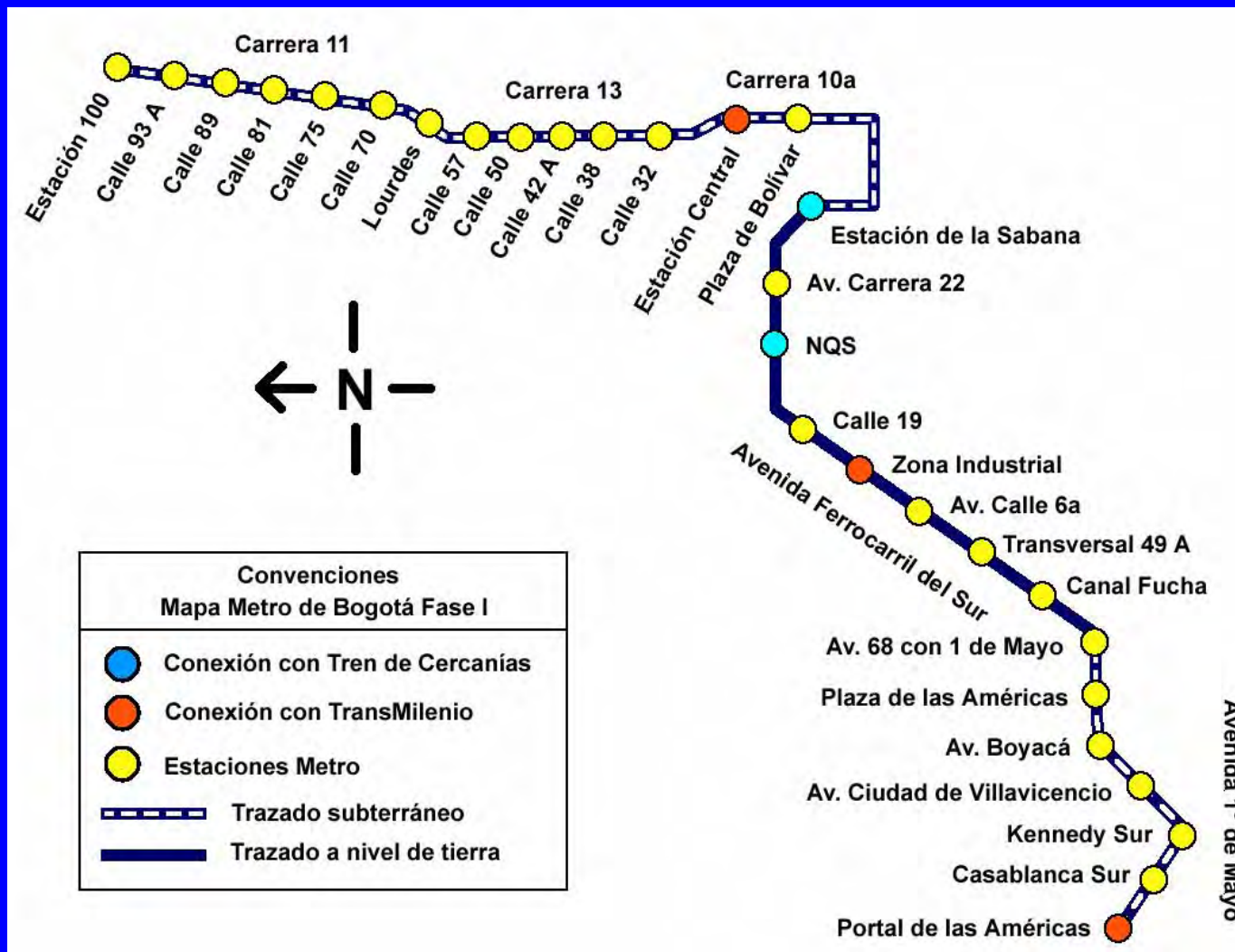
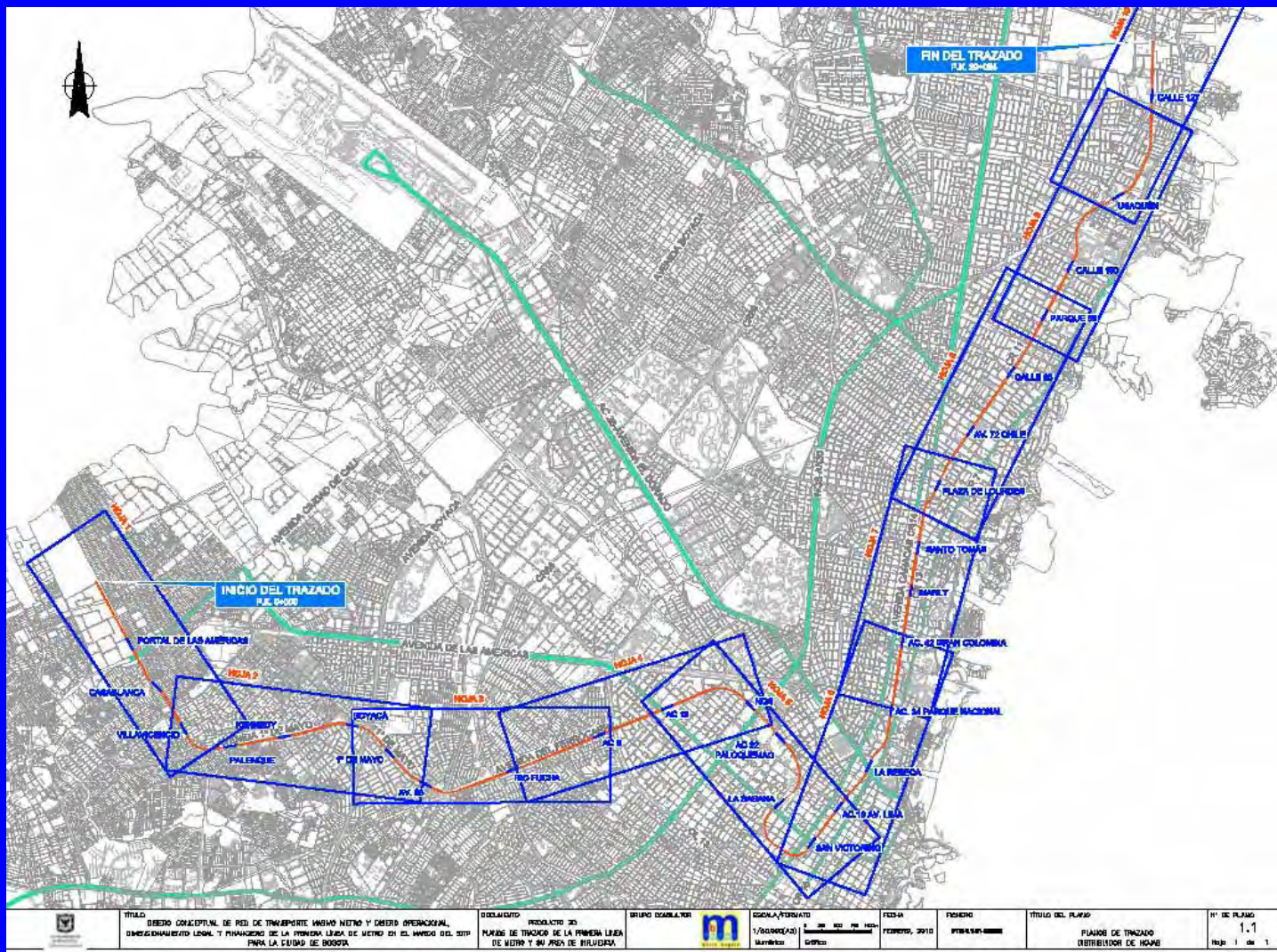


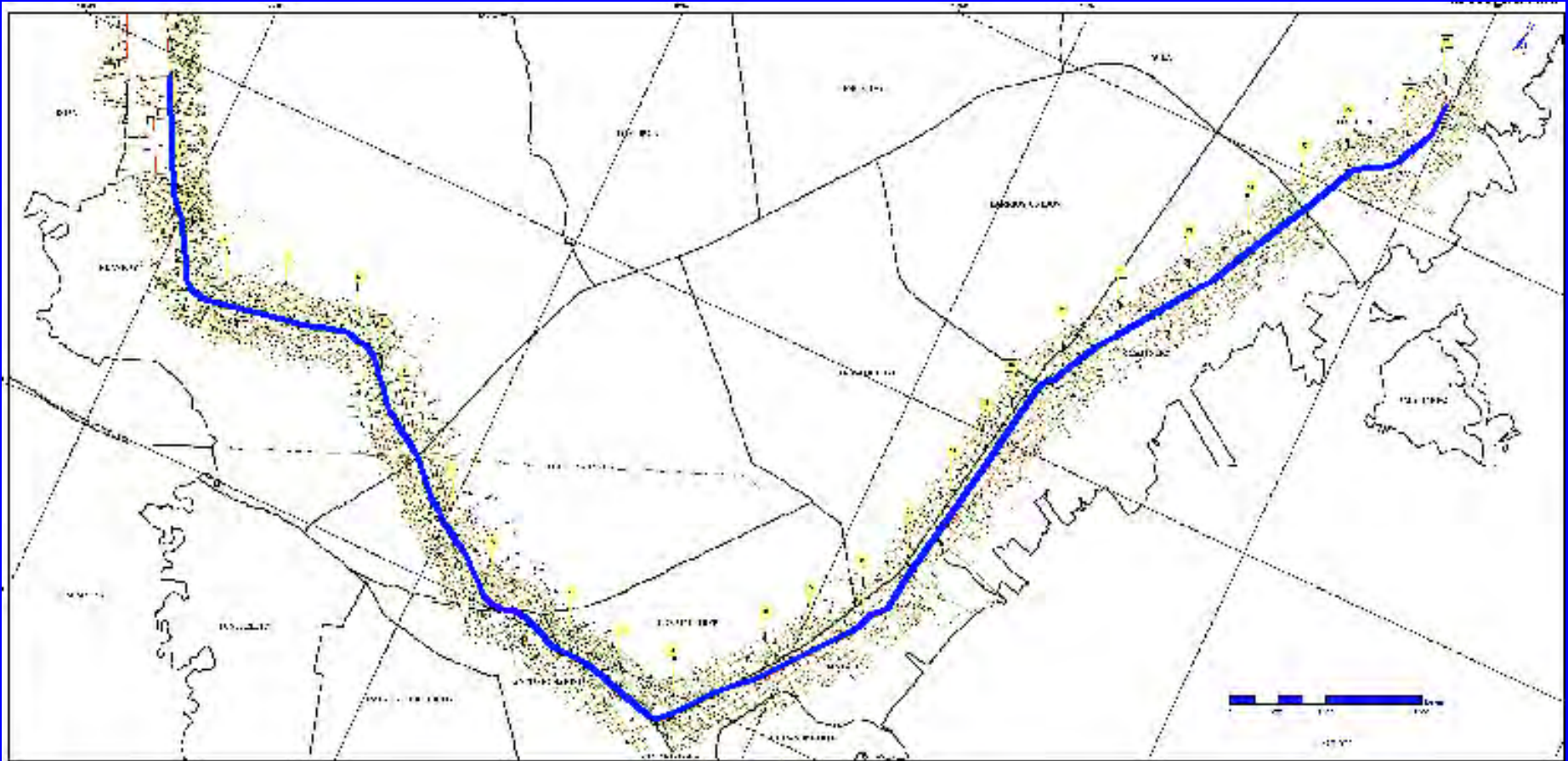
IMAGEN - EL TIEMPO- MAYO DE 2013

METRO- LOCALIZACIÓN LÍNEA SUBTERRÁNEA



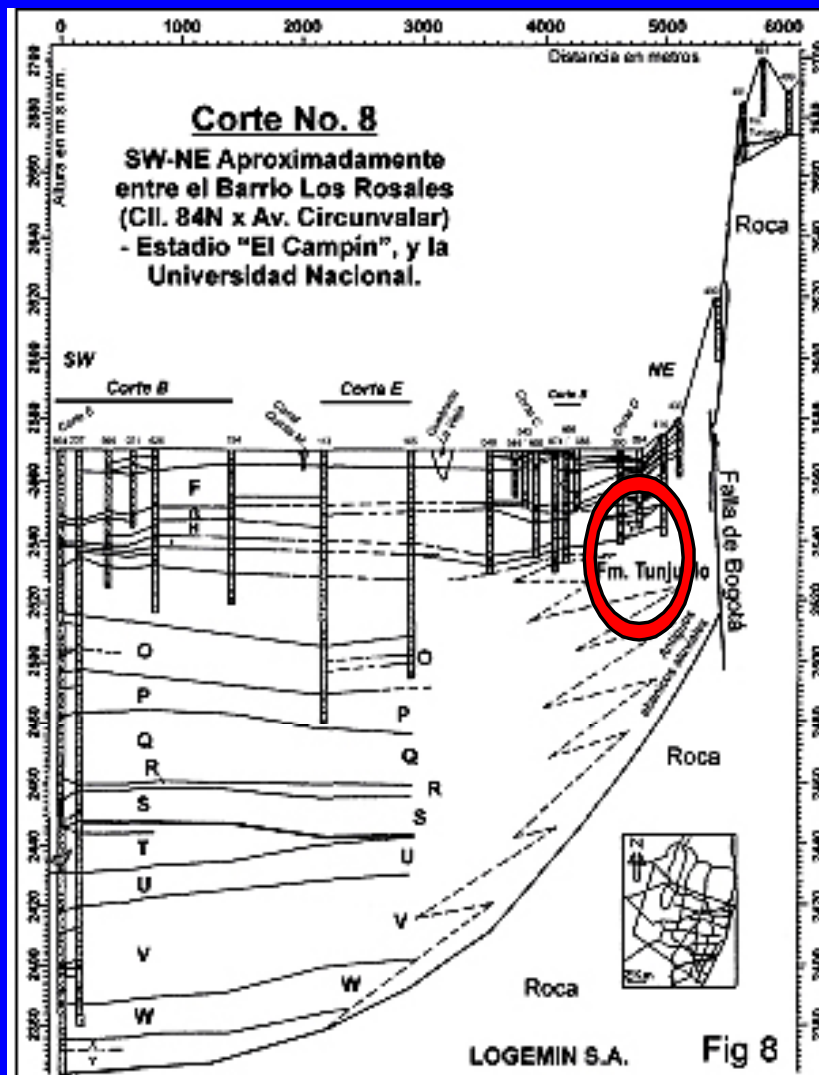
IDU- FEBRERO DE 2010

METRO- LOCALIZACIÓN LÍNEA SUBTERRÁNEA

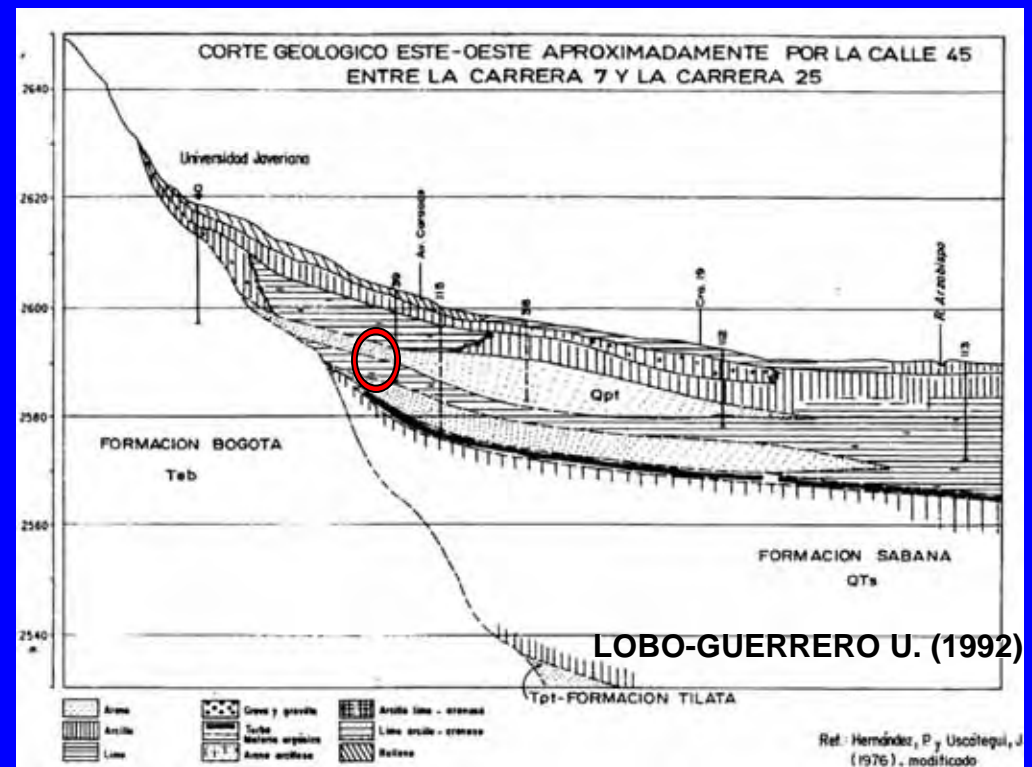


IDU- MAYO DE 2013

METRO LÍNEA SUBTERRÁNEA- GEOLOGIA



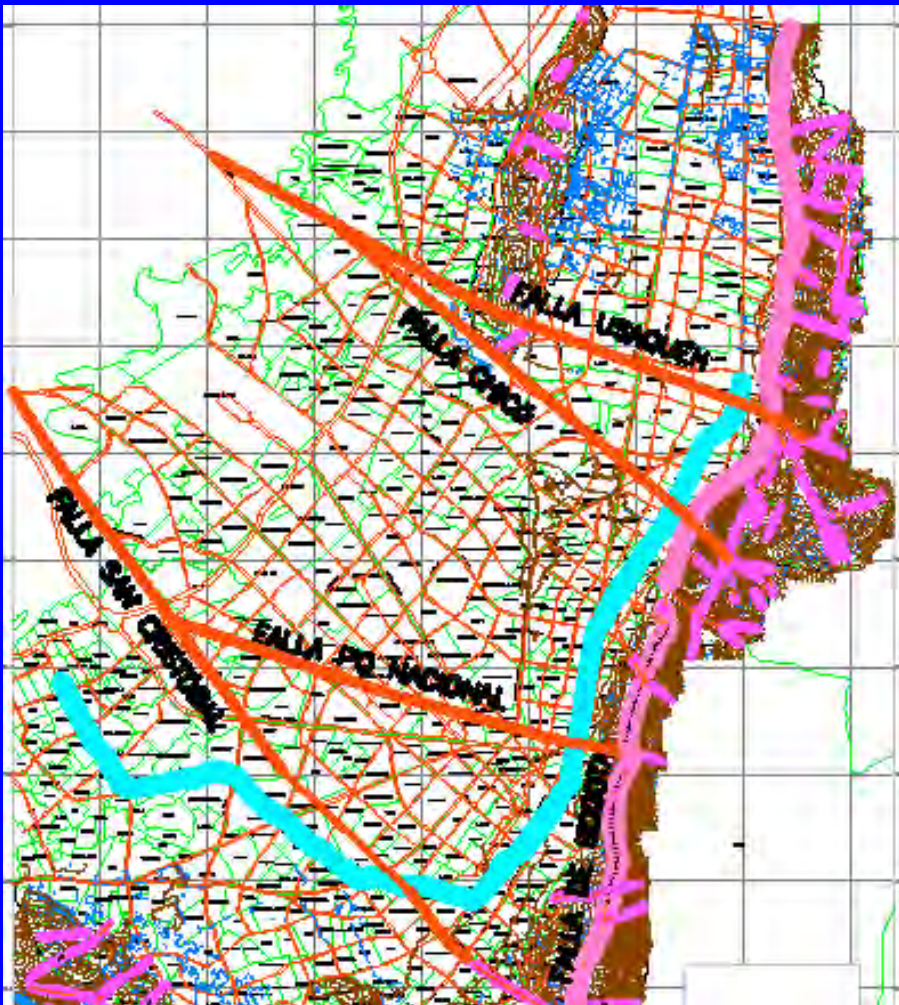
LOBO-GUERRERO S. (2008)



MAS DE LA MITAD DEL TRAZADO DISCURRE POR LA ZONA DE PIEDEMONTE

TRANSICIÓN ENTRE LAS FORMACIONES ROCOSAS Y LOS DEPÓSITOS LACUSTRES, CON INTERDIGITACIÓN DE MATERIALES COLUVIALES, ALUVIALES Y LACUSTRES, Y PRESENCIA DE ACUÍFEROS ARTESIANOS

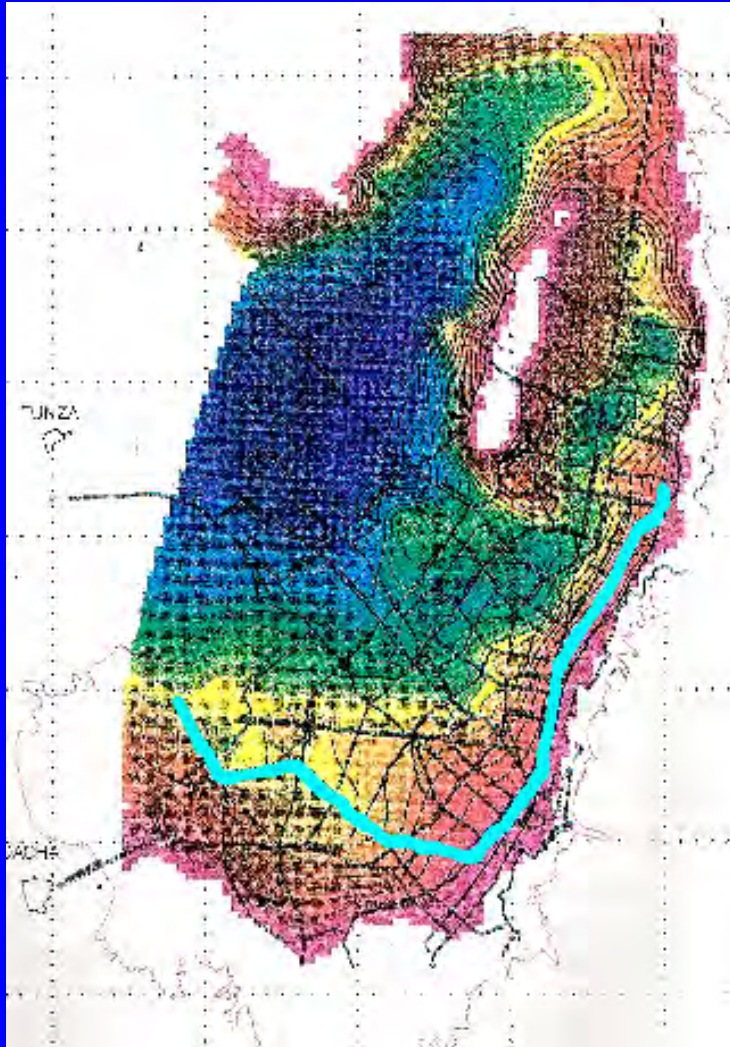
METRO LÍNEA SUBTERRÁNEA -TECTÓNICA



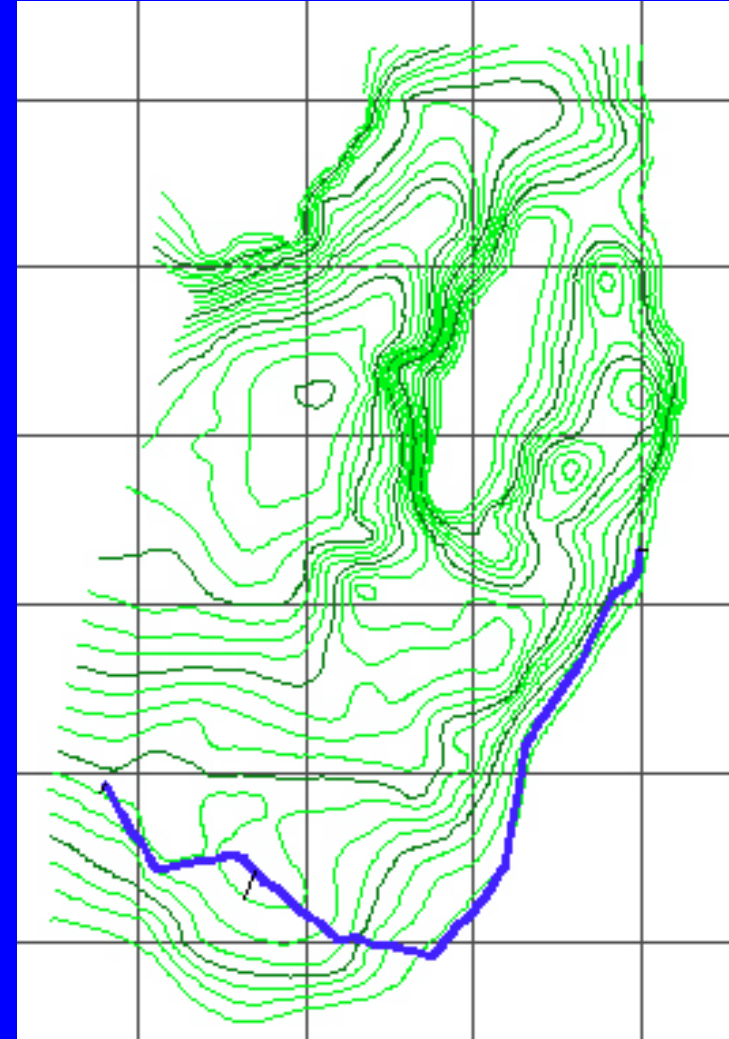
LOS ACUÍFEROS ARTESIANOS SE DEBEN EN GRAN PARTE A FALLAS TRANSVERSALES, DE LAS CUALES SE SABE HAY DOS ACTIVAS: USAQUÉN Y SAN CRISTÓBAL

LA FALLA CHICÓ IMPIDIO, POR ALTAS PRESIONES DE AGUA, LA EXCAVACION CON TBM DEL TÚNEL DE LOS ROSALES

METRO LINEA SUBTERRÁNEA- SEDIMENTOS

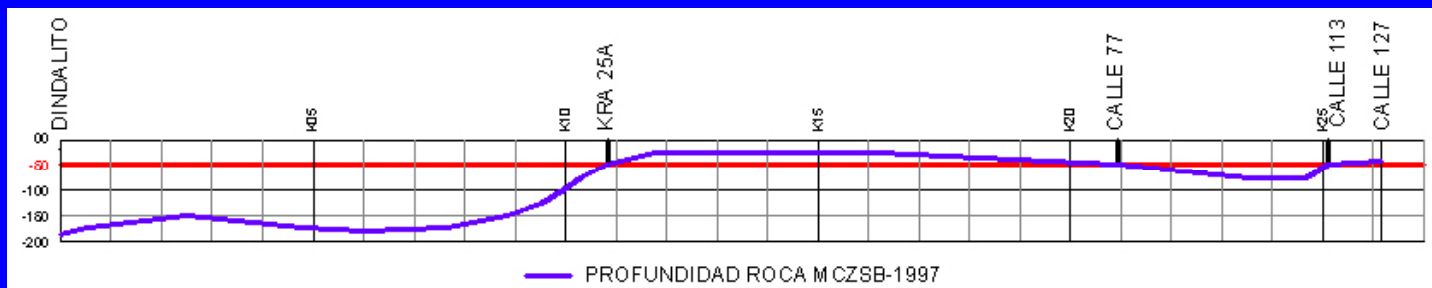
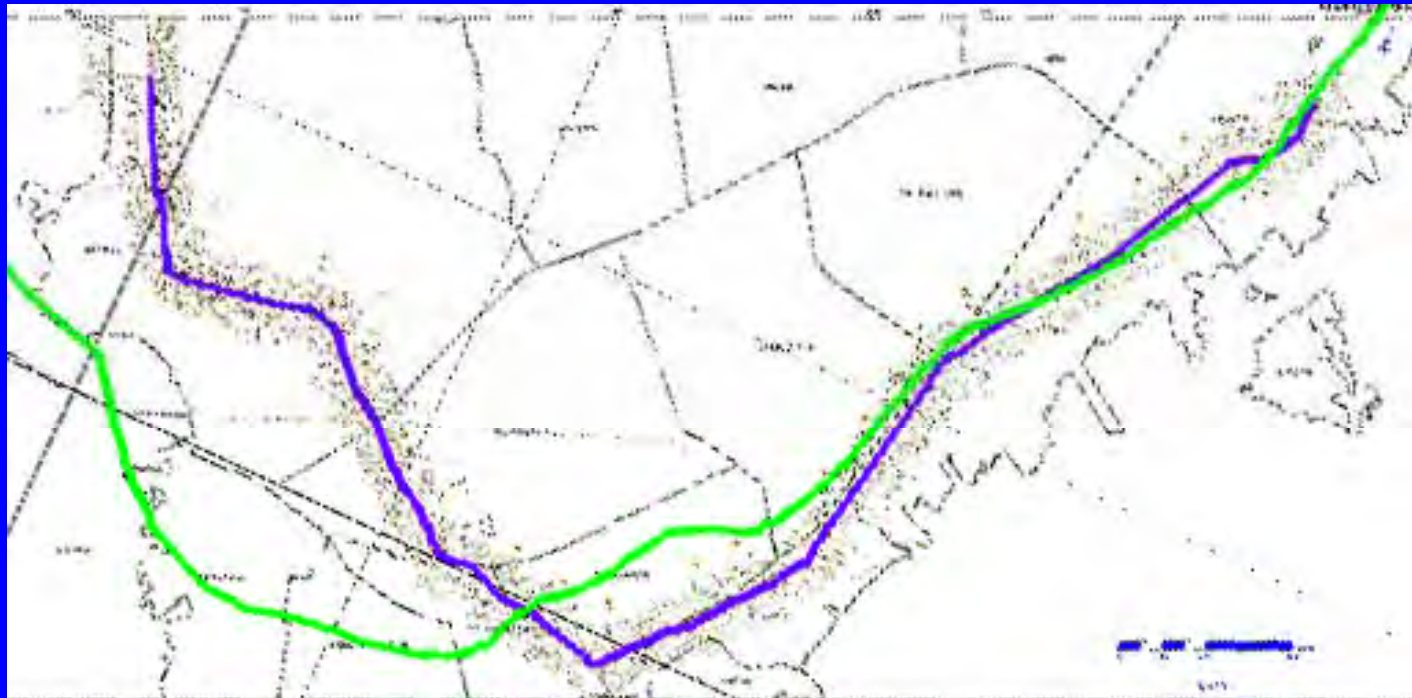


MCZSB- AGOSTO DE 1997



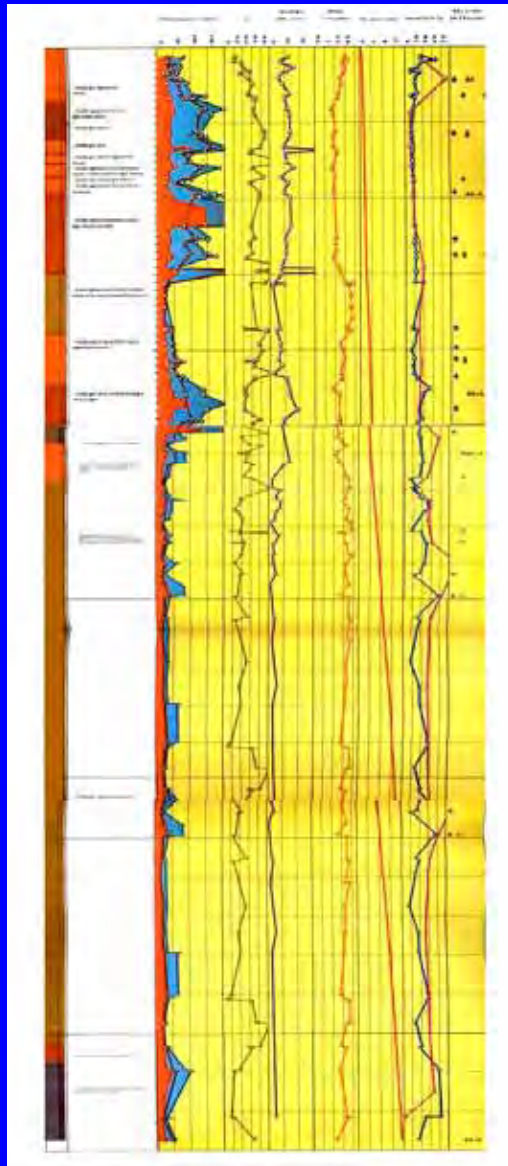
AJGG- JULIO DE 2012

METRO LINEA SUBTERRÁNEA- SEDIMENTOS

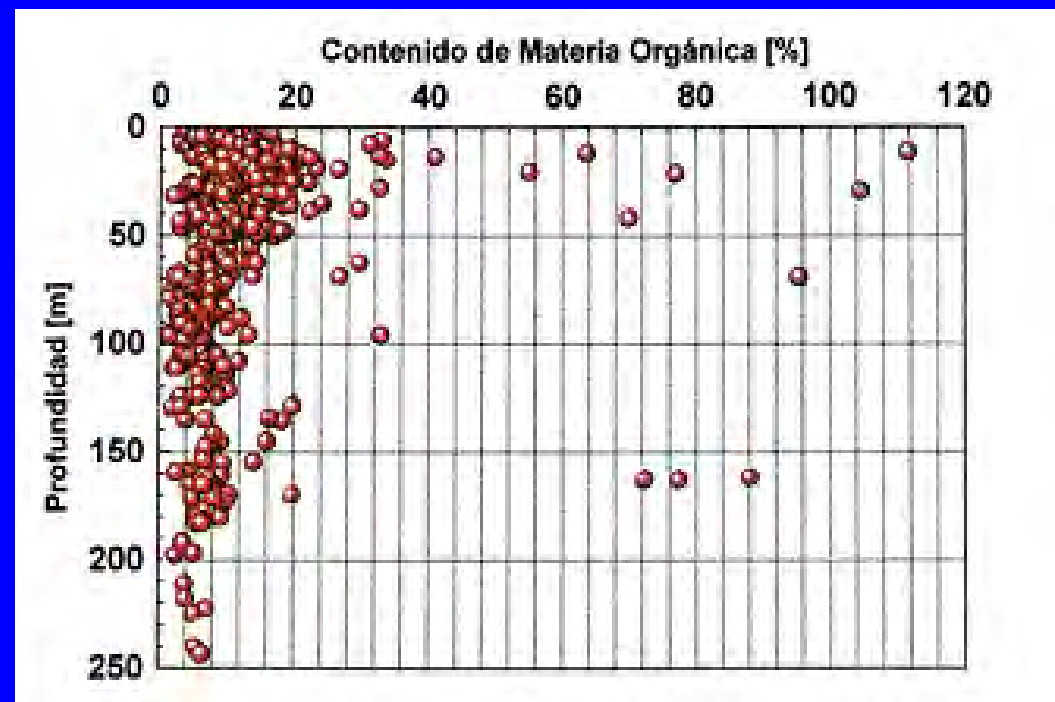


AJGG- JUNIO DE 2013

METRO LINEA SUBTERRÁNEA- SEDIMENTOS

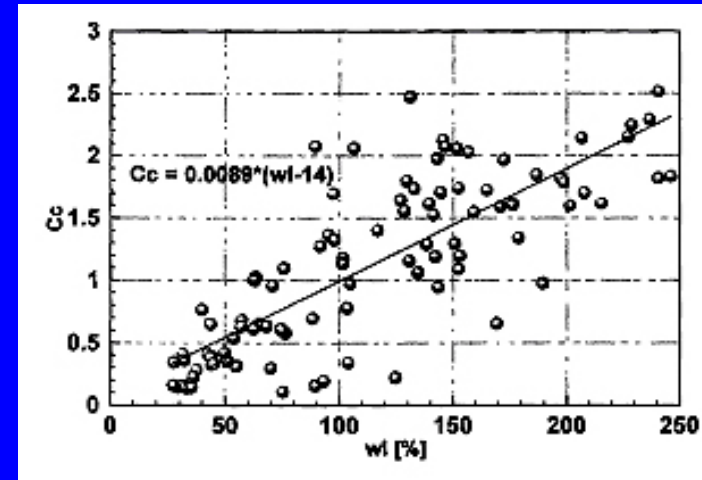
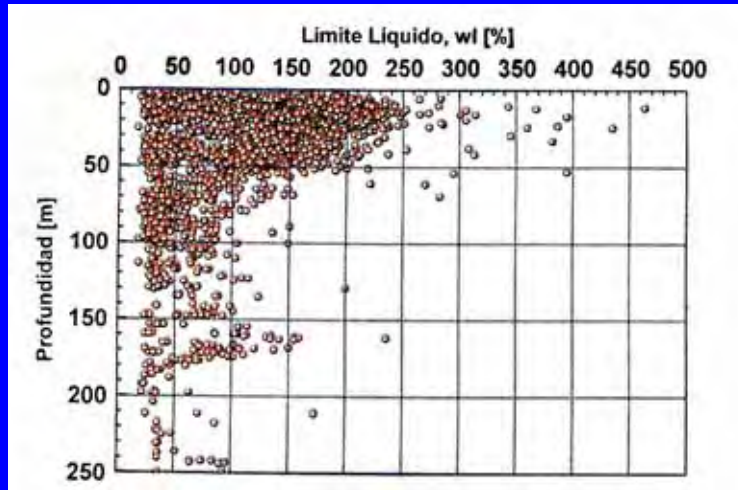


ARCILLAS Y LIMOS DE ALTA PLASTICIDAD (CH Y MH) CON INTERCALACIONES DE MATERIALES VOLCÁNICOS Y TURBOSOS

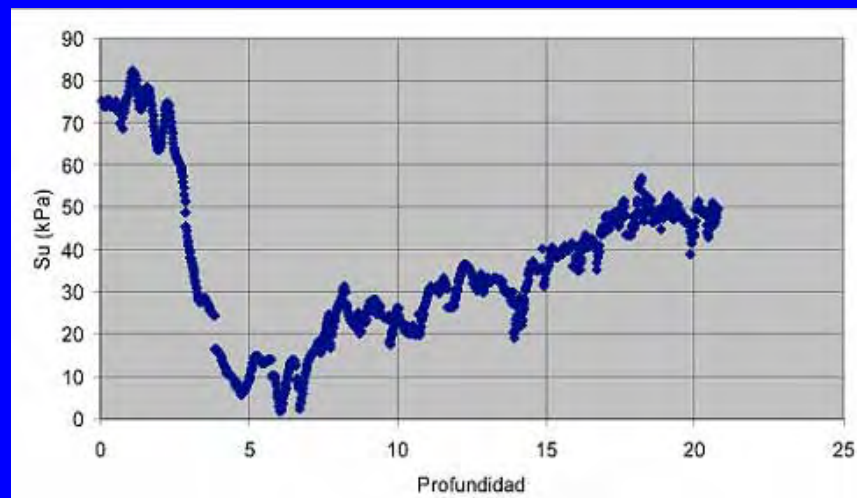


INGEOMINAS-UNIANDÉS- MCZSB-1997

METRO LINEA SUBTERRÁNEA- SEDIMENTOS
SUELOS BLANDOS ORGÁNICOS ALTAMENTE COMPRESIBLES, SALVO POR LAS CAPAS SUPERIORES, PRECONSOLIDADAS POR DESECACIÓN



INGEOMINAS-UNIANDÉS- MCZSB-1997



PERFIL TÍPICO DE RESISTENCIA NO DRENADA Su (kPa)- J.A.Rodríguez, 2006

METRO SUBTERRÁNEO- MODOS DE FALLA

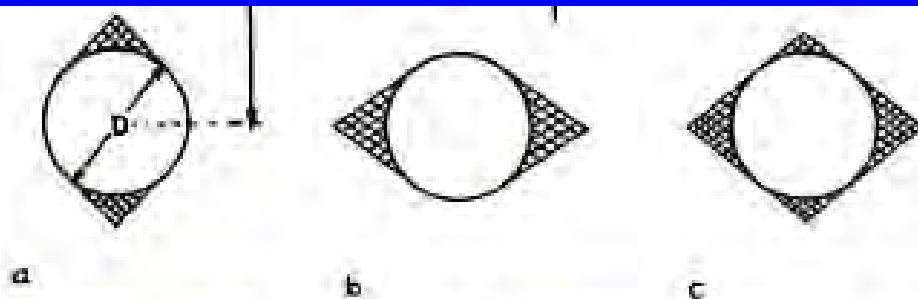


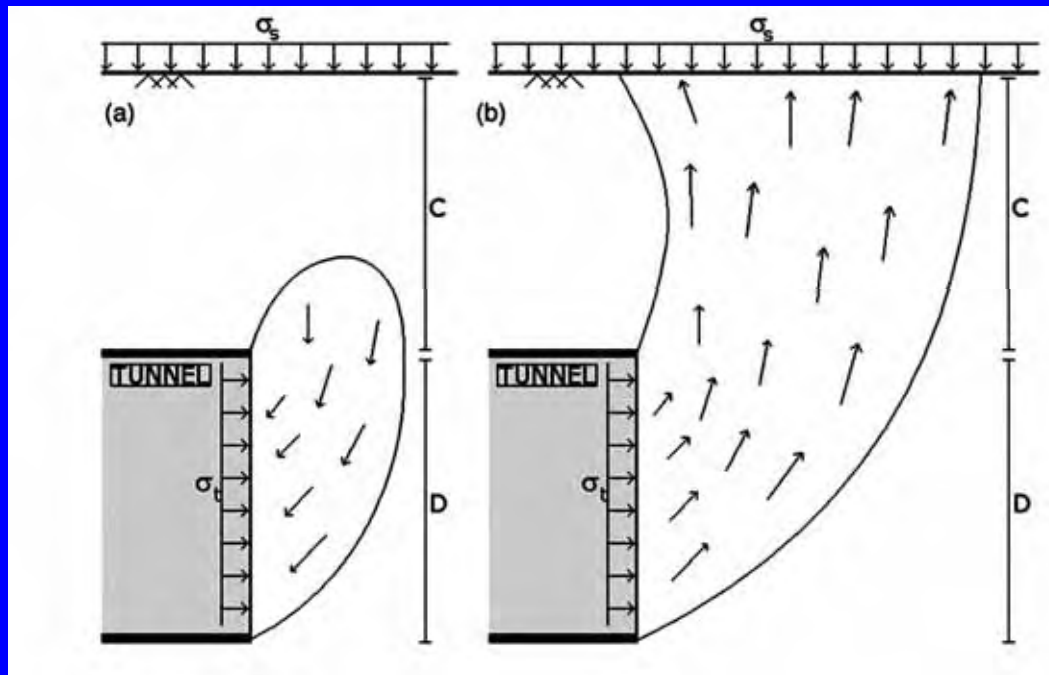
Figure 3. Failure modes for a (deep) tunnel (without a lining) in homogeneous soil.



Figure 4. Soil failure for a shallow tunnel; a) breaking up of the tunnel roof due to vertical ovalisation. b) Buoyancy of a shallow tunnel with high groundwater level.

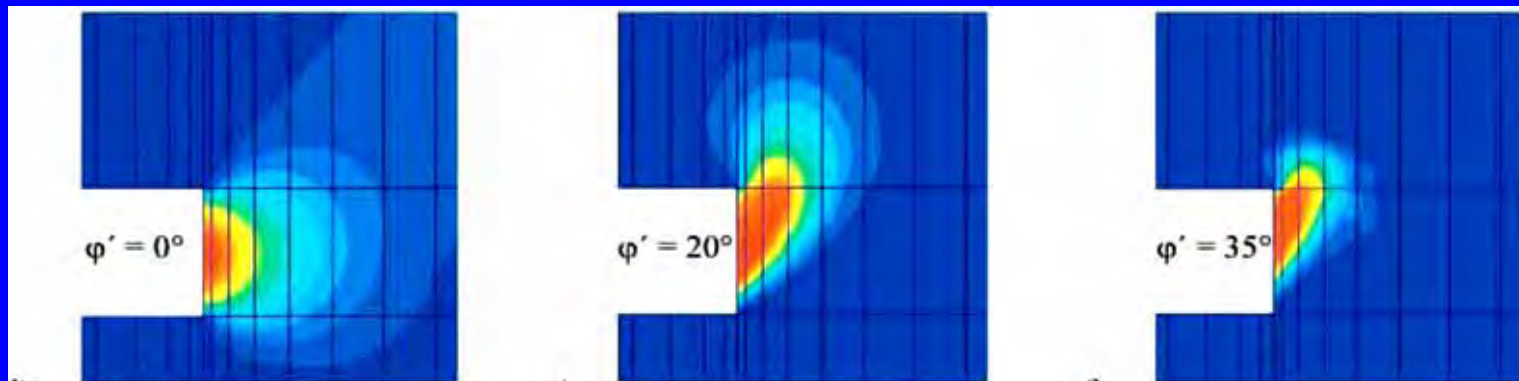
BAKER, 1999

METRO SUBTERRÁNEO- MODOS DE FALLA



FALLA DE FRENTE DE EXCAVACIÓN

MOLLON ET AL, 2013

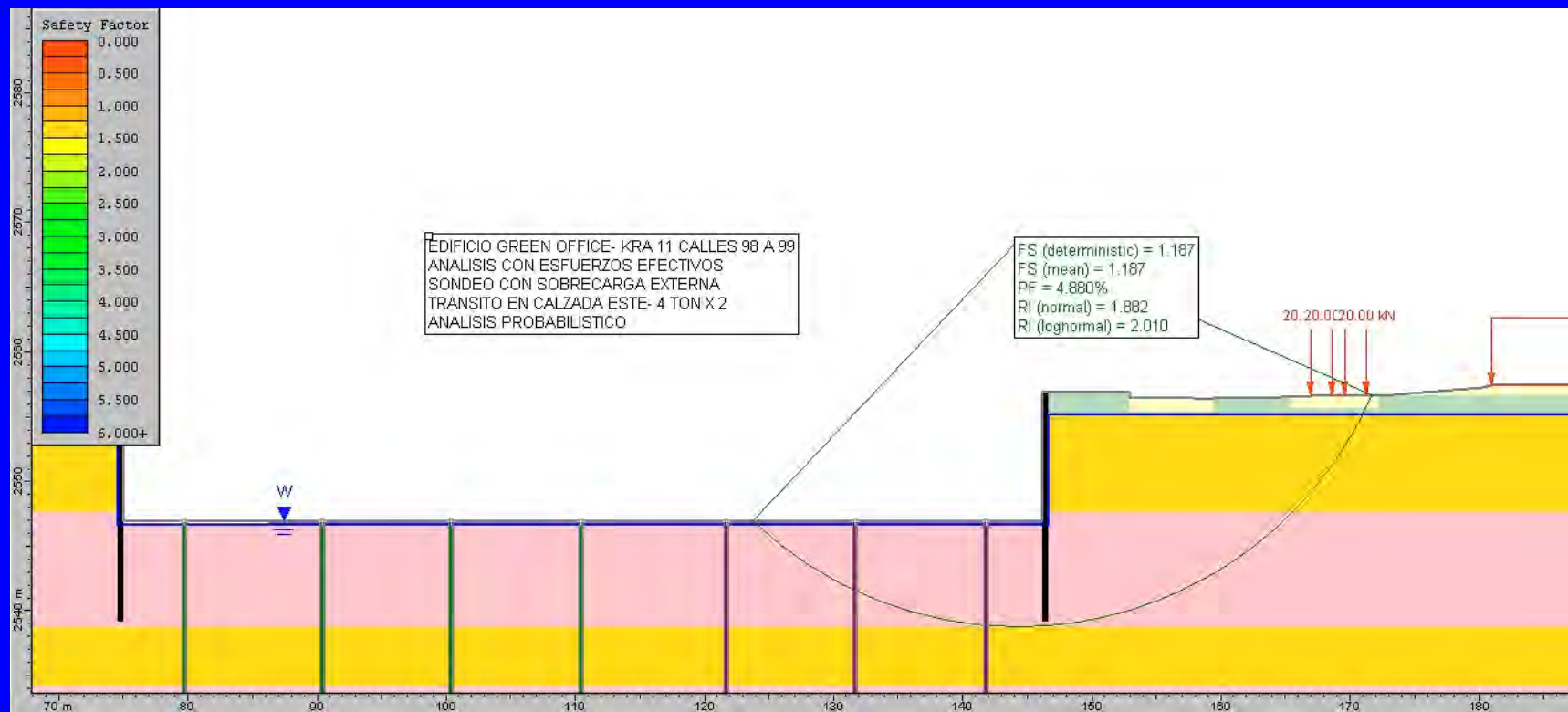


VERMEER ET AL, 2002

METRO SUBTERRÁNEO- MODOS DE FALLA

FALLA SÓTANO KRA 11 CALLE 98 H=12m

SITIO DE ESTACIÓN H > 30m



EAAB-UNAL, 2012

METRO SUBTERRÁNEO- MODOS DE FALLA

FALLA SÓTANO KRA 11 CALLE 98 H=12m

SITIO DE ESTACIÓN H > 30m

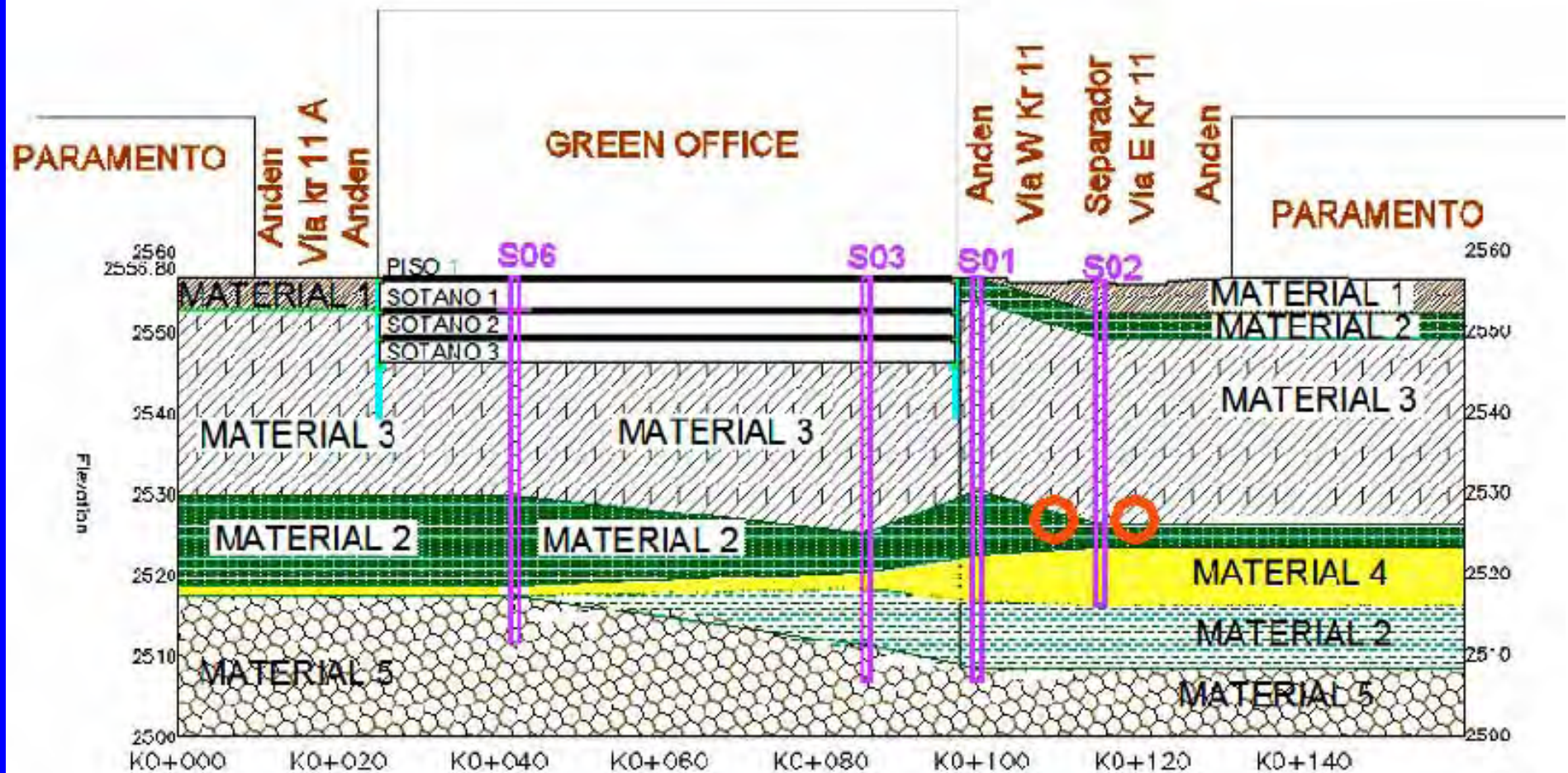


EAAB-UNAL, 2012

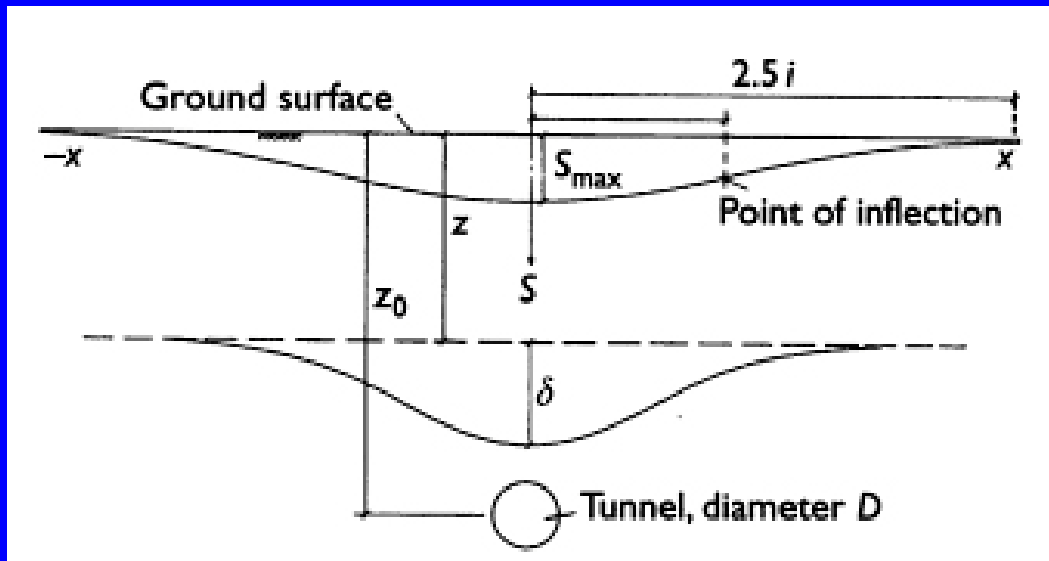
AJGG-Metro Bogotá-16

METRO SUBTERRÁNEO - MODOS DE FALLA

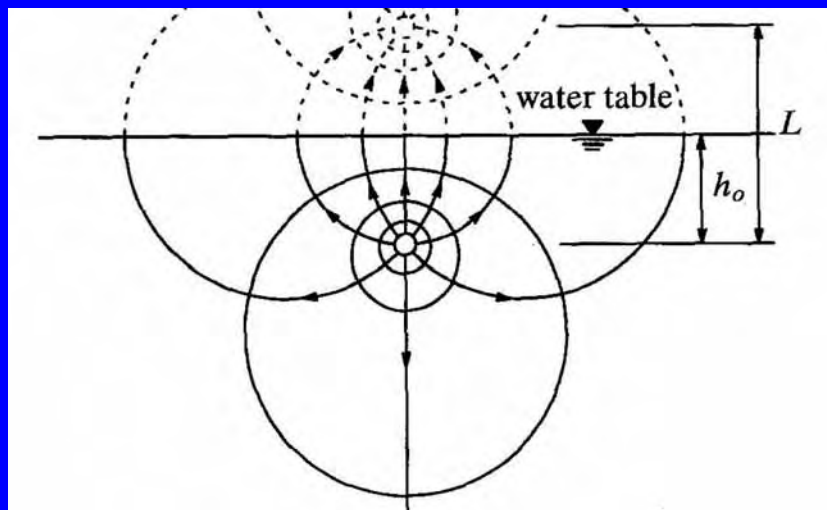
FALLA SÓTANO KRA 11 CALLE 98 H=12m - MATERIALES



METRO SUBTERRÁNEO- DEFORMACIONES



POR EXCAVACIÓN



POR CONSOLIDACIÓN
LOCAL Y REGIONAL
(SUBSIDENCIA)

METRO SUBTERRÁNEO- DEFORMACIONES



**POR CONSOLIDACIÓN
LOCAL**

FOTO DE AYCARDI Y OROZCO, 2013

METRO SUBTERRÁNEO- DEFORMACIONES

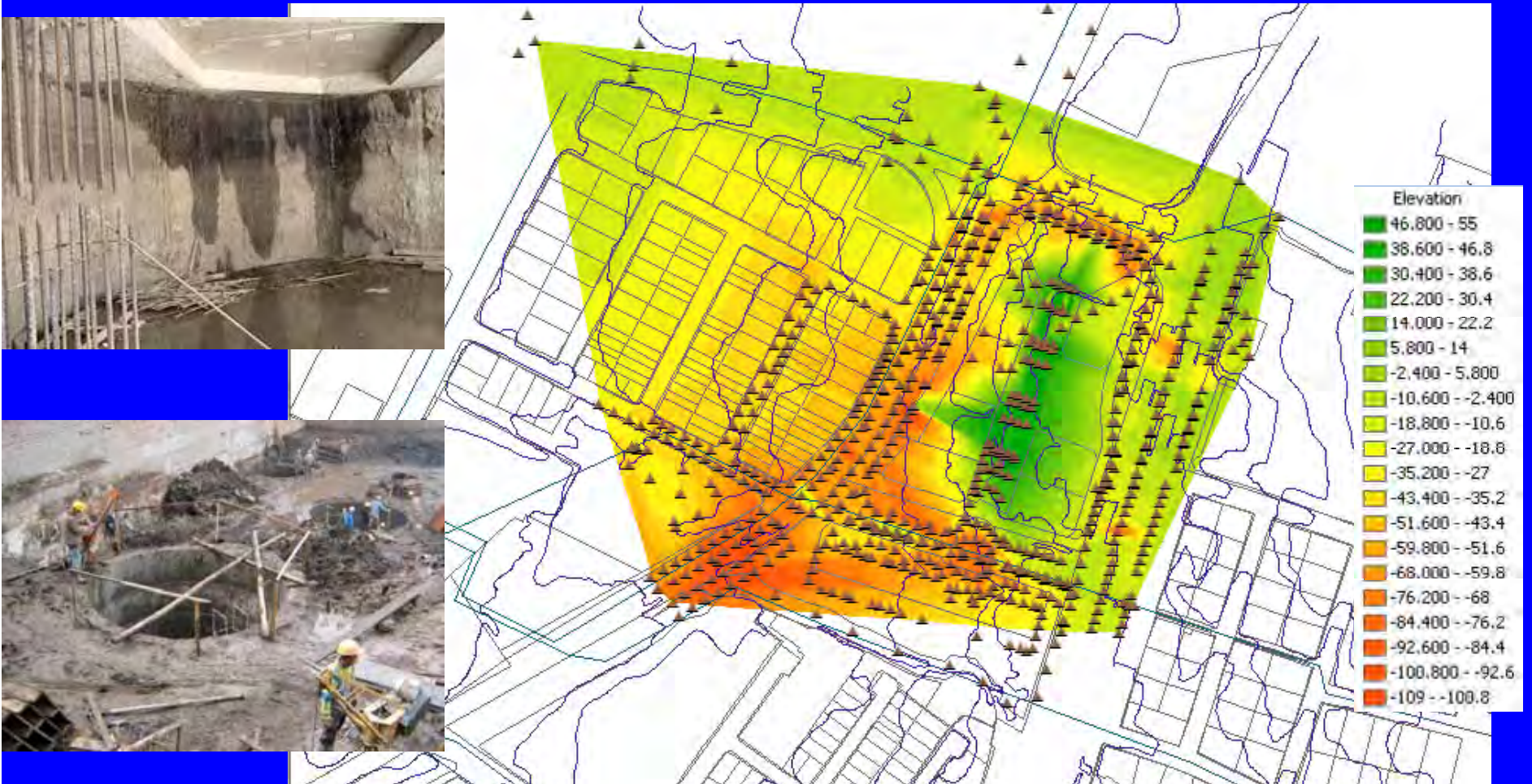
CONSOLIDACIÓN LOCAL - EXCAVACIÓN SOTANOS CALLE 112-116



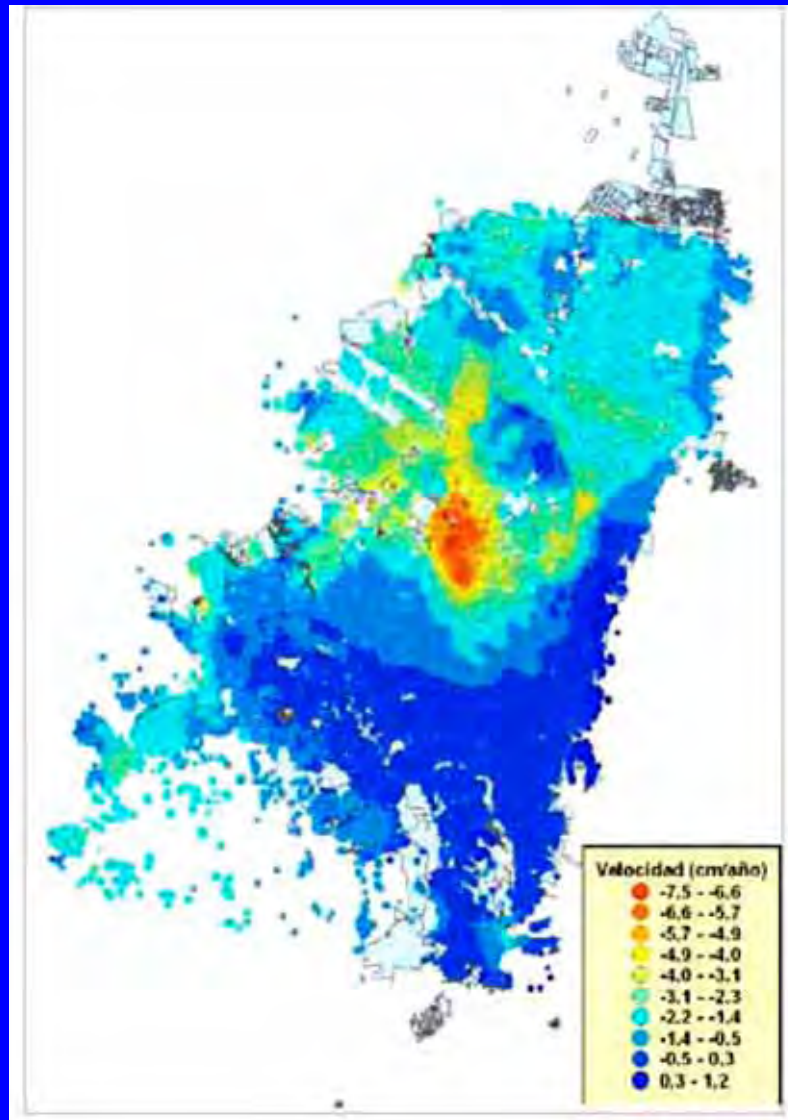
EAAB-IGR, 2007

METRO SUBTERRÁNEO- DEFORMACIONES

CONSOLIDACIÓN LOCAL - EXCAVACIÓN SOTANOS CALLE 112-116



METRO SUBTERRÁNEO- DEFORMACIONES

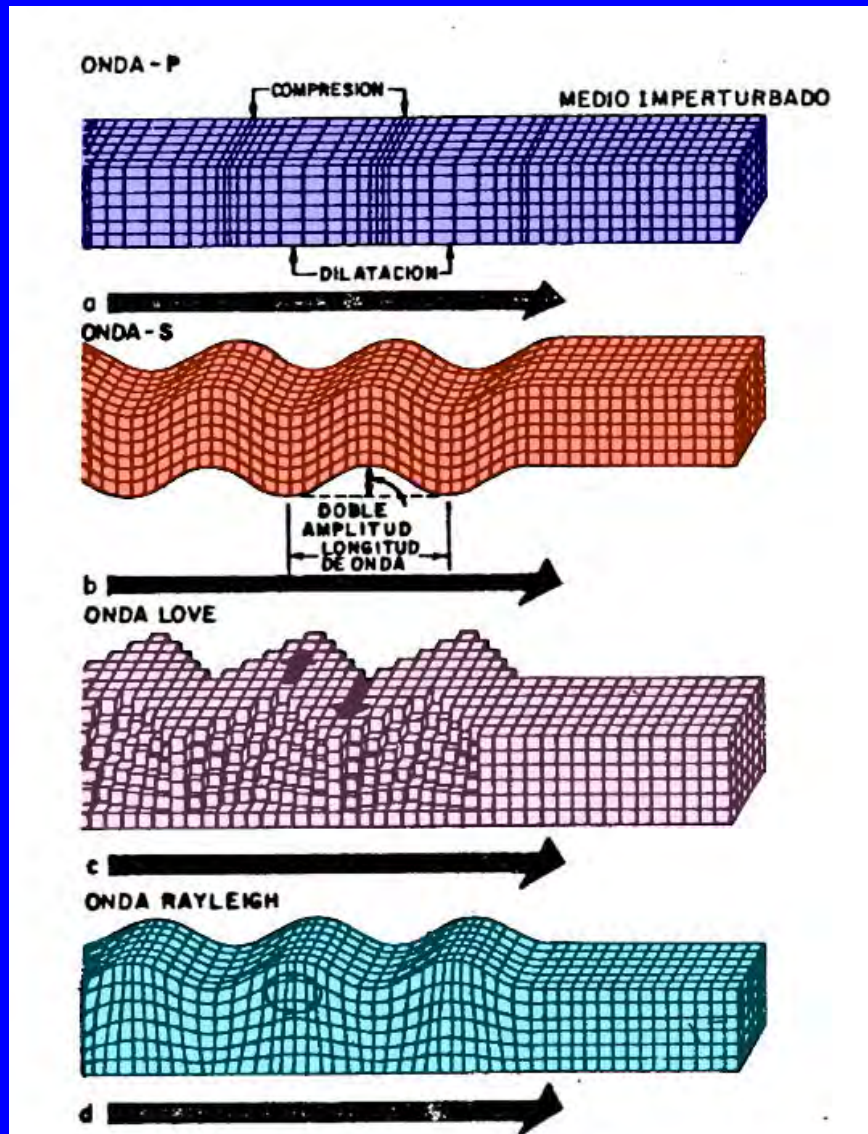


**POR SUBSIDENCIA
REGIONAL**

7 cm/año (SUR)

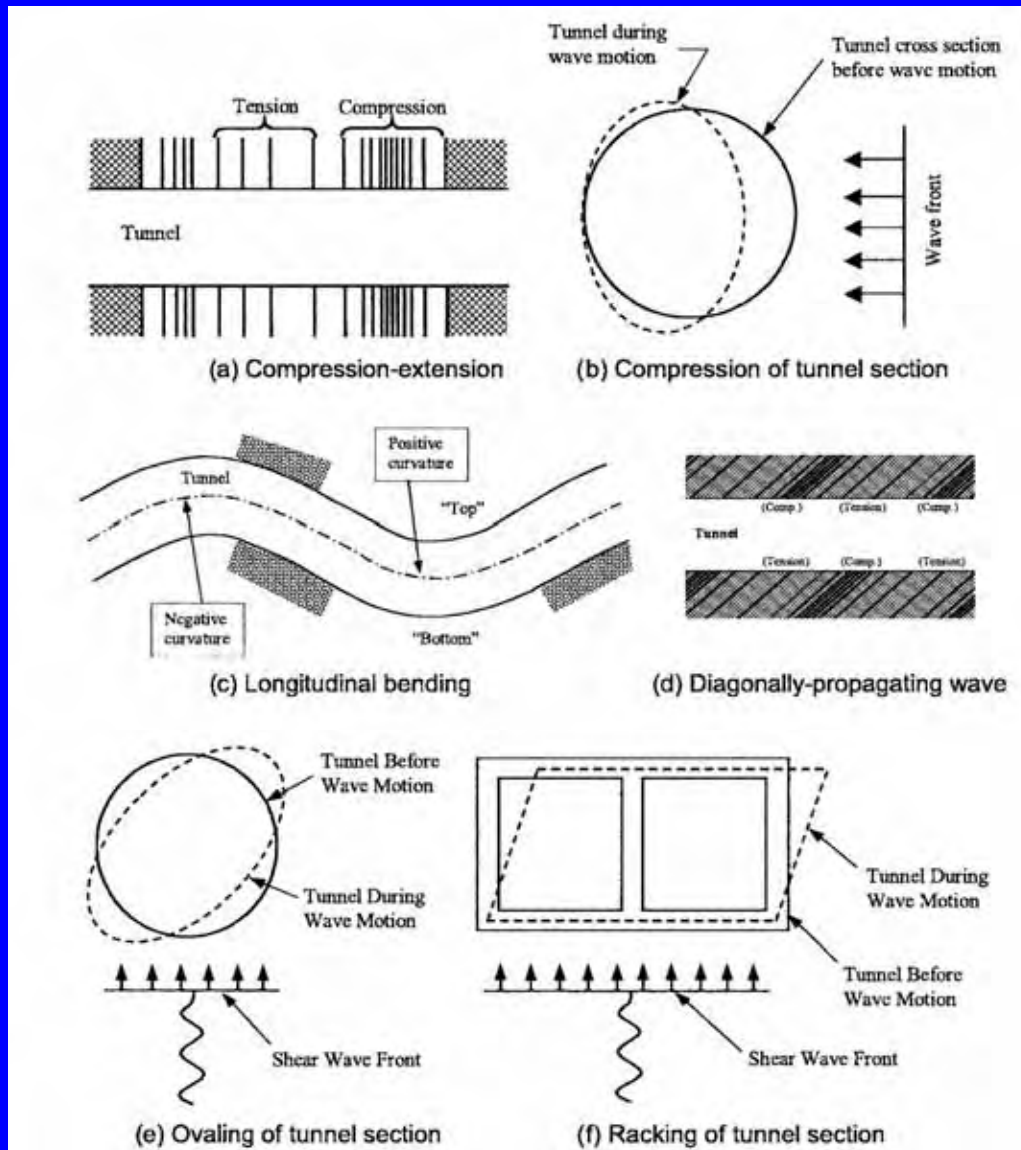
2 cm/año (NORTE)

METRO SUBTERRÁNEO- EFECTOS SISMICOS



**TODAS LAS ONDAS
SISMICAS CAUSAN
INCREMENTO DE
PRESIONES DE
AGUA**

METRO SUBTERRÁNEO- EFECTOS SISMICOS



POR COMPRESIÓN

POR CORTANTE
(JUNTAS vs λ)

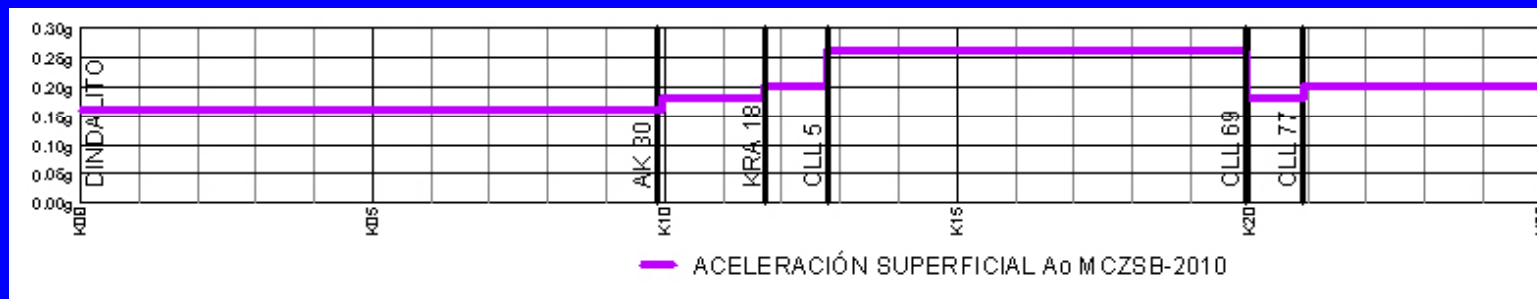
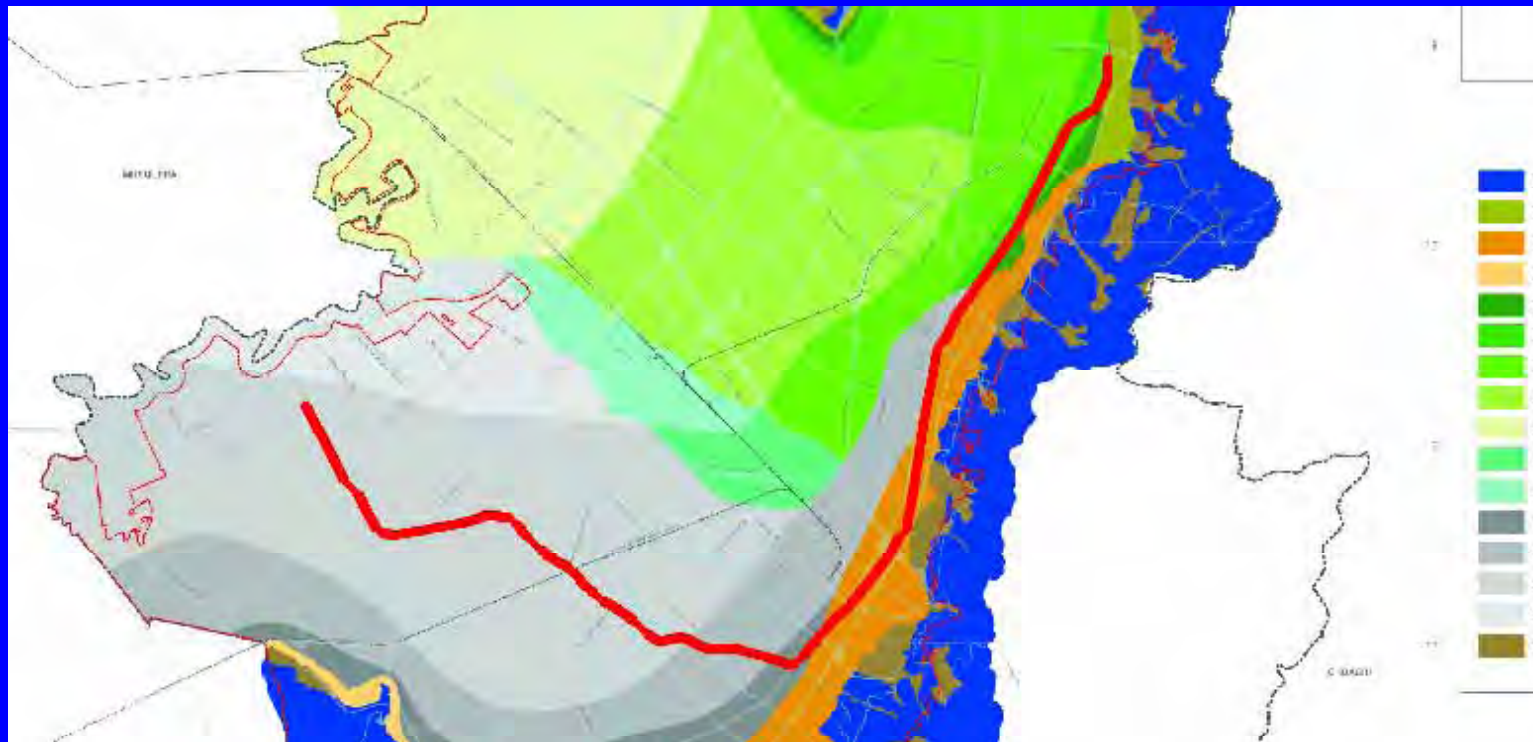
POR DEFORMACIÓN

SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTECNIA- SCG

METRO DE BOGOTÁ- OBSERVACIONES GEOTÉCNICAS

METRO SUBTERRÁNEO - SISMOS

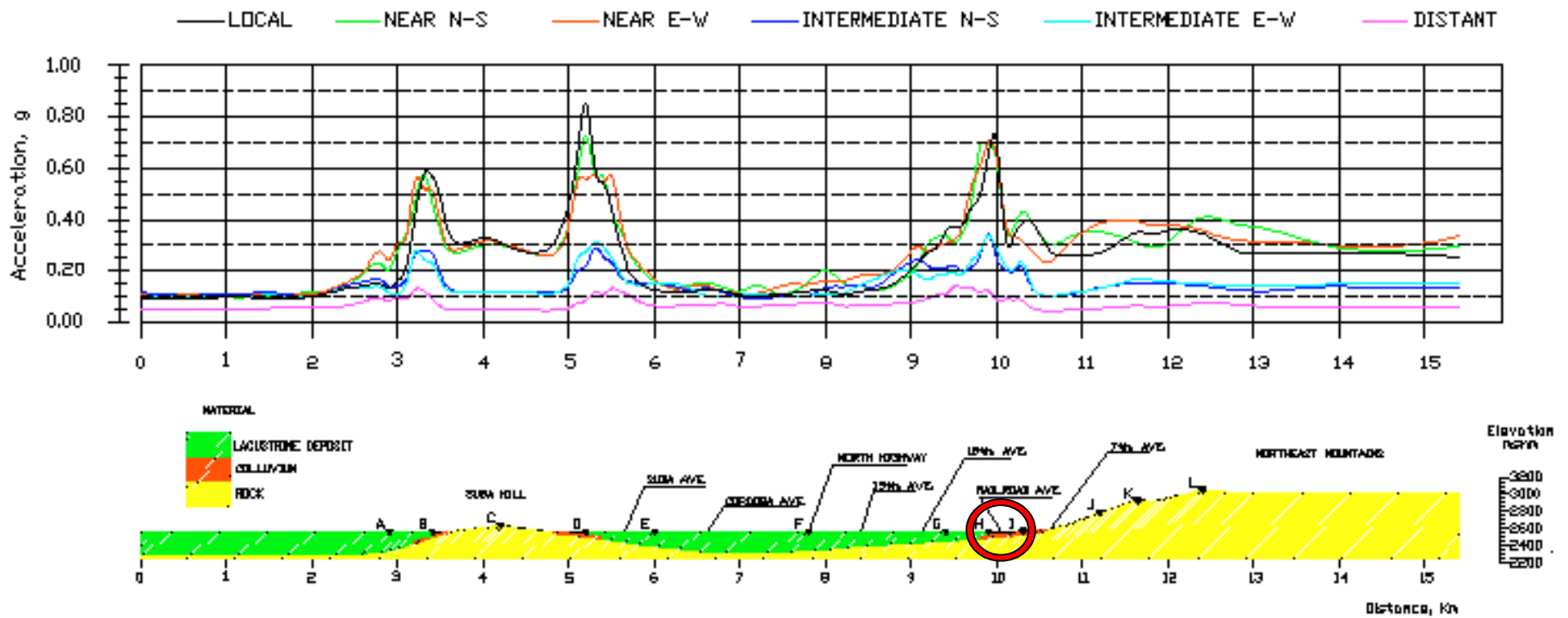
ACELERACIONES SUPERFICIALES



METRO SUBTERRÁNEO - SISMOS

MAS DE LA MITAD DEL TRAZADO SE UBICA EN LA ZONA DE
 PIEDEMORTE, LA DE MÁS ALTA AMENAZA SÍSMICA

SEISMIC SOURCE:



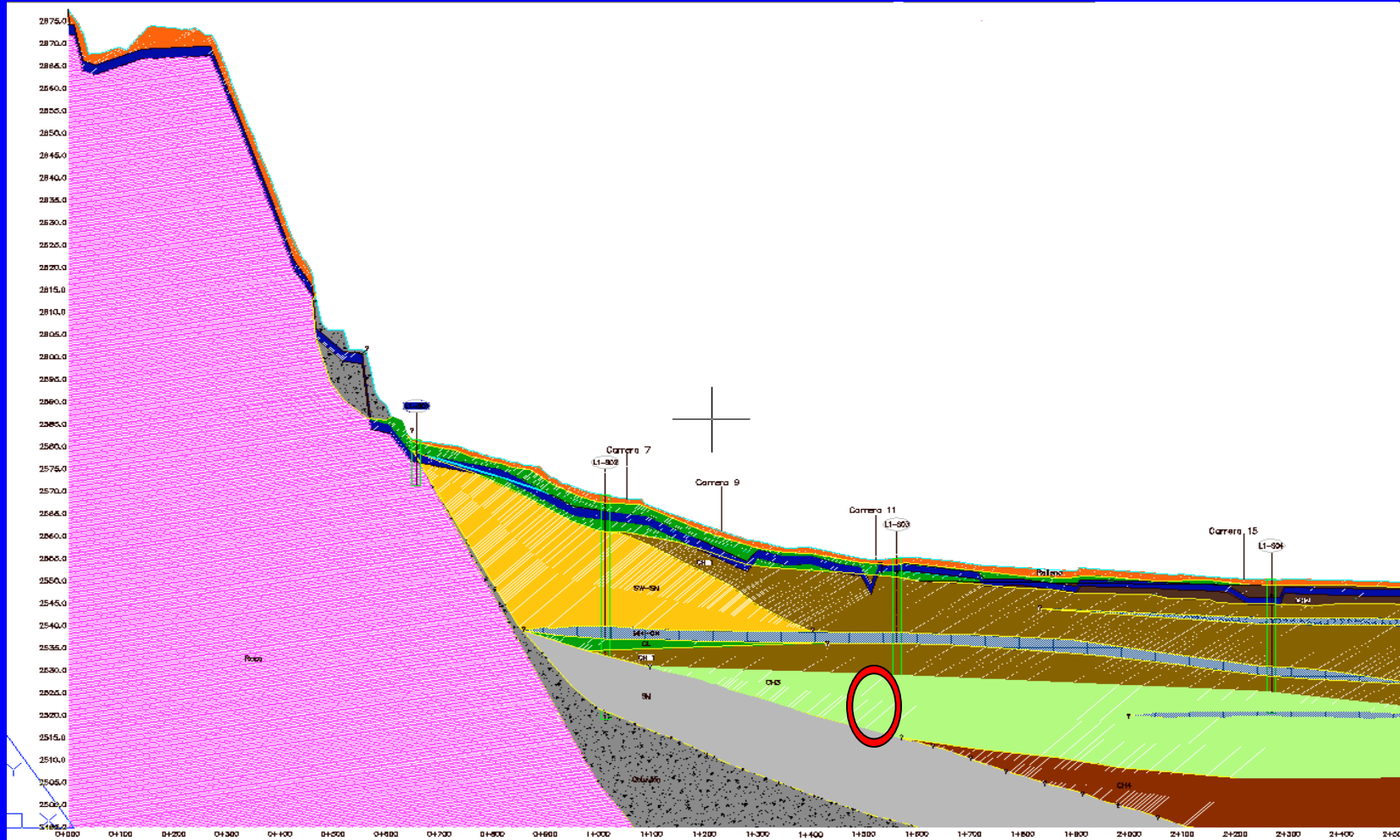
RODRIGUEZ ET AL, 2000

SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTECNIA- SCG

METRO DE BOGOTÁ- OBSERVACIONES GEOTÉCNICAS

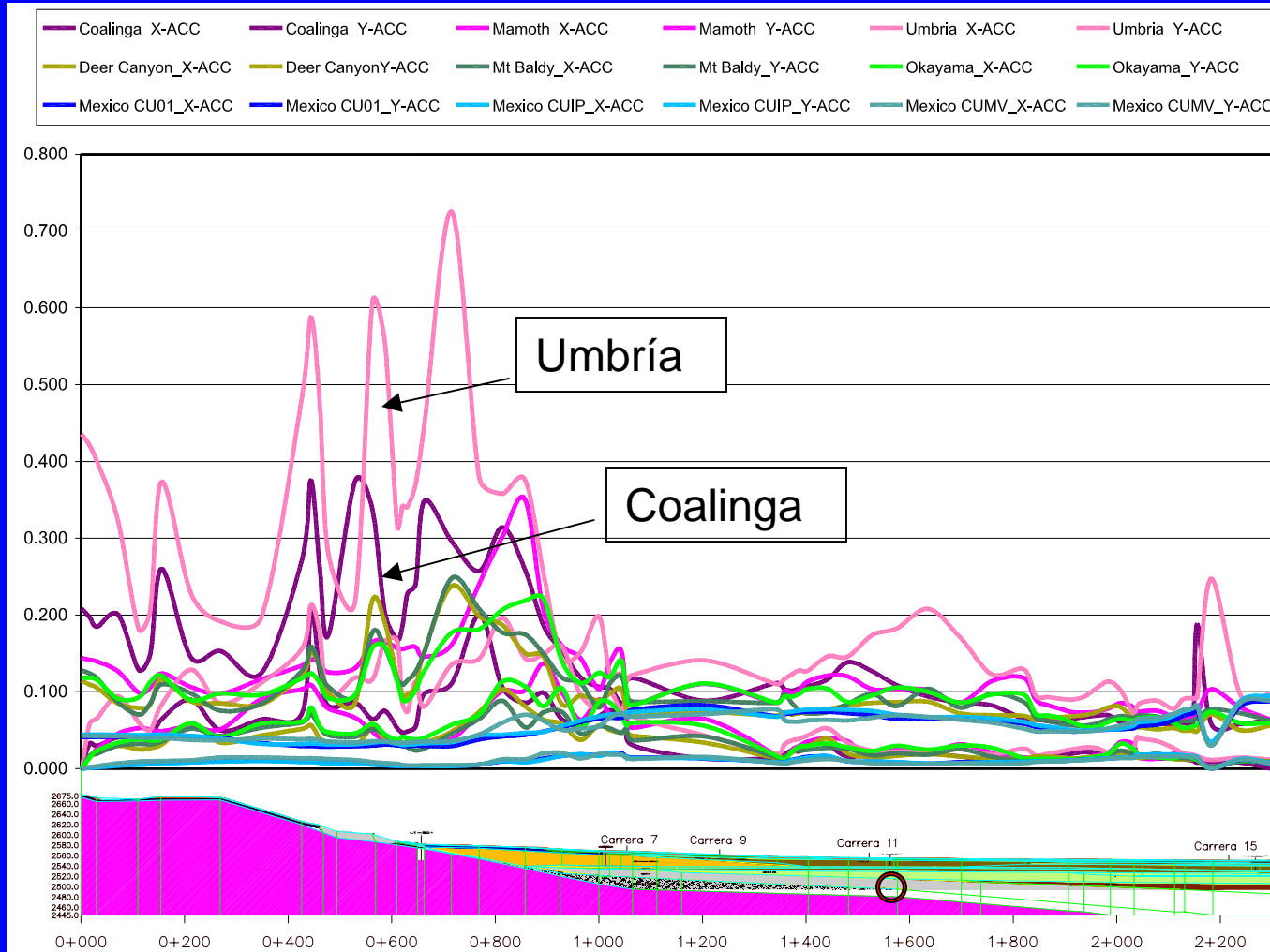
METRO SUBTERRÁNEO - SISMOS

LINEA WIESNER-USAQUEN-SUBA CALLE 116



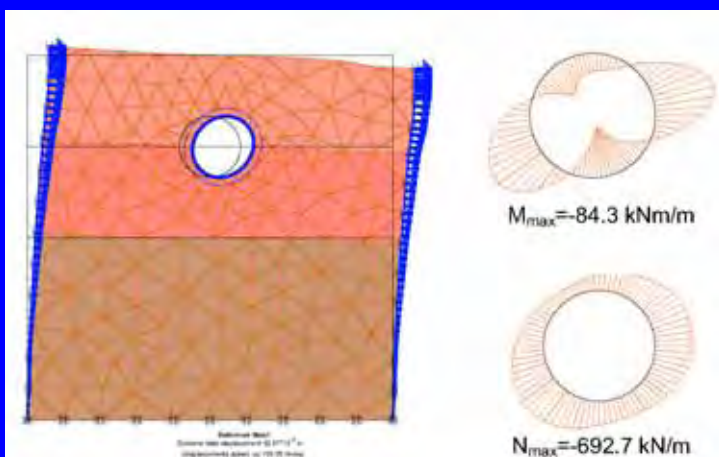
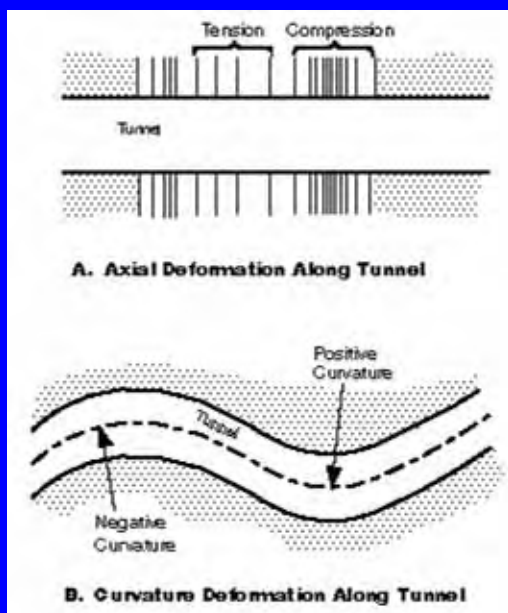
METRO SUBTERRÁNEO - SISMOS

LINEA WIESNER-USAQUEN-SUBA CALLE 116 - ACELERACIONES

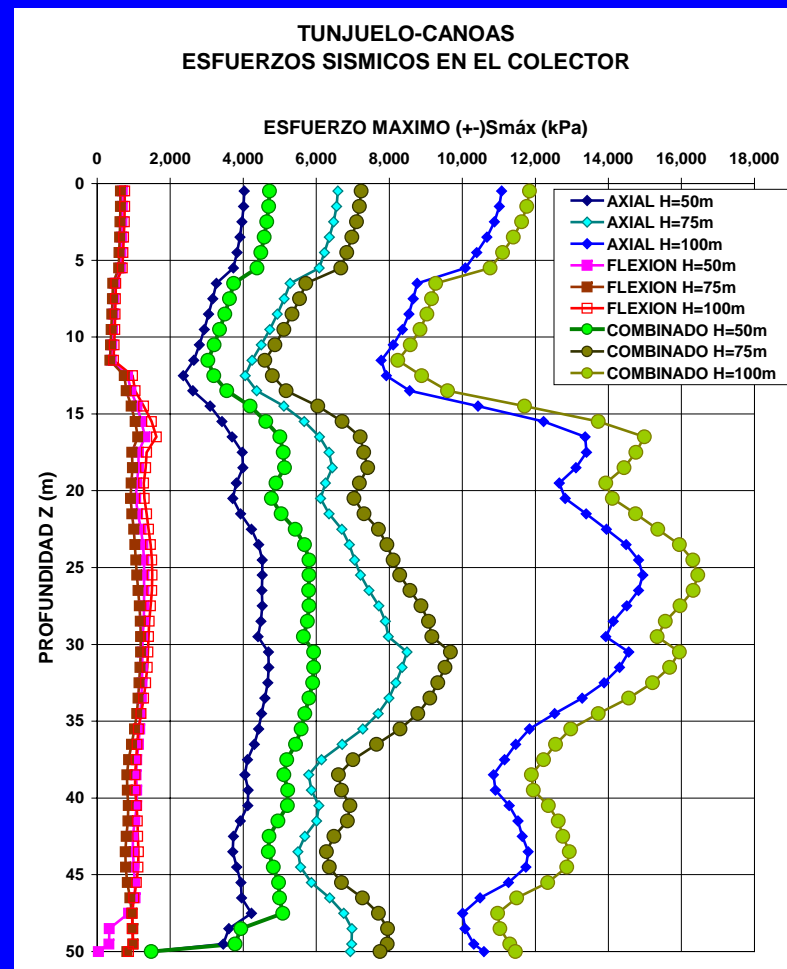


METRO SUBTERRÁNEO- EFECTOS SISMICOS

ESFUERZOS COMBINADOS



NGI, 2011



HMV-EAAB, 2008

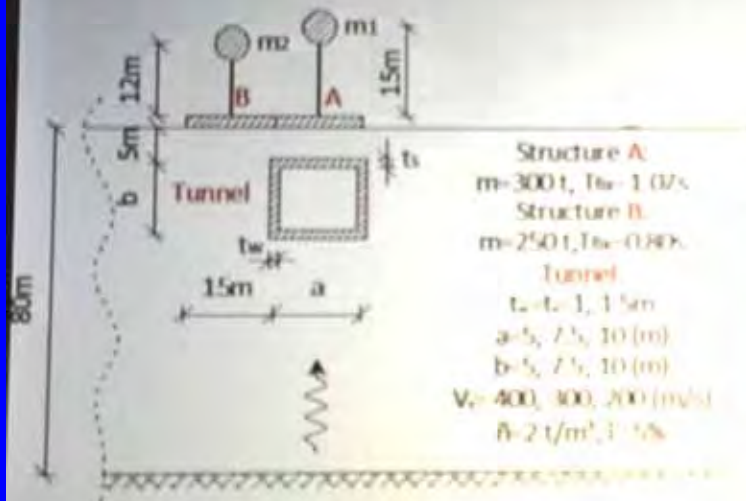
METRO SUBTERRÁNEO- EFECTOS SISMICOS

EFECTOS DE INTERACCIÓN

P&D Taormina 2012

"City effects"

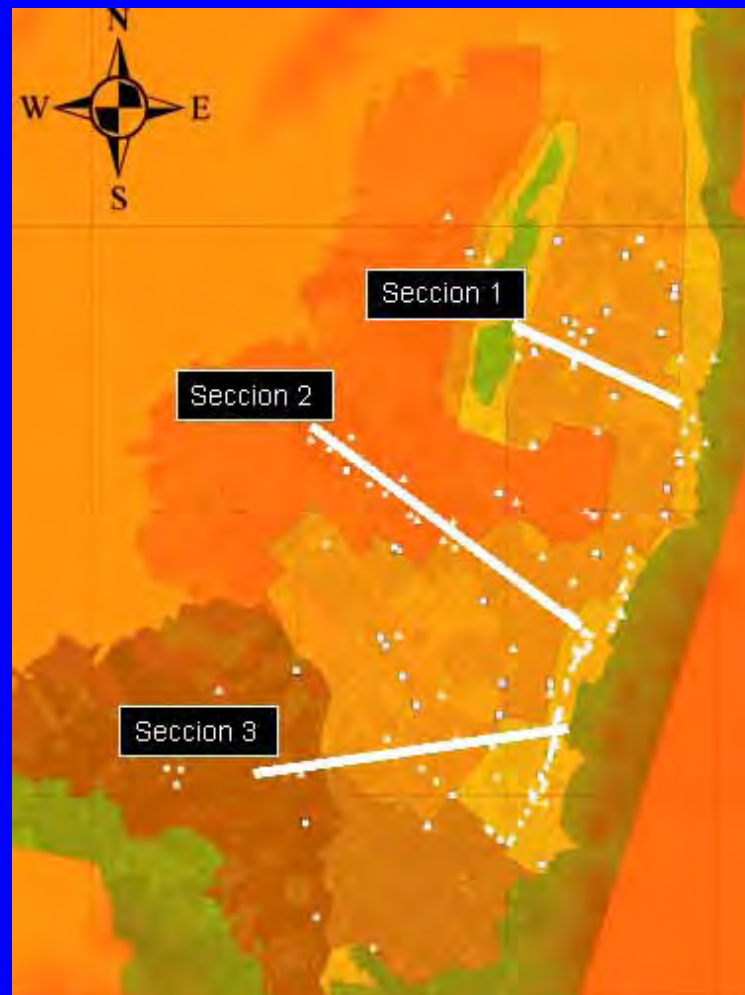
- The existence of buildings above the underground structure may cause complex interaction effects, altering the input motion with respect to the free field
- Preliminary numerical analyses in the elastic domain assuming perfect bonding between the structures and the soil



TAORMINA, 2012

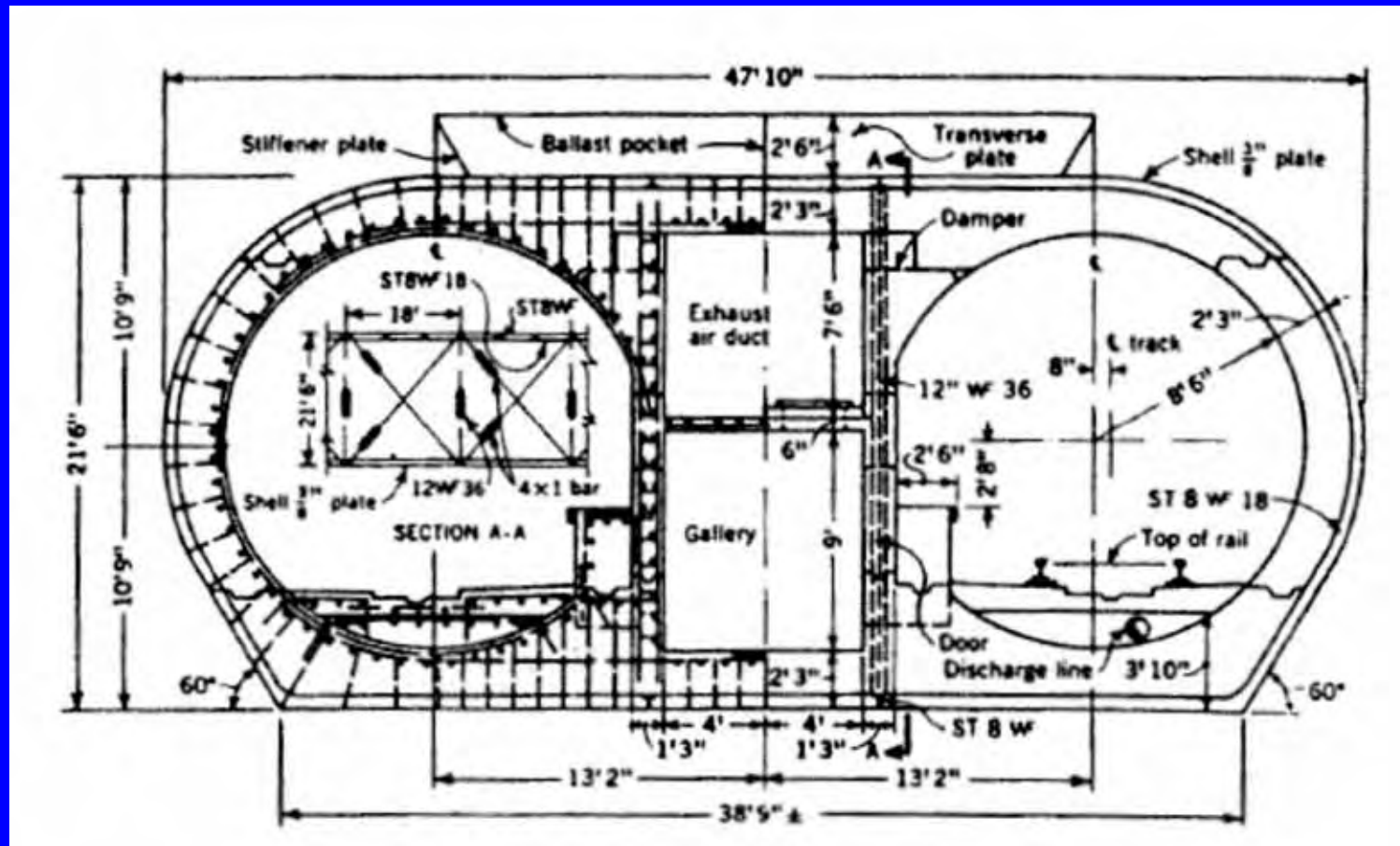
METRO SUBTERRÁNEO- EFECTOS SISMICOS

REQUERIMIENTOS DE EXPLORACIÓN LATERAL



METRO SUBTERRÁNEO-SECCIÓN Y PROFUNDIDAD

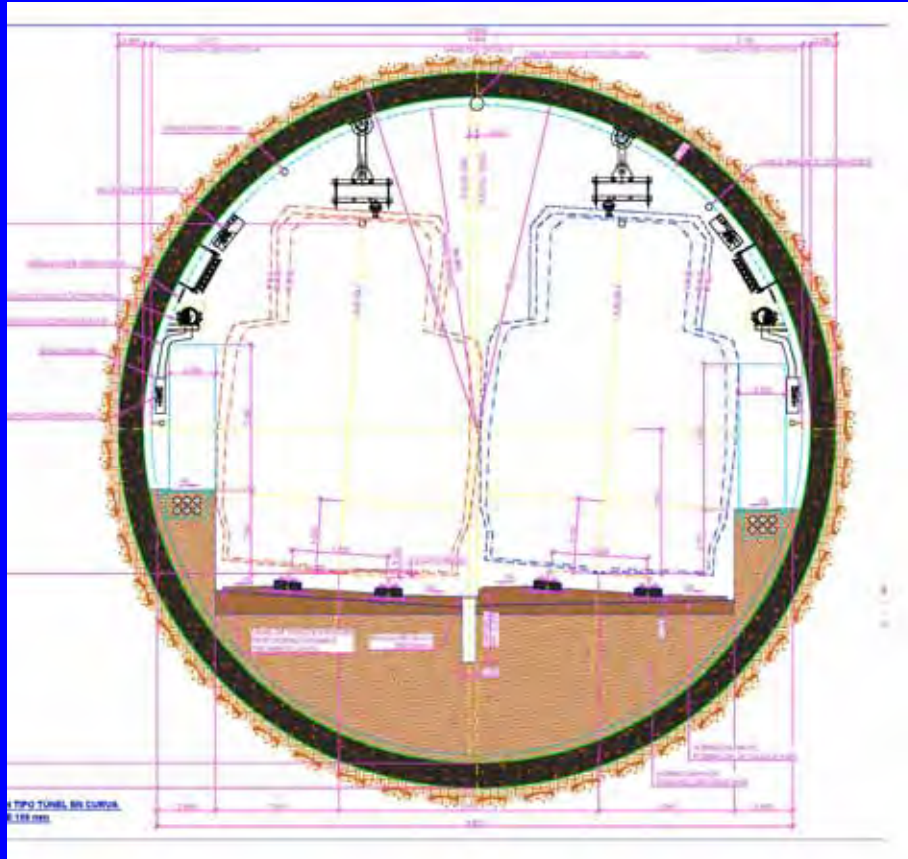
SECCIÓN SUMERGIDA?



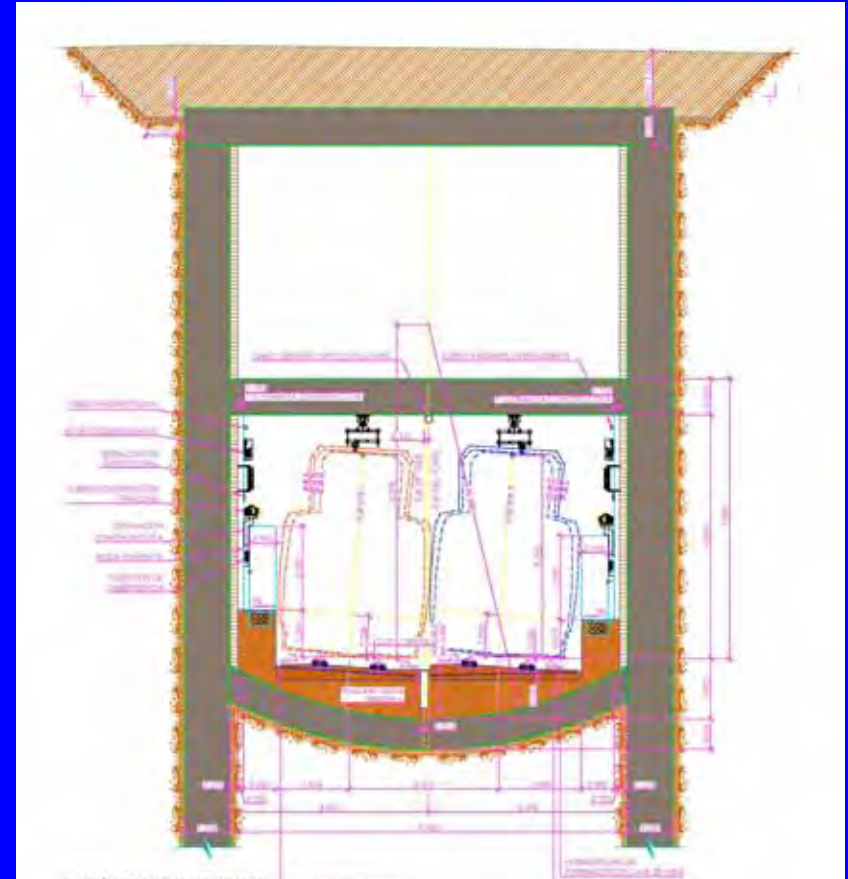
TRB, 2006

METRO SUBTERRÁNEO-SECCIÓN Y PROFUNDIDAD

SECCIONES ADOPTADAS



SECCIÓN EN TÚNEL
INICIO - CALLE 44



SECCIÓN CON PANTALLAS
CALLE 44 HASTA CALLE 127

METRO SUBTERRÁNEO-CONSTRUCCIÓN- TUNELEADORA- INICIO A CALLE 44



METRO SUBTERRÁNEO-CONSTRUCCIÓN

PANTALLAS- CALLE 44 A CALLE 100



**SI EN LA CALLE 94 HA HABIDO DEMORAS Y SOBRECOSTOS EN SOLO 500m,
CUANTAS HABRIÁ EN CERCA DE 5,000m ?**

METRO SUBTERRÁNEO-TRAMOS DE CONSTRUCCIÓN Y ESTACIONES



METRO SUPERFICIAL



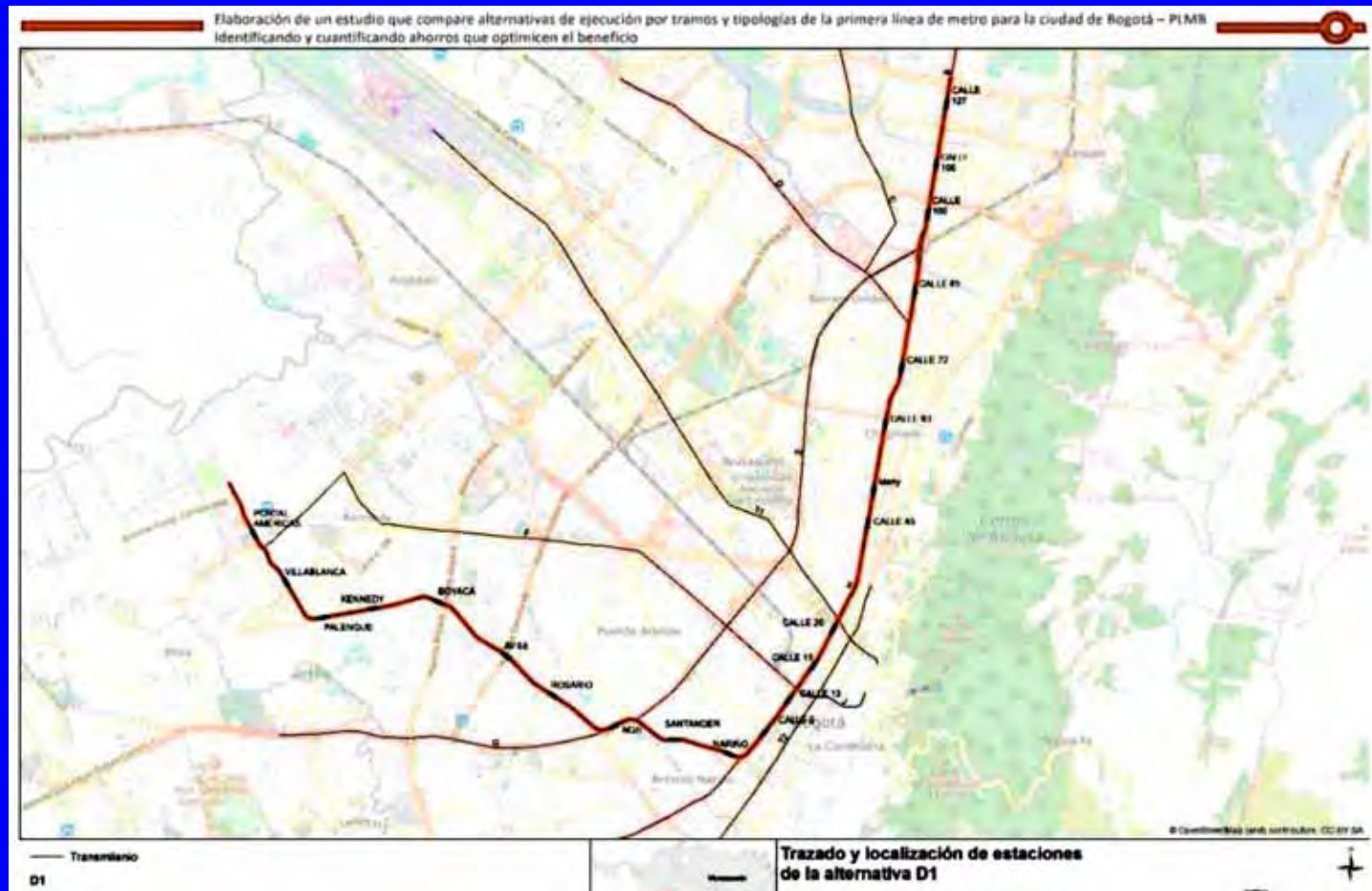
IDU, 2016

METRO- LOCALIZACIÓN LÍNEA SUPERFICIAL



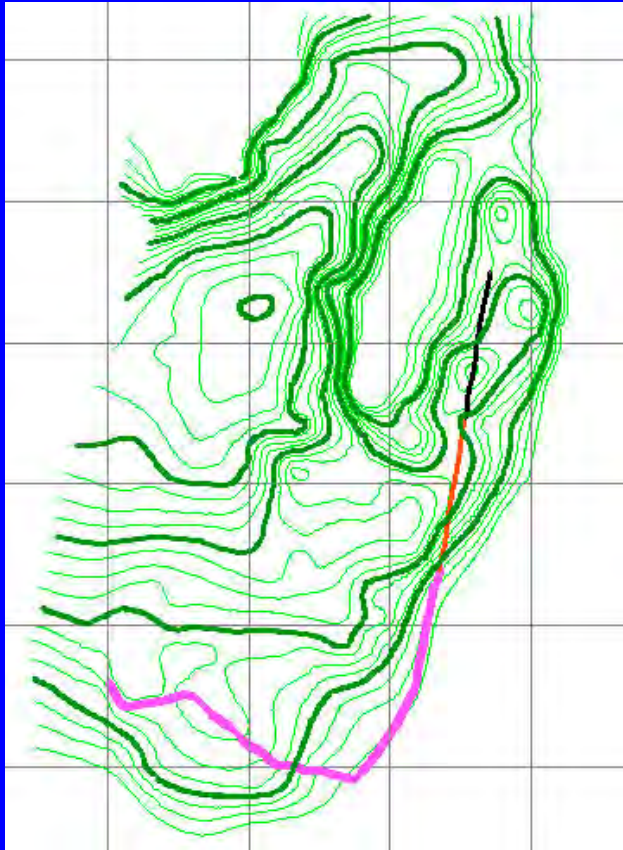
CARACOL NOTICIAS, 2016

METRO- LOCALIZACIÓN LÍNEA SUPERFICIAL



SYSTRA, 2017

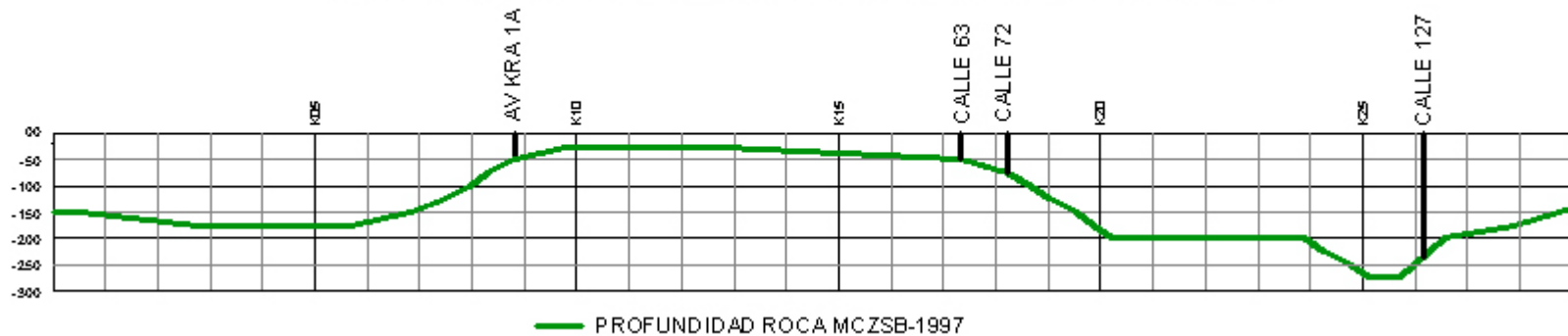
TODO EL SECTOR SUR HASTA LA CALLE 6a (10km) SIGUE LA LINEA SUBTERRÁNEA, POR LO QUE SE APROVECHA LA EXPLORACION HECHA



METRO SUPERFICIAL- SEDIMENTOS

AJGG- JULIO DE 2012

METRO BOGOTÁ- SUPERFICIAL- PERFIL APROXIMADO



METRO SUPERFICIAL- DEFORMACIONES

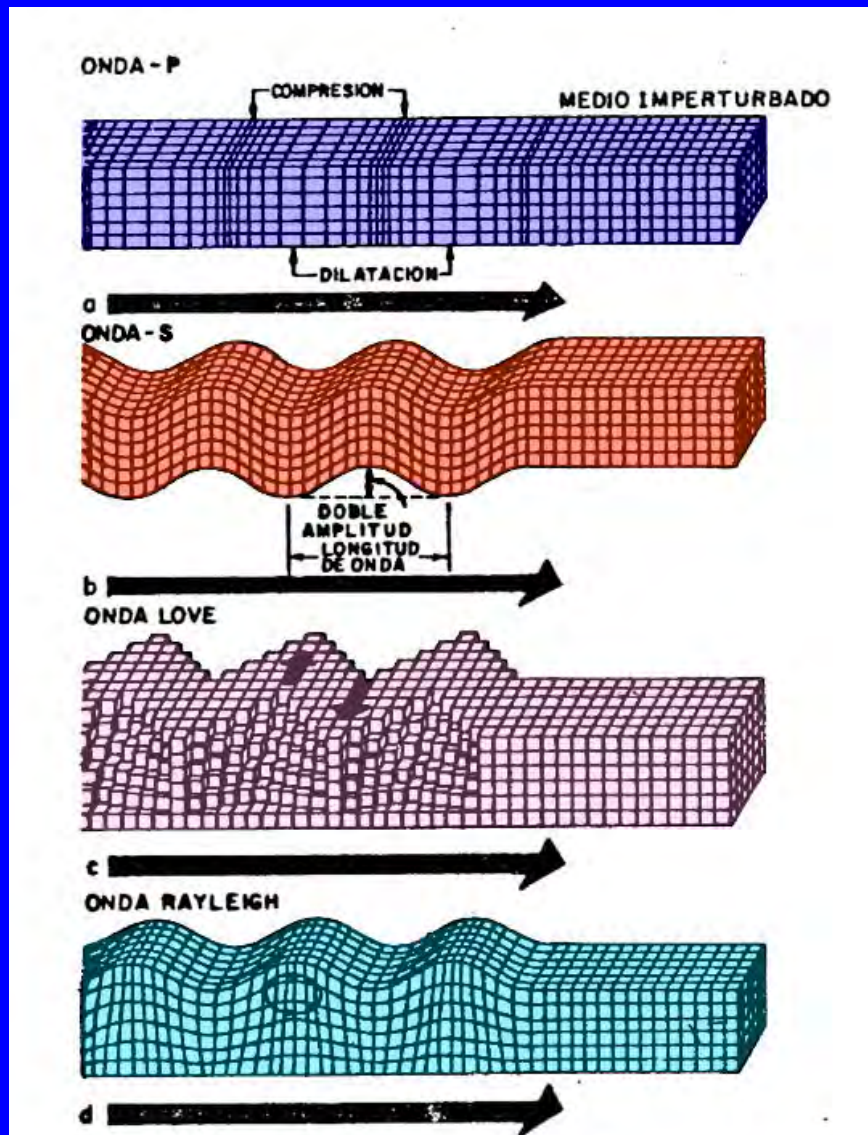
DEFORMACIONES DIFERENCIALES POR CONSOLIDACIÓN LOCAL



**HAY QUE
MINIMIZARLAS**

FOTO DE AYCARDI Y OROZCO, 2013

METRO SUPERFICIAL- EFECTOS SISMICOS

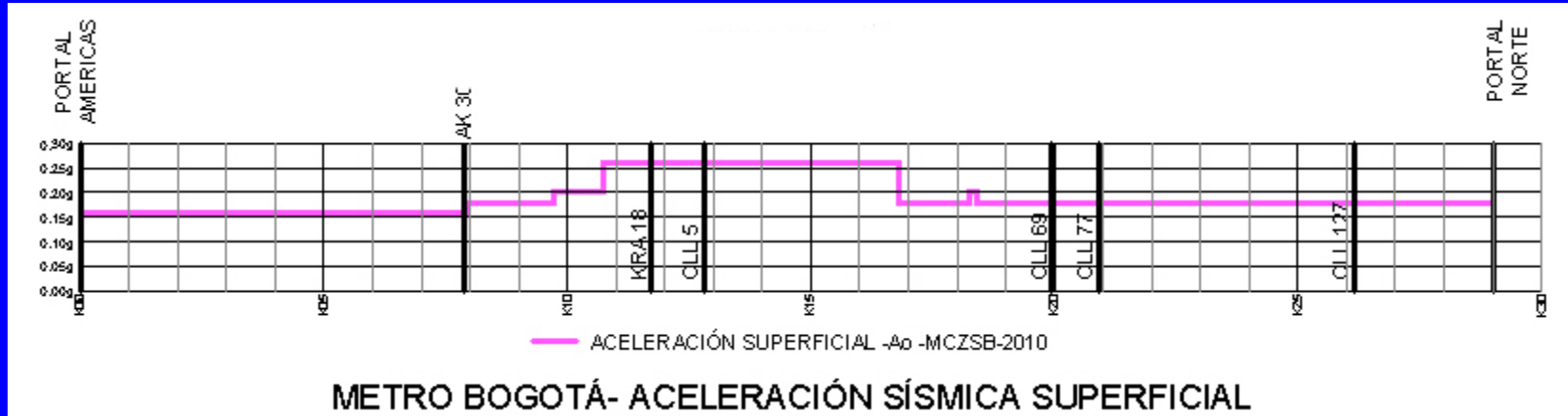
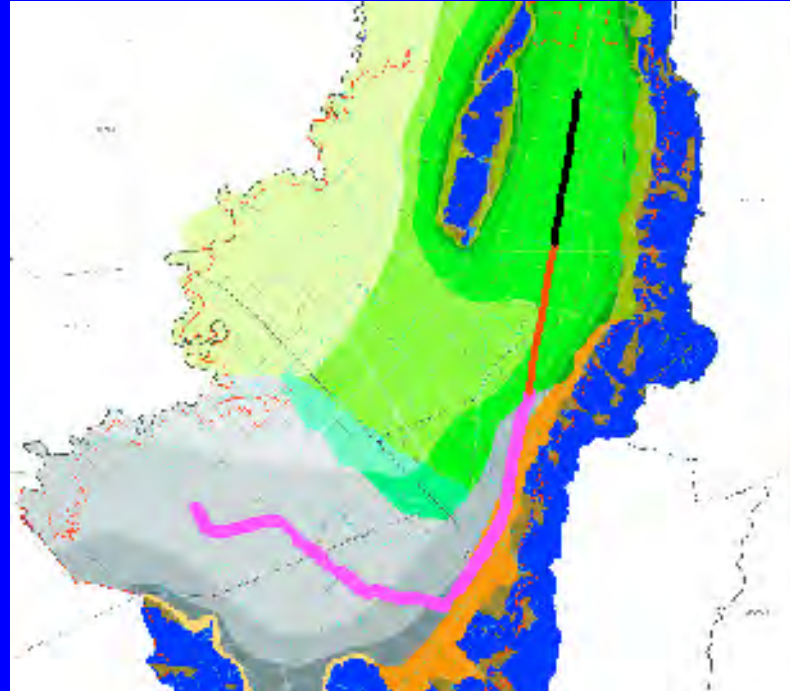


TODAS LAS ONDAS
SISMICAS CAUSAN
INCREMENTO DE
PRESIONES DE
AGUA

SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTECNIA- SCG

METRO DE BOGOTÁ- OBSERVACIONES GEOTÉCNICAS

METRO SUPERFICIAL - SISMOS



SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTECNIA- SCG

METRO DE BOGOTÁ- OBSERVACIONES GEOTÉCNICAS

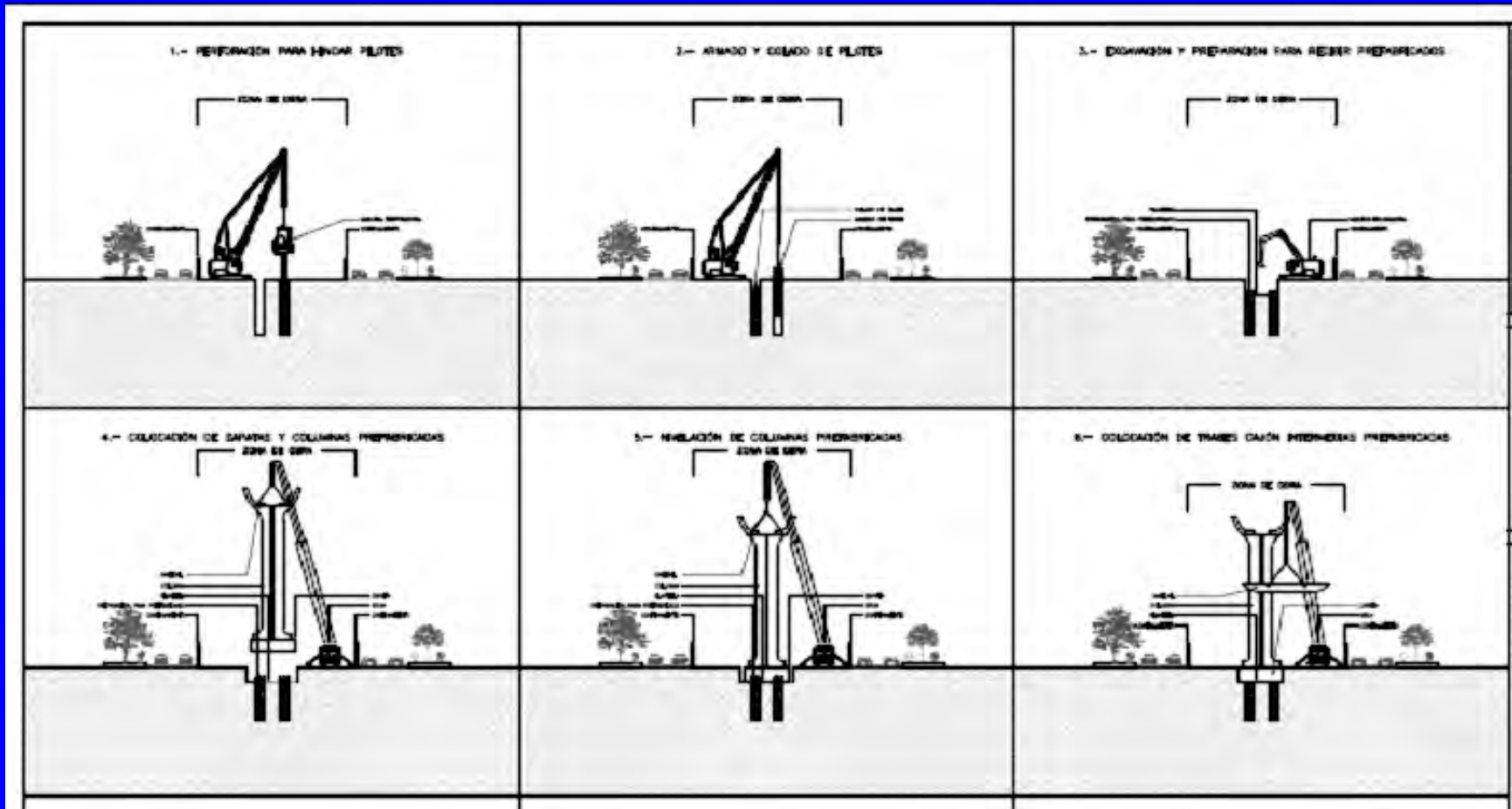
METRO SUPERFICIAL - SISMOS



ESTRUCTURA ALTA SOBRE COLUMNAS - PUEDE SER VULNERABLE

METRO SUPERFICIAL - SISMOS

ESTRUCTURA ALTA SOBRE COLUMNAS - PUEDE SER VULNERABLE



CIMENTACIÓN SOBRE PILOTES PROFUNDOS LA HACE MENOS VULNERABLE

**SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTECNIA- SCG
METRO DE BOGOTÁ- OBSERVACIONES GEOTÉCNICAS**

METRO SUPERFICIAL - SISMOS

ESTRUCTURA ALTA SOBRE COLUMNAS - PUEDE SER VULNERABLE



EL USO DE AISLADORES REDUCE MUCHISIMO LOS EFECTOS SISMICOS

METRO SUPERFICIAL - EJEMPLOS



CIUDAD DE MEXICO LINEA 12

METRO SUPERFICIAL - EJEMPLOS



MONTERREY- MEXICO

METRO SUPERFICIAL - EJEMPLOS



BANGKOK- TAILANDIA

METRO SUPERFICIAL - EJEMPLOS



DUBAI

MIL GRACIAS