

República del Perú
Ministerio de Transportes y Comunicaciones

**Estudio de Asesoría para la Formulación
de Norma Nacional del Diseño Estructural
Sismorresistente del Metro y la
Planificación del Transporte Urbano de
Lima en la República del Perú
Informe de Implementación del Estudio**

Marzo, 2022

**Agencia de Cooperación Internacional del Japón
(JICA)**

NIPPON KOEI Co. Ltd.

IM
JR
22-060

Índice

Capítulo 1: introducción.....	1-1
1.1 Aspectos Generales de la Asesoría	1-1
1.1.1 Antecedentes	1-1
1.1.2 Situación actual y problemas existentes	1-1
1.1.3 Objetivo de la Asesoría.....	1-3
1.2 Detalles de la Implementación de la Asesoría	1-3
Capítulo 2: Resultados del Estudio	2-1
2.1 Organización de información del cuarto informe y resumen de recomendaciones.....	2-1
2.1.1 Organización de la información del cuarto informe	2-1
2.1.2 Resumen de Recomendaciones del Cuarto Informe.....	2-1
2.2 Recomendaciones a la Contraparte Peruana sobre el Cuarto Informe	2-4
2.3 Organización de la Información del Quinto Informe y Resumen de Recomendaciones	2-6
2.3.1 Organización de la información en el quinto informe	2-6
2.3.2 Resumen de Recomendaciones del Quinto Informe.....	2-7
2.4 Recomendaciones a la Contraparte Peruana sobre el Quinto informe	2-19
2.5 Organización de la Información del Sexto Informe	2-30
2.6 Participación en el seminario en línea patrocinado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú (MVCS).....	2-32
Capítulo 3: análisis de problemas, lecciones aprendidas y recomendaciones para el futuro.....	3-1
3.1 Análisis de problemas y contramedidas.....	3-1
3.2 Lecciones aprendidas para el futuro	3-2

Anexos

Anexo-01 : Presentación sobre el cuarto informe	Recomendaciones sobre el cuarto informe
Anexo-02 : Presentación sobre el cuarto informe	Recomendaciones sobre la necesidad de verificación de la Norma
Anexo-03 : Presentación sobre el quinto informe	Recomendaciones sobre el cuarto quinto Informe
Anexo-04 : Presentación en el Seminario sobre Diseño Sísmico (21 marzo 2021)	Diseño por desempeño
Anexo-05 : Presentación en el Seminario sobre Diseño Sísmico (21 marzo 2021)	Sismo de Diseño
Anexo-06 : Presentación en el Seminario sobre Diseño Sísmico (21 marzo 2021)	Diseño Sísmico
Anexo-07 : Presentación sobre el quinto informe	Ejemplo de Matriz de Desempeño
Anexo-08 : Presentación en el Seminario en Línea del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS)	Elaboración de la norma de diseño sismorresistente de estructuras subterráneas
Anexo-09 : Presentación en el Seminario en Línea del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS)	Planificación del Transporte Urbano

Asesoría para la Formulación de Norma Nacional del Diseño Estructural Sismorresistente del Metro y la Planificación del Transporte Urbano de Lima en la República del Perú

Mapa de ubicación del área objeto del trabajo



Índice de Figuras

Figura 2.1 Diferencias entre las matrices de desempeño sísmico.....2-29

Índice de Tablas

Tabla-1.1 Temas de los tres informes y principales contenidos de asesoramiento por la parte japonesa.....1-2

Tabla 2.1 Información contenida en el cuarto informe.....2-1

Tabla 2.2 Opinión de MTC.....2-5

Tabla 2.3 Acuerdos y diferencias técnicas entre el equipo de estudio de JICA y el consultor peruano.....2-6

Tabla 2.4 Información contenida en el quinto informe.....2-7

Tabla 2.5 Instituciones participantes en Perú (incluidas las instituciones que se inscribieron previamente)
.....2-21

Tabla 2.6 Opiniones del MTC sobre el Quinto Informe.....2-22

Tabla 2.7 Acuerdos y diferencias técnicas entre el equipo de JICA y el consultor peruano.....2-29

Tabla 3.1 Problemas surgidas durante el Estudio y sus contramedidas.....3-1

Tabla 3.2 Problemas y Lecciones Aprendidas.....3-2

Lista de Abreviaturas

Abreviatura	Significado
AASHTO	Asociación Estadounidense de Carreteras Estatales y Oficiales de Transporte (<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>)
AATE	Autoridad Autónoma del Sistema Eléctrico de Transporte Masivo de Lima y Callao
ASCE	Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (<i>The American Society of Civil Engineers</i>)
CISMID	Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres
IGP	Instituto Geofísico del Perú
ISO	Organización Internacional de Normalización (<i>International Organization for Standardization</i>)
LRFD	Diseño de factor de carga y resistencia (<i>Load and Resistance Factor Design</i>)
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
MVCS	Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento
PGA	Aceleración pico del terreno / sismicidad (<i>Peak Ground Acceleration</i>)
TDR	Términos de Referencia

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Aspectos Generales de la Asesoría

1.1.1 Antecedentes

La población del área metropolitana de Lima, capital de la República del Perú (en adelante referido como “Perú”) supera 10 millones y la congestión crónica del tráfico en la ciudad se ha convertido en un problema social. Con el fin de aliviar la congestión del tráfico, está programada la construcción de las líneas del Metro de Lima, de la Línea 1 a 6 como el medio de transporte masivo de pasajeros. La línea 1 ya está en operación desde 2011, mientras la Línea 2 se encuentra en la etapa de construcción mediante el método de concesión. La Línea 2 del Metro de Lima es el primer proyecto de metro del país, sin embargo, actualmente el proyecto se encuentra retrasado debido a la discrepancia de opiniones sobre el concepto del diseño sismorresistente entre el propietario del proyecto y la entidad concesionaria observada durante el proceso de diseño. Esto se debe a que Perú, siendo un país sísmico, todavía cuenta con pocas experiencias en el diseño y la construcción de las estructuras subterráneas como el metro, lo que conlleva la falta de conocimiento sobre el diseño sismorresistente de dichas estructuras y la falta de la norma sísmica que regula las estructuras subterráneas. El Ministerio de Transporte y Comunicaciones (en adelante referido como “MTC”), el ente ejecutor de la Línea 2 del Metro de Lima, solicitó al gobierno del Japón la cooperación técnica para promover la resistencia sísmica de las estructuras subterráneas cuando el ministro del MTC visitó Japón en febrero de 2017. En febrero de 2019, el MTC contrató a una firma consultora la implementación a gran escala del servicio de elaborar la norma sísmica de las estructuras subterráneas. A partir de julio de 2019 a marzo de 2020, el Ministerio de Tierras, Infraestructura, Transporte y Turismo del Japón llevó a cabo una revisión de la norma sísmica preparada por la consultoría peruana, a través de la cual se compartieron las experiencias y los conocimientos de las normas sísmicas. Por otra parte, siguen ocurriendo retrasos en el proyecto de construcción del metro del Perú producidos por la falta de normas, por ende, es urgente establecer la norma sísmica a través de la asistencia de Japón, que es también un país sísmico y que tiene en abundancia experiencia en construir estructuras subterráneas y cuenta con las normas de diseño sismorresistente.

1.1.2 Situación actual y problemas existentes

(1) Análisis de la situación actual

Como producto del estudio por el Ministerio de Tierras, Infraestructura, Transporte y Turismo realizado de julio de 2019 a marzo de 2020, la parte peruana presentó tres informes sobre la norma sísmica, mientras la parte japonesa llevó a cabo tres sesiones de asesoramiento y reuniones en Perú. El resumen de los tres informes presentados por Perú y los contenidos de asesoramiento hechos al respecto se muestran en la tabla 1.1.

Tabla-1.1 Temas de los tres informes y principales contenidos de asesoramiento por la parte japonesa

Versión	Temas de los informes	Principales contenidos de asesoramiento por la parte japonesa
1	Contenido mínimo de la norma sísmica	Asesoramiento sobre los elementos técnicos a estipular en la norma sísmica y su orden de descripción. Explicación de los ejemplos reales de aplicación de la norma sísmica en Japón.
2	Contenido de la norma sísmica	Asesoramiento sobre el concepto del desempeño sísmico requerido y su método de verificación. Explicación de los ejemplos reales al aplicar los métodos de desempeño sísmico del Japón.
3	Método de estudio / ensayo necesario para el diseño sismorresistente	Asesoramiento sobre la importancia de seguir el método establecido de estudio / ensayo y su secuencia, teniendo en cuenta el panorama general del análisis sísmico. Explicación de los ejemplos reales al aplicar las normas sísmicas del Japón.

Fuente: Equipo de Estudio JICA

(2) Problemas existentes

Con base en los documentos como las Instrucciones de Trabajo y otros informes de estudio existentes, se han identificados los siguientes cuatro problemas.

1) No está definido claramente el panorama general de la norma sísmica que se encuentra en el proceso de elaboración.

Como se describe en la Tabla-1.1, los primeros tres informes dentro de los siete programados en total ya se han presentado y en ellos explican los contenidos de la norma sísmica, la propuesta para la aplicación del método de desempeño sísmico requerido y los métodos de estudios / ensayos necesarios para el diseño. Si bien es cierto que de esta manera se explican independientemente los temas técnicos de la norma, falta todavía la definición del panorama general, es decir, la explicación del flujo consistente para realizar el diseño sismorresistente, así como la propuesta del método de análisis sísmico que es la clave a la hora de hacer el diseño.

2) No está claro el proceso de corrección de cada informe por la parte peruana frente al asesoramiento que se presenta la parte japonesa.

Cuando el Ministerio de Tierras, Infraestructura, Transporte y Turismo ejecutó el estudio en 2019, las partes acordaron establecer un mecanismo de comunicación, en el cual la parte japonesa elabora una lista resumida de asesoramientos y sugerencias después de hacer la revisión de cada informe, y la parte peruana la revisa y entrega la respuesta. Sin embargo, el trabajo de corrección de informes se dejó a mano de una firma consultora contratada por la parte peruana, así que a veces los contenidos de corrección han resultado insuficientes o no estaban enfocados en los puntos señalados por la parte japonesa.

3) No están definidos detalladamente los temas y contenidos de los talleres programados.

Durante el estudio realizado por el Ministerio de Tierras, Infraestructura, Transporte y Turismo en 2019,

el MTC organizó un taller al que participaron varias organizaciones relacionadas e intercambiaron opiniones sobre la norma sísmica del metro peruano. Está previsto realizar más talleres después de la entrega del 4º informe. Sin embargo, todavía no están definidos los temas y los objetivos de cada taller.

4) Es necesario verificar la norma sísmica que se están formulando, sin embargo, el proceso y el método de verificación específicos no están establecidos.

Con respecto a la formulación de la norma sísmica, lo ideal es verificar la idoneidad de la norma desde el punto de vista práctica a través de las muestras de diseño y los cálculos de prueba. En el estudio implementado por el Ministerio de Tierras, Infraestructura, Transporte y Turismo en 2019, la parte peruana reconoció la necesidad de realizar la verificación de la norma. Sin embargo, su proceso y método concretos todavía no están establecidos. Además, si se realiza la verificación, será el primer caso en el país en cuanto a la norma sísmica para el metro, por lo que es necesario revisar los resultados de verificación basándose en las experiencias y los conocimientos que tiene Japón sobre las normas sísmicas.

1.1.3 Objetivo de la Asesoría

El presente trabajo tiene como objetivo asistir la formulación de la norma sísmica del metro como la primera experiencia en Perú y compartir los conocimientos y las experiencias del Japón sobre la norma sísmica del metro y la resistencia sísmica de las estructuras a fin de contribuir a la mejora de seguridad del sistema de transporte urbano de Lima.

1.2 Detalles de la Implementación de la Asesoría

Este trabajo se llevó a cabo de la siguiente manera

- Recopilación de información y asesoramiento sobre el cuarto informe
- Asesorar a Perú sobre el cuarto informe
- Participación en un seminario en línea organizado por el Ministerio de Vivienda y Construcción de Perú (MVCS)
- Recopilación de información y asesoramiento para el quinto informe
- Asesoramiento a Perú sobre el quinto informe
- Recopilación de información y asesoramiento sobre el 6º informe

CAPÍTULO 2: RESULTADOS DEL ESTUDIO

2.1 Organización de información del cuarto informe y resumen de recomendaciones

La parte japonesa recibió la versión final del cuarto informe del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) de Perú el 14 de octubre de 2020, y recogió información relacionadas y recopiló asesoramiento sobre el informe.

2.1.1 Organización de la información del cuarto informe

La información contenida en el cuarto informe se muestra en la siguiente tabla. El documento revisado fue: “PROJECT OF DESIGN MANUAL EARTH RESISTANT OF BUILDINGS UNDERGROUND FOR THE ROAD INFRASTRUCTURE DSRESIV – 2021 RD N° XX-2020-MTC / 18”

Tabla 2.1 Información contenida en el cuarto informe

Capítulo	Título	Contenidos principales	Página(s) en cuestión (versión en inglés)
Prefacio	GENERAL	Información general, como los objetivos y las normas a las que se hace referencia	P.5-14
Capítulo 1	DESIGN BASES	Información básica sobre el diseño resistencia sísmico, incluida la vida útil, la importancia, los requisitos de desempeño sísmico, los niveles de daño, etc.	P.15-28
Capítulo 2	SEISMIC ACTION	Descripción de los tipos de suelo, base de ingeniería y movimiento sísmico de diseño	P.28-38
Capítulo 3	GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE LAND	Descripción de fallas activas, estabilidad de taludes, licuefacción, etc.	P.38-39
Capítulo 4	SOIL GEOTECHNICAL CHARACTERISTICS	Propiedades geotécnicas como la resistencia, la rigidez y la amortiguación del suelo, investigaciones sobre el terreno y pruebas de laboratorio	P.39-47
Capítulo 5	SEISMIC ANALYSIS AND DESIGN OF RETAINING STRUCTURES	Análisis sísmico y diseño de muros de contención (Todavía no hay una descripción específica del método de análisis)	P.47-48
Capítulo 6	SEISMIC ANALYSIS AND DESIGN OF UNDERGROUND STRUCTURES	Análisis y diseño sísmico de estructuras subterráneas (Todavía no hay una descripción específica del método de análisis).	P.48-54
Anexos	ANNEXES	Descripción de la información de referencia y de los libros de consulta	P.55-75

Fuente: Equipo de Estudio JICA

No hay una descripción específica de los métodos para los capítulos 5 y 6, y el contenido de estos capítulos se basa en el quinto informe y posteriores. Por lo tanto, revisamos principalmente los contenidos antes del capítulo 4.

2.1.2 Resumen de Recomendaciones del Cuarto Informe

Como asesoramiento para el cuarto informe, la parte japonesa elaboró un informe de revisión y lo presentó al MTC el 13 de noviembre de 2020. A continuación, se muestra un extracto del informe de revisión.

El Equipo de Estudio de JICA recibió la versión final del cuarto informe del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) del Perú el día 14 de octubre de 2020 y revisó este informe teniendo en consideración la formulación de la norma sísmica del Perú. Esta revisión se desarrolló con base en la voluntad por la parte peruana de incorporar los siguientes dos puntos de la norma japonesa en la norma sísmica peruana:

- 1) Concepto sobre el establecimiento del movimiento sísmico de diseño a nivel del lecho rocoso de ingeniería
- 2) Esquema básico del diseño basado en el desempeño. (compatible con ISO23469)

Con respecto al punto 1), hemos entendido que se propone realizar el análisis de respuesta sísmica aplicando el movimiento sísmico de diseño en un estrato base con $V_s=800\text{m/s}$, y elevar o bajarlo según la ubicación del túnel. Consideramos que en este punto se está aplicando el concepto de la norma sísmica japonesa.

En lo que concierne al punto 2), se encuentran varios puntos que difieren de la norma sísmica japonesa. En especial, si se adoptan nuestras recomendaciones manteniendo los cinco requisitos de desempeño sísmico que actualmente se proponen dentro del informe (como la matriz de desempeño en la Tabla 6), es probable que en varios puntos ocurran incoherencias. (Por ejemplo, se utilizan en forma mezclada las expresiones que suponen “seguridad” y “recuperabilidad” dentro de los cinco requisitos de desempeño sísmico). Además, se trata de un sistema de diseño muy diferente del sistema japonés, lo cual se nos hace difícil evaluar su validez.

Por consiguiente, lo que recomendamos es que se verifiquen los puntos (1) a (3) consignados a continuación, y se revisen una vez más el sistema de diseño basado en el desempeño que se propone. Estas observaciones son básicamente, los mismos puntos que venimos señalando desde nuestro primer viaje al Perú. En el taller celebrado en el segundo viaje, los participantes de CISMID, IGP y otras organizaciones evaluaron positivamente el sistema japonés de diseño basado en el desempeño por ser sencilla y entendible. A no ser que los puntos que señalamos a continuación sean modificados, será difícil afirmar que el esquema básico del diseño basado en el desempeño japonés fue incorporado en la norma sísmica peruana.

① Sobre el establecimiento del requisito de desempeño sísmico

Los tres objetivos estipulados en la Norma E030 respecto al requisito de desempeño sísmico son bastantes claros y corresponden a la (a) seguridad, (b) capacidad de servicio y (c) recuperabilidad, estipulados en ISO respectivamente. Por su parte, estos tres objetivos de la Norma E030 están citados de forma mezclada dentro de los cinco requisitos de desempeño sísmico indicados en el informe sin ser definidos independientemente. Por ejemplo, en el apartado del Desempeño Óptimo (PR1), se encuentra la expresión “be used immediately (puede ser utilizado inmediatamente)” que parece referirse a la capacidad de servicio de la estructura, mientras se menciona en la misma línea “giving no sense of danger (sin dar sensación de peligro)” que parece la expresión relacionada con la seguridad. Esta forma de definición mezclada del requisito de desempeño sísmico hace muy complejo entender el sistema de diseño basado en el desempeño. La manera óptima sería dar prioridad a hacer mención clara sobre la pertinencia con las normas existentes, así como sobre el requisito de desempeño sísmico, y adoptar los tres objetivos de la Norma E030 como los requisitos de desempeño sísmico para la norma que se encuentra en el proceso de elaboración.

Desempeño Óptimo (PR1): La construcción sufre solamente un mínimo efecto y no se da la sensación de peligro, por lo que puede ser usado inmediatamente. No hay absolutamente ninguna afectación humana (ningún tipo de riesgo de lesiones, ni amenaza a la vida humana).

② Sobre los cinco requisitos de desempeño sísmico y los cinco estados límite

Para todas las estructuras se exige cumplir con los cinco requisitos de desempeño sísmico y hacer el diseño para los cinco estados límite. Por otra parte, la norma japonesa requiere solamente hacer un diseño en dos o tres pasos (seguridad funcional, seguridad estructural y recuperabilidad). Es decir, el diseño en cinco pasos supone una gran carga a los diseñadores y eleva el costo de diseño. Por ende, lo aconsejable es reducir a los tres requisitos de desempeño sísmico acorde a la Norma E030 y establecer el diseño de tres pasos como máximo.

③ Sobre la matriz de desempeño

El ISO23469 estipula que el movimiento sísmico de diseño debe ser establecido de acuerdo con el requisito de desempeño sísmico. Sin embargo, en el informe, el movimiento sísmico de diseño cambia según el factor de importancia de la estructura, lo cual no sentimos estar del todo de acuerdo. Por ejemplo, se considera que los túneles de clase II no pueden garantizar la seguridad de vida humana frente a un sismo con un período de retorno de 450 años o más, y las estructuras de clase I2 no garantizan la vida humana frente a un sismo con un período de retorno de 950 años o más. No obstante, la seguridad debe ser garantizada imparcialmente para todas las estructuras. Simultáneamente, se debe emplear el mismo movimiento sísmico de diseño en cuanto a la capacidad de servicio y recuperabilidad. El desempeño sísmico se puede controlar al descartar la aplicación del requisito de desempeño sísmico o al cambiar el valor límite que se señala en el inciso (1) dependiendo del factor de importancia de la estructura.

Además, se considera que sería sobredimensionado exigir el cumplimiento total del requisito de desempeño sísmico a las estructuras de baja importancia. Es necesario determinar el requisito de desempeño sísmico a las estructuras teniendo en cuenta el desempeño que realmente se requiere y su operación.

En vista de lo mencionado arriba, consideramos que es óptimo clasificar los requisitos de desempeño sísmico de la siguiente manera según el factor de importancia de la estructura.

- I3 : Es necesario garantizar todos los siguientes desempeños: desempeño que evita la pérdida de vidas humanas en los mega sismos (seguridad), desempeño que permite recuperar rápidamente después de los sismos intensidad media (recuperabilidad) y desempeño que permite reanudar el uso de propiedades después de los sismos moderados que ocurren frecuentemente (capacidad de servicio).
- I2 : Cuenta con el desempeño que evita la pérdida de vida humana en los mega sismos y que permite restaurar rápidamente después de los sismos intensidad media, pero no es necesario satisfacer la capacidad de servicio.
- I1 : Cuenta con solamente el desempeño que evita la pérdida de vidas humanas en los mega sismos y no es necesario satisfacer la capacidad de servicio y la recuperabilidad.

A continuación, se muestra como ejemplo la matriz de desempeño en combinación con los movimientos sísmicos de diseño.

Ejemplo	Seguridad	Recuperabilidad	Capacidad de Servicio
Movimiento sísmico	2450 años	950 años	450 años
I1	●	X o Moderado	X
I2	●	● o Moderado	X o Moderado
I3	●	● o Estricto	● o Estricto

- : Se requiere satisfacer el desempeño
- X : No se requiere satisfacer el desempeño
- Moderado : Se establece un valor límite moderado
- Estricto : Se establece un valor límite estricto.

Esta matriz tiene las siguientes ventajas:

- Básicamente, es suficiente tener tres tipos de movimientos sísmicos para hacer el diseño.
- Los requisitos de desempeño sísmico están claramente establecidos, por lo tanto, los usuarios pueden comprender fácilmente el desempeño.
- Permite diseñar racionalmente de acuerdo con el factor de importancia de estructura. Por ejemplo, en cuanto a las estructuras de alta importancia se permite que éstas sufran daños hasta un nivel en el que se puede recuperar en unos días, mientras para las estructuras de baja importancia se les permite sufrir daños cuya recuperación podría durar meses. De esta manera, es posible hacer un ajuste detallado.
- Cumple con la norma internacional ISO23469.

No obstante, es necesario hacer una prueba de diseño utilizando la matriz expuesta en la parte superior con el fin de verificar si la diferencia en el factor de importancia genera alguna diferencia en el diseño estructural. Por ejemplo, existe la posibilidad de poder omitir la verificación por recuperabilidad, si el resultado de la verificación de seguridad también satisface la recuperabilidad al mismo tiempo. Además, a pesar de que la matriz señalada arriba no es más que un ejemplo, los períodos de retorno sísmico parecen ser un poco largos.

Como se indica a continuación en el punto (3), les recomendamos que paralelamente desarrollen la prueba de diseño.

Además de lo que hemos señalado arriba, esperamos que tengan en cuenta los siguientes puntos.

- (1) Sobre el nivel de daño global y el nivel de daño local

Es comprensible que esté establecido el estado límite (estado límite de toda la estructura) frente al requisito de desempeño sísmico. Por otra parte, dado lo complejo que es definir cuantitativamente el nivel de daño global (nivel de daño de toda la estructura), es igual de complejo verificar si se ha alcanzado al estado límite utilizando el nivel de daño global que se muestra en la tabla 5.

Según la norma japonesa, se considera que el nivel de daño global es equivalente al nivel de daño local (nivel de daño de elementos). Con base en este criterio, se establecen los valores límite a cada uno de los elementos que constituyen la estructura controlando que estos valores no excedan al estado límite global, y se verifica el desempeño a través de confirmar que el nivel de daño de elementos obtenido por el cálculo de diseño se quede dentro del valor límite.

(2) Sobre el valor límite

Es posible que el “Steel strain limitation (límite de deformación de acero)” y el “Concrete strain limitation (límite de deformación del hormigón)” que se muestran en la Tabla 5 en el informe correspondan al valor límite.

Sin embargo, el valor límite varía según el tipo y la ubicación de los elementos. Por ejemplo, si el elemento se encuentra en un lugar fácil de reparar, su valor límite de recuperabilidad puede ser más bajo. También, el valor límite depende del tipo de material y estructuración de elementos. Si se emplea un material con alta ductilidad, el valor límite es mayor debido a su factor de deformación. Al adoptar este concepto, se hace posible introducir más fácilmente los nuevos materiales y métodos de construcción recientemente desarrollados. Es una de las ventajas que ofrece el diseño basado en el desempeño.

En el informe se describe que la norma japonesa no contiene ninguna cuantificación específica de los estados límite y esto se debe a que es imposible cuantificarlos. En cambio, la norma japonesa indica la manera de establecer el nivel de daño que define el estado límite.

(3) Sobre la verificación

En el informe se describe sobre el cálculo de los valores de respuesta. Sin embargo, al ser una explicación conceptual no se llega a entender su manera de aplicación en la práctica. Se recomienda realizar un análisis de verificación para ver si se puede diseñar una estructura adecuada mediante el método de diseño basado en el desempeño que está en proceso de formulación. Dado que el período de formulación es limitado, consideramos que es mejor que esta verificación se proceda paralelamente a la elaboración de la Norma.

2.2 Recomendaciones a la Contraparte Peruana sobre el Cuarto Informe

La parte japonesa asesoró a la parte peruana sobre el cuarto informe. El asesoramiento se realizó a través de una conferencia web desde noviembre del 2020 a enero del 2021. Los principales recomendaciones fueron las siguientes:

(1) Asesoramiento sobre la revisión del cuarto Informe

Sobre la base de los resultados de la revisión del cuarto informe, la parte japonesa informó al MTC a través de una conferencia web. El material de presentación se muestra en el Anexo-01.

(2) Asesoramiento sobre la necesidad de verificar las normas

Sobre la base de los resultados de la revisión del cuarto informe, la parte japonesa informó al MTC a través de una conferencia web. El material de presentación se muestra en el Anexo-02.

(3) Opinión del MTC

En respuesta al consejo anterior, el MTC expresó las siguientes opiniones que se muestran en la siguiente tabla

Tabla 2.2 Opinión de MTC

Tema	Contenido
Sobre las normas que se están desarrollando	<ul style="list-style-type: none"> – Es necesario que dicha norma tenga un grado adecuado de flexibilidad para que se puedan aplicar en todo el país. – En Perú existe un criterio de evaluación económica de proyectos que pide la evaluación de costo-beneficio. Por lo tanto, se espera que la Norma Sísmica se elabore teniendo en cuenta los costos de construcción y la eficiencia económica. – MTC espera la formulación de un criterio de diseño común entre la parte japonesa y la peruana. – Es necesario que las normas sean consistentes hasta cierto punto con las Líneas 1 y 2 de Metro existentes. • Con el fin de finalizar la parte técnica en el 6° informe, se esforzará en la elaboración de la norma intensificando las reuniones entre la parte japonesa y la peruana. A través de las discusiones, se buscará eliminar discrepancias en el aspecto técnico entre la firma consultora peruana y la parte japonesa.
Sobre la validación de las normas	<ul style="list-style-type: none"> – MTC comprende la necesidad de verificación de la norma sísmica. Con respecto a la implementación de verificación, MTC analizará la solución internamente. – Se solicitó a la parte japonesa que prepare un documento oficial sobre la necesidad de verificación de la norma sísmica y que lo envíe directamente al Director General.

Fuente : Equipo de estudio JICA

La parte japonesa presentó las siguientes sugerencias sobre la tarea de verificación de la norma sísmica.

- No es siempre necesario que la firma consultora contratada por la parte peruana se encargue de la verificación, porque la tarea puede ser atendida por los catedráticos universitarios o las empresas privadas en Perú.
- Es ideal que la tarea de verificación se desarrolle paralelamente con la elaboración de la norma. Se estima que la verificación necesitaría aproximadamente seis meses.
- Se considera tomar la Línea 2 del Metro de Lima como ejemplo para implementar la verificación y se requiere que MTC proporcione los datos necesarios como planos de sección y datos numéricos de materiales, etc.

(4) Diferencias técnicas entre el equipo de estudio y los consultores peruanos

Las diferencias técnicas entre el equipo de estudio de JICA y el consultor peruano en la conferencia web del 18 de diciembre de 2020 se muestran a continuación.

Tabla 2.3 Acuerdos y diferencias técnicas entre el equipo de estudio de JICA y el consultor peruano

	Equipo de estudio de JICA	Consultor peruano
Sobre la base del movimiento de tierra del terremoto de diseño	<ul style="list-style-type: none"> El equipo de estudio de JICA y el consultor peruano acordaron que el sismo de diseño sería expresado en la base de ingeniería con la onda de afloramiento de roca madre. 	
Sobre la matriz de desempeño sísmico	<ul style="list-style-type: none"> En lugar de cambiar el período de retorno del movimiento sísmico de diseño, lo primero que se debe definir es el requisito de desempeño sísmico. Independientemente de la importancia de la estructura, la seguridad de la vida humana debe ser incluida en el requisito de desempeño sísmico. Las normas japonesas establecen los diseños que consideran la eficiencia económica de acuerdo con las condiciones de la estructura in situ. Las normas japonesas toman en cuenta un movimiento sísmico mayor de lo previsto, de modo que adopta el movimiento sísmico más grande presumible en el sitio de construcción (L2). 	<ul style="list-style-type: none"> Falta de libertad y flexibilidad. No existen suficientes alternativas por las que el diseñador pueda optar. Por otra parte, la matriz peruana es más flexible porque permite modificar el período de retorno del movimiento sísmico de diseño. No se puede concebir la idea de garantizar la seguridad en todos los niveles de importancia. En Perú, se desea una estructura económica, dejando la seguridad como un factor seleccionable de acuerdo con la importancia de la estructura. No se aplica el concepto japonés de sismicidad máxima en el movimiento sísmico de diseño.
Verificación de las normas	<ul style="list-style-type: none"> El Equipo de Estudio de JICA señaló que el diseño y análisis de la Línea 2 del Metro de Lima está, aparentemente, basado en 2 niveles o etapas de desempeño: (1) no obstaculizar la operación y (2) no colapso de la estructura, sin embargo, la Norma Sísmica en formulación propone 5 niveles o etapas de desempeño por lo cual esta requiere una verificación debido a esta discrepancia. 	<ul style="list-style-type: none"> El consultor peruano respondió que el procedimiento de diseño y análisis propuesto en el borrador de la Norma está siendo utilizado en el diseño sísmico de la Línea 2 del Metro de Lima, por lo ello consideraron que la verificación ya fue realizada.

Fuente : Equipo de estudio JICA

2.3 Organización de la Información del Quinto Informe y Resumen de Recomendaciones

La parte japonesa recibió la versión final del cuarto informe del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) de Perú el 23 de diciembre de 2020, con la cual se organizó la información y se recopilaron las siguientes recomendaciones en respuesta a dicho informe.

2.3.1 Organización de la información en el quinto informe

La información contenida en el quinto informe se muestra en la siguiente tabla. El documento a revisar es “PROJECT OF MANUAL FOR EARTHQUAKE-RESISTANT DESIGN OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS FOR ROAD AND RAILWAY INFRASTRUCTURE DSRESIV – 2021 RD N° XX-2020-MTC/18”

Tabla 0.1 Información contenida en el quinto informe

Capítulo	Título	Contenidos principales	Páginas en cuestión (versión inglesa)
Prefacio	GENERAL CONSIDERATIONS	Información general, como los objetivos y las normas a las que se hace referencia	P.11-19
Capítulo 1	BASIS OF DESIGN	Información básica sobre el diseño sísmico, como la vida útil, la importancia, los requisitos de desempeño sísmico, los niveles de daño y las cargas de diseño de la estructura objetivo	P.20-31
Capítulo 2	SEISMIC ACTION	Descripción de los tipos de suelo, bases de ingeniería y movimientos sísmicos de diseño	P.32-42
Capítulo 3	GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE LAND	Descripción de fallas activas, estabilidad de taludes, licuefacción, etc.	P.43-44
Capítulo 4	SOIL GEOTECHNICAL CHARACTERISTICS	Propiedades geotécnicas, como la resistencia, la rigidez y la amortiguación del suelo, y pruebas de campo y de laboratorio	P.45-50
Capítulo 5	SEISMIC ANALYSIS AND DESIGN OF RETAINING STRUCTURES	Análisis sísmico y diseño de muros de contención (Todavía no hay una descripción específica del método de análisis)	P.50-51
Capítulo 6	SEISMIC ANALYSIS AND DESIGN OF UNDERGROUND STRUCTURES	Análisis sísmico y diseño de estructuras subterráneas, y Descripción de los métodos de análisis numérico	P.52-67
Anexo	ANNEXES	Descripción de la información de referencia y de los libros de consulta	P.68-92

Fuente : Equipo de estudio JICA

Además de una amplia revisión del informe en su conjunto, también la parte japonesa revisó la definición de los requisitos de desempeño sísmico en el capítulo 1 y la adición de descripciones en el capítulo 6, que no se acordaron en el cuarto informe.

2.3.2 Resumen de Recomendaciones del Quinto Informe

La parte japonesa recopiló una serie de recomendaciones en un informe como parte del asesoramiento respecto al quinto informe. A continuación, se describe el contenido del informe de revisión. Asimismo, se realizaron una serie de conferencias web con la contraparte peruana durante enero a mayo de 2021 con el fin de discutir los resultados del informe y recopilar información adicional. En consecuencia, el informe de revisión se presentó el 28 de mayo de 2021.

El Equipo de Estudio de JICA recibió la versión final del quinto informe del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) de Perú el día 23 de diciembre de 2020, y revisó este informe teniendo en consideración la formulación de la norma sísmica para el “PROYECTO DE MANUAL DE DISEÑO SISMO RESISTENTE DE CONSTRUCCIONES SUBTERRÁNEAS PARA LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y FERROVIARIA DSRESIV – 2021”.

Entre los puntos que señalamos en esta revisión, algunos se encuentran todavía en el proceso de discusión, por lo que les solicitamos tener en cuenta la posible modificación que se haya realizado sobre el contenido de la norma en redacción durante la misma.

Esta revisión se desarrolla con base en la solicitud por la parte peruana sobre los siguientes dos puntos:

- 1) Introducir el concepto de establecimiento de movimiento sísmico de diseño a nivel del basamento rocoso ingenieril.
- 2) Introducir el esquema básico del diseño basado en el desempeño. (compatible con ISO23469)

A continuación, se describen los comentarios para cada capítulo.

1. Capítulo 1

(1) Capítulo 1.3

【Comentario 1-1】 Página 22 (versión inglés), Tabla 1 (Tema en proceso de discusión el día 13 de mayo)

¿Se ha acordado con MTC sobre la idea de tener tres niveles de importancia operativa? Es necesario describir en la Norma en redacción los tipos de estructuras a los cuales se aplican cada importancia (I1, I2 e I3).

(2) Capítulo 1.4

【Comentario 1-2】 Página 22 (versión inglés), 1.4, de la línea 13 hasta 15 contando de arriba

Se describe que “los diseñadores pueden centrarse en el concepto de Requisito de Desempeño y deben considerar el nivel de daño y el estado límite como una mera referencia conceptual.” Al respecto, consideramos que la lógica es contraria y que para las prácticas de diseño es importante indicar concretamente sobre el nivel de daño y el estado límite.

【Comentario 1-3】 Página 23 (versión inglés), de la línea 9 (Tema en proceso de discusión el día 13 de mayo)

Se mencionan los cinco requisitos de desempeño de PR1 a PR4 y FP, pero los elementos relacionados con la seguridad, la recuperabilidad y la capacidad de servicio estipuladas en la Norma E.030 están citados de forma dispersa en cada requisito de desempeño. A continuación, se indica en color rojo la mención sobre la seguridad, la recuperabilidad en verde y la capacidad de servicio en azul, respectivamente. Consideramos que esta forma de indicación de desempeño es difícil de explicar y puede generar confusiones.

Optimum Performance (PR1).

The construction undergoes only minimal effects, giving no sense of danger and can, therefore, be used immediately. Absolutely not any human affectation (no risk of injuries, no threaten to life at all).

Good Performance (PR2).

The construction undergoes moderate effects, being reasonably easy and economical to repair. No human affectation (no risk of significant injuries, no threaten to life).

Safety Performance (PR3).

The construction undergoes significant damage but remains safe. Little human affectation (low risk of significant injuries, no serious threaten to life).

No Collapse Performance (PR4).

The construction undergoes very important effects, but it can still be safely evacuated; noticeably, this affects the stairs, escalators and elevators. Moderate human affectation (important risk of significant injuries, not high threaten to life). Road and railway tunnels) can be transited by emergency vehicles and convoys, respectively; in railway tunnels, this affects to the facilities (mainly, the electric power supply. To allow for this transit, clearance restrictions (space proofing) might apply, mainly for road tunnels.

Functional Performance (FP).

Construction can recover most of its ability to function in a reasonably short time (a few days).

【Comentario 1-4】 Página 24 (versión inglés), Tabla 2 (Tema en proceso de discusión el día 13 de mayo)

La Tabla 2 muestra los requisitos de desempeño propuestos por el consultor en correspondencia con la Norma E.030. Sin embargo, no creemos que sea así la correspondencia. Por ejemplo, se describe que PR2 corresponde a (b) de E.030, pero en la realidad E.030 menciona solamente sobre la recuperabilidad, mientras PR2 incluye lesiones y riesgo de vida humana. Como se ha expresado en el comentario anterior, la redacción mezclada de la

seguridad y la recuperabilidad genera confusiones.

Table 2. Correspondence between the proposed Performance Requirements and those of [E.030 2019]

Performance Requirement	[E.030 2019] (3.2)
PR1	-
PR2	(b) The structure should withstand ground motions classified as moderate for the site, being able to experience repairable damage within acceptable limits
PR3	(a) The structure should not collapse or cause serious damage to people, although it could present important damage, due to qualified ground motions classified as severe for the site
PR4 FP	(c) Maintain functionality

De esta tabla, no se puede determinar si los niveles de daño y los estados límite se refieren al aspecto local (miembro/elemento estructural) o global (sistema en conjunto de toda la estructura). En la Figura 2, el eje horizontal muestra la curvatura, por lo que se puede interpretar como local, pero los niveles de daño y los estados límite en el texto refieren al aspecto global.

El nivel de daño de toda la estructura depende del tipo de elemento y su nivel de daño. Por ejemplo, el nivel de daño 3 en la columna central afecta más a la estructura total que el nivel de daño 3 en la viga intermedia. Por lo tanto, la relación entre los niveles de daño de elementos y los estados límite de estructura no es proporcional.

Por ende, les sugerimos que revisaran una vez más el nivel de daño, el estado límite y los requisitos de desempeño.

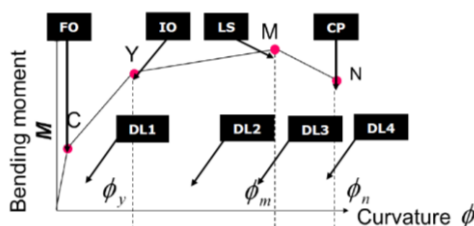


Figure 2. Example of modeling the nonlinearity of a reinforced concrete element in the Japanese design code

- **Negligible Damage (DL1).** The structure has only slight damage and can be clearly economically repaired, allowing continuous operation.
- **Limited Damage (DL2).** The structure has only moderate damage and still can be economically repaired. Permanent lateral displacements (drifts) are negligible, the ability to resist new earthquakes is intact, and the structural elements experience only a slight stiffness reduction. Non-structural elements can also be economically repaired.
- **Significant Damage (DL3).** The structure has significant damage, perhaps with moderate permanent drifts, but still retains a good part of its resistant capacity. Non-structural elements are damaged but maintain their integrity.
- **Generalized Damage (DL4).** The structure has serious damage but still maintains some resistant capacity. Most non-structural elements are heavily damaged or destroyed.
- **Functional Damage (FD).** The construction functionality may be seriously interrupted but can be restored quickly.
- **Fully Occupationally (FO).** This Limit State corresponds to Negligible Damage (DL1).
- **Immediate Occupancy (IO).** This Limit State corresponds to Limited Damage (DL2). In cut-and-cover tunnels with box section, the bound for the drift is 1%, for the tensioned steel strain is 0.002, and for the compressed concrete strain is 0.003.
- **Life Safety (LS).** This Limit State corresponds to Significant Damage (DL3). In cut-and-cover tunnels with box section, the bound for the drift is 2%, for the tensioned steel strain is 0.02, and for the compressed concrete strain is 0.006.
- **Collapse Prevention (CP).** This Limit State corresponds to Generalized Damage (DL4). In cut-and-cover tunnels with box section, the bound for the drift is 4%.

Performance requirement	Damage Level	Limit State	Drift Limitation	Steel Strain Limitation	Concrete Strain Limitation
PR1 (Optimum Performance)	ND (Negligible Damage)	FO (Fully Occupational)	-	-	-
PR2 (Good Performance)	LD (Limited Damage)	IO (Immediate Occupancy)	1	0.002	0.003
PR3 (Safety Performance)	SD (Significant Damage)	LS (Life Safety)	2	0.002	0.006
PR4 (No Collapse Performance)	GD (Generalized Damage)	CP (Collapse Prevention)	4	-	-
PRO (Functional Resilience)	FD (Functional Damage)	-	-	-	-

【Comentario 1-5】 Página 24 (versión inglés), Tabla 2 (Tema en proceso de discusión el día 13 de mayo)

- Consideramos que existe error en el reconocimiento/interpretación de la correspondencia en la Tabla 2. Consideramos que la correspondencia correcta sería la siguiente.
PR1 : (c) Maintain functionality
PR2, FP : (b) The structure should withstand ground motions classified as moderate for the site, being able to experience repairable damage within acceptable limits
PR3, PR4 : (a) The structure should not collapse or cause serious damage to people, although it could present important damage, due to qualified ground motions classified as severe for the site
- ¿Es operable el requisito de desempeño PR1 desde el punto de vista de la eficiencia económica y la precisión de análisis de las estructuras en la práctica actual de Perú?
- En síntesis, consideramos que se llegaría a la conclusión de que los requisitos de desempeño fundamentales son dos: la recuperabilidad y la seguridad. También consideramos que no se debe aumentar los requisitos de desempeño innecesariamente. Por otra parte, no tenemos ninguna objeción en establecer dos o más niveles de daño para un requisito de desempeño.

【Comentario 1-6】 Página 24 (versión inglés), de la línea 8 a 11 contando desde la parte superior, se indica, “Finally...” (Tema en proceso de discusión el día 13 de mayo)

Se describe que “los cuatro primeros Requisitos de Desempeño anteriores son inclusivos”. Si es así, queremos plantear la idea de resumirlos en un requisito de desempeño como hemos señalado en No 3.

【Comentario 1-7】 Página 24 (versión inglés), de la línea 8 a 5 contando desde la parte inferior, se indica, “The negligible...” (Tema en proceso de discusión el día 13 de mayo)

El contenido que se describe aquí difiere de lo expresado en la Tabla 2. Mantiene la misma correspondencia que señalamos en No 3.

【Comentario 1-8】 Página 25 (versión inglés), Figura 2

Para las estructuras de concreto armado, DL3 y DL4 son demasiado estrictos.

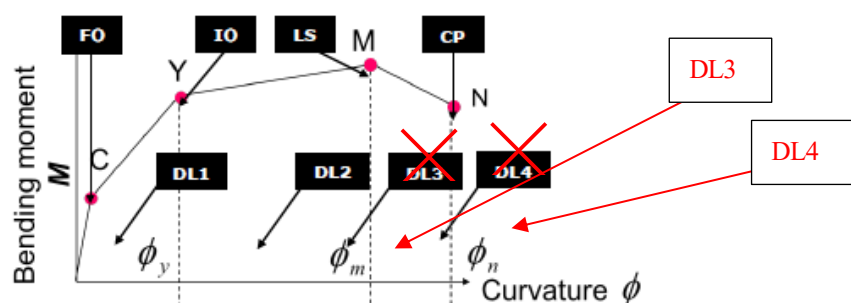


Figure 2. Example of modeling the nonlinearity of a reinforced concrete element in the Japanese design code

【Comentario 1-9】 Página 26 (versión inglés), de la línea 2 a 4 contando desde la parte superior, se indica “Noticeably, the...”. Consideramos que el contenido descrito aquí es incorrecto.

【Comentario 1-10】 Página 26 (versión inglés), parte media, se indica lo siguiente:

- Fully Occupationally (FO). This Limit State corresponds to Negligible Damage (DL1).
- Immediate Occupancy (IO). This Limit State corresponds to Limited Damage (DL2). In cut-and-cover tunnels with box section, the bound for the drift is 1%, for the tensioned steel strain is 0.002, and for the compressed concrete strain is 0.003.
- Life Safety (LS). This Limit State corresponds to Significant Damage (DL3). In cut-and-cover tunnels with box section, the bound for the drift is 2%, for the tensioned steel strain is 0.02, and for the compressed concrete strain is 0.006.
- Collapse Prevention (CP). This Limit State corresponds to Generalized Damage (DL4). In cut-and-cover tunnels with box section, the bound for the drift is 4%.

Con respecto a la definición descrita en la parte superior, el valor de deformación es pequeño, por lo que se exige una resistencia sísmica más rigurosa que la de Japón; es decir, esto conlleva a un diseño de menor eficiencia económica que el diseño realizado bajo la norma japonesa. En Japón, se emplea la deformación que se muestra a continuación. En cuanto a los materiales, se aplica la norma diferente de la norma de diseño sismorresistente en Japón.

Deformación del acero a fluencia

SD295 $\epsilon_y=0.0014$

SD345 $\epsilon_y=0.0017$

SD390 $\epsilon_y=0.0019$

SD490 $\epsilon_y=0.0025$

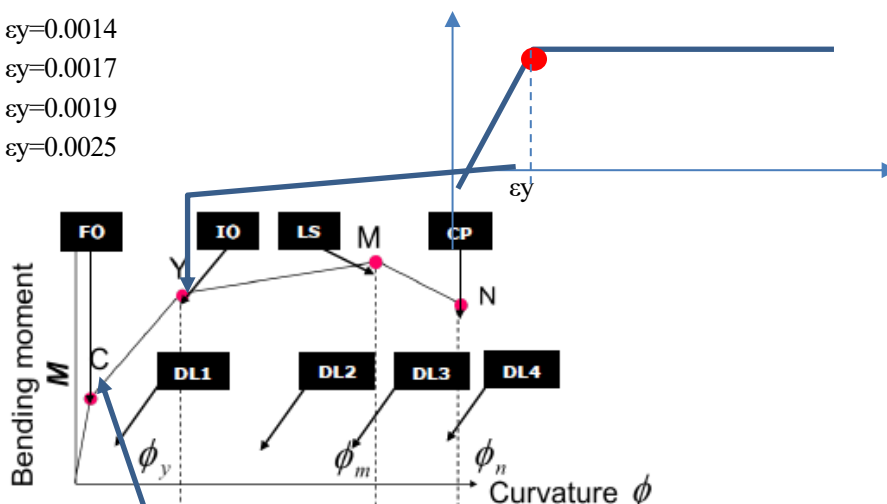
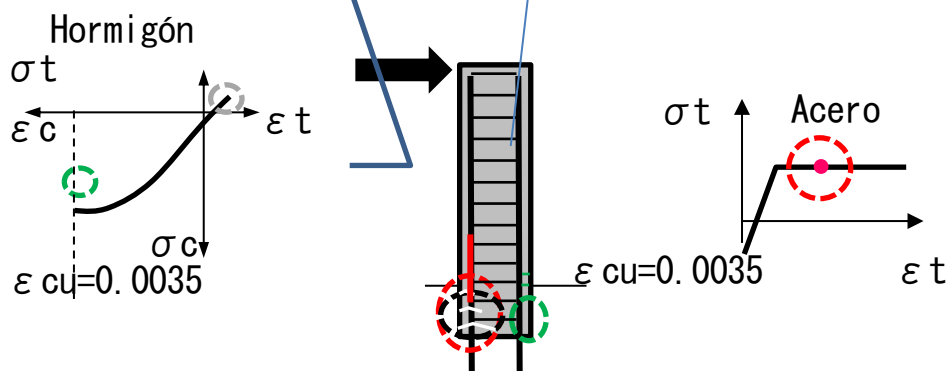


Figure 2. Example of modeling the nonlinearity of a reinforced concrete element in the Japanese design code



【Comentario 1-6】 Página 26 (versión inglés), Tabla3

Table 3. Correspondence between the Performance Requirements, Damage Levels and Limit States

Performance requirement	Damage Level	Limit State	Drift Limitation	Steel Strain Limitation	Concrete Strain Limitation
PR1 (Optimum Performance)	DL1 (Negligible Damage)	FO (Fully Occupational)	-	-	-
PR2 (Good Performance)	DL2 (Limited Damage)	IO (Immediate Occupancy)	1	0.002	0.003
PR3 (Safety Performance)	DL3 (Significant Damage)	LS (Life Safety)	2	0.002	0.006
PR4 (No Collapse Performance)	DL4 (Generalized Damage)	CP (Collapse Prevention)	4	-	-
FP (Functional Performance)	FD (Functional Damage)	-	-	-	-

Dado que la deformación de acero es igual entre PR2 y PR3, que consideramos que PR2 y PR3 resultan iguales.

【Explicación sobre el método de diseño sismorresistente de Japón】

Respuesta en tiempo normal : ▲

Máxima respuesta permisible para evitar el colapso estructural durante un terremoto : ● (X)

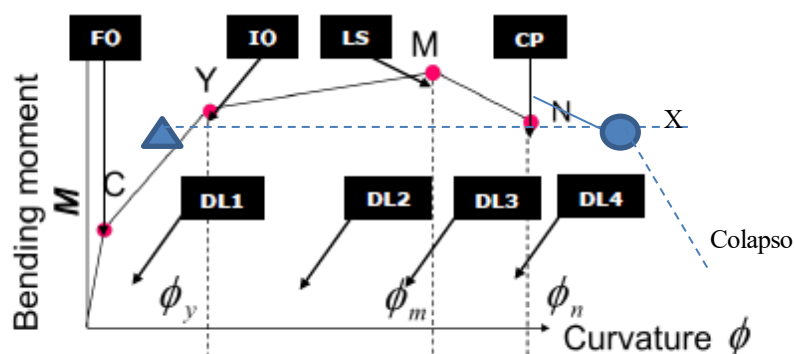


Figure 2. Example of modeling the nonlinearity of a reinforced concrete element in the Japanese design code

Manteniendo la respuesta máxima durante el terremoto en los puntos de M o N, es posible evitar el colapso de la estructura aun cuando ocurre un movimiento brusco del suelo mayor que el movimiento sísmico de diseño. Se considera la eficiencia económica por permitir que las estructuras menos importantes sufran una gran deformación durante un terremoto.

- Con respecto a la falta de descripción en la tabla para PR1, PR4 y FP, ¿se puede comprender que estas partes serán completadas en el futuro? Si por alguna razón no se puede completar con números concretos, esto provocaría la confusión entre los diseñadores, por lo que se debe considerar la opción de no incluirlos.

(3) Capítulo 1.5

【Comentario1-11】 Página 26 (versión inglés), la última frase

¿Se exigirá también el diseño con nivel especial para las estructuras de I3? Quisiéramos que nos indiquen la relación entre la importancia de estructura y el nivel de diseño.

(4) Capítulo 1.6

【Comentario1-12】 De la página 27 hasta la tabla 6 de la página 30 (versión inglés)

(Tema en proceso de discusión el día 13 de mayo)

Como se muestra en la Tabla 4, su idea es variar las especificaciones de la estructura por medio de la aplicación de distintos períodos de retorno del movimiento sísmico de diseño, pero esto permitiría solo practicar el método de diseño basado en el análisis lineal. Además, nos da una sensación extraña que el movimiento sísmico difiera según la importancia de la estructura.

Suponiendo que el diseño está basado en un análisis no lineal, es posible variar las especificaciones utilizando el mismo movimiento sísmico del diseño independientemente de la importancia de la estructura, estableciendo un valor límite del nivel de daño de elementos acorde a la importancia.

Table 4. Return period (years) and probability of exceedance of the associated seismic actions in 100 years (%)

Performance Requirement	Operational Importance		
	I1	I2	I3
PR1	60 (80%)	110 (60%)	195 (40%)
PR2	110 (60%)	195 (40%)	450 (20%)
PR3	195 (40%)	450 (20%)	950 (10%)
PR4	450 (20%)	950 (10%)	2450 (4%)
FP	195 (40%)	450 (20%)	950 (10%)

Se indica que los elementos no estructurales también se tomarán como objeto de verificación. Entonces, ¿cómo se obtiene el valor de respuesta de un elemento no estructural? Asimismo, ¿cómo se establece el valor límite? ¿Para

FP también es necesario verificar los elementos no estructurales?

Aunque se describe que “no es difícil proyectar construcciones que cumplan con los cinco objetivos de rendimientos”, es inevitable que se requieren de tareas más pesadas en comparación a diseñar una estructura que cumpla con los dos o tres requisitos de desempeños adoptados por AASHTO, Norma japonesa o por el diseño de la Línea 2 del Metro de Lima, lo cual supone una carga para los diseñadores y un aumento de costo del diseño. Lo que nos dificulta comprender es la razón por la que se insiste en mantener los cinco requisitos de desempeño.

Design vs. number of Limit States. Regarding the design, the number of verifications to be carried out (five) does not represent any significant increase in the difficulty and extension of the design process; on the other hand, it is quite simple to design structures that satisfy all these demands, since they are “scaled” in a natural way (the more severe the seismic action, the more accepted damage). In relation to this last statement, the usual process is to separate the verification of the ultimate and service limit states. In the ultimate limit states, the structure is designed to satisfy the Safety Performance (PR3), and subsequently the verification of the No Collapse Performance (PR4) is guaranteed by providing sufficient ductility; this is usually achieved with widely known structural detailed criteria (consistent with the provisions in section 1.5). The serviceability limit states (corresponding to PR1 and PR2) are subsequently checked, paying attention not only to the structure itself but also to the non-structural elements. Finally, the Functional Performance Requirement

(FP) is verified. In summary, not only is it not difficult to design constructions that meet the five aforementioned Performance Requirements (PR1-PR4 and FP), but what is actually complicated is to find examples of constructions meeting only some of such requirements.

【Comentario 1-13】 (Tema en proceso de discusión el día 13 de mayo)

Si bien es cierto que hemos acordado establecer el movimiento sísmico de diseño utilizando el período de retorno, no estamos de acuerdo con la aplicación de distintos movimientos sísmicos de diseño acorde a la importancia de estructura como se muestra en la Tabla 4. Por ejemplo, si se aplican los requisitos de desempeño según la importancia de la estructura como se muestra a continuación, resulta innecesario cambiar el movimiento sísmico de diseño de acuerdo con la importancia. Cuanto menor sea la importancia, mayor deformación se permite y así se toma en cuenta la eficiencia económica. Además, si se realiza el diseño de esta manera, es necesario realizar el análisis no lineal de la estructura. El análisis no lineal se requiere para comprobar que la estructura es dúctil frente a la acción sísmica.

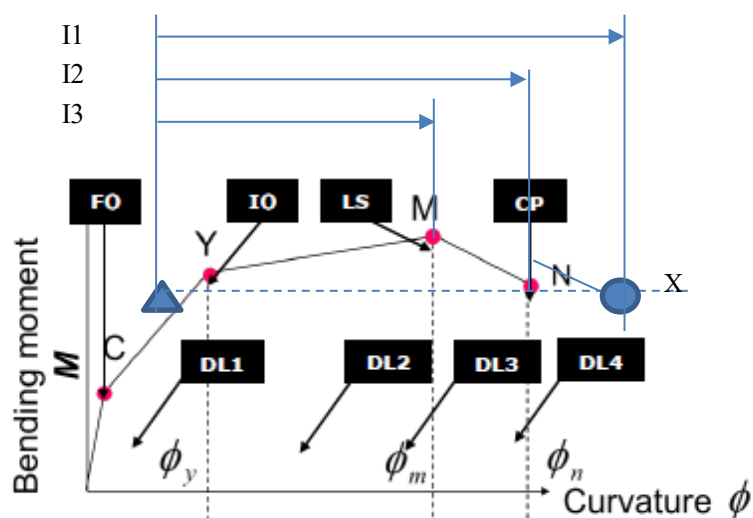


Figure 2. Example of modeling the nonlinearity of a reinforced concrete element in the Japanese design code

【Comentario 1-14】 Página27 (versión inglés), 1.6, de la línea 9 a 12 contando desde la parte superior, se indica,

“The Performance...”

¿Lo que se describe aquí significa que todas las estructuras como túneles deben diseñarse con la importancia I3?
¿Se toma en consideración la modificación parcial de I2?

【Comentario 1-15】 Página27 (versión inglés), 1.6, la línea 13 contando desde la parte superior, se indica, Table4 is...”

Los contextos que siguen a esta frase son respuestas a las revisiones realizadas hasta el 4º informe por el Equipo de Estudio japonés y no parece adecuado ser incorporados en el Manual. Por consiguiente, sugerimos que traten las respuestas a nuestras observaciones se traten de manera independiente a la preparación de la norma en redacción.

【Comentario 1-16】 Página29 (versión inglés), Tabla5 (Tema en proceso de discusión el día 13 de mayo)

La Tabla 5 establece que FP es equivalente a la recuperabilidad de la norma japonesa. Al mismo tiempo, describe que la seguridad funcional de la norma japonesa está incluida en FP. Debido a que la definición del FP es una mezcla de la recuperabilidad y la seguridad, resulta muy confuso su entendimiento.

Además, en la Tabla 5, PR4 corresponde a la seguridad estructural, pero en la Tabla 2, está incluido en la misma categoría de FP que corresponde “Mantener la funcionalidad” de la norma E.030. Hay muchas inconsistencias en la descripción de los cinco requisitos de desempeño.

Table 5. Correspondences between the Japanese regulation and the proposed Manual

Seismicity		Performance Requirements		
L1 $\approx T =$ 450 years	L2 $\approx T =$ 2450 years	Functional Safety \subset FP*	Structural Safety \approx PR3-PR4	Restorability = FP

*Functional Safety is included into FP

La Norma propuesta por el consultor toma la Norma AASHTO como referencia que adopta el diseño de dos etapas como se indica en la Tabla 6. También, según nos informaron, para la Línea 2 del Metro de Lima se utilizó el diseño en dos etapas de: (1) la operación no se impide y (2) la estructura no colapsa. En el mundo, no existe ninguna norma que exija un diseño en cinco etapas teniendo en cuenta cinco requisitos de desempeño. De ser así, ¿por qué Perú necesitará un diseño de cinco etapas en el futuro?

Estos requisitos de desempeño implican no solamente los túneles sino también otras estructuras, por ende, es necesario determinarlos cuidadosamente. Consideramos que la mejor manera sería resumir en tres requisitos de desempeño, los cuales son, la seguridad, la recuperabilidad y la capacidad de servicio, teniendo en cuenta la coherencia con la Norma E.030 y otras normativas.

Table 6. Correspondence between AASHTO and the proposed Manual

Seismicity		Performance Requirements	
FEE $\approx T =$ 100-500 years	SEE $\approx T =$ 1000-2500 years	FEE \approx Good Performance (PR2)	SEE \approx Safety Performance (PR3)

- Si se acepta la correspondencia que se describe en esta tabla, consideramos que no se debería aumentar los requisitos desempeños ambiguos como los que plantea el consultor.

【Comentario 1-17】 Página 29 (versión inglés), de la línea 1 a 3 contando de desde la parte inferior (Tema en proceso de discusión el día 13 de mayo)

Según la definición que toma la parte peruana, FEE corresponde a PR1 y SEE corresponde a PR3 o PR4. No existe el desempeño asociado con la recuperación/restauración de estructuras que corresponden a PR2 y FE.

【Comentario 1-18】 Página 28 (versión inglés)

Con respecto a la descripción de "Se puede considerar que L1 y L2 corresponden a períodos de retorno de 450 y 2450 años, aproximadamente.", pedimos que eliminen esta descripción porque las normas japonesas no determinan los movimientos sísmicos de L1 y L2 con un período de retorno.

2. Capítulo 2

【Comentario 2-1】 Página 38 (versión inglés), 2.3, la primera frase

Al definir el basamento rocoso ingenieril, ¿Se puede tomar el basamento rocoso ingenieril como el objeto para establecer el movimiento sísmico de diseño? (La definición del basamento rocoso ingenieril se acordó en $V_s=800$ m/segundo)

【Comentario 2-2】 Página 42 (versión inglés), Figura 5

¿Se aplicará el diseño sismorresistente para los túneles que se ubican en el basamento rocoso ingenieril?

【Comentario 2-3】 Página 35 (versión inglés), de la línea 6 a 1 contando desde la parte superior

Aunque es comprensible el contexto, parece ser una descripción repentina sin ninguna explicación detallada sobre el factor S. Además, no sería apropiado incluir los ejemplos de cálculo específicos en la explicación, más bien esta parte se debería expresar con las fórmulas generales.

【Comentario 2-4】 Página 36 (versión inglés), 2.1.4, de la línea 13 a 15 contando desde la parte superior

En Japón, 400 m/s es la velocidad que corresponde al basamento rocoso ingenieril. El valor de 180 m/s que se toma como el límite inferior de S2 es de un suelo demasiado blando.

【Comentario 2-5】 Página 36 (versión inglés), 2.2

Se explica sobre la forma del espectro de diseño, lo cual se debería expresarse con un gráfico o figura.

【Comentario 2-6】 Página 37 (versión inglés), de la línea 20 a 15 contando desde la inferior, se indica, "Based on..."

Sin ninguna mención en lo anterior, se explica repentinamente sobre los métodos probabilista y determinista. Además, parece que el método determinista se utiliza en las áreas urbanas, entonces, ¿cuál es el fundamento en la cual se basa esta práctica? Y ¿cómo lo relacionaría con el período de retorno que hemos discutido hasta la fecha?

【Comentario 2-7】 Página 38 (versión inglés), de la línea 14 a 20 contando desde la parte superior, se indica, "The deterministic..."

Consideramos que no hay problemas sobre la evaluación específica de la acción sísmica, sin embargo, no queda claro el método práctico que se va a establecer en la Norma.

- En el caso de la evaluación determinista, ¿cómo se maneja la correspondencia con los períodos de retorno descritos en la matriz de desempeño?
- ¿Cómo se establece la onda de historial de tiempo en la evaluación probabilística?
- ¿La evaluación probabilista será realizada por el Dr. Zenón? o ¿los diseñadores la harán? Si toca realizarla a los diseñadores, el resultado de la evaluación puede variar según el diseñador. Es decir, existe el riesgo de que no se mantenga la uniformidad del movimiento sísmico de diseño.

【Comentario 2-8】 Página 41 (versión inglés), Figura 4, Página 42 (versión inglés), Figura 5

¿Cómo se evalúa la acción sísmica en la posición del basamento rocoso ingenieril que se muestra en esta figura? Aunque la evaluación de acción sísmica y la amplificación en el nivel de superficie del suelo se ha explicado en la parte anterior, ya no se necesitará tal evaluación en el método que se muestra en las Figuras 4 y 5. ¿Es correcto nuestro entendimiento de que la implementación de este método requiere un sondeo geotécnico para confirmar el basamento rocoso ingenieril?

【Comentario 2-9】 Página 38 (versión inglés), 2.3

No está claro cómo seleccionar 3 o 7 acelerogramas. ¿La selección de acelerograma depende de la decisión de cada diseñador? Dependiendo del diseñador, es probable que se opte por diferentes acelerogramas y nos preocupa que esto afecte a la uniformidad en la adopción del movimiento sísmico de diseño.

【Comentario 2-10】 Página 40 (versión inglés), 2.5

Mediante las discusiones hasta la fecha, creemos que hemos llegado a una conclusión de que $k=0.3$ es inapropiado. Nos gustaría confirmar la justificación para adoptar nuevamente el valor de 0.3.

3. Capítulo 3

【Comentario 3-1】 Página 44 (versión inglés), 3.3

¿Cómo se determina el riesgo de licuefacción? Se deberá describir el método para determinar la licuefacción, para lo cual se recomienda hacer referencia a las normas sísmicas japonesas.

4. Capítulo 4

【Comentario 4-1】 Capítulo 4 en general

¿Los estudios y las pruebas que se muestran aquí están disponibles en Perú?

【Comentario 4-2】 Capítulo 4 en general

Parece que se establecen los resortes de suelo en el análisis del Capítulo 5. ¿Cómo se establecen estos resortes?

【Comentario 4-3】 Página 45 (versión inglés), 4.1

Las técnicas de refracción sísmica nos permiten conocer la distribución V_p de los estratos, pero no llegan a detectar hasta el nivel freático. Entonces, ¿se evalúa el estrato de V_p 1500m/seg como el nivel freático?

【Comentario 4-4】 Página 49 (versión inglés), Tabla 11

Creemos que la redacción de la tabla es muy buena, por otro lado, nos preocupa que esta tabla completa genere una mala interpretación entre los diseñadores de que ellos tienen que realizar todos los ensayos descritos en la tabla. Señalamos este punto porque creemos que se debe evitar un aumento innecesario de los costos de investigación. Sería mejor crear un método que sea fácil de entender para los usuarios de la Norma, como describir el método a implementar con el mínimo necesario y/o el método específico de estudio de acuerdo con el sitio objeto.

5. Capítulo 5

【Comentario 5-1】 Página 51 (versión inglés)

¿Esta es la versión final? ¿O se agregará más contenido en el sexto informe?

6. Capítulo 6

【Comentario 6-1】 Capítulo 6 en general

¿Se realizarán todos los análisis del suelo mediante el análisis de deconvolución?

【Comentario 6-2】 Capítulo 6 en general

¿También se realizará el cálculo de respuesta para la acción sísmica vertical? En ese caso, ¿cuál es el fundamento para fijar la acción sísmica vertical que sea 2/3 del espectro del movimiento horizontal como se muestra en la página 37?

【Comentario 6-3】 Página 66 (versión inglés), Tabla 14

Como se muestra en la Tabla 14, ¿si la estructura de I3 corresponde $PGA > 0.45$, también se utilizará el método de cálculo del valor de respuesta de Dinámico General?

【Comentario 6-4】 Página 53 (versión inglés), Figura 6

A diferencia del contenido que se muestra en las Figuras 4 y 5, se realiza la deconvolución a partir de la superficie del suelo. Esto es inapropiado cuando el suelo se vuelve no lineal (actualmente, los resultados varían mucho según el código de análisis utilizado para el cálculo de convergencia). Además, dado que se requiere información sobre la estructura del suelo hasta el basamento rocoso para la deconvolución, es mejor realizar la convolución a partir del basamento.

【Comentario 6-5】 Página 53 (versión inglés), Figura 6

Aunque se duplica con los **【Comentario 2-7】** y **【Comentario 2-9】**, no está claro cómo establecer los espectros de respuesta de diseño y las siete ondas del historial de tiempo en las Figuras 6 (a) y 6 (b). ¿No es necesario definir un criterio para establecerlos?

7. Sobre el informe en general

【Comentario 7-1】

El ANEXO debe incluir los ejemplos del cálculo de diseño, así como la configuración del movimiento sísmico requerido para el análisis sísmico. ¿Se los incluirán en el ANEXO L en el futuro?

【Comentario 7-2】 Página 68 (versión inglés), ANEXO B

Desde el punto de vista de la coherencia con la estructura ubicada sobre la superficie del suelo, los requisitos de desempeño sísmico deberán ser compatibles con la Norma E.030.

FIN

2.4 Recomendaciones a la Contraparte Peruana sobre el Quinto informe

(1) Asesoramiento sobre la revisión del cuarto informe

Sobre la base de los resultados de la revisión del Quinto Informe, se informó al MTC a través de una serie de conferencias web realizadas durante enero de 2020. El material de presentación se muestra en el Anexo-03.

(2) Seminario en línea

Los seminarios en línea presenciales se celebraron de la forma que se indica a continuación.

Los materiales del seminario se muestran en el Anexo-●.

1. Descripción general del seminario

(1) Fecha y Hora

Viernes, 12 de marzo de 2021, 22:00~24:00 (Presentación desde Japón, hora japonesa)

(2) Nombre del seminario

SEMINARIO DE DISEÑO SÍSMICO

(3) Organizador del seminario

Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC)

(4) Modalidad del seminario

Seminario web de “Microsoft Teams” (Presentación, sesión de preguntas y respuestas)

(5) Instituciones participantes peruanas y número de participantes

En total 23 instituciones (véase el cuadro 1 para las instituciones participantes, incluidas las que se inscribieron por adelantado)

Número total de participantes en el seminario: 146

2. Programa y resumen de la presentación

(1) Programa

El programa del seminario se muestra en la siguiente página.

(2) Título de la presentación

El título de la presentación por la parte japonesa se muestra a continuación.

Los materiales de presentación se encuentran en los Anexos 3 a 5.

1) Diseño basado en Desempeño Sísmico

Por el Dr. Jun Izawa (Railway Technical Research Institute)

2) Sismo de Diseño

Por el Dr. Kohei Tanaka (Railway Technical Research Institute)

3) Análisis Estructural del Diseño Sísmico

Por el M. Sc. Shigeo Araki (Nippon Civic Consulting Engineers Co. Ltd.)

SEMINARIO DE DISEÑO SÍSMICO

PRESENTACIÓN

En el marco de la cooperación técnica del Gobierno de Japón con el Ministerio de Transportes y Comunicaciones para la elaboración de la “Norma de Diseño de Estructuras Subterráneas Sismorresistente para Infraestructura Vial”, la Dirección General de Políticas y Regulación en Transporte Multimodal está organizando el “Seminario de Diseño Sísmico” que será desarrollado por el equipo de especialistas de Japón, quienes explicarán las características de la norma sísmica japonesa para el análisis estructural y el diseño basado en el desempeño, con el fin de difundirla y ponerla a consideración de los profesionales de entidades con actividades afines al diseño de estructuras y análisis sísmico del Perú.

FECHA: 12 de marzo, 2021

HORA: 8:00 am (hora de Lima) y 21:00 horas (Tokio)

MEDIO DE DIFUSION: Trasmisión virtual

PROGRAMA:

HORA	ACTIVIDADES
7:50 – 8:00	Apertura del evento y verificación de participantes
8:00 – 8:05	Bienvenida y saludo - Director General de Políticas y Regulación en Transporte Multimodal – Sr. Fernando Cerna
8.05 – 8.10	Saludos del Sr. Takeharu Nakagawa, Representante Residente de JICA
8:10 – 9:10	Presentación de la Norma Sísmica Japonesa (Equipo de Especialistas Japoneses: 60 min., incluye traducción) <ol style="list-style-type: none">Diseño basado en Desempeño Sísmico (15 min.) Dr. Jun Izawa Railway Technical Research InstituteSismo de Diseño (15 min.) Dr. Kohei Tanaka Railway Technical Research InstituteAnálisis Estructural del Diseño Sísmico (30 min.) M.Sc. Shigeo Araki Nippon Civic Consulting Engineers Co. Ltd.
9:10 – 9:25	Preguntas y respuestas (15 minutos)
9:25 – 9:30	Cierre del seminario – Director de Políticas y Normas en Transporte Ferroviario – Ing. Ángel Bottino

Tabla 2.5 Instituciones participantes en Perú (incluidas las instituciones que se inscribieron previamente)

Sector	Número	Institución
Sector público como gubernamental	1	Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC)
	2	Colegio de Ingenieros del Perú, Consejo Departamental Lima (CPLIMA)
	3	Autoridad de Transporte Urbano para Lima y Callao (ATU)
	4	Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID)
	5	Instituto Geográfico del Perú (IGP)
	6	Provías Nacional (PVN)
	7	Provías Descentralizado (PVD)
Universidades	8	Universidad Nacional de Ingeniería (UNI)
	9	Universidad Nacional del Centro, Huancayo (UNCP)
	10	Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa (UNSA)
	11	Universidad Nac. San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC)
	12	Universidad de Lima (ULIMA)
	13	Universidad San Martín de Porres (USMP)
	14	Universidad Privada del Norte, Lima (UPN)
	15	Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)
	16	Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP)
	17	Universidad César Vallejo (UCV)
	18	Universidad Federico Villarreal (UNFV)
	19	Universidad Nacional de Cajamarca (UNC)
	20	Universidad de Piura (UDEP)
	21	Universidad Ricardo Palma (URP)
	22	Universidad San Ignacio de Loyola (USIL)
	23	Universidad de Catalunya Reyno España *(España)

(3) Comentarios del MTC sobre el quinto informe

En respuesta al asesoramiento sobre lo anterior, el MTC expresó las siguientes opiniones que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 0.6 Opiniones del MTC sobre el Quinto Informe

Tema	Contenido
Sobre las normas que se están desarrollando	<ul style="list-style-type: none"> • Como objetivo, el MTC quiere desarrollar normas acordes con el estado actual de la tecnología en Perú, pero con la experiencia japonesa. (Reunión celebrada el 23 de abril de 2021) • En cuanto a la importancia de las estructuras objetivo, el MTC señaló que la importancia no debería definirse por regiones, sino que debería tener en cuenta el impacto en las estructuras circundantes, que la terminología debería ser coherente con las normas y manuales existentes, y que la clasificación debería estar en consonancia con las normas y manuales existentes en Perú. (Reunión celebrada el 7 de mayo de 2021)

Fuente : Equipo de estudio JICA

(4) Matriz propuesta de requisitos de desempeño sísmico de la comisión de estudio

El MTC solicitó la propuesta de una matriz de requisitos de desempeño sísmico para el equipo de inspección, que fue preparada y presentada a la parte peruana, teniendo en cuenta las normas sísmicas peruanas para edificios, E030, y el Manual de Protección Sísmica de Puentes. El material explicativo utilizado para la propuesta se muestra en el Anexo-07.

En la reunión del 7 de mayo de 2021, el MTC solicitó al equipo de JICA que propusiera la definición del nivel de importancia. La parte japonesa expresó que la definición de importancia se basa básicamente en las normas sísmicas japonesas en algunos casos, que es difícil proponer una definición específica, sino sólo una propuesta conceptual, y que la definición debe ser coherente con las normas y manuales existentes en Perú en la medida de lo posible, lo que fue acordado por el MTC.

Los puntos principales son los siguientes

La importancia se divide en tres categorías, Crítico, Esencial y Otros, según el Manual de Puentes del Perú. Las prestaciones se dividen en tres categorías: dos categorías de prestaciones basadas en la accesibilidad de emergencia y de vehículos en general en el Manual de Puentes, y una categoría de seguridad basada en la E030 del Código de la Construcción. Los movimientos sísmicos de diseño serán aquellos con un periodo de recurrencia de 2500 y 1000 años, en línea con las normas peruanas existentes.

Además, se establecerán tres estados límite.

(5) Asesoramiento sobre el examen de la versión revisada del quinto informe

A continuación, la parte japonesa revisó la versión revisada del quinto Informe presentado en base a las opiniones de la parte japonesa y lo que sigue es un extracto del informe de revisión en el que la parte japonesa asesoró a la parte peruana.

El Equipo de Estudio de JICA recibió el 3 de agosto de 2021 el 5° Informe revisado por parte del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) del Perú. Luego, el documento del “Proyecto del manual para el diseño sismorresistente de construcciones subterráneas para la infraestructura vial y ferroviaria, versión para la retirada de las objeciones al 5° Informe” fue revisado desde el punto de vista del establecimiento de normas sísmicas.

Esta revisión se ha preparado en respuesta a la solicitud peruana sobre los siguientes dos puntos:

- 1) Introducción del concepto de establecer el movimiento del suelo de diseño en la roca madre de ingeniería.
- 2) Introducción de un marco básico para el diseño de desempeño (conforme a la norma ISO23469).

Con respecto a 1), en la reunión anterior se acordó fijar el movimiento del suelo de diseño en la roca madre de ingeniería donde V_s es 800 m/s, pero el 5° informe revisado menciona que se fija en la superficie del suelo.

En cuanto a 2), hemos explicado repetidamente el método de establecer el movimiento sísmico de diseño para cada desempeño requerido y controlar el desempeño en el nivel de daño permisible. También, hemos dado un ejemplo, en el que nuestra filosofía de diseño se aplica al actual Manual de Puentes. Sin embargo, el 5° informe revisado adopta un marco de diseño en el que se controla la especificación de la estructura cambiando el movimiento sísmico de diseño.

Nos decepciona que el informe revisado no logre el nivel que nosotros y los funcionarios peruanos han pretendido a cumplir desde 2017. Este informe no parece tener la forma de "norma" que incorpore el diseño basado en el desempeño, sino es un "manual de diseño" que indica un procedimiento de diseño. Al establecer una norma en base al diseño basado en el desempeño (leyes), es necesario indicar claramente el propósito de la estructura, las funciones requeridas para su propósito, el desempeño requerido para ejercer las funciones y el método estándar para verificar el desempeño.

Nuestros comentarios se muestran en las siguientes páginas.

(1) Comentarios al Capítulo 1

- P.25: El desempeño requerido no es un índice que exprese los rangos de desempeño deseado. Es una capacidad requerida para una estructura dependiendo del propósito y la función.
- P.25: ¿El nivel de daño representa el daño de todo el sistema estructural? El concepto de nivel de daño en este informe es diferente al de Japón que hemos señalado. En Japón, el nivel de daño representa el daño a los miembros. La definición del nivel de daño indicada en la página 25 no corresponde con la de la figura. 2. Si el nivel de daño de toda la estructura significa el estado límite, ¿es necesario definir el nivel de daño de toda la estructura?
- P.25: Si se satisface la RO, es probable que la estructura se mantenga dentro de la respuesta elástica. ¿Tarda varias horas en funcionar debido a la restauración de los miembros no estructurales?
- P.25: La AS es el desempeño relacionado con la seguridad de la vida humana. ¿Por qué incluye la operatividad de los vehículos de emergencia?
- P.26, Tabla 1: E.030 3.2(a) y (b) exigen “no causar daños graves a las personas” y “experimentar daños reparables dentro de límites aceptables” respectivamente. No corresponden con los requisitos AS y NC definidos en este informe.
- P.26: Tabla 1: Como se indica en la Tabla 1, los desempeños se definen como "(b) reparable frente a sismos moderados, (a) no colapsa frente a sismos severos y no causa lesiones personales graves". El nivel del movimiento sísmico de diseño se define para cada desempeño requerido. Recomendamos establecer el movimiento sísmico de diseño para cada desempeño requerido, como los AS y NC.
- P.27: [En este sentido, si se aumentara la rigidez lateral (transversal) de la estructura, sería difícil reducir el desplazamiento, y probablemente una mayor rigidez daría lugar a un daño estructural más grave; en última instancia, si se diseñara una estructura infinitamente rígida en la dirección lateral, sus aceleraciones absolutas serían iguales a las del suelo]. Esta descripción no es exacta y puede producirse malentendidos.
- P.29: La figura 2 muestra el nivel de daño de cada miembro. Es incoherente con la definición del nivel de daño indicada en la página 25.
- P.31: Los valores límite de los miembros que definen los estados límite dependen de materiales, ubicaciones, funciones, etc. No se debe indicar el valor de un material en particular. Está fuera del concepto de diseño basado en el rendimiento, que permite el uso de una variedad de materiales. Los valores específicos deben incluirse como ejemplos en el anexo.
- P.32: Como hemos discutido anteriormente, no estamos de acuerdo con la tabla 4. Las razones son las siguientes: 1. El movimiento sísmico de diseño y el requisito de desempeño deben ser partes integrales y deben ser uniformes, independientemente de la importancia operativa. 2. Igualmente se debe exigir la seguridad de la vida humana como un requisito mínimo, independientemente de la importancia operativa. 3. Las definiciones de los requisitos de desempeño no están claras, como se ha mencionado anteriormente.
- P.32: Parece que hay muchos elementos adicionales con respecto a los movimientos sísmicos de diseño que se muestran en la Tabla 4. Existe la posibilidad de causar confusiones. Sería mejor hacer un marco

de diseño de desempeño más simple.

- P.36: En la última reunión explicaron que las estructuras en construcción se clasifican como otras en el manual de puentes. En esta norma, ¿las estructuras en construcción no están incluidas en I1?
- P.36: ¿Qué requisito de desempeño se verifica para una estructura en construcción utilizando el movimiento sísmico de 195 años?

(2) Comentarios al Capítulo 2

- P.39, Tabla 6: S0 se clasifica como 1500 m/s o más de AVS30. Si la roca madre de ingeniería se define como $V_s = 800\text{m/seg.}$, es natural que se fije en 800m / s o más con la consideración de que la roca madre de ingeniería está aflorando en S0.
- P.43: Hay una descripción de que el diseño determinístico del movimiento sísmico se utiliza sólo en Lima, ¿Qué requisito de desempeño se verifica por el movimiento sísmico determinístico? La relación con la Tabla 4 no está clara.
- P.43-44: La relación entre la historia de tiempo del movimiento sísmico de diseño y el período de retorno que se muestra en la Tabla 4 no está clara.
- P.43: No está claro cómo seleccionar 7 movimientos sísmicos. En función de la no linealidad de la superficie del suelo causada por el sismo, se pueden seleccionar 7 terremotos que dan un pequeño impacto a la estructura (lado peligroso). Es necesario establecer criterios para la selección de 3 o 7 movimientos sísmicos.
- P.44: Con respecto a "se pueden tomar 3 o 7 acelerogramas", el movimiento sísmico de diseño debe estar emparejado con el requisito de desempeño. Es necesario mostrar claramente el procedimiento y la base para establecer el movimiento sísmico de diseño, o mostrar la forma de onda estándar que tenga en cuenta las condiciones sísmicas en el Perú. También, ¿se muestra en este manual el espectro de respuesta del sismo de diseño?
- P.46-47, Figura5: La roca madre de ingeniería se define como "Nivel del suelo donde se considera que se encuentra la roca madre para clasificar el suelo y localizar el origen de la acción sísmica (inicio de la propagación de la onda)" en la página 19. ¿Es necesario calcular la respuesta sísmica del suelo para una profundidad mayor que la de la roca madre de ingeniería? ¿Hasta qué profundidad (V_s) debe calcular el diseñador?
-

(3) Comentarios al Capítulo 3

No hay comentarios.

(4) Comentarios al Capítulo 4

No hay comentarios.

(5) Comentarios al Capítulo 5

- P.56: Se solicita mostrar una figura de un supuesto muro de contención, ya que la forma puede ser diferente a la de Japón.
- P.56: En cuanto a “La necesidad de tener en cuenta la fuerza de inercia”, existen estructuras de muros de contención que se ven afectadas considerablemente por la fuerza de inercia durante un terremoto o por el desplazamiento del suelo.

(6) Comentarios al Capítulo 6

- P.57: En cuanto a "es deseable tratar cada caso como un caso especial individualmente, como de costumbre en Japón", creemos que la mayoría de los lectores peruanos de este manual no están familiarizados con las normas japonesas. Por lo tanto, se necesitan descripciones específicas.
- P.58: ¿La sección objetivo del análisis de la respuesta sísmica es desde la superficie hasta la roca madre de ingeniería?
- P.57-58: Respecto al "Primer paso. El movimiento sísmico de campo libre se propone llevar a cabo análisis lineales equivalentes y continuar el proceso hasta que se alcance un nivel suficiente de convergencia". Se propone utilizar el análisis lineal equivalente. ¿Se utiliza el análisis lineal equivalente en el caso del cálculo de la respuesta del campo libre?
- P.59: ¿Las 7 historias de tiempo del movimiento sísmico coinciden con el espectro de respuesta de diseño considerado en la Figura 6? Por otra parte, ¿se tienen en cuenta los movimientos sísmicos verticales?
- P.60: En la Figura 7, si no se cumple el 3º paso, debería volver al 2º paso en lugar de retornar del 3º al 1º paso.
- P.60: Respecto a “se complementará con los documentos americanos”, se requieren descripciones más específicas.
- P.60: En cuanto a "Hay que tener en cuenta que, incluso en ausencia de la licuefacción del suelo, pueden producirse situaciones de levantamiento, por lo que se deben verificar estas situaciones." Es inapropiado el lugar de la descripción porque su título es "Análisis de Estructuras Subterráneas para Acciones Gravitatorias".
- P.62: 6.5 Análisis Sísmico en Dirección Transversal: No está claro el método de cálculo específico.
- P.63: ¿El método de 6.5.1 asume la idea de que la tensión del suelo libre y la de la estructura son las mismas? No está claro cómo verificar el refuerzo de la estructura. Por otro lado, con respecto a "Esta operación debe llevarse a cabo en relación con los movimientos sísmicos en direcciones horizontales y verticales", no está claro cómo el movimiento sísmico vertical afecta la deformación en la Figura 9.
- P.64: En cuanto a "En particular, cuando la profundidad de la sobrecarga es baja, se utilizará la fórmula Mononobe-Okabe (Anexo I)". Por favor, indique la profundidad crítica a la que se puede aplicar la fórmula Mononobe-Okabe. Por otro lado, la deformación del suelo no puede ser calculada con esta fórmula.
- P.65: Es difícil entender cómo llevar a cabo el Enfoque Pseudo-Estático con esta descripción. ¿Los ingenieros peruanos pueden realizar diseños sísmicos aplicando el Enfoque Pseudo-Estático?
- P.67: En la Figura 10, la diferencia entre la Figura (a) y la Figura 9 no está clara. En la Figura (b), ¿el

movimiento sísmico definido en la superficie del suelo se apila de nuevo a la roca madre y se ingresa al modelo? Es difícil entender el método de análisis.

- P.67, Figura 10: En la Figura 10, parece que se ingresa el desplazamiento lateral y se calcula el desplazamiento con el espectro de respuesta. No está claro cómo calcular con el espectro de respuesta el desplazamiento introducido.
- P.69: ¿Existen resultados de diseño calculados por el método mostrado en la figura 11? Es necesario verificar los resultados del cálculo, comparándolos con los resultados del análisis dinámico. En la figura 11, el resorte del suelo está ajustado incorrectamente. También es necesario describir el método de cálculo del resorte del suelo.
- P.72, Tabla 11: En relación con (1) formulación básica (o control) (subsección 6.5.1), (2) formulación pseudo-estática (subsección 6.5.2), (3) formulación dinámica simplificada (subsección 6.5.3), y (4) de las formulaciones dinámicas generales (subsección 6.5.4). ¿No se considera el resorte del suelo en (1) y (2)(a)?
- P.72, Tabla 11: Es necesario comparar recíprocamente los resultados obtenidos de cuatro métodos para verificar la validez de estos métodos.
- P.72: Tabla 11, No está claro el motivo por el que el segundo paso (Interacción suelo-estructura) y el tercer paso (Diseño estructural) están separados en diferentes pasos en el método general dinámico. La fuerza transversal durante un terremoto puede calcularse mediante el MEF. Por otro lado, no está claro cómo se utilizan adecuadamente la modelación lineal y la no lineal. Si se verifica el área dañada de un miembro, el miembro estructural debe ser modelado teniendo en cuenta la no linealidad, y es necesario describir el método de modelación no lineal que se puede utilizar en el Perú.
 - Ecuación constitutiva para considerar la no linealidad del suelo (características de la no linealidad y de la fuerza restauradora).
 - Características de los elementos para considerar la interacción entre el suelo y la estructura.
 - Características de los elementos de viga para el modelado no lineal y las características restauradoras de las estructuras.
- P.73: Con respecto a la Tabla 12. El método de cálculo debe seleccionarse en función no sólo de la escala del movimiento sísmico, sino también de la complejidad de las condiciones estructurales y del suelo. Se debe mencionar el método recomendable para las condiciones generales.
- P.73, Es difícil entender el comportamiento sísmico del suelo sólo con la aceleración máxima del suelo (PGA). Por ejemplo, si el suelo tiene un valor V_{s30} grande, pero hay una capa fina con un V_s pequeño, en este caso, la aceleración será extremadamente atenuada.
-

(7) Comentarios al Capítulo 7

- No hay comentarios sobre los miembros no estructurales. Sin embargo, es necesario estudiar cuidadosamente si esta norma debe cubrir el desempeño de los miembros no estructurales.

(8) Comentarios al ANEXO

- P.80-81: En cuanto a "Es muy fuerte cuando el suelo está significativamente más rígido y fuerte que la estructura, y mucho más débil en caso contrario [Wang 1993]. En cualquier caso, este aumento puede anular completamente la ganancia de resistencia producida por el aumento de la rigidez". Sin embargo, esta explicación no siempre es correcta. El equilibrio de rigidez y resistencia entre el suelo y la estructura es importante.
- P.81-82: Dado que se han publicado varios trabajos de investigación sobre la causa del colapso de la estación de Daikai, parece que algunos de ellos están malinterpretados. Hay que mostrar exactamente que la prevención de la falla por cizallamiento es importante. Se requiere el refuerzo a cortante no sólo en la parte superior e inferior, sino todas las columnas.
- P.92: Dado que K2 en el Anexo K es un tipo de estructura de túnel que no se aplica en el Perú, es necesario describir las condiciones aplicables.
- P.97: EL Anexo debe incluir los ejemplos de cálculo de diseño, incluidos los ajustes del movimiento sísmico de diseño necesarios para el análisis. ¿Se describirá en el ANEXO O en el próximo informe?
- P.86-87: Con respecto a los Anexos D y F, es necesario estudiar si este manual debe incluir estos temas.
- P.88: ¿Es posible juzgar la posibilidad de licuefacción y levantamiento sólo con los Anexos G y H?

Fin del documento.

(6) Diferencias técnicas entre el equipo de estudio y el consultor peruano

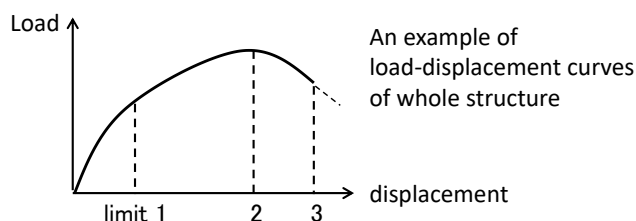
Basado en las discusiones con el quinto Informe revisado, las diferencias técnicas entre el equipo de estudio y el consultor peruano se resumen a continuación.

Tabla 0.2 Acuerdos y diferencias técnicas entre el equipo de JICA y el consultor peruano

	Argumentos del equipo de JICA	Argumentos del equipo del consultor peruano
En cuanto a la matriz de comportamiento sísmico	El desempeño de la estructura está controlado por el desempeño requerido (nivel de daño aceptable), que se establece para cada nivel de importancia.	DISEPRO: El desempeño de la estructura se controla variando el movimiento sísmico de diseño para cada nivel de importancia.

Fuente : Equipo de estudio JICA

A continuación, se presentan las diferencias entre las matrices de desempeño (Idea de Matriz de desempeño expuesta por la parte japonesa)



Performance Req.	Serviceability 2	Serviceability 1	Safety
Return period of the design earthquake	2500 years	1000 years	2500 years
Critical	be used by emergency vehicles (limit 2)	open for all types of vehicles (limit 1)	not collapse or cause serious damage to people (limit 3)
Essential	—	open for emergency Vehicles (limit 2)	
Others	—	—	

(Idea de Matriz de desempeño expuesta por la parte peruana)

Table 4. Minimum return period (years) and probability of exceedance of the associated seismic actions in 100 years (%)

Performance Requirement	Operational Importance		
	I1 (Other Infrastructures)	I2 (Essential Infrastructures)	I3 (Critical Infrastructures)
IO	60 (80%)	110 (60%)	195 (40%)
RO	110 (60%)	195 (40%)	450 (20%)
AS	195 (40%)	450 (20%)	950 (10%)
NC	450 (20%)	950 (10%)	2450 (4%)

Figura 0.1 Diferencias entre las matrices de desempeño sísmico

A continuación, presentamos la opinión del Equipo de Estudio JICA sobre la matriz de desempeño propuesta por la consultora peruana, sobre la cual no se llegó a un acuerdo hasta el final del estudio con la Contraparte Peruana (MTC).

La mayoría de las normas de diseño sísmico actuales que utiliza el método de análisis no lineal se basa en la filosofía que consiste en que “el desempeño sísmico de una estructura se establece controlando el desempeño requerido según el nivel de importancia (o el nivel de daño aceptable) sin variar los sismos de diseño según la importancia de la estructura”. Asimismo, el Manual de Puentes se basa en la misma filosofía.

Por otro lado, del Consultor Peruano está elaborando la Norma basándose en el principio de “controlar el desempeño de la estructura cambiando el sismo de diseño según la importancia de la estructura”. Esta forma de análisis es antigua ya que fue utilizada 20 a 30 años atrás, cuando el análisis lineal se consideraba como principal método de análisis.

Teniendo en cuenta que la construcción de la Línea 2 del Metro de Lima se retrasó debido a que existió una discrepancia entre la Concesionaria y ATE en establecer la importancia de la estructura y el sismo de diseño (periodo de retorno); se estima que cambiar el sismo de diseño es una decisión muy complicada. La Contraparte peruana propone controlar el desempeño cambiando los sismos de diseño además de proponer la flexibilidad en la modificación del sismo de diseño, sin embargo, nuestra preocupación es que, en caso de adoptar estas propuestas, se genere en el futuro una discrepancia de entendimiento muy similar al caso de la construcción de la Línea 2 del Metro de Lima.

2.5 Organización de la Información del Sexto Informe

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) del Perú solicitó al consultor peruano la presentación del sexto informe a principios de febrero de 2022, sin embargo, ésta no fue presentado durante el período de implementación del presente Estudio.

La Contraparte Peruana (MTC) envió un cuestionario a la Matriz de Desempeño en enero de 2021 y el Equipo de Estudio JICA respondió de la siguiente manera.

Procedemos a responder a las consultas del MTC recibidas el 6 de enero de 2022. Cabe recalcar que el contenido de estas respuestas son las mismas a las que se viene explicando anteriormente.

La mayoría de las normas de diseño sísmico actuales basados en el análisis no lineal se basan en la filosofía de que “el desempeño sísmico de una estructura se establece controlando el desempeño requerido según el nivel de importancia (o el nivel de daño aceptable) sin variar los sismos de diseño según la importancia de la estructura”. Asimismo, el Manual de Puentes se basa en la misma filosofía.

Teniendo en cuenta que la construcción de la Línea 2 del Metro de Lima se retrasó debido a que existió

una discrepancia entre la Concesionaria y ATE en establecer la importancia de la estructura y el sismo de diseño (periodo de retorno); se estima que cambiar el sismo de diseño es una decisión muy complicada. La Contraparte peruana propone controlar el desempeño cambiando los sismos de diseño además de proponer la flexibilidad en la modificación del sismo de diseño, sin embargo, nuestra preocupación es que, en caso de adoptar estas propuestas, se genere en el futuro una discrepancia de entendimiento muy similar al caso de la construcción de la Línea 2 del Metro de Lima.

Adicionalmente, en los Términos de Referencia (TDR), se indica que las siguientes 3 normas deben servir como referencia:

- Design Standard for Railway Structure and Commentary, Seismic Design, 2012
- AASHTO (2017): LRFD Road Tunnel Design and Construction Guide Specifications
- ISO23469 (2005): Bases for design of structures
- Seismic actions for designing geotechnical works.

Los Términos de Referencia (TDR) en mención fueron elaborados conjuntamente por el MTC y el Equipo de Estudios de JICA en el 2017, antes que inicie el presente estudio. El Equipo de Estudios de JICA viene brindando su asesoría en base a este documento. Por esta razón, el Equipo de Estudios de JICA no puede estar de acuerdo con la propuesta de la consultora peruana ya que ésta contraviene a lo establecido en este documento y por consiguiente no cumple con los TDR.

Como se puede observar en la Tabla 2-1, la ASCE/ SEI 41-17 establece 2 tipos de sismos de diseño (BSE-1E, BSE-2E) y el desempeño de la estructura se controla seleccionando el desempeño requerido según cada importancia. Por lo cual, es totalmente diferente a la idea del consultor de controlar el desempeño cambiando el movimiento sísmico según la importancia.

Tal como se explicó en la reunión del 14 de octubre de 2021, el Capítulo 3 del Código Modelo indica explícitamente que cuando se utiliza el análisis no lineal, el sismo de diseño no cambia según la importancia de la estructura sino el desempeño requerido (nivel de daño permisible) es el que debe cambiar. Incluso cuando se utiliza el análisis no lineal, esta concepción es totalmente diferente a la idea del consultor, quien propone controlar el rendimiento cambiando el movimiento sísmico según la importancia.

Teniendo en consideración el comportamiento no lineal, estas Normas presentan los gráficos de 2 tipos de acciones: “*Deformation-controlled action*” y “*Force-controlled action*” (Acciones controladas por deformación y acciones controladas por fuerzas). Los gráficos 2 y 3 presentan las acciones de “*Force-controlled action*”. Debido a que se está considerando un comportamiento lineal, la única forma de controlar el desempeño es cambiando las fuerzas de diseño según las categorías de riesgo.

Si bien no hemos investigado estas normas en detalle, la filosofía básica de éstas debe ser la misma que la de las demás normas de la ASCE, es decir, “en caso de utilizar el método de análisis no lineal, el desempeño sísmico de una estructura se establece controlando el desempeño requerido según el nivel de

importancia (o el nivel de daño aceptable) sin variar los sismos de diseño según la importancia de la estructura”.

Dado que en la Norma E30 se utiliza básicamente el análisis elástico lineal, la única forma de controlar el desempeño es cambiando el sismo de diseño de acuerdo con el desdiseño. La norma en elaboración tiene como base la utilización del análisis no lineal por esta razón no existe la necesidad de aumentar o disminuir el sismo de diseño.

Aunque el marco de la Norma E030 no es el diseño por desempeño, ésta es reconocida como una norma importante de diseño sísmico en el Perú. Por esta razón, recomendamos considerar los tres objetivos de desempeño que se presentan como filosofía de diseño en la norma E030 para el establecimiento del requisito de rendimiento de la norma en elaboración

Como venimos mencionando repetidamente, la mayoría de los estándares de los últimos años basados en el análisis no lineal no toman la idea de variar el sismo de diseño para controlar el rendimiento. Esta concepción es una idea antigua de hace 20 o 30 años atrás, cuando el análisis lineal era la corriente principal.

Teniendo en cuenta que la construcción de la Línea 2 del Metro de Lima se retrasó debido a que existió una discrepancia entre la Concesionaria y ATE en establecer la importancia de la estructura y el sismo de diseño (periodo de retorno); se estima que cambiar el sismo de diseño es una decisión muy complicada. La Contraparte peruana propone controlar el desempeño dando flexibilidad a los sismos de diseño además de proponer la flexibilidad en la modificación del sismo de diseño, sin embargo, nuestra preocupación es que, en caso de adoptar estas propuestas, se genere una discrepancia de entendimiento muy similar al caso de la construcción de la Línea 2 del Metro de Lima.

2.6 Participación en el seminario en línea patrocinado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú (MVCS)

El Equipo de Estudio JICA participó con una presentación en el seminario en línea organizado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS). Los materiales de presentación se muestran en los Anexos 08-09.

El contenido y los detalles del seminario en línea fueron los siguientes.

1. Descripción general del seminario

(1) Fecha y hora

Viernes, 30 de octubre de 2020, 22 : 30~24 : 00 (Presentación desde Japón, hora japonesa)

(2) Nombre del seminario

Seminario Internacional “Gestión del Riesgo de Desastres y adaptación al cambio climático para ciudades seguras, resilientes e inclusivas”.

(3) Organizador del seminario

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú (MVCS)

(4) Modalidad del seminario

Videoconferencia con “Google Meet”.

Presentación disponible en “YouTube”.

(5) Número de participantes

Aproximadamente 600 personas (número de espectadores en YouTube durante la presentación).

2. Programa y resumen de la presentación

(1) Programa

El programa del seminario internacional se muestra en el Documento-1.

El seminario tuvo lugar durante dos días, el jueves 29 y el viernes 30 de octubre (hora peruana).

(2) Título de la presentación

El título de la presentación por la parte japonesa se muestra a continuación.

Los materiales de presentación se encuentran en el Anexo 2.

1) Elaboración de la norma técnica de diseño sismorresistente de estructuras subterráneas

Por el Dr. Jun Izawa (Railway Technical Research Institute)

2) Planeamiento de transporte en ciudades- Caso Lima Metropolitana

Por el Dr. Atsushi Mochizuki (Nippon Koei Co., Ltd.)

(3) Archivo de la presentación

El sitio web del seminario y el archivo de las presentaciones son los siguientes:

■ Sitio web del Seminario Internacional:

<https://sites.google.com/vivienda.gob.pe/grdycambioclimatico/seminario>

■ Archivo de presentación (archivo de YouTube)

<https://www.youtube.com/watch?v=OIeil98Lmp0>

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE PROBLEMAS, LECCIONES APRENDIDAS Y RECOMEDACIONES PARA EL FUTURO

3.1 Análisis de problemas y contramedidas

La siguiente table muestra los problemas que surgieron durante el estudio y las contramedidas adoptadas.

Tabla 0.1 Problemas surgidas durante el Estudio y sus contramedidas

Problemas surgidos durante el Estudio	Contramedidas para la resolución del problema
La norma peruana existente se basa en la norma estadounidense, por lo cual se hizo necesario considerar la relación con las normas americanas.	<ul style="list-style-type: none"> • En la elaboración del informe de revisión, se hizo referencia a las normas de diseño existentes de Perú, las cuales son la Norma de diseño sismorresistente (E030) y el Manual de Puentes, considerando la consistencia con el desempeño sísmico, el establecimiento del sismo de diseño y la configuración del estado límite. • Se revisaron y compararon los desempeños sísmicos, los sismos de diseño, los estados límites, etc. de las diferentes normas mundiales, como son la norma de ferrocarriles de Japón, América del Norte y Europa, teniendo en cuenta la relación entre los factores y su respectiva relevancia. • Se explicó a la Contraparte cómo reorganizar la propuesta de Norma para que esté conforme al diseño por desempeño a través de un ejemplo basado en el Manual de Puentes peruano existente.
Sobre la revisión de la propuesta de la norma sísmica, se requirió una revisión con una visión integral debido a que en ella se considera desde el establecimiento del desempeño, hasta el análisis estructural, pasando por la definición de los parámetros de diseño.	<ul style="list-style-type: none"> • Se obtuvieron asesorías técnicas de dos ingenieros senior especialistas en ingeniería de suelos/cimentaciones e ingeniería sísmica de Nippon Koei con el fin de confirmar la consistencia de los temas técnicos analizados durante la implementación del Estudio. • Se obtuvo asesoría técnica y recomendaciones de especialistas de JR Railway Technical Research Institute sobre el establecimiento de desempeño, análisis y diseño estructural, las cuales fueron incluidos en la elaboración de los informes de revisión
Se requirió explicar las observaciones de la parte japonesa de manera simple y concisa con el fin de obtener el entendimiento de la contraparte peruana y compartir y reconocer los problemas.	<ul style="list-style-type: none"> • En la parte inicial de cada informe de revisión se listó y explicó los principales puntos de las observaciones con el fin de promover el entendimiento de la contraparte peruana.
Durante la participación en el seminario peruano, se nos solicitó presentar la norma ferroviaria japonesa a una amplia gama de participantes, desde funcionarios gubernamentales hasta funcionarios universitarios.	<ul style="list-style-type: none"> • En el seminario, se explicó sobre el origen del diseño de desempeño sísmico en Japón, y mediante la presentación de ejemplos de diseño y análisis sísmico basados en dicha norma, se compartió el conocimiento japonés. Por otro lado, el Equipo de Estudios pudo profundizar su entendimiento sobre la norma sísmica peruana.
Durante la revisión del desarrollo de la Norma, se requirió explicar los puntos observados por el Equipo de Estudio, así como las Normas Sísmicas a los funcionarios	<ul style="list-style-type: none"> • Se realizaron múltiples reuniones remotas con la finalidad de contestar a todas las consultas de la contraparte peruana. • Se solicitó la participación de expertos del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID), quienes como autoridad académica

del gobierno peruano para llegar a un entendimiento común sobre el tema.	tienen experiencia en la elaboración de normas y estándares existentes del Perú. A ellos se les compartió el contenido de los informes de revisión del Equipo de Estudios Japonés con el fin de compartir el desarrollo de la norma y nuestro entendimiento.
Restricción de las visitas de los expertos (viajes) debido a los efectos de la pandemia del Coronavirus.	<ul style="list-style-type: none"> Se realizaron más de 20 reuniones remotas con contraparte peruana, intentando en todo momento tener una comunicación cercana con el fin de promover y fomentar un conocimiento compartido sobre la elaboración de la norma.

Fuente: Equipo de Estudio JICA

3.2 Lecciones aprendidas para el futuro

Los siguientes problemas se hicieron evidentes durante el desarrollo del presente Estudio. Quisiéramos que estas lecciones aprendidas se utilicen como referencia para la divulgación al extranjero de las Normas Japonesas en el futuro.

Tabla 0.2 Problemas y Lecciones Aprendidas

No.	Problema	Descripción de eventos	Lecciones aprendidas
1	El MTC fue cambiando el concepto general inicial en la cual se basa la elaboración de la Norma.	<ul style="list-style-type: none"> La propuesta de norma elaborada por el consultor peruano es diferente a los términos de referencia. Por ejemplo, en los TDR se solicita una norma que considere la seguridad y la recuperabilidad como desempeños sísmicos, sin embargo, en la propuesta del consultor peruano estos desempeños no fueron aceptados. El MTC fue cambiando gradualmente su concepción/política sobre la norma debido a que el consultor peruano no cambiaba su política frente a los comentarios del Equipo de Estudio Japonés cuyas observaciones se basaban en la concepción inicial. 	<ul style="list-style-type: none"> Este estudio se basa en el acuerdo entre JICA y MTC adoptado durante el viaje realizado en marzo de 2019, en la cual se decidió utilizar los TDR propuestos por la parte japonesa. Si bien, el cumplimiento de los servicios de consultoría de acuerdo a los TDR es responsabilidad de la Contraparte del Gobierno Peruano, se requiere mejorar la capacidad de gestión y el entendimiento de los TDR. Tal como se presenta en el punto No.6, se requiere además mejorar el sistema de formulación y establecimiento de Normas del país receptor.
2	El proceso de levantamiento de las observaciones de la revisión japonesa no estuvo definido claramente	<ul style="list-style-type: none"> Se solicitó al MTC presentar informes mensuales del consultor con el avance de la revisión de los informes y el procedimiento de levantamiento de observaciones. Sin embargo, debido a problemas contractuales internos de la contraparte peruana, no fue posible que el consultor entregue este tipo de 	<ul style="list-style-type: none"> Las cláusulas del contrato de los países receptores deben incluir el periodo de revisión de la parte japonesa, así como del proceso de levantamiento de observaciones.

No.	Problema	Descripción de eventos informes.	Lecciones aprendidas
3	No fue posible realizar talleres continuos para compartir el estado del desarrollo de la Norma en elaboración con las partes interesadas.	<ul style="list-style-type: none"> Las observaciones presentadas por la parte japonesa no fueron corregidas por lo que no se llegó a un acuerdo con el consultor peruano sobre dicho contenido. Como resultado, los talleres que se tenían planeados sobre la norma sísmica en elaboración no se pudieron llevar a cabo de manera continua, realizándose solamente una única vez. 	<ul style="list-style-type: none"> La percepción del Equipo de Estudio fue que el compartir o no los detalles del avance de la norma en elaboración dependió de la intención del país receptor. Una propuesta es tomar la iniciativa, presentando los conceptos básicos de los estándares sísmicos japoneses y sus elementos de aplicación (ejemplos de diseño) varias veces en forma de seminarios y transmitir la experiencia japonesa al país receptor.
4	Se requiere verificar los contenidos de la Norma en preparación, sin embargo, el proceso y método de verificación específicos no fueron definidos.	<ul style="list-style-type: none"> La consultora peruana consideró que las verificaciones se han desarrollado de manera suficiente con el diseño de la Línea 2 de Lima. 	<ul style="list-style-type: none"> Es necesario especificar en los TDR, que la elaboración de las normas de diseño y la compilación de ejemplos de casos de diseño deben desarrollarse en conjunto.
5	Las observaciones señaladas por el Equipo Japonés no fueron reflejadas completamente en los informes de revisión, por lo cual éstas tuvieron que ser repetidas continuamente	<ul style="list-style-type: none"> Debido a que el consultor peruano no comprendía el concepto del diseño por desempeño, se realizaron numerosas reuniones en línea donde continuamente se les explicó sobre el tema, sin embargo, la condición no mejoró. En el contrato entre MTC y el contratista (consultor peruano), no se establecieron claramente el rol de la contraparte japonesa y los puntos relacionados con el levantamiento de sus observaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> Es necesario incluir la actividad de levantamiento de observaciones remitidas por la parte japonesa en el contrato entre el gobierno del país receptor y el contratista para que tengan efecto.
6	El MTC no pudo constituir un sistema para evaluar y decidir técnicamente sobre la norma de diseño sísmico. Los expertos académicos peruanos debieron participar en el desarrollo de la Norma	<ul style="list-style-type: none"> Dado que la elaboración de la Norma implica un alto grado de juicio técnico, la parte japonesa solicitó la participación de los expertos académicos peruanos. Como resultado, los académicos del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID), quienes estuvieron involucrados en la elaboración de las normas de construcción en el Perú, participaron una 	<ul style="list-style-type: none"> Se considera que en la elaboración de la norma se debe conformar un comité que incluya no solo al contratista (consultor) sino también a los expertos académicos peruanos y al operador/administrador de las estructuras objeto de la norma. (En esta oportunidad, se ha elaborado una norma que se influencia fuertemente en la opinión del consultor peruano). Una propuesta sería que el Equipo de Expertos Japoneses

No.	Problema	Descripción de eventos	Lecciones aprendidas
		sola vez en una reunión al inicio del estudio intercambiando opiniones con la parte japonesa. Sin embargo, después de esta reunión, no pudieron continuar su participación debido a las condiciones presupuestales de la contraparte peruana.	participe como uno de los miembros de este comité.

Fuente: Equipo de Estudio JICA

Anexo-01

Presentación sobre el Cuarto Informe

Recomendaciones sobre el Cuarto Informe

Introducción

El Equipo de Estudio de JICA recibió la versión final del cuarto informe del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) del Perú el día 14 de octubre de 2020 y revisó este informe teniendo en consideración la formulación de la norma sísmica del Perú. Esta revisión se desarrolló con base en la voluntad por la parte peruana de incorporar los siguientes dos puntos de la norma japonesa en la norma sísmica peruana:

- 1) Concepto sobre el establecimiento del movimiento sísmico de diseño a nivel del lecho rocoso de ingeniería
- 2) Esquema básico del diseño basado en el desempeño. (compatible con ISO23469)

1

Introducción

Con respecto al punto 1), hemos entendido que se propone realizar el análisis de respuesta sísmica aplicando el movimiento sísmico de diseño en un estrato base con $V_s=800\text{m/s}$, y elevar o bajarlo según la ubicación del túnel. Consideramos que en este punto se está aplicando el concepto de la norma sísmica japonesa.

En lo que concierne al punto 2), se encuentran varios puntos que difieren de la norma sísmica japonesa. En especial, si se adoptan nuestras recomendaciones manteniendo los cinco requisitos de desempeño sísmico que actualmente se proponen dentro del informe (como la matriz de desempeño en la Tabla 6), es probable que en varios puntos ocurran incoherencias. (Por ejemplo, se utilizan en forma mezclada las expresiones que suponen “seguridad” y “recuperabilidad” dentro de los cinco requisitos de desempeño sísmico). Además, se trata de un sistema de diseño muy diferente del sistema japonés, lo cual se nos hace difícil evaluar su validez.

2

Introducción

Por consiguiente, lo que recomendamos es que se verifiquen los puntos (1) a (3) consignados a continuación, y se revisen una vez más el sistema de diseño basado en el desempeño que se propone. Estas observaciones son básicamente, los mismos puntos que venimos señalando desde nuestro primer viaje al Perú. En el taller celebrado en el segundo viaje, los participantes de CISMID, IGP y otras organizaciones evaluaron positivamente el sistema japonés de diseño basado en el desempeño por ser sencilla y entendible. A no ser que los puntos que señalamos a continuación sean modificados, será difícil afirmar que el esquema básico del diseño basado en el desempeño japonés fue incorporada en la norma sísmica peruana.

3

① Sobre el establecimiento del requisito de desempeño sísmico

[E.030] 1.3 Filosofía y Principios del Diseñ Sismorresistente

La filosofía del Diseño Sismorresistente consiste en:

- a. Evitar pérdida de vidas humanas.
- b. Asegurar la continuidad de los servicios básicos.
- c. Minimizar los daños a la propiedad.

Se reconoce que dar protección completa frente a todos los sismos no es técnica ni económicamente factible para la mayoría de las estructuras. En concordancia con tal filosofía se establecen en la presente Norma los siguientes principios:

Seguridad

a. La estructura no debería colapsar ni causar daños graves a las personas, aunque podría presentar daños importantes, debido a movimientos sísmicos calificados como severos para el lugar del proyecto.

Recuperabilidad

b. La estructura debería soportar movimientos del suelo calificados como moderados para el lugar del proyecto, pudiendo experimentar daños reparables dentro de límites aceptables.

Capacidad de servicio

c. Para las edificaciones esenciales, definidas en la Tabla N° 5, se tendrán consideraciones especiales orientadas a lograr que permanezcan en condiciones operativas luego de un sismo severo.

4

① Sobre el establecimiento del requisito de desempeño sísmico

Optimum Performance (PR1).

The construction undergoes only minimal effects, giving no sense of danger and can, therefore, **be used immediately**. Absolutely not any human affectation (**no risk of injuries, no threaten to life at all**).

Good Performance (PR2).

The construction undergoes moderate effects, being **reasonably easy and economical to repair**. No human affectation (**no risk of significant injuries, no threaten to life**).

Safety Performance (PR3).

The construction undergoes significant damage but remains safe. Little human affectation (**low risk of significant injuries, no serious threaten to life**).

No Collapse Performance (PR4).

The construction undergoes very important effects, but it can still be **safely evacuated**; noticeably, this affects the stairs, escalators and elevators. Moderate human affectation (**important risk of significant injuries, not high threaten to life**). Road and railway tunnels) can be transited by emergency vehicles and convoys, respectively; in railway tunnels, this affects to the facilities (mainly, the electric power supply. To allow for this transit, clearance restrictions (space proofing) might apply, mainly for road tunnels.

Functional Performance (FP).

Construction can **recover most of its ability to function in a reasonably short time (a few days)**.

5

① Sobre el establecimiento del requisito de desempeño sísmico

	Risk of injuries	Threaten to life	Use/recover
PR1	no risk of injuries	no threaten to life	use immediately
PR2	no risk of significant injuries	no serious threaten to life	reasonably easy and economical to repair.
PR3	low risk of significant injuries	no serious threaten to life	-
PR4	important risk of significant injuries	not high threaten to life	-
PF	-	-	recover most of its ability in a few days

6

① Sobre el establecimiento del requisito de desempeño sísmico

Performance requirement	E.030 (clause 3.2)
PR1	-
PR2	(b) The structure should withstand ground movements rated as moderate for the project site, being a repairable damage within limits acceptable
PR3	(a) The structure should not collapse or cause damage serious to people, although it could present damages qualified seismic movements as severe for the project site
PR4	(c) Maintain functionality
PRO	

Recuperabilidad
 Seguridad
 Capacidad de servicio

② Sobre los cinco requisitos de desempeño sísmico y los cinco estados límite

Performance requirement	Damage Level	Limit State	Drift Limitation	Steel Strain Limitation	Concrete Strain Limitation
PR1 (Optimum Performance)	ND (Negligible Damage)	FO (Fully Occupational)	-	-	-
PR2 (Good Performance)	LD (Limited Damage)	IO (Immediate Occupancy)	1	0.002	0.003
PR3 (Safety Performance)	SD (Significant Damage)	LS (Life Safety)	2	0.002	0.006
PR4 (No Collapse Performance)	GD (Generalized Damage)	CP (Collapse Prevention)	4	-	-
PRO (Functional Resilience)	FD (Functional Damage)				

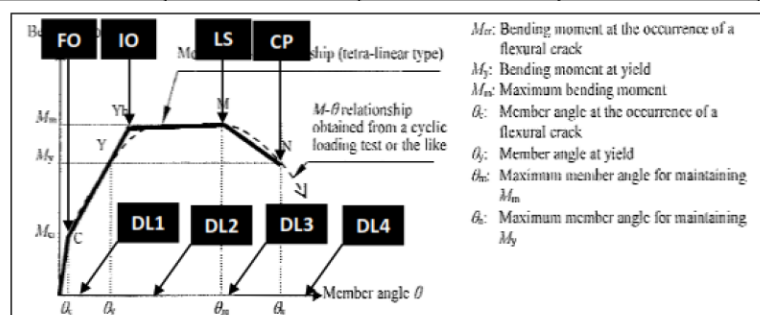
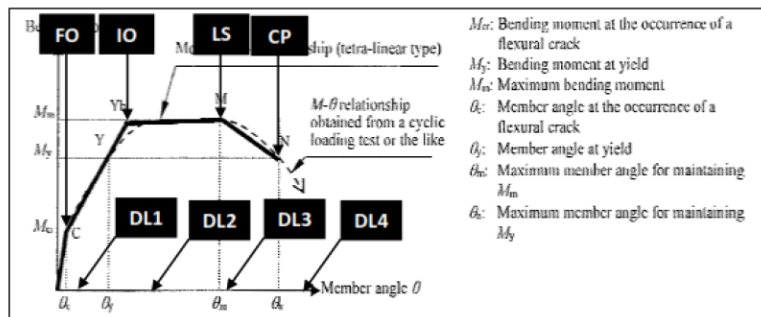


Figure 1. Example of modeling the non-linearity of a concrete element armed in Japanese design code

(1) Sobre el nivel de daño global y el nivel de daño local

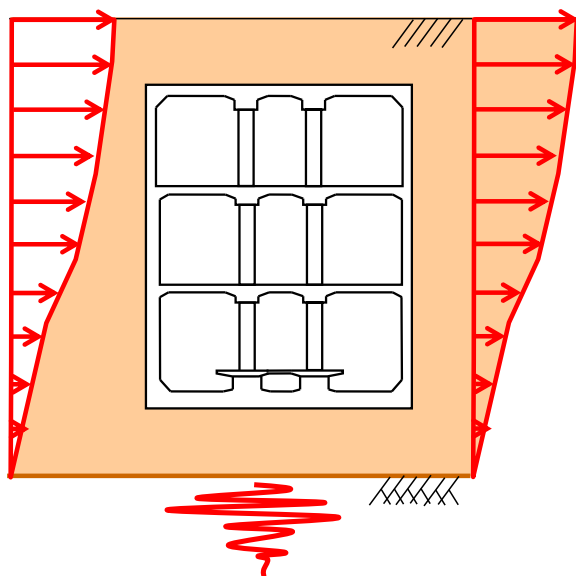
Performance requirement	Damage Level	Limit State	Drift Limitation	Steel Strain Limitation	Concrete Strain Limitation
PR1 (Optimum Performance)	ND (Negligible Damage)	FO (Fully Occupational)	-	-	-
PR2 (Good Performance)	LD (Limited Damage)	IO (Immediate Occupancy)	1	0.002	0.003
PR3 (Safety Performance)	SD (Significant Damage)	LS (Life Safety)	2	0.002	0.006
PR4 (No Collapse Performance)	GD (Generalized Damage)	CP (Collapse Prevention)	4	-	-
PRO (Functional Resilience)	FD (Functional Damage)				



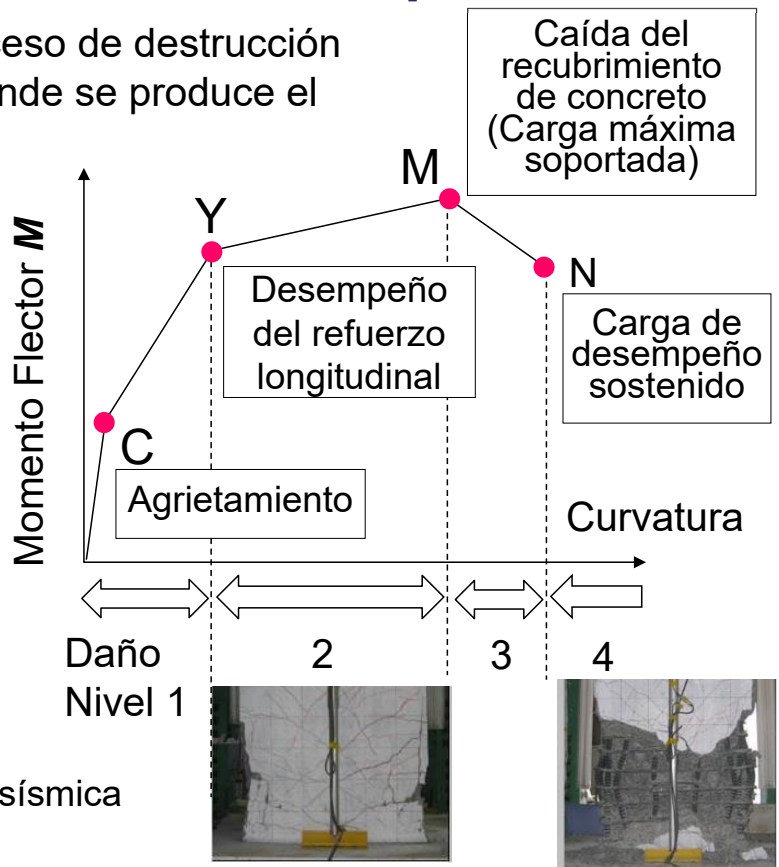
② Sobre los cinco requisitos de desempeño sísmico y los cinco estados límite

Evaluar objetivamente el desempeño

Cálculo de diseño: Rastrear el proceso de destrucción de la estructura y calcular hasta donde se produce el daño ante la vibración sísmica.



Deformación del suelo por la vibración sísmica
Deformación del túnel



(2) Sobre el valor límite

Performance requirement	Damage Level	Limit State	Drift Limitation	Steel Strain Limitation	Concrete Strain Limitation
PR1 (Optimum Performance)	ND (Negligible Damage)	FO (Fully Occupational)	-	-	-
PR2 (Good Performance)	LD (Limited Damage)	IO (Immediate Occupancy)	1	0.002	0.003
PR3 (Safety Performance)	SD (Significant Damage)	LS (Life Safety)	2	0.002	0.006
PR4 (No Collapse Performance)	GD (Generalized Damage)	CP (Collapse Prevention)	4	-	-
PRO (Functional Resilience)	FD (Functional Damage)				

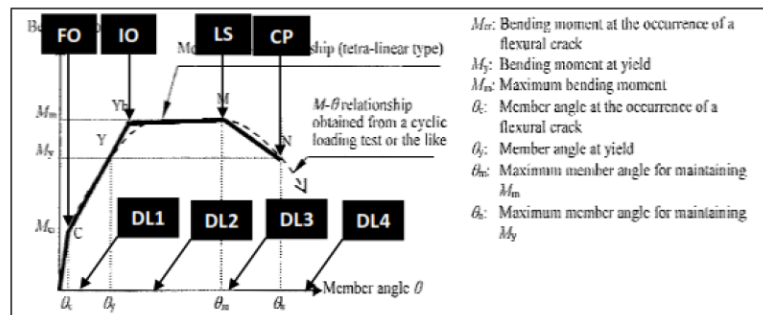


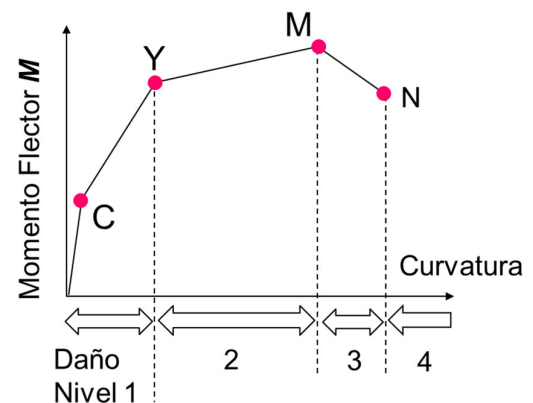
Figure 1. Example of modeling the non-linearity of a concrete element armed in Japanese design code

11

② Sobre los cinco requisitos de desempeño sísmico y los cinco estados límite

Evaluar objetivamente el desempeño Niveles límite de los daños

Definir los niveles límite de los daños de cada miembro y diseñar para que los daños producidos sean menores a los límites definidos para satisfacer el desempeño requerido.



Niveles límite de daños de los miembros

	Usabilidad	Facilidad de rehabilitar	Seguridad	
Losas superiores e inferiores	1	2	3	
Losas intermedias	Que soportan los vagones	1	2	3
	Que no soportan los vagones	2	3	3
Paredes laterales	1	2	3	
Pilares centrales	1	2	3	

12

③ Sobre la matriz de desempeño

Performance requirement	Importance		
	I1	I2	I3
PR1	60 (80%)	110 (60%)	195 (40%)
PR2	110 (60%)	195 (40%)	450 (20%)
PR3	195 (40%)	450 (20%)	950 (10%)
PR4	450 (20%)	950 (10%)	2450 (4%)
PRO	195 (40%)	450 (20%)	950 (10%)

13

③ Sobre la matriz de desempeño

Performance requirement	Importance		
	I1	I2	I3
PR1	60 (80%)	110 (60%)	195 (40%)
PR2	110 (60%)	195 (40%)	450 (20%)
PR3	195 (40%)	450 (20%)	950 (10%)
PR4	450 (20%)	950 (10%)	2450 (4%)
PRO	195 (40%)	450 (20%)	950 (10%)

Ejemplo	Seguridad	Recuperabilidad	Capacidad de Servicio
Movimiento sísmico	2450 años	950 años	450 años
I1	●	X o Moderado	X
I2	●	● o Moderado	X o Moderado
I3	●	● o Estricto	● o Estricto

● : Se requiere satisfacer el desempeño

X : No se requiere satisfacer el desempeño,

Moderado : Se establece un valor límite moderado, Estricto: Se establece un valor límite estricto.

14

Anexo-02

Presentación sobre el Cuarto Informe

Recomendación sobre la necesidad de

verificación de la norma

Propuesta sobre Verificación de Norma

25 de noviembre, 2020
Equipo de expertos de JICA

1

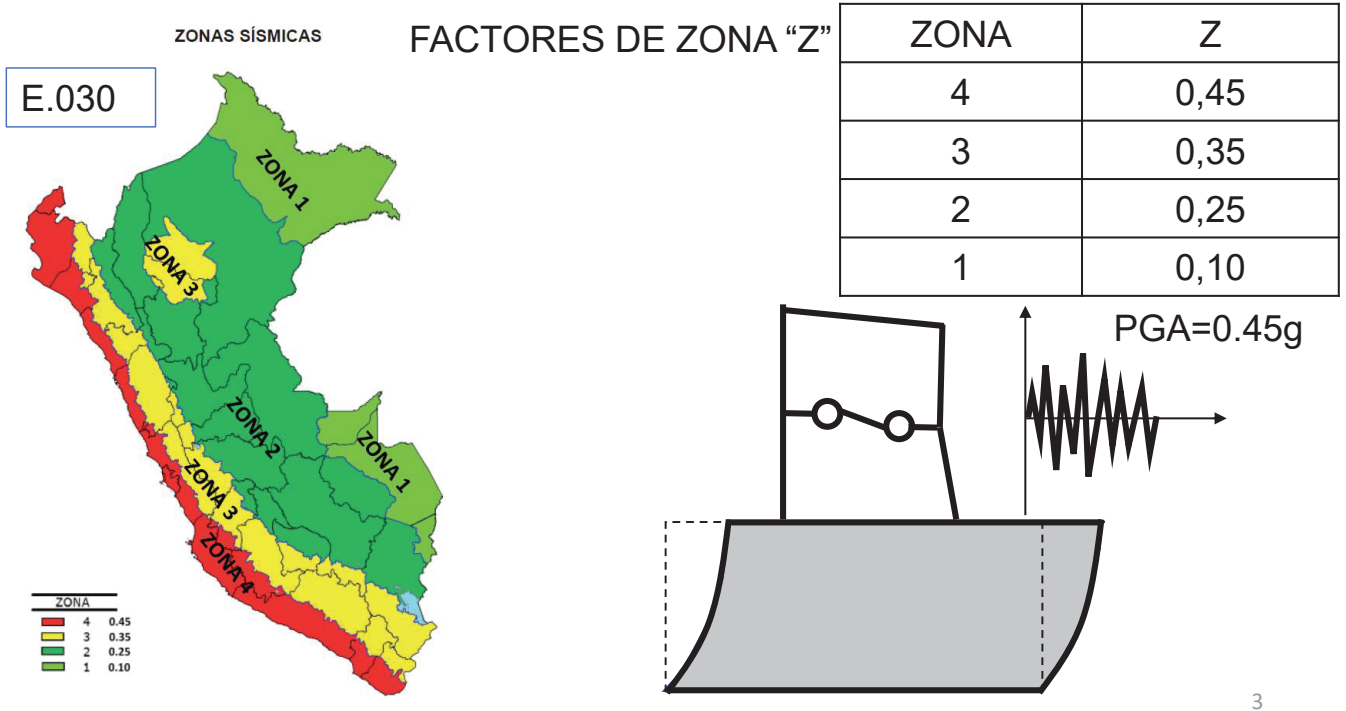
¿Cuáles son los productos?

- Norma de diseño sismorresistente para túneles en Perú
- Norma consistente con otras normativas peruanas e internacionales
- Norma que considera las condiciones sísmicas de Perú
- Norma basada en la verificación de desempeño
- Norma basada en la experiencia japonesa
 - ➔ No es la misma que la norma japonesa.
 - ➔ En Japón, el concepto de verificación de desempeño fue adoptado por primera vez en la norma de diseño sismorresistente.

2

Situación actual del diseño sismorresistente en Perú

- Existen normas de diseño sismorresistente para la construcción de estructuras sobre el nivel del suelo
- No existen normas de diseño sismorresistente para túneles subterráneos.

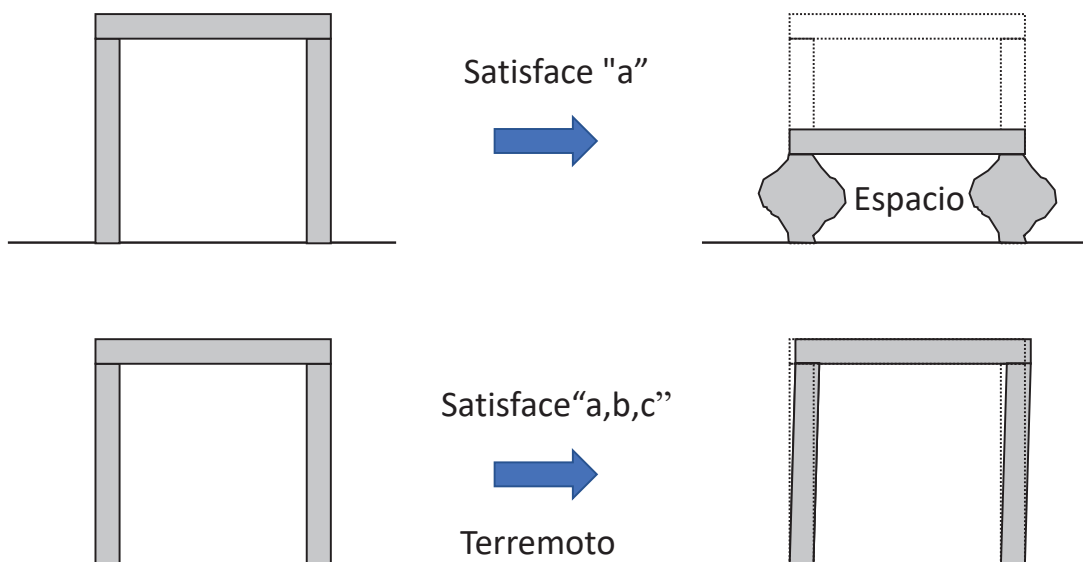


Requisito de desempeño sísmico de E.030

1.3 Filosofía y Principios del Diseño Sismorresistente

La filosofía del diseño sismorresistente consiste en:

- a. Evitar pérdida de vidas humanas.
- b. Asegurar la continuidad de los servicios básicos.
- c. Minimizar los daños a la propiedad.



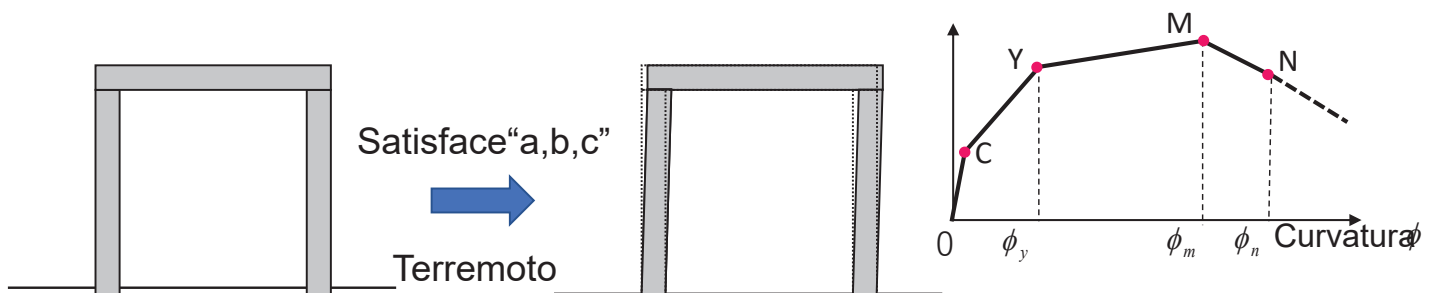
Diseño de estado límite y diseño basado en la verificación de desempeño

- El diseño basado en desempeño se realiza utilizando el método de diseño de estado límite

$$\gamma_i \cdot \frac{S_d}{R_d} \leq 1.0$$

S_d : Valor de respuesta de diseño , R_d : Valor límite de diseño,
 γ_i : Coeficiente de estructura

- a. Evitar pérdida de vidas humanas. → Verificación 1
- b. Asegurar la continuidad de los servicios básicos. → Verificación 2
- c. Minimizar los daños a la propiedad. → Verificación 3



5

Puntos importantes al elaborar la norma de diseño sismorresistente para túneles

- **Establecer el requisito de desempeño sísmico.**
- Establecer un estado límite para confirmar que el requisito de desempeño sísmico establecido sea satisfactorio.
- Tomar en consideración que el estado límite se establezca en la estructura subterránea.
- **Establecer el movimiento sísmico de diseño a nivel subterráneo.**
- Considerar que el movimiento sísmico de diseño sea coherente con el movimiento sísmico de diseño establecido a nivel del suelo.
- Considerar que el movimiento sísmico de diseño sea coherente con los registros sísmicos observados en Perú.
- **El método de evaluación del desplazamiento de suelo durante un terremoto debe ser apropiado.**
- **El análisis de respuesta sísmica de estructuras debe ser apropiado. (análisis no lineal)**
- **Asegurar la coherencia con otras normas.**

6

Necesidad de verificación de la norma y puntos a tener en cuenta

- Es la primera norma basada en el desempeño en Perú.
- Verificar si los elementos necesarios son estipulados cabalmente en la norma.
- Verificar si es posible hacer el diseño sismorresistente de acuerdo con la norma sísmica establecida.
- Verificar si la descripción de norma es entendible para la tercera persona aunque los autores creen que se ha elaborado perfectamente.
- Está previsto realizar la compilación de la norma en el período entre agosto y octubre de 2021 y es deseable que los resultados de la verificación de la norma se presenten a principios de agosto.
- Para que se apropien de los conocimientos de formulación y revisión de la norma en el futuro, es deseable que la verificación de la norma se lleve a cabo por la parte peruana.

7

Papeles de la parte peruana y la japonesa, y Solicitud a la parte peruana

● Papel de la parte peruana

- Verificación de la norma por un equipo diferente al equipo original de elaboración (hasta agosto de 2021)

● Papel de la parte japonesa

- Presentación de propuestas y/o recomendaciones sobre el método de verificación de la norma sísmica (hasta finales de enero de 2021)
- Revisión de los resultados de verificación de la norma sísmica (de agosto a septiembre de 2021 después de recibir los resultados de verificación por la parte peruana)

● Solicitud a la parte peruana

- Se solicita que la parte peruana haga verificación de la norma tomando la Línea 2 del Metro de Lima como ejemplo.
- Se solicita que aproximadamente en dos semanas se seleccione una sección de la Línea 2 del Metro de Lima como objeto de verificación y que nos proporcione la información del diseño (datos de sección, datos de distribución de varilla de acero de refuerzo, datos de suelos, datos de materiales).
- Después de confirmar los datos proporcionados, la parte japonesa presentará el método de verificación de la norma y hará recomendaciones.

8

Anexo-03

Presentación sobre el Quinto Informe

Recomendaciones sobre el Quinto Informe

Agenda que debe ser confirmada entre Japón y Perú en reunión del 22 de enero

2021/1/21

Equipo de Estudio JICA

El Equipo de Estudio de JICA recomendó los requisitos de esta norma de la siguiente manera, por lo tanto, el Equipo de Estudio de JICA solicita confirmar si la MTC y el consultor peruano pueden estar de acuerdo con estos requisitos.

(1) Sobre los cinco requisitos de desempeño sísmico y los cinco estados límite

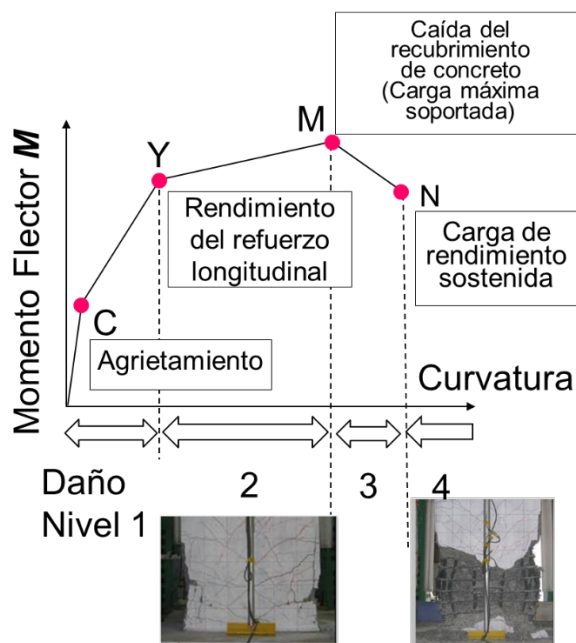
Las observaciones por parte del Equipo Japonés son las siguientes:

- No hay problema en establecer 4 Estados Límite. Sin embargo, se requiere que ésta tenga consistencia con las normas peruanas existentes y otras normas.

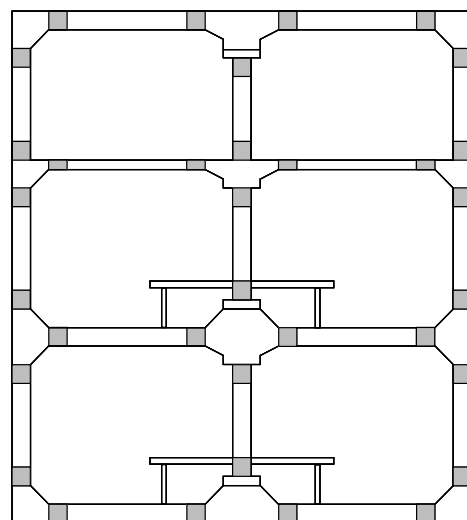
Por otra parte, se considera necesario el análisis de los siguientes ítems:

- Es necesario revisar también los Desempeños Requeridos. Los desempeños requeridos deben ser compatibles con los tres desempeños que se presentan en la Norma E-030.
- Si bien, no hay problema en establecer los sismos de diseño para cada periodo de retorno, los 12 niveles de sismos de diseño establecidos se asumen que son para realizar análisis lineales y consideramos que son demasiados. Por ejemplo, se pueden establecer 2 niveles de sismos de diseño utilizando una matriz como la que se presenta en el siguiente acápite. Así, no se requiere cambiar el sismo de diseño según la importancia de la estructura, sino cambiar el nivel de daño admisible de los elementos estructurales.

Desempeño Requerido (E-030)		Evitar pérdidas de vidas humanas	Asegurar la continuidad de los servicios básicos	Minimizar los daños a la propiedad	
Nivel de daño		No colapsa	Daños severos	Daños Limitados (La resistencia no se ve afectada por sismos grandes. Daños que no necesitan ser reparados ante la ocurrencia de pequeños y medianos sismos.	
Estado Límite		Estado Límite Último	Estado límite de reparación	Estado Límite de Servicio	
Puntos de verificación		Resistencia a la flexión y corte de los elementos estructurales para sismos grandes.	Resistencia a la flexión y corte de los elementos estructurales para sismos grandes.	Esfuerzo de fluencia para sismos medianos.	
Nivel de daño de los elementos estructurales	Losas superiores e inferiores		3	2	1
	Losas intermedias	Soportan cargas de vagones	3	2	1
		No soportan cargas de vagones	3	3	2
	Muros laterales		3	2	1
	Columnas centrales		3	2	1



Esquema de daños en un túnel excavado a cielo abierto



(2) Sobre los cinco requisitos de desempeño sísmico y los cinco estados límite

- Tal como se indicó en el apartado anterior, no hay problema en establecer 4 Estados Límite. Sin embargo, las observaciones indicadas en la página anterior deben ser consideradas.
- Lo aconsejable es reducir a los tres requisitos de desempeño sísmico acorde a la Norma E030 y establecer el diseño de tres niveles o pasos como máximo. Tanto en la Norma AASHTO como en el Eurocode se utilizan diseños de 2 pasos y según hemos escuchado, la Línea 2 del Metro de Lima se realizó de la misma manera. ¿En consecuencia, porqué se requería en el Perú un diseño que contempla 5 pasos o niveles?

(3) Sobre el nivel de daño global y el nivel de daño local

- Según la norma japonesa, se considera que el nivel de daño global es equivalente al nivel de daño local (nivel de daño de elementos). Con base en este criterio, se establecen los valores límite a cada uno de los elementos que constituyen la estructura controlando que estos valores no excedan al estado límite global, y se verifica el desempeño a través de confirmar que el nivel de daño de elementos obtenido por el cálculo de diseño se quede dentro del valor límite.

(4) Sobre el valor límite

- El valor límite varía según el tipo y la ubicación de los elementos. Por ejemplo, si el elemento se encuentra en un lugar fácil de reparar, su valor límite de recuperabilidad puede ser más bajo. También, el valor límite depende del tipo de material y estructuración de elementos. Si se emplea un material con alta ductilidad, el valor límite es mayor debido a su factor de deformación. Al adoptar este concepto, se hace posible introducir más fácilmente los nuevos materiales y métodos de construcción recientemente desarrollados. Es una de las ventajas que ofrece el diseño basado en el desempeño.

(5) Sobre la verificación

- Quisiéramos verificar el estatus de la solicitud de entrega de la información de diseño de la Línea 2 del Metro de Lima.

(6) Sobre las Conferencias y explicaciones adicionales sobre los estándares sísmicos japoneses

Proponemos el siguiente seminario en línea dictado por la parte japonesa para las instituciones relacionadas incluyendo el MTC.

- Periodo: Mediados a fines de febrero 2021
- Tema: sismo de diseño, diseño sísmico, análisis sísmico
- Participantes: MTC y otras instituciones relacionadas a la formulación de la norma (CISMID, IGP, AATE, etc.)
- Temas del seminario (borrador): Recomendaciones al 4to y 5to informe, flujo general del

análisis sísmico en el Japón, ejemplo de desempeño sísmico según los niveles de daño y valores límites de diseño, etc.

- Duración: Aproximadamente 2 horas: 1 hora de seminario, 1 hora de preguntas y respuestas

Fin del Documento

Anexo-04

Presentación en el Seminario sobre

Diseño Sísmico (21 marzo 2021)

Diseño por Desempeño

Presentación de la Norma Sísmica Japonesa ~ Diseño basado en Desempeño Sísmico ~

Instituto de Investigación Técnica de Ferrocarriles

Centro de Investigación de
Ingeniería Sísmica de Ferrocarriles

Investigador Senior

Jun IZAWA



Railway Technical Research Institute

1

Asistencia a la elaboración de la Norma de Técnica de Diseño Sismorresistente de las estructuras subterráneas (2017-)

MTC del Perú: Elaborando la norma de diseño sismorresistente para las estructuras subterráneas



“¡Queremos adoptar el diseño basado en desempeño!”

JICA (Embajada del Japón, Ministerio de Tierras, Infraestructura, Transporte y Turismo)
Asistencia a la elaboración de la norma de diseño mediante el envío de los expertos en el diseño sismorresistente



1er taller sobre la elaboración de la norma de diseño sismorresistente de las estructuras subterráneas (19 de julio de 2019)



Railway Technical Research Institute

2

Presentación de la Norma Sísmica Japonesa

1. Diseño basado en Desempeño Sísmico
Dr. Izawa, 15 min.
2. Movimiento Sísmico de Diseño
Dr. Tanaka, 15 min.
3. Analisis Estructural del Diseño Sísmico
Mr. Araki(PE), 30 min.



Diseño basado en desempeño

Consiste en **especificar el desempeño estructural requerido** y **evaluar objetivamente** si la estructura retiene dicho desempeño a lo largo del período de servicio.

- ① Da a conocer a la sociedad el desempeño mediante la descripción / indicación para aumentar la fiabilidad;
- ② Permite seleccionar libremente los materiales y el tipo estructural;
- ③ Permite aplicar la tecnología innovadora para asegurar el desempeño;
- ④ Responde a la globalización tecnológica de los materiales de construcción que circulan en el mercado internacional; etc.



Diseño basado en desempeño

Consiste en **especificar el desempeño estructural requerido** y **evaluar objetivamente** si la estructura retiene dicho desempeño a lo largo del período de servicio.

- ① Da a conocer a la sociedad el desempeño mediante la descripción / indicación para aumentar la fiabilidad;
 - Antes de introducir la norma basada en el desempeño (Método de desempeño basado en el estado límite)
Ej.) Estructura que no llega al estado límite último en un sismo severo.
¿Estado límite último? ¿Cuál es la ventaja para los usuarios?
Es difícil explicar a la sociedad.
 - Método de diseño basado en desempeño
Ej.) Estructura que no amenaza la vida de usuarios en un sismo de período de retorno de 2000 años.
El gobierno y/o los propietarios de estructura pueden explicar a la sociedad.



Diseño basado en desempeño

Consiste en **especificar el desempeño estructural requerido** y **evaluar objetivamente** si la estructura retiene dicho desempeño a lo largo del período de servicio.

- ② Permite seleccionar libremente los materiales y el tipo estructural;
 - ③ Permite aplicar la tecnología innovadora para asegurar el desempeño;
 - Una vez que se logra cumplir con el requisito de desempeño, se puede optar por cualquier tipo de materiales y estructuras.
 - Se puede aplicar fácilmente las tecnologías innovadoras en el futuro.
 - Se puede seleccionar libremente el método de confirmación objetiva (tarea de diseño / verificación) siempre y cuando su precisión esté comprobada. Ej.) Puede ser un ensayo experimental.
- ✖En muchos casos, las normas del diseño indican los métodos estándar.



■ Diseño basado en desempeño

Consiste en **especificar el desempeño estructural requerido** y **evaluar objetivamente** si la estructura retiene dicho desempeño a lo largo del período de servicio.

- ④ Responde a la globalización tecnológica de los materiales de construcción que circulan en el mercado internacional, etc.

※ El Acuerdo sobre la Contratación Pública y el Acuerdo sobre Obstáculos Técnicos al Comercio (Acuerdo OTC) de la OMC obligan a los países miembros a cumplir con las normas internacionales como base para sus normas nacionales.

ISO2394: General principles on reliability for structures (1998)

ISO23469: Bases for design of structures (2005)

Seismic actions for designing geotechnical works

Es factible la adopción de tecnología internacional de punta.



■ Normativa de diseño sismorresistente de Japón

Norma de Diseño Sísmico para Estructuras Ferroviarias y Cometas (2012)

La norma de diseño fue revisado en base a la experiencia de los desastres del Gran Terremoto de Tohoku (2011) y el Sismo de Kobe (1995).

La norma sísmica se puede aplicar para el diseño de puentes, viaductos, estructuras de cimentación, estructuras de contención (muros, pilares, etc.), taludes y **túneles**.



Esta norma está sujeta a la Norma Internacional ISO23469(2005) y aplica la metodología denominada **diseño basado en desempeño**.



Norma de diseño de ferrocarriles en Japón

Ordenanza ministerial que establece normas técnicas para ferrocarriles

Con respecto a las infraestructuras de transporte ferroviario, etc. se establecen las normas técnicas necesarias, a través de lo cual se busca **garantizar el transporte seguro y estable** para cumplir el propósito de contribuir a la promoción del bienestar público.



Railway Technical Research Institute

9

Norma de diseño de ferrocarriles en Japón: Requisito de desempeño

Seguridad

Requisito de desempeño que debe poseer la estructura para que **no amenace la vida de los usuarios o de quienes están en su alrededor** bajo todos los efectos previsible.

Operatividad

Requisito de desempeño para que la estructura proporcione el **servicio cómodo a los usuarios o a quienes están en su alrededor** bajo todos los efectos previsible.

Recuperabilidad

Requisito de desempeño que **no produce daños en la estructura o recupera fácilmente su desempeño cuando se daña** bajo todos los efectos previsible.



Railway Technical Research Institute

10

Norma de diseño sismorresistente en Japón

Acción permanente: una acción cuya fluctuación es muy pequeña e ignorable, pero tiene un efecto duradero.

Ej.) carga muerta, deformación progresiva de material, etc.

Acción fluctuante: una acción que ocurre con frecuencia o de forma continua y su fluctuación no se puede ignorar.

Ej.) carga de tren, cambio de temperatura, carga de viento, carga de nieve, etc.

Acción contingente: una acción menos frecuente pero más influyente durante la vida útil que garantiza el diseño.

Ej.) **terremotos**, colisiones automovilísticas, etc.

Seguridad = Acción permanente, Acción fluctuante, **Acción contingente**

Operatividad = Acción permanente, Acción fluctuante

Recuperabilidad = Acción permanente, Acción fluctuante,
Acción contingente



Railway Technical Research Institute

11

Normas de diseño sísmico ferroviario en Japón

Seguridad

La seguridad se refiere al desempeño de las estructuras por las que la vida de los usuarios y las personas de la zona no se ven amenazadas durante los terremotos.

- **Seguridad Estructural**: Capacidad de la estructura para soportar grandes movimientos sísmicos sin colapso de la estructura.
- **Seguridad Funcional**: Capacidad de una estructura para reducir la posibilidad de descarrilamiento de trenes tanto como sea posible durante un sismo.

Recuperabilidad

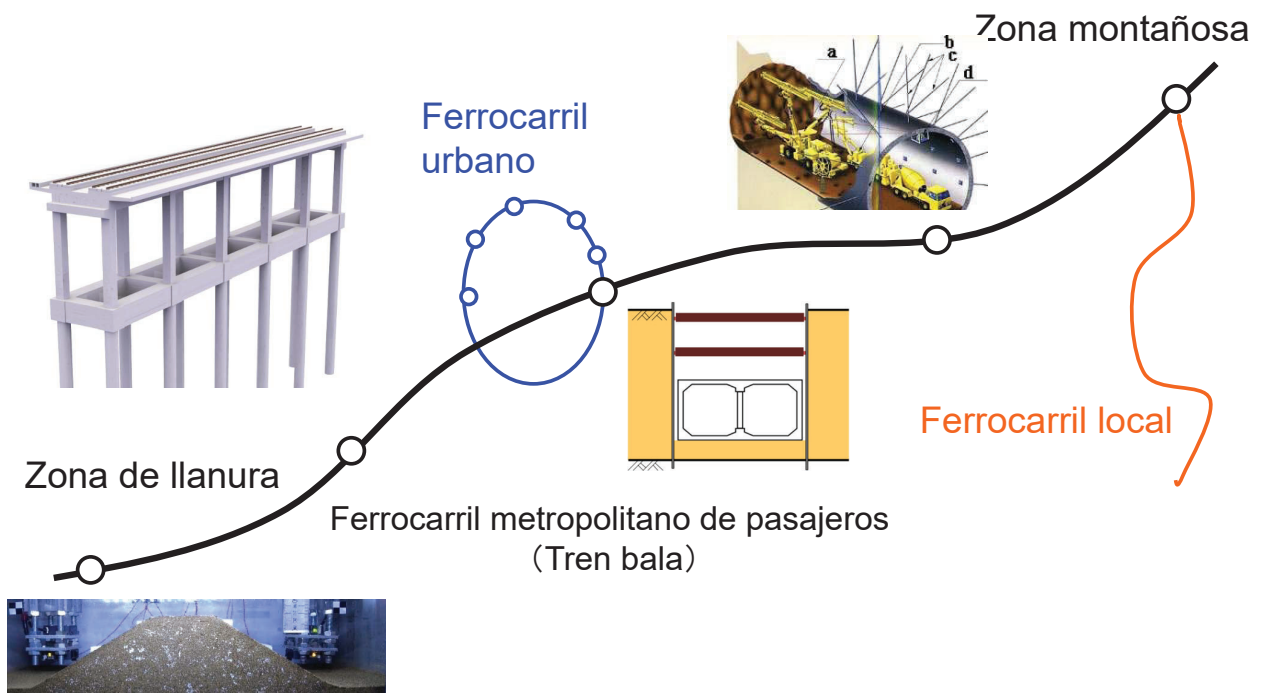
- La **Recuperabilidad** es la capacidad de ser restaurado en un período de tiempo corto.



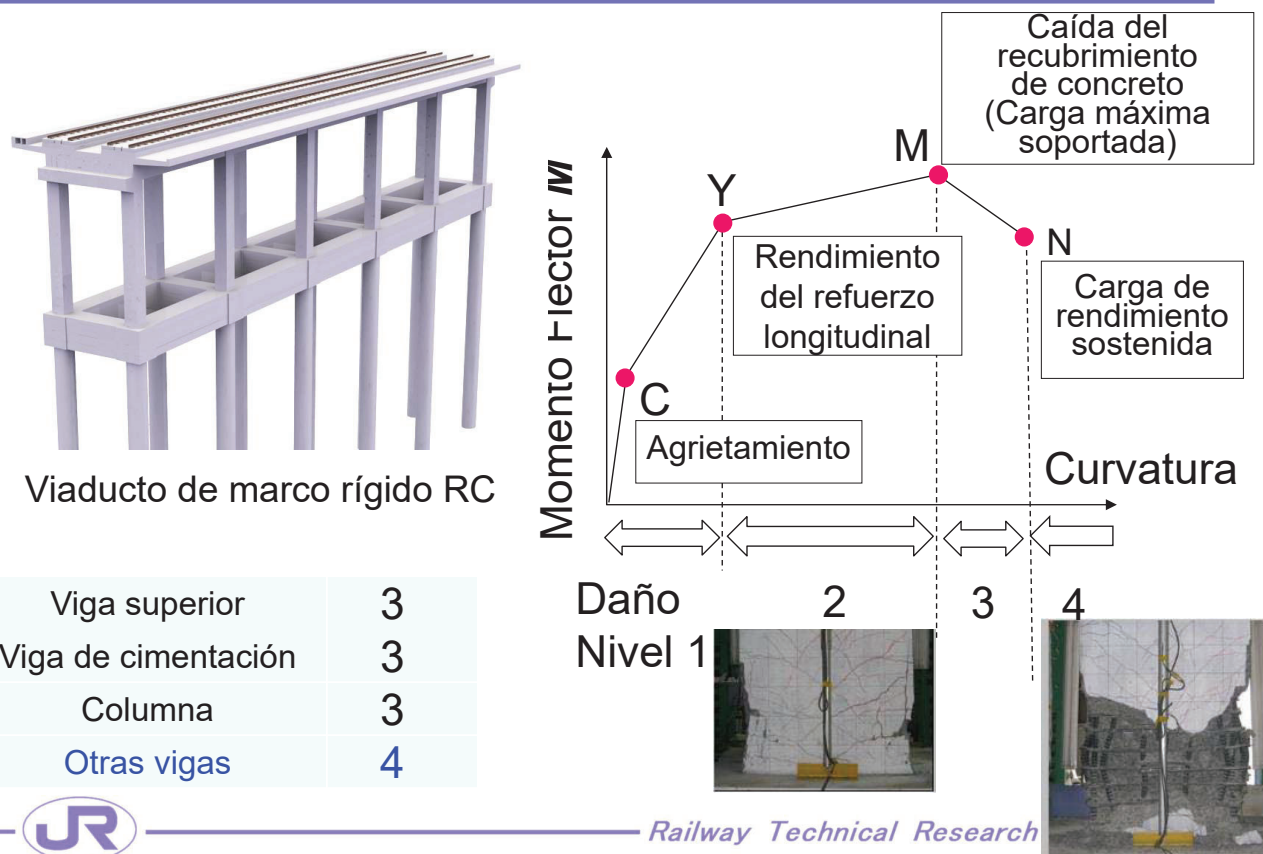
Railway Technical Research Institute

12

Concepto de requisito de desempeño: Seguridad



Concepto de requisito de desempeño: Seguridad

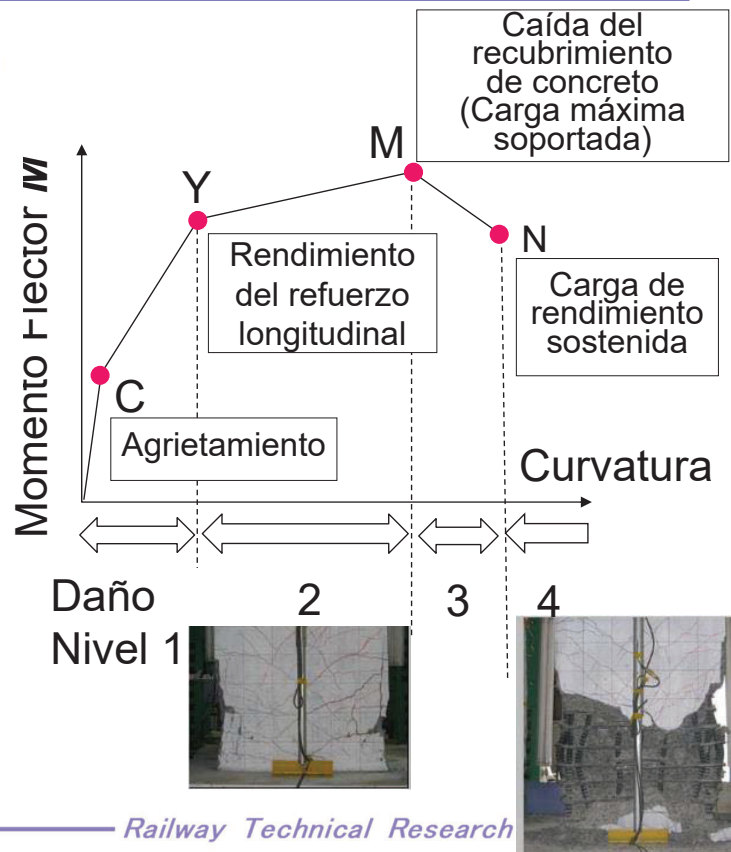


Concepto de requisito de desempeño: Recuperabilidad



Viaducto de marco rígido RC

Viga superior	2
Viga de cimentación	2
Columna	3
Otras vigas	3

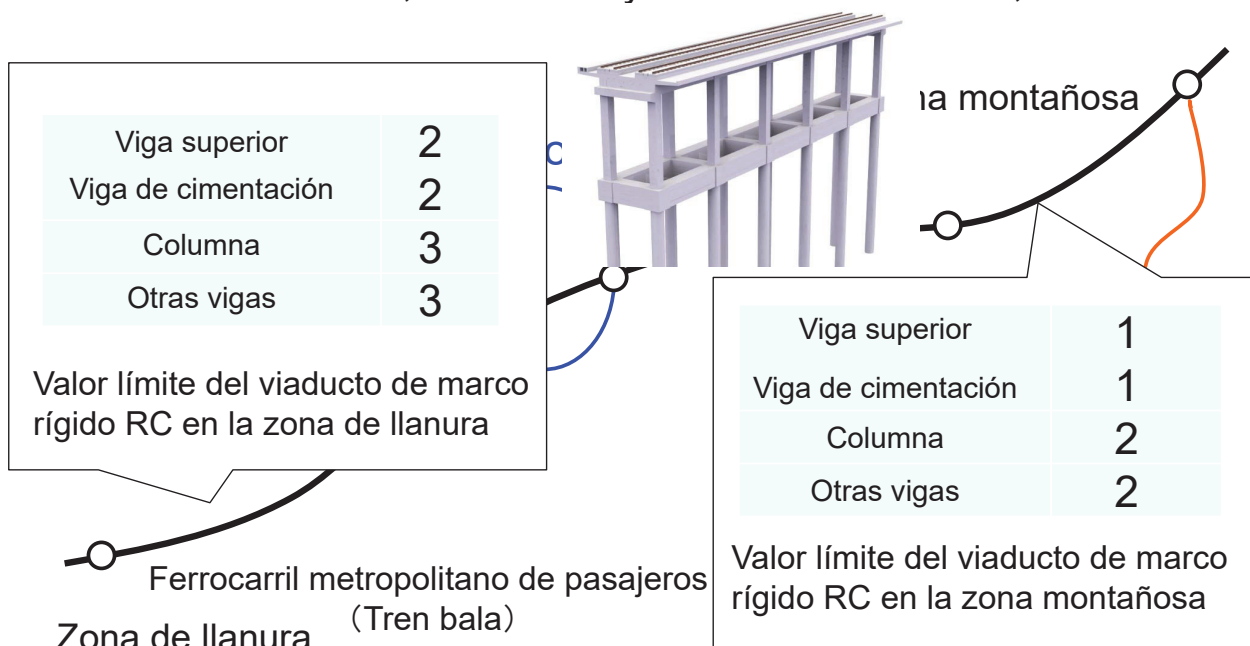


Railway Technical Research

15

Concepto de requisito de desempeño: Recuperabilidad

El valor límite se establece flexiblemente según tipo de estructura, ubicación de miembros, materiales y entorno circundante, etc.



Railway Technical Research Institute

16

Anexo-05

Presentación en el Seminario sobre

Diseño Sísmico (21 marzo 2021)

Sismo de Diseño

Establecimiento del movimiento sísmico de diseño

Instituto de Investigación Técnica de Ferrocarriles

Centro de Investigación de Ingeniería Sísmica de Ferrocarriles

Investigador Asistente Senior

Kohei TANAKA



Railway Technical Research Institute

1

Requisito de desempeño sísmico y movimiento sísmico de diseño

- El movimiento sísmico de diseño es el factor que se utiliza para confirmar si la estructura cumple con el requisito de desempeño sísmico.
- Se establece para cada requisito de desempeño sísmico y su definición se difiere según el requisito de desempeño sísmico.

Seguridad

- **Seguridad Funcional** (Capacidad de una estructura para reducir la posibilidad de descarrilamiento de trenes tanto como sea posible durante un sismo.)
 - ➡ **Movimiento sísmico L1**: corresponde al movimiento sísmico que se produce con una probabilidad de ocurrencia de varias veces durante la vida útil de la estructura.
- **Seguridad Estructural** (Capacidad de la estructura para soportar grandes movimientos sísmicos sin colapso de la estructura.)
 - ➡ **Movimiento sísmico L2**: corresponde al movimiento sísmico de una intensidad máxima que puede ocurrir en el sitio de construcción.

Recuperabilidad

- ➡ **Movimiento sísmico para verificar la recuperabilidad**: es el movimiento sísmico para confirmar la pertinencia del diseño de la estructura desde los puntos de vista económico y del tiempo que necesita para la recuperación.

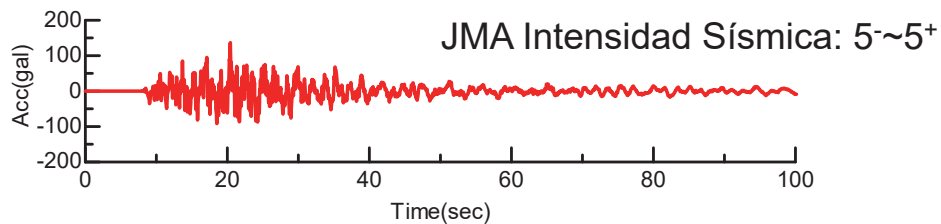


Railway Technical Research Institute

2

Movimiento sísmico L1 (Seguridad Funcional)

El **movimiento sísmico L1** debe ser configurado como un sísmico con una probabilidad de ocurrencia de varias veces durante la vida útil de diseño de la construcción.



Resultado del análisis probabilístico de riesgo sísmico con un periodo de retorno de 50 años

Medidas para elementos que no son de la estructura

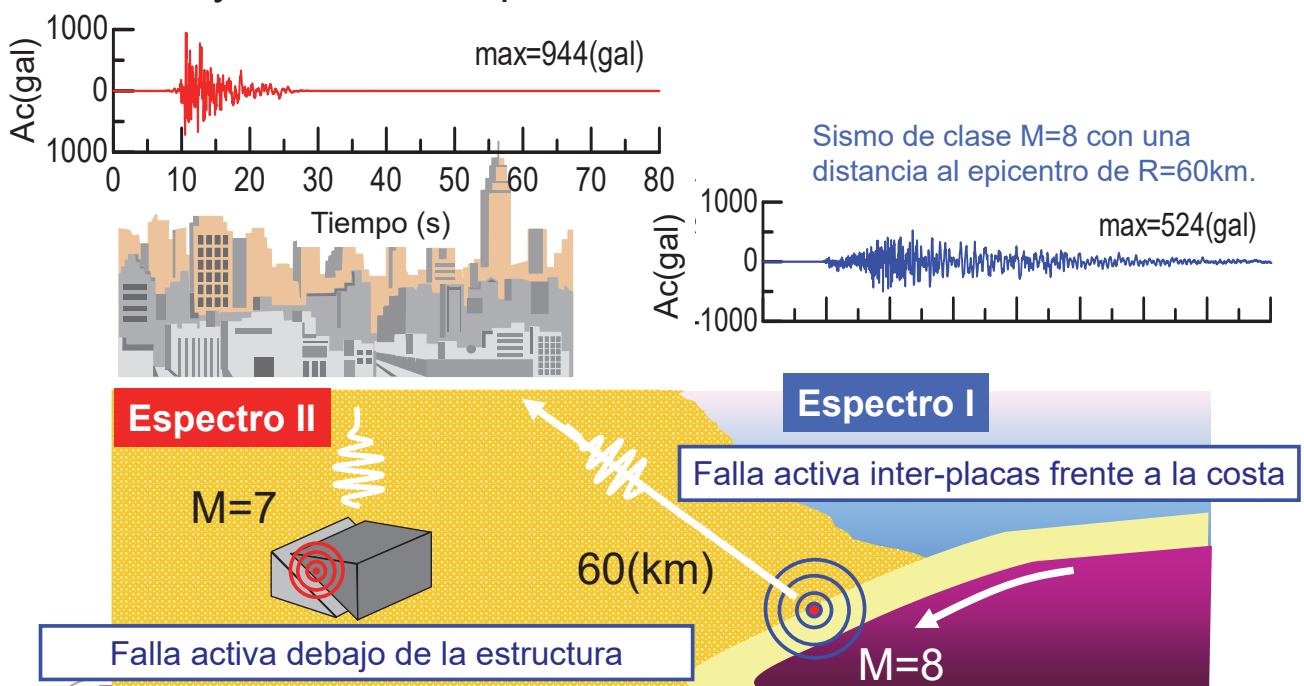
Valla protectora: se instala en los rieles para evitar el descarrilamiento

Sistema de alerta temprana de sismo: detecta el sismo y reduce la velocidad de tren mediante la activación de freno de emergencia antes de sufrir el temblor grande.



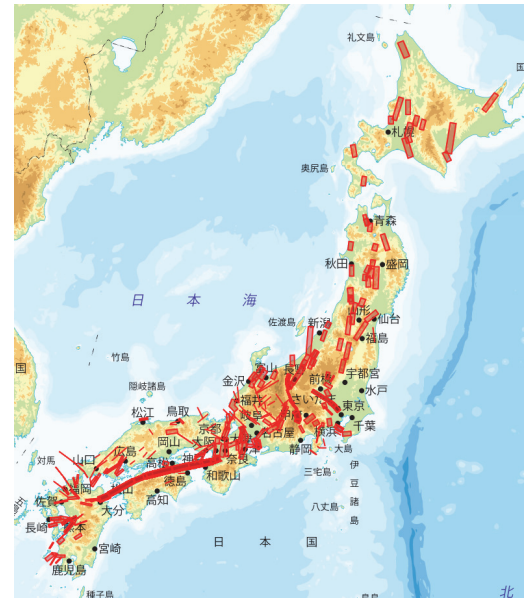
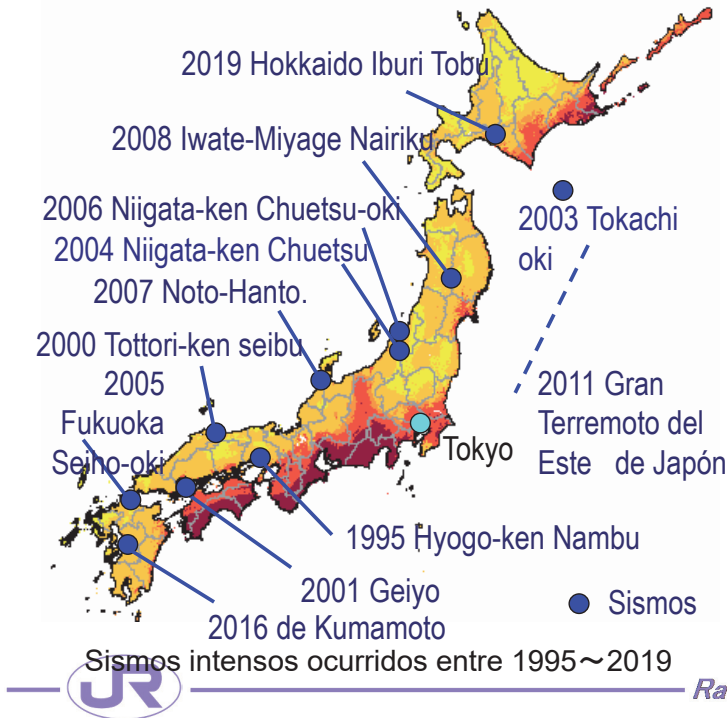
Movimiento sísmico L2 (Seguridad Estructural)

El **movimiento sísmico L2** debe ser configurado como aquel con la mayor intensidad presumible en la construcción.



Principales fallas activas y sismos ocurridos en Japón

- Muchos sismos intensos han ocurrido en el pasado y se esperan aún más sismos en el futuro.
- Es difícil estimar previamente la probabilidad de ocurrencia de sismos intensos.



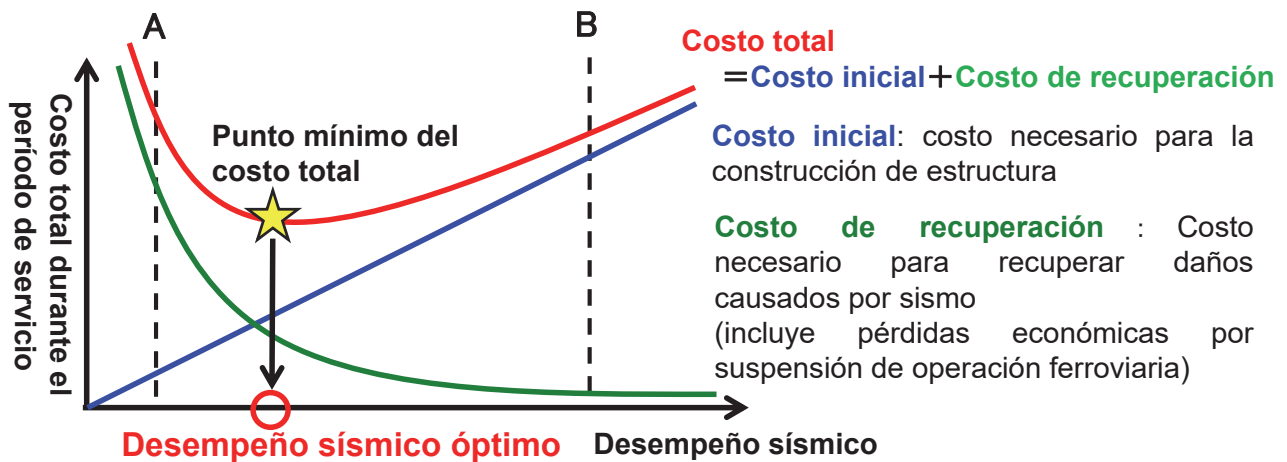
Principales franjas de fallas activas con alta probabilidad de sismo (J-SHIS)

Railway Technical Research Institute

5

Movimiento sísmico para la verificación de recuperabilidad (Recuperabilidad)

Movimiento sísmico para verificar que la estructura está diseñada apropiadamente en función del tiempo de recuperación y del aspecto económico durante el período de servicio de la estructura.



Estructura A: El costo inicial es bajo, pero se daña fácilmente por lo que el costo de recuperación resulta alto.

Estructura B: Casi no se daña, pero el costo inicial es alto.



Railway Technical Research Institute

6

Hemos visto 3 movimientos sísmicos de diseño que se utilizan en Japón.

- La definición del movimiento sísmico de diseño se basa en el contenido de requisito de desempeño.
- El nivel de movimiento sísmico de diseño se establece teniendo en cuenta el contenido del requisito de desempeño y las actividades sísmicas.
- Para evitar confusiones en el diseño, ya están establecidos los movimientos sísmicos de diseño estándar que se pueden utilizar en la mayoría de las estructuras (Ej. Ver las diapositivas 3 y 4).

Seguridad

● Seguridad Funcional

➔ **Movimiento sísmico L1:** corresponde al movimiento de sismo que se produce con una probabilidad de ocurrencia de varias veces durante la vida útil de la estructura

● Seguridad Estructural

➔ **Movimiento sísmico L2:** corresponde al movimiento de sismo de una intensidad máxima que puede ocurrir en el sitio de construcción.

Recuperabilidad

➔ **Movimiento sísmico para la verificación de recuperabilidad:** es el movimiento sísmico para confirmar la pertinencia del diseño de la estructura desde los puntos de vista económico y del tiempo de recuperación.



Muchas Gracias

ありがとうございました。

Anexo-06

Presentación en el Seminario sobre

Diseño Sísmico (21 marzo 2021)

Diseño Sísmico

Diseño sismorresistente del túnel excavado a cielo abierto

Equipo de Estudio de JICA



Shigeo Araki

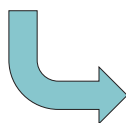


Railway Technical Research Institute

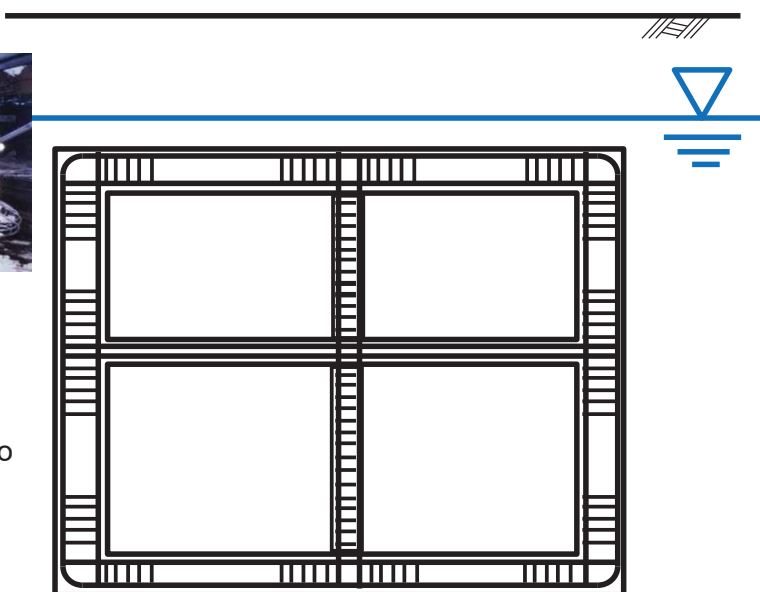
1

Características de los túneles en Japón

1995.1.17



Diseño basado en el desempeño
Análisis estructural no lineal



Railway Technical Research Institute

2

Descripción General

Para realizar el diseño sismorresistente del túnel, se toman en cuenta los factores como el método de construcción de túnel, las condiciones estructurales y las condiciones del suelo en sitio. Y si se considera que el túnel es susceptible a terremotos, se realiza el cálculo del valor de respuesta de diseño del túnel frente al movimiento sísmico de diseño y la verificación de su desempeño de acuerdo con las "Normas de diseño de estructuras ferroviarias".

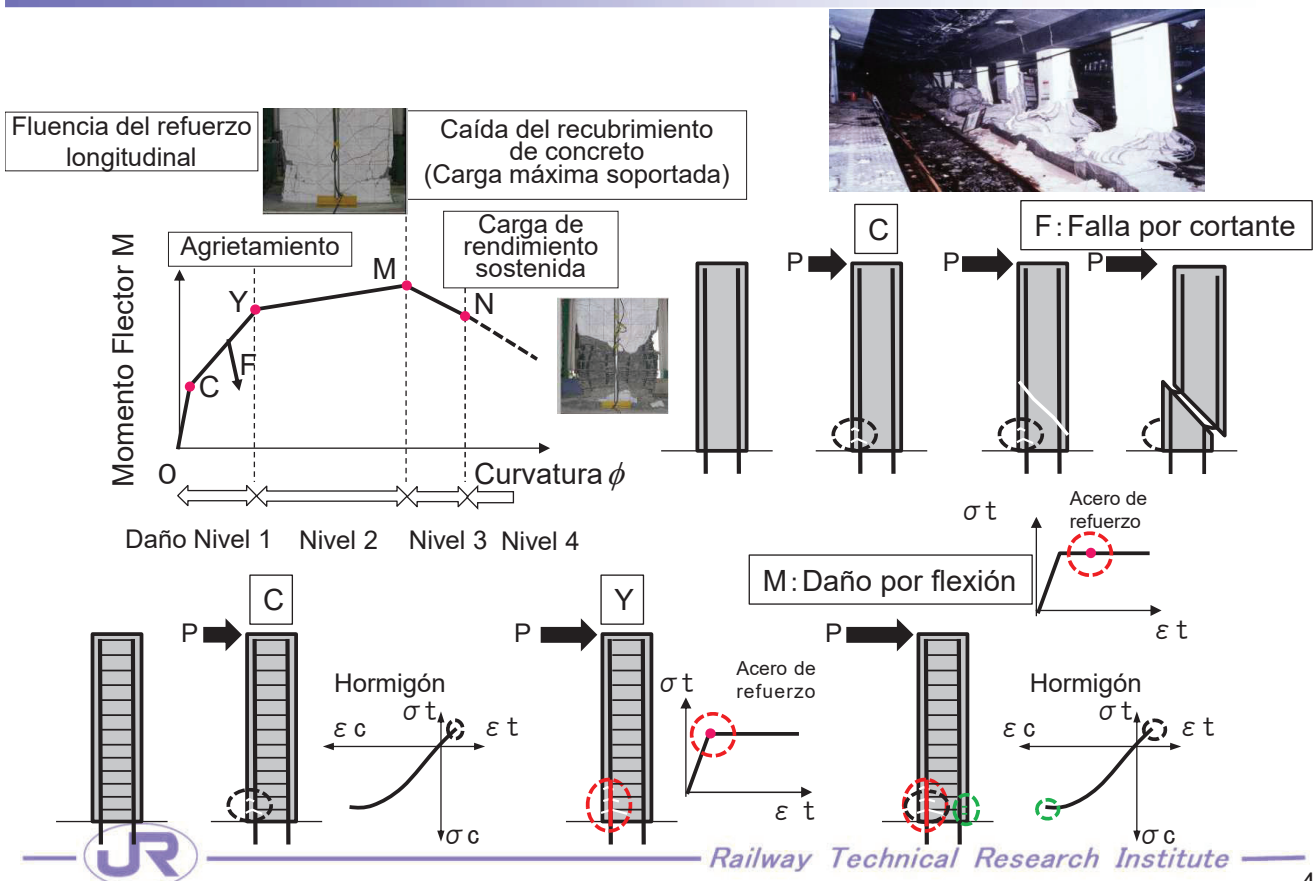
- **Túnel excavado a cielo abierto**: Generalmente se realiza el diseño sismorresistente.

Estructura esencial → Verificación de **Seguridad** y **Recuperabilidad**

- **Túnel excavado por escudo** • **Túnel excavado en montaña**
Generalmente son túneles que tienen alta resistencia sísmica.

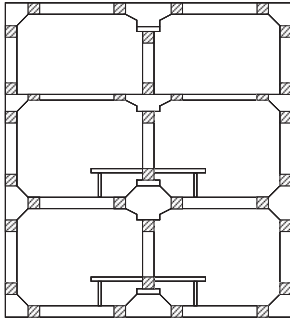


Daño por flexión y nivel de daño

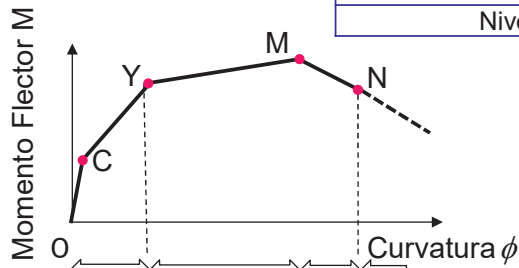


Verificación de desempeño de túnel a cielo abierto

Ejemplos de requisito de desempeño de estructura, nivel de daño de elementos y nivel de estabilidad



Requisitos de desempeño de la estructura	Valores limites de diseño para la recuperabilidad	Valores limites de diseño para la seguridad
Losa superior e inferior	2	3
Nivel de daño en los elementos	Losas Soporta las cargas del tren	3
	inter-medias Otros	3
Muro lateral	2	3
Columna central	2	3
Nivel de estabilidad	1	2

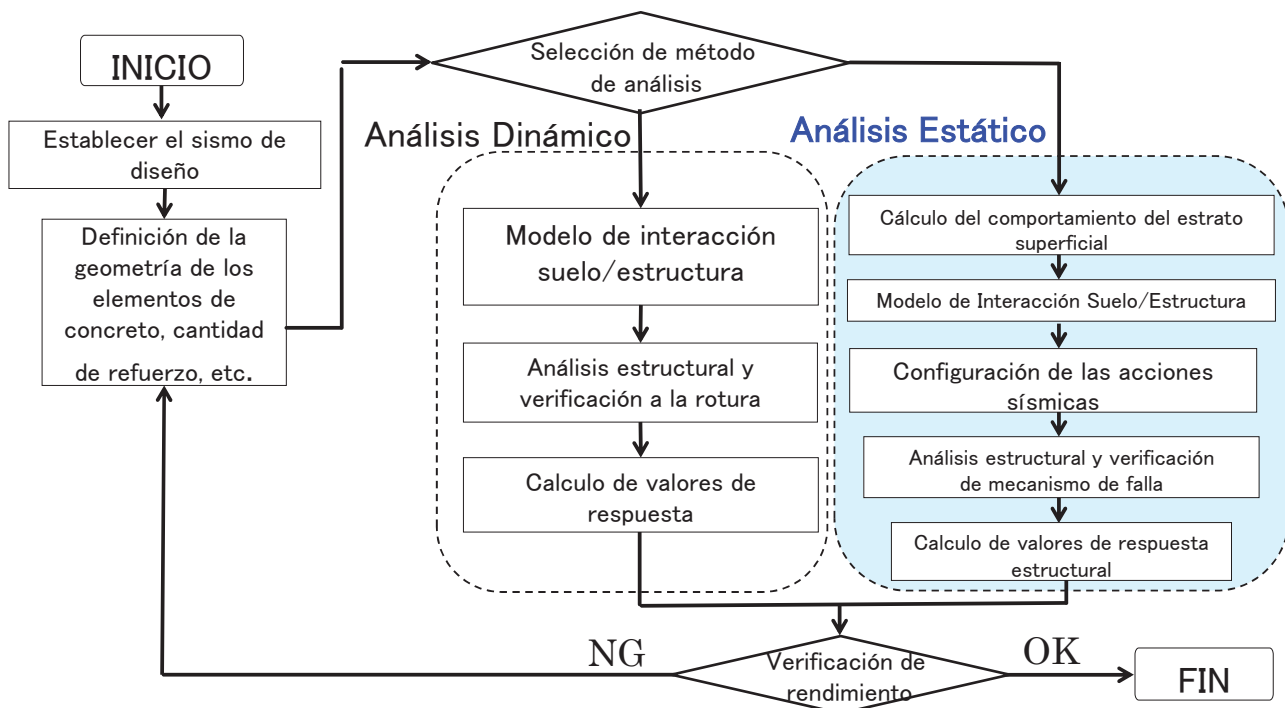


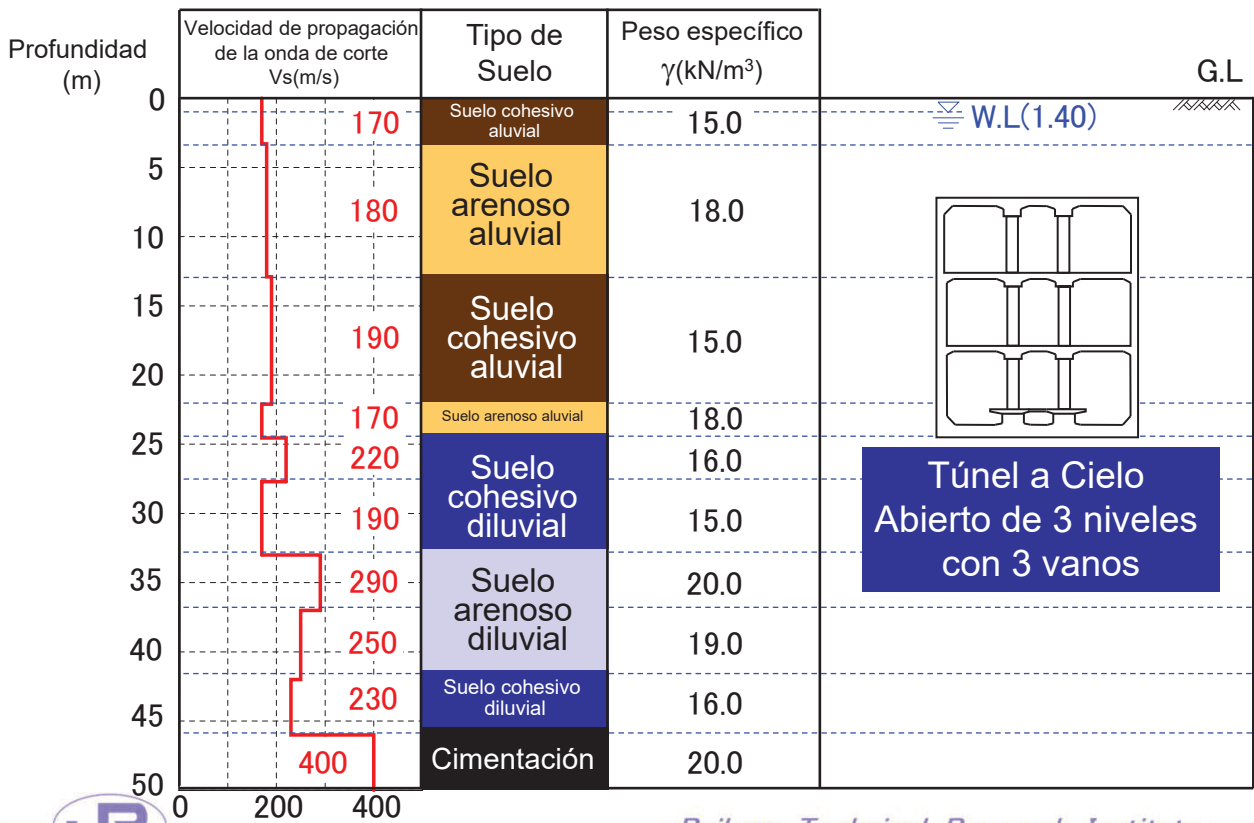
La recuperabilidad se clasifica en “elementos que tardan tiempo o son difíciles de reparar”, y “otros elementos”.

Daño Nivel 1 Nivel 2 Nivel 3 Nivel 4

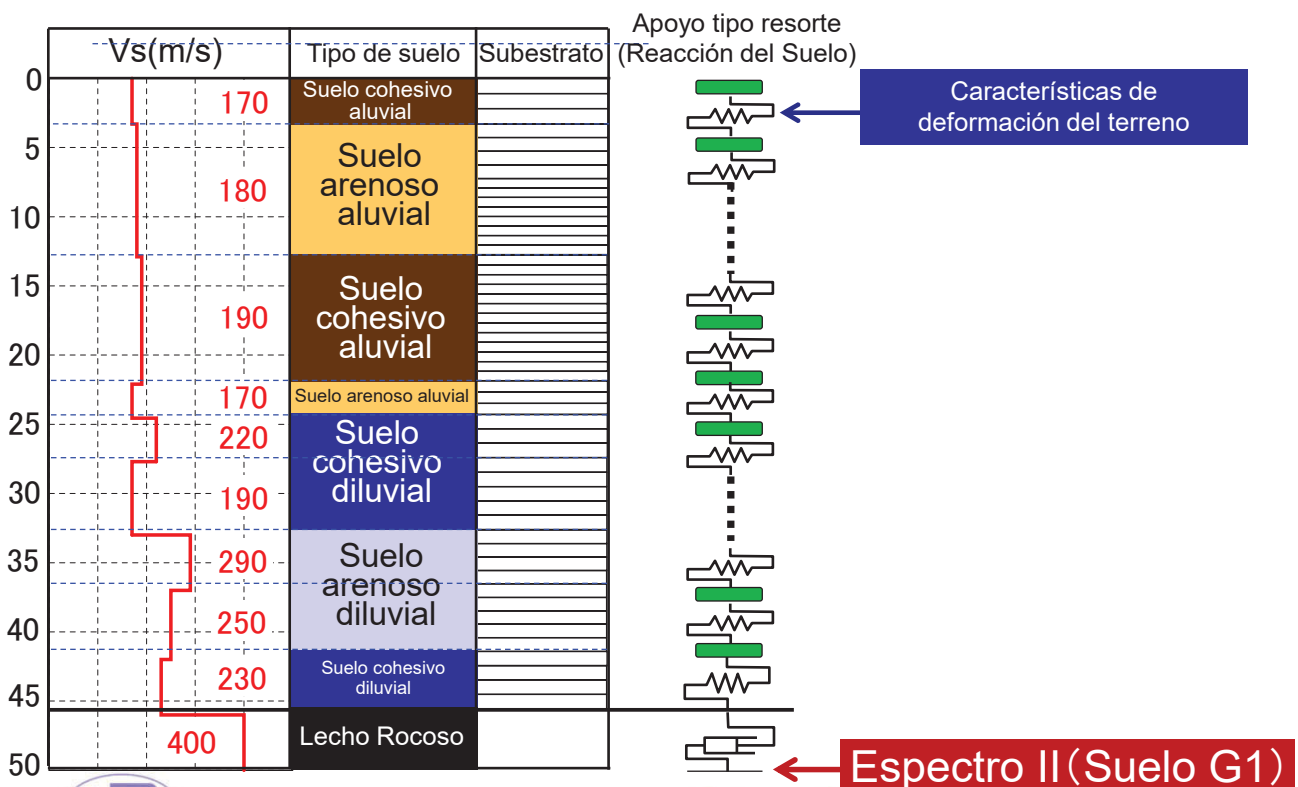


Flujo del diseño sísmico para túneles de cielo abierto

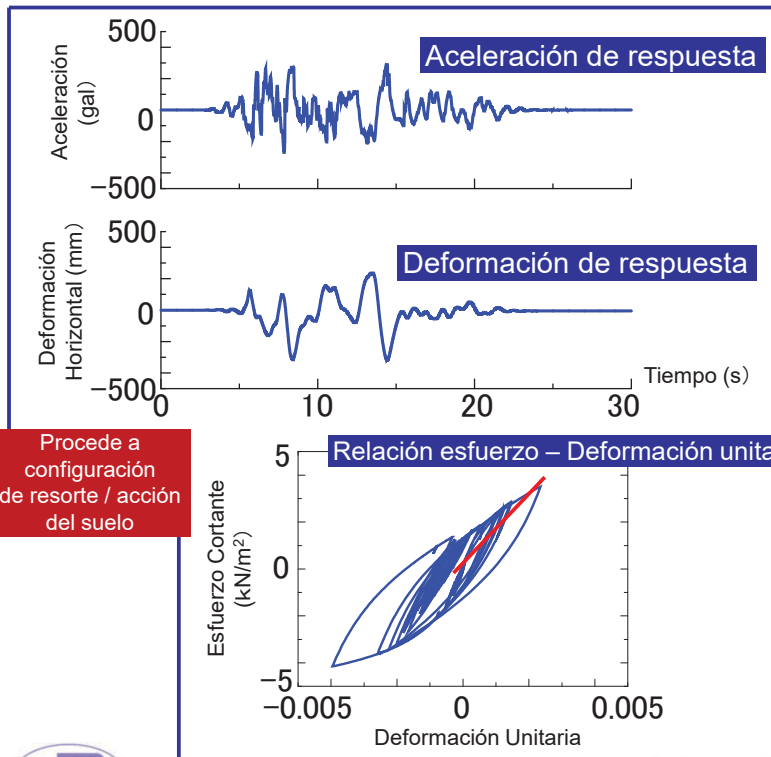




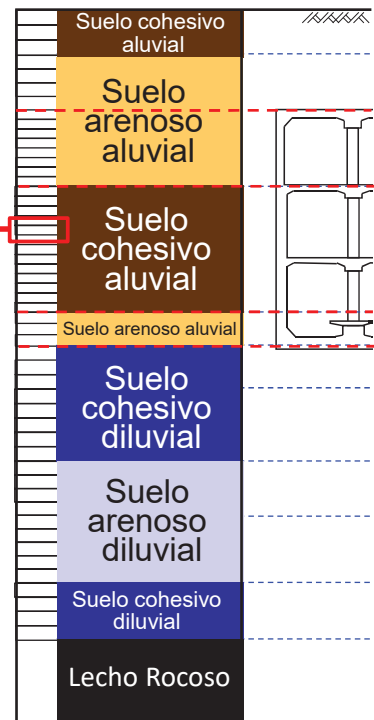
Cálculo del comportamiento del estrato superficial



Cálculo del comportamiento del estrato superficial



Procede a configuración de resorte / acción del suelo



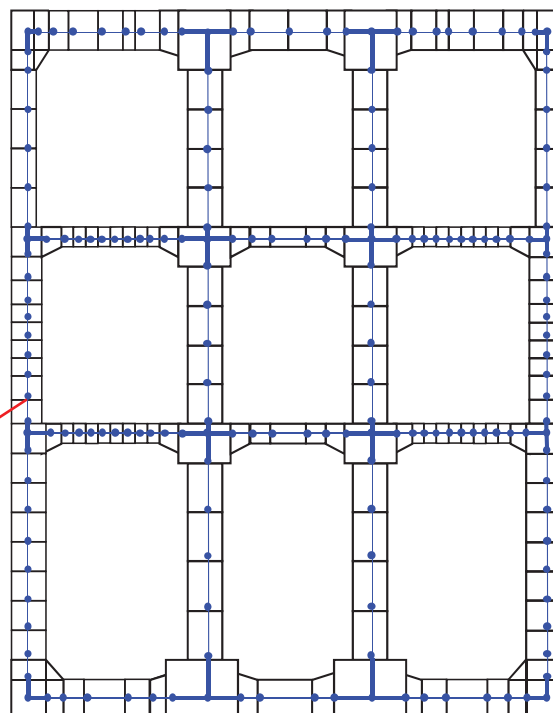
Modelación de estructura

Modelación de túnel utilizando una estructura de marco



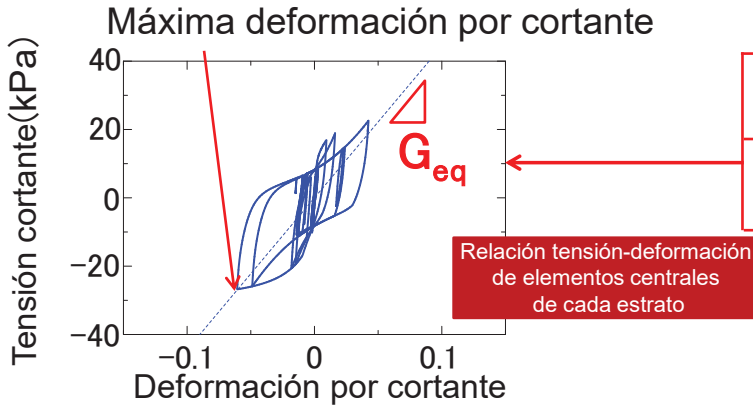
Soportar con resorte de suelo

Modelación por relación M- ϕ



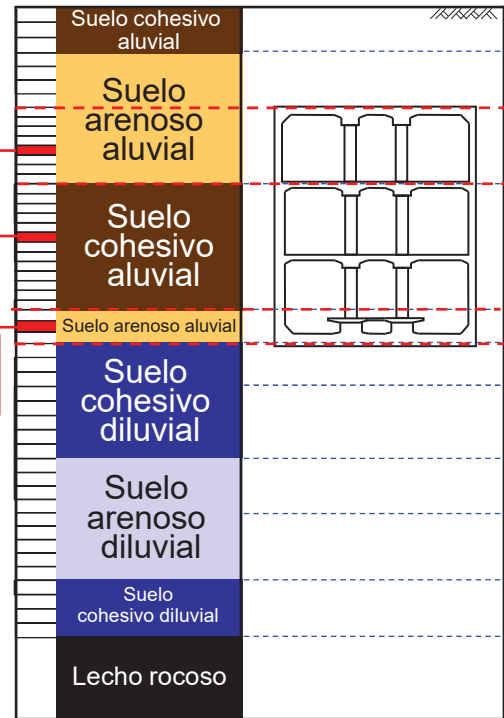
Configuración de resorte de suelo

Coefficiente de fuerza de reacción vertical/cortante del suelo del **muro lateral**

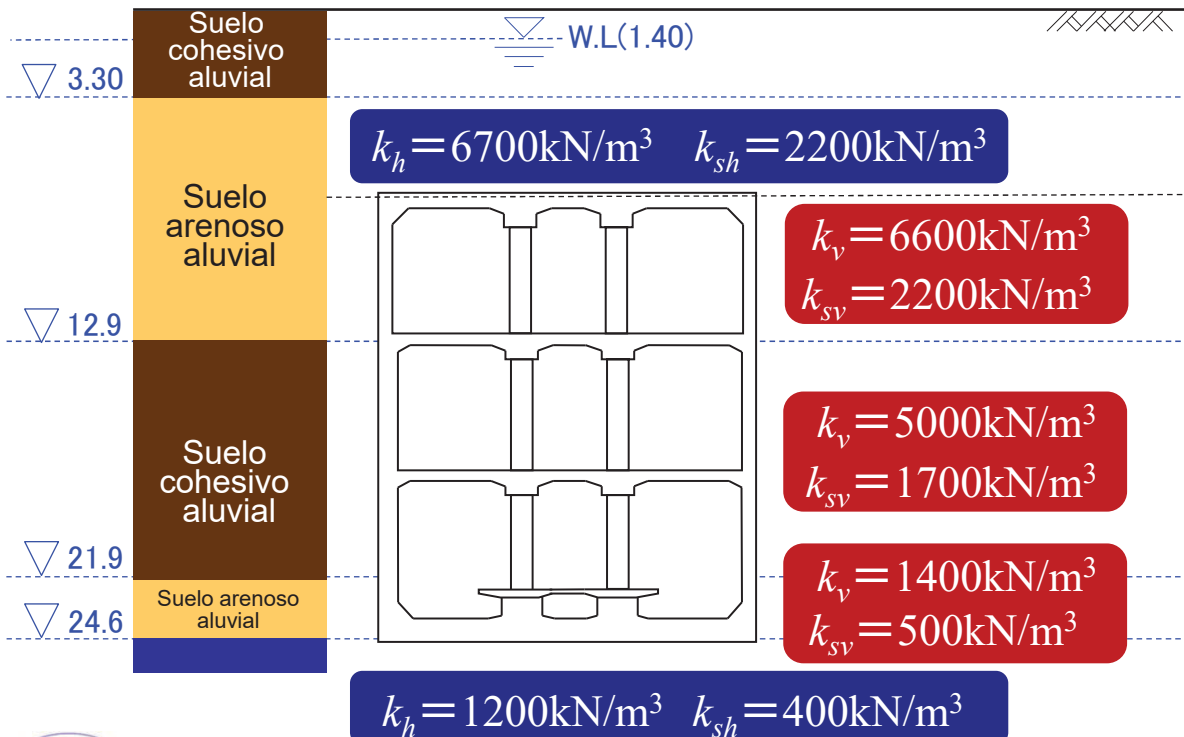


Coefficiente de fuerza de reacción vertical del suelo $k_v = 1.7aE_0B_v^{-3/4}$

Coefficiente de fuerza de reacción cortante del suelo $k_{sv} = k_v / 3$

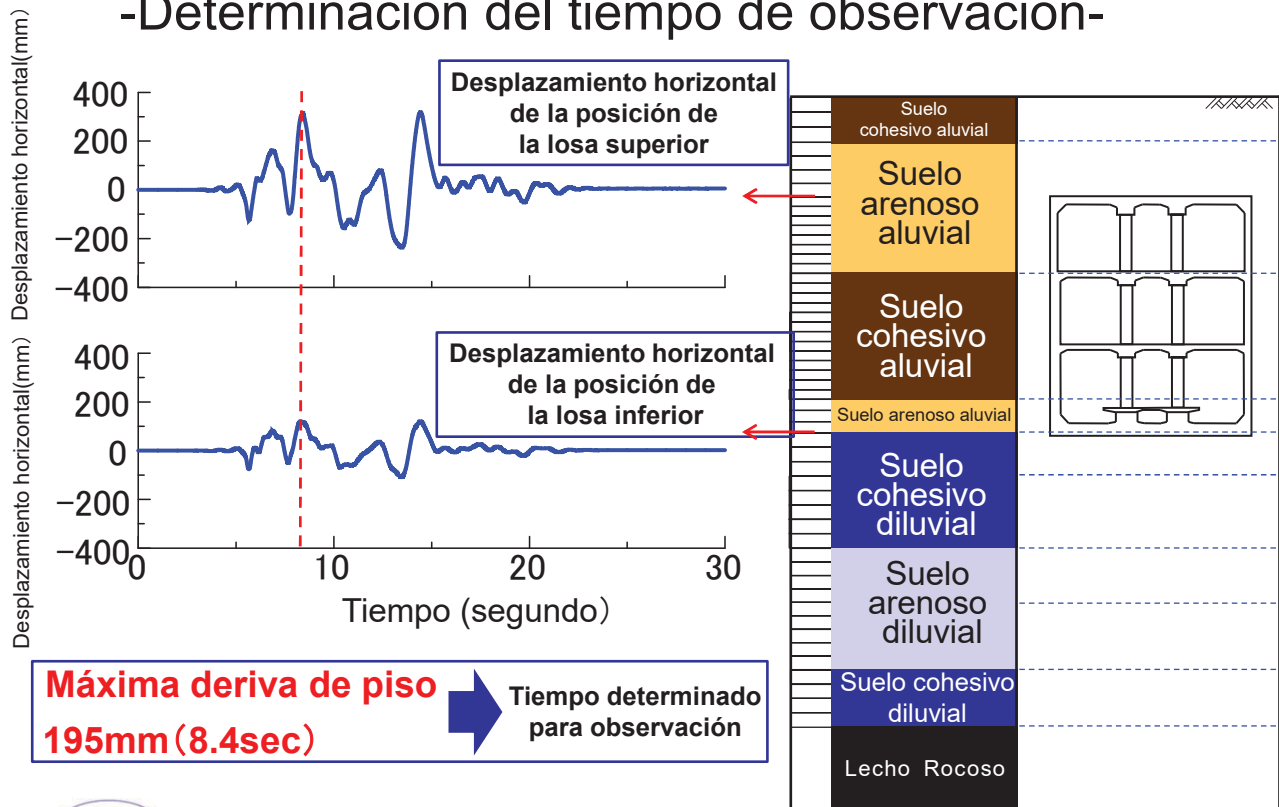


Modelo de Interacción Suelo/Estructura -Suelo-

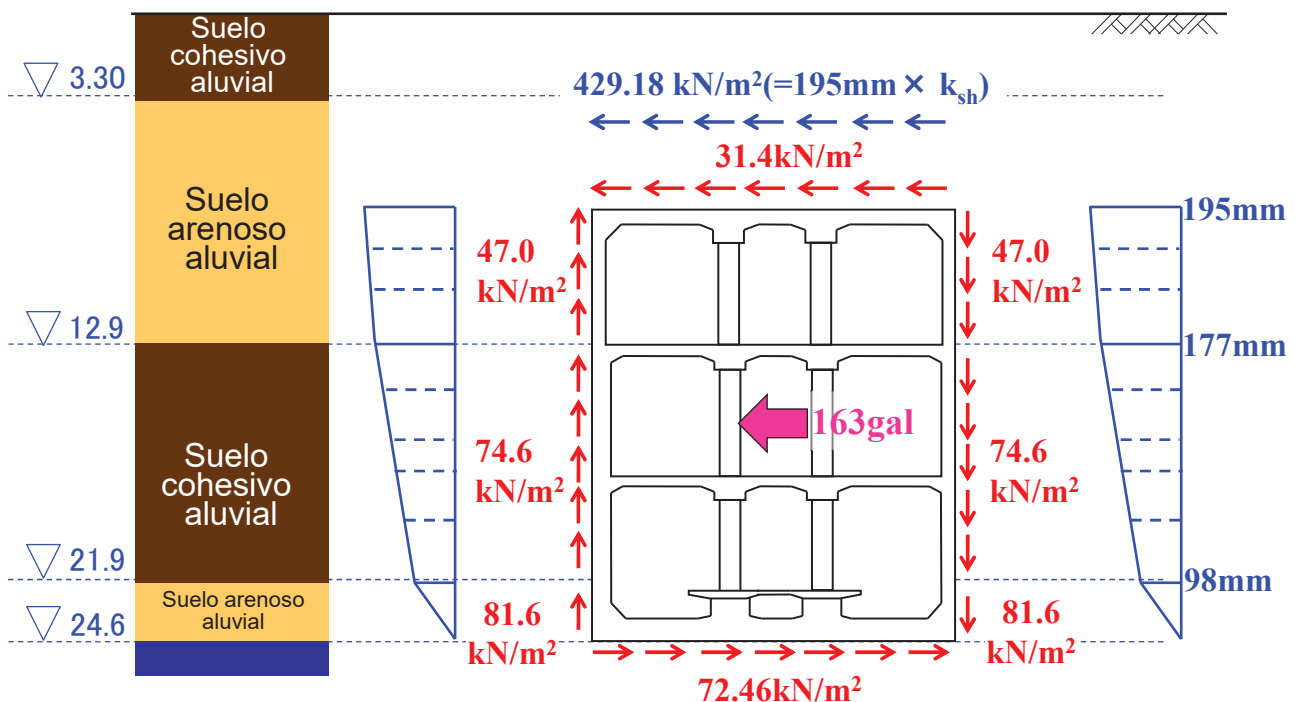


Configuración de las acciones sísmicas

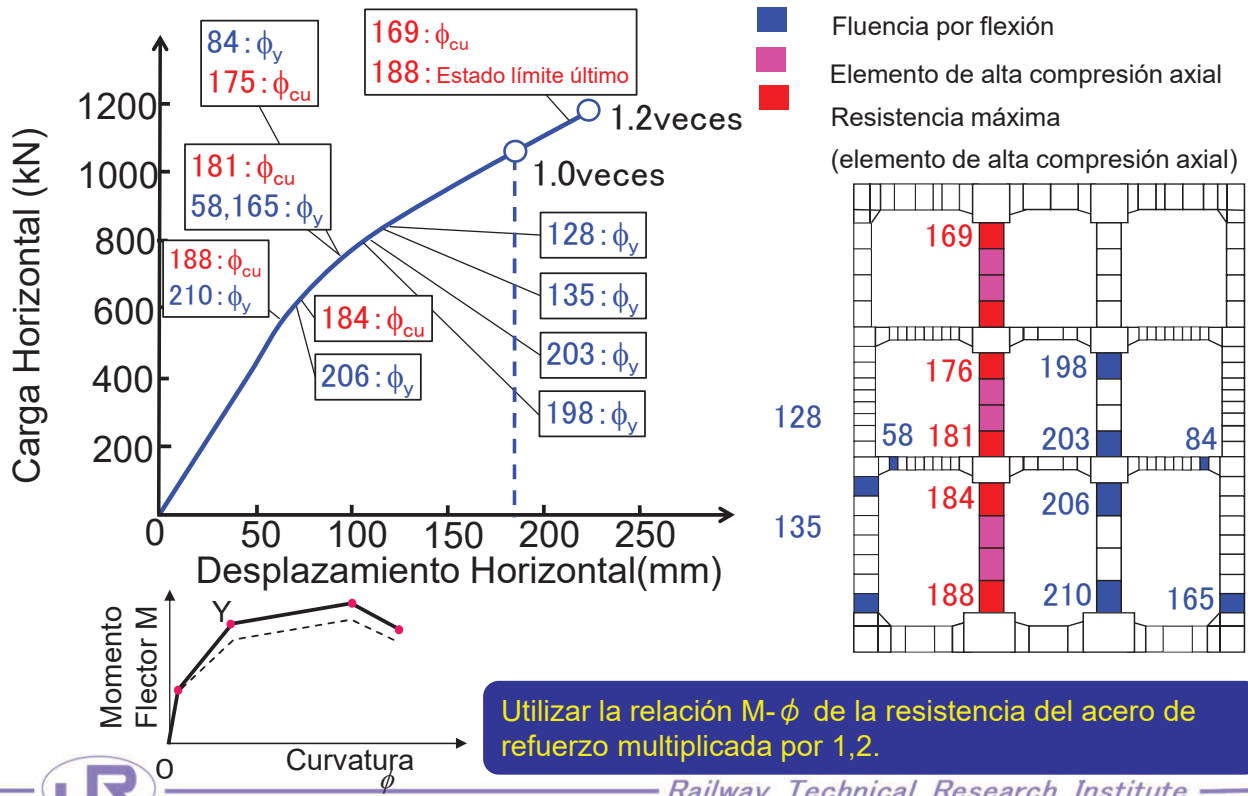
-Determinación del tiempo de observación-



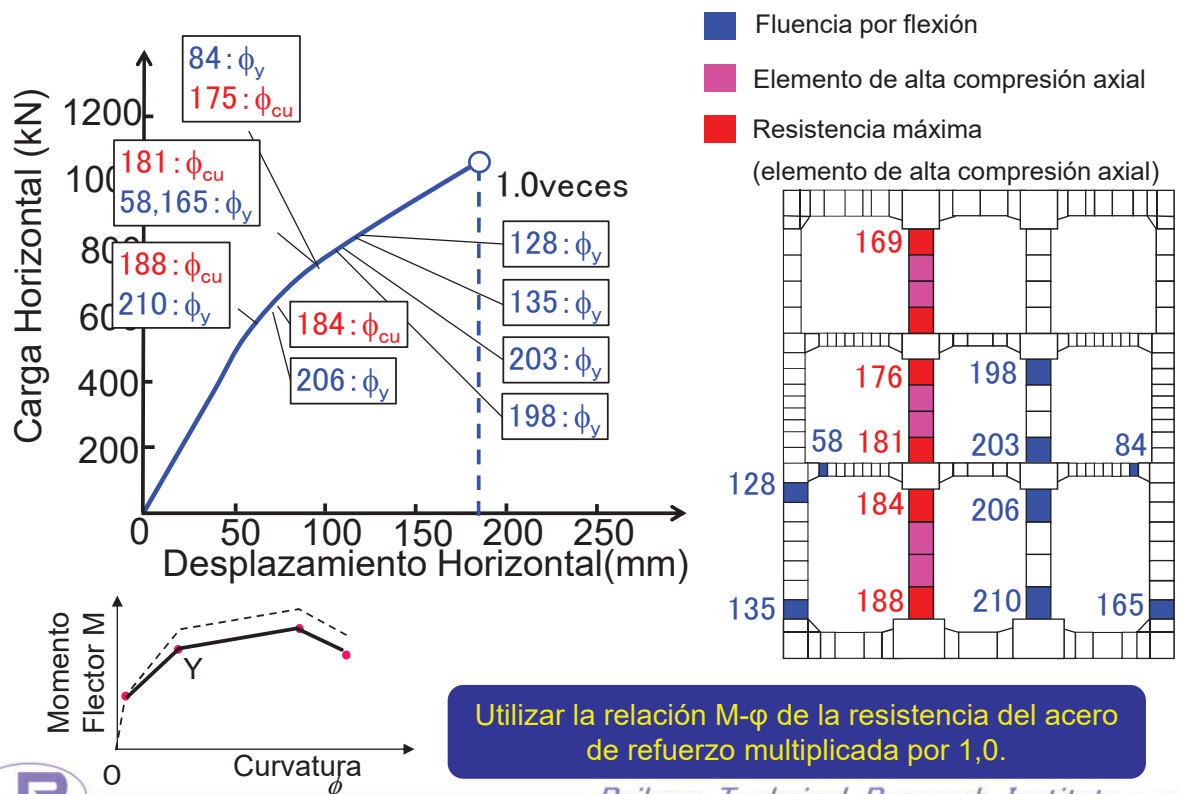
Configuración de las acciones sísmicas



Verificación de mecanismo de falla por el método de desplazamiento de respuesta

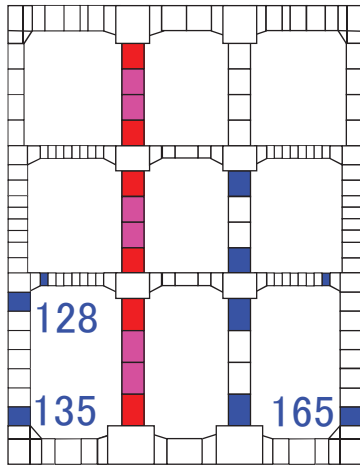


Cálculo de valor de respuesta



Verificación de Desempeño

Verificación de Muro Lateral



Muro Lateral		128	135	165
V. Respuesta	ϕ_d	0.00990	0.01945	0.02475
Valor Límite de Diseño	ϕ_{yd}	0.00536	0.00182	0.00683
	ϕ_{md}	0.03912	0.02954	0.05774
	ϕ_{nd}	0.04497	0.03337	0.06410
	ϕ_d/ϕ_{yd}	1.847	10.687	3.624
	ϕ_d/ϕ_{md}	0.253	0.658	0.429
	ϕ_d/ϕ_{nd}	0.220	0.583	0.386
Nivel de Daño calculado		2	2	2
Valor Admisible		2	2	2

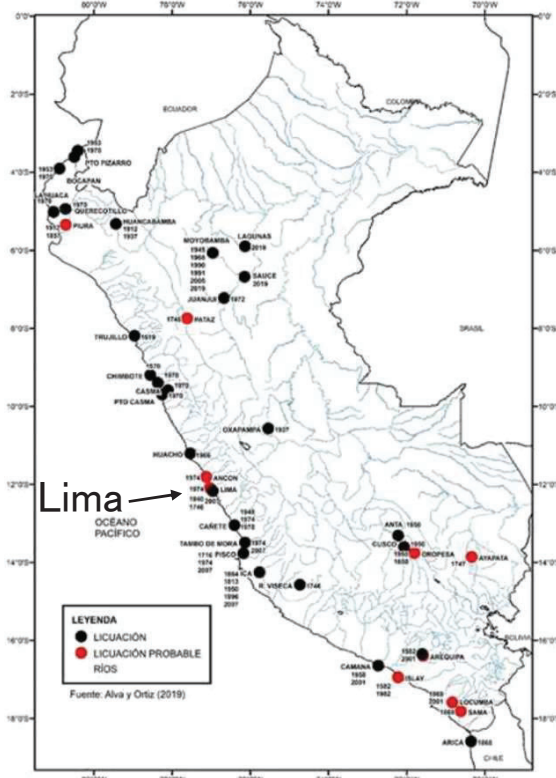


Fig. 15. Map of Soil Liquefaction areas of Peru

Riesgo de licuefacción

3.1.25. October 3, 1974

Earthquake in Lima. According to Huaco et al [27] and Giesecke et al [28], local liquefaction phenomena occurred in the Cañete valley where the water table is very shallow. The most significant local phenomenon happened at Cooperativa La Quebrada, covering an area of 30.000 m². Maggiolo [29] indicates widespread liquefaction at Tambo de Mora, caused by either subsidence or sinking, with subsequent densification along 4 km, parallel to the beach line. Sand-water mixture ejected from sand boils in the northern area. Espinosa et al [30] indicate possible differential settlements in El Callao due to soil liquefaction, and Moran et al [31] present a view of possible liquefaction in Ancon. The maximum intensity of the earthquake was of MM VIII, the magnitude (Ms) was 7.5 and the maximum acceleration recorded at the Parque de la Reserva station in Lima was 190 cm/s² EW component.

Reference: J. Alva et al.(2020):ACTUALIZACIÓN DE LA OCURENCIA DEL FENÓMENO DE LICUACIÓN DE SUELOS EN EL PERÚ



Evaluación de licuefacción

Método detallado: Método por análisis dinámico

Evaluar el riesgo de licuefacción calculando el aumento del exceso de presión de poros, etc. utilizando el método de análisis de tensión eficaz.

Método simplificado: Método por factor de resistencia a licuefacción F_L

El factor de resistencia a licuefacción F_L se calcula en cada profundidad del sondeo, y determina el riesgo de licuefacción del suelo.

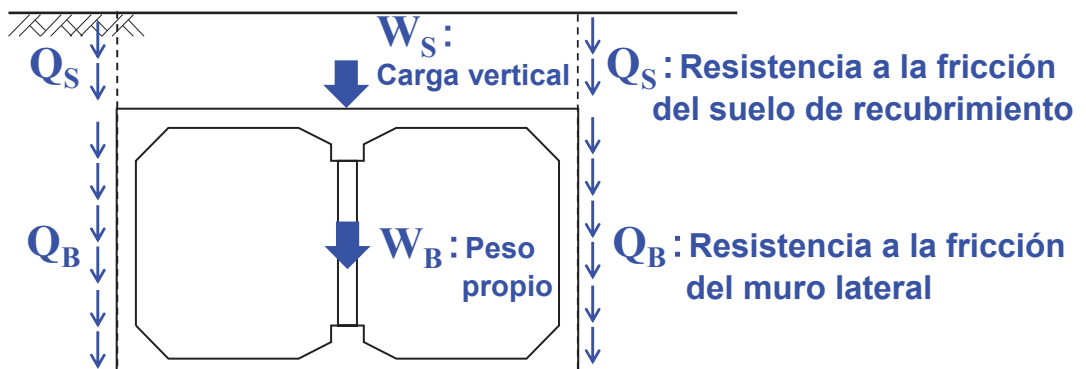
$$F_L = \frac{R}{L} \quad \longrightarrow \quad \begin{cases} F_L \geq 1.0 \dots \text{No ocurre licuefacción.} \\ F_L < 1.0 \dots \text{Ocurre licuefacción.} \end{cases}$$

R : Razón de fuerza de licuefacción,

L : Razón máxima de tensión cortante en terremoto



Método por factor de seguridad de elevación



$$\text{Factor de seguridad de elevación} : \frac{U_S + U_D}{W_S + W_B + 2Q_S + 2Q_B} \leq 1.0$$

Si el factor es menor o igual a 1, no se produce la elevación.



Verificación del desempeño del túnel a cielo abierto frente la licuefacción

Valor límite de diseño sobre **la estabilidad** (seguridad·recuperabilidad)

Se realiza **cuando el suelo alrededor de la estructura se licua.**

Nivel	Estado
1	Cuando no se produce la licuefacción, Cuando se ejecutan las obras adecuadas de medidas contra la licuefacción, ocurre la licuefacción, pero el factor de seguridad de elevaciones de 1 o menos.
2	Cuando el factor de seguridad de elevación es mayor a 1, pero su rango y grado es limitado, y se considera que no ocurrirá una elevación, el valor de determinación de elevación PL es de 20 o menos.



Muchas Gracias

ありがとうございました。



Anexo-07

Presentación sobre el Quinto Informe

Ejemplo de Matriz de Desempeño

Ejemplo del nivel de Importancia de las estructuras en las normas sísmicas japonesas

- ✓ En caso de las normas sísmicas japonesas, se establece el nivel de importancia de las estructuras de ingeniería civil, teniendo en cuenta los siguientes **3 puntos**;
 - (1) Con respecto a la evacuación, el rescate y la prevención de desastres secundarios.
 - (2) Con respecto a funciones relacionadas con la vida y las actividades económicas.
 - (3) Con respecto a la restauración inmediata de funciones urbanas. La dificultad de restaurar cada estructura.
- ✓ En las normas sísmicas japonesas se establece la importancia de estructuras en dos o tres niveles.
- ✓ Los ejemplos de niveles de importancia son los siguientes;

Ferrocarriles:

- ① Alto: Estructuras del tren bala (Shinkansen) y del tren de pasajeros de grandes ciudades, así como estructuras difíciles de reparar, como el túnel construido con el método de corte y cubierta, etc.
- ② Otros

Puentes de carretera:

- ① Alto: Puentes de autopistas nacionales, puentes de autopistas urbanas y puentes de carreteras nacionales. En caso de carreteras locales; pasos elevados de la carretera, pasos elevados ferroviarios y puentes importantes en términos del plan de prevención de desastres y de servicios, etc.
- ② Otros

Instalación de suministro de agua:

- ① Alto: Instalaciones con alto riesgo de desastres secundarios, como embalses situados sobre zonas residenciales. Instalaciones sin alternativas, etc.
- ② Moderado: Instalaciones con bajo riesgo de desastres secundarios. Instalaciones con alternativas etc.
- ③ Otros

- ✓ En caso de las normas ferroviarias, el administrador ferroviario puede decidir los niveles de importancia después de analizar la situación de cada estructura.

1

Normas japonesas para ferrocarriles y carreteras

Ferrocarriles:

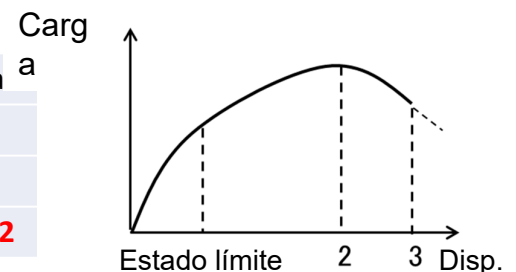
- ① Alto: Estructuras del tren bala (Shinkansen) y del tren de pasajeros de grandes ciudades, así como estructuras difíciles de reparar, como el túnel construido con el método de corte y cubierta, etc.
- ② Otros

	Seguridad		Recuperabilidad
	Descarrilamiento	Estructura	
Terremoto	Nivel 1 (bajo)	Nivel 2 (alto)	(alto)
Otros	○	○	—
Alto	○	○	○

Puentes de Carretera:

- ① Alto: Puentes de autopistas nacionales, puentes de autopistas urbanas y puentes de carreteras nacionales. En caso de carreteras locales; pasos elevados de la carretera, pasos elevados ferroviarios y puentes importantes en términos del plan de prevención de desastres y de servicios, etc.
- ② Otros

	Usabilidad	Seguridad	Recuperabilidad
Terremoto	Nivel 1 (bajo)	Nivel 2 (alto)	(alto)
Otros	Estado límite 1	Estado límite 3	—
Alto	Estado límite 1	Estado límite 3	Estado límite 2



2

MANUAL DE PUENTES

1) Puentes críticos:

deben permanecer abiertos para el tránsito de todo tipo de vehículos después del sismo de diseño con **1.000 años de período de retorno**, y deben estar disponibles para los vehículos de emergencia con fines de seguridad y/o protección, inmediatamente después de un gran terremoto con **un período de retorno de 2.500 años**.

2) Puentes esenciales:

estarán abiertos para los vehículos de emergencia con fines de seguridad y/o protección, inmediatamente después del terremoto de diseño con **un período de retorno de 1.000 años**.

Requisito desempeño	Usabilidad 2	Usabilidad 1
Periodo de retorno del terremoto de diseño	2.500 años	1.000 años
Crítico	utilizado por vehículos de emergencia	abierto para todo tipo de vehículos
Esencial	—	abierto para vehículos de emergencia
Otros	—	—

3

MANUAL DE PUENTES

1) Puentes críticos:

deben permanecer abiertos para el tránsito de todo tipo de vehículos después del terremoto de diseño con **1.000 años de período de retorno**, y deben estar disponibles para los vehículos de emergencia con fines de seguridad y/o protección inmediatamente después de un gran terremoto con **un período de retorno de 2.500 años**.

2) Puentes esenciales:

estarán abiertos para los vehículos de emergencia o/con fines de seguridad y/o protección inmediatamente después del terremoto de diseño con **un período de retorno de 1.000 años**.

Requisito desempeño	Usabilidad 2	Usabilidad 1	Seguridad
Periodo de retorno del terremoto de diseño	2.500 años	1.000 años	○○ años
Crítico	utilizado por vehículos de emergencia	abierto para todo tipo de vehículos	no colapsar ni causar daños graves a las personas
Esencial	—	abierto para vehículos de emergencia	
Otros	—	—	

4

MANUAL DE PUENTES + E030

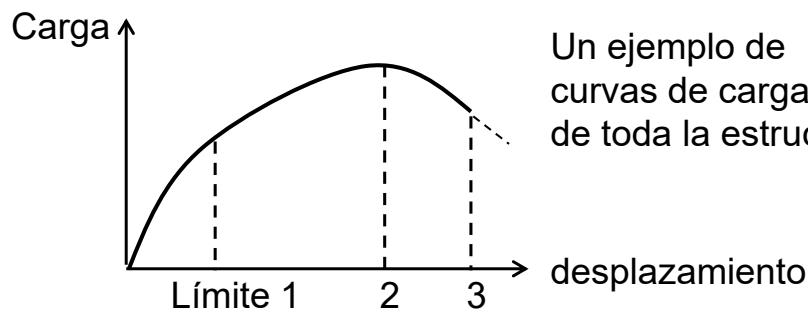
- a. La estructura no debe colapsar ni causar daños graves a las personas debido a **sismos severos**, aunque puede sufrir daños significativos.
- b. La estructura debe soportar los movimientos de suelo equivalentes a un **terremoto moderado**, y puede sufrir daños reparables dentro de los límites tolerables.
- c. Para los edificios esenciales, se requieren consideraciones especiales para garantizar que sigan siendo utilizables después de un **terremoto severo**.

	(E030 c)	(E030 b)	(E030 a)
Requisito desempeño	Usabilidad 2	Usabilidad 1	Seguridad
Periodo de retorno del terremoto de diseño	2.500 años	1.000 años	2.500 años
Crítico	usado por vehículos de emergencia	abierto para todo tipo de vehículos	no colapsar ni causar daños graves a las personas
Esencial	—	abierto para vehículos de emergencia	
Otros	—	—	

5

Método de diseño de estado límite

Cuando usamos el método de diseño de estado límite,



Requisito desempeño	Usabilidad 2	Usabilidad 1	Seguridad
Periodo de retorno del terremoto de diseño	2.500 años	1.000 años	2.500 años
Crítico	usado por vehículos de emergencia (límite 2)	abierto para todo tipo de vehículos (límite 1)	no colapsar ni causar daños graves a las personas (límite 3)
Esencial	—	abierto para vehículos de emergencia (límite 2)	
Otros	—	—	

6

Requisitos de desempeño para carreteras y ferrocarriles

Seguridad: Todas las estructuras no deben colapsar ni causar daños graves a las personas debido a sismos severos, aunque pueden sufrir daños significativos.

Usabilidad: La estructura esencial debe garantizar la continuidad de los servicios básicos. **Los servicios básicos necesarios deben definirse en función de su importancia en consideración al impacto social, la recuperabilidad, etc.**

Recuperabilidad: Las estructuras críticas pueden ser reparadas en un corto período de tiempo incluso después de un terremoto severo. **El periodo de reparación puede ser controlado por el nivel de daño permisible de las estructuras.**

Requisito desempeño	Recuperabilidad	Usabilidad	Seguridad
Periodo de retorno del terremoto de diseño	2.500 años	1.000 años	2.500 años
Crítico	○	○	○
Esencial	—	○	○
Otros	—	—	○

Anexo-08

Presentación en el Seminario en Línea del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS)

**Elaboración de la norma de diseño sismorresistente de
estructuras subterráneas**

Elaboración de la norma de diseño sismorresistente de las estructuras subterráneas

Instituto de Investigación Técnica de Ferrocarriles
Centro de Investigación de
Ingeniería Sísmica de Ferrocarriles
Investigador Senior



Jun IZAWA



Railway Technical Research Institute

1

Normativa de diseño sismorresistente de Japón

Norma de Diseño Sísmico para Estructuras Ferroviarias y Cometarios (2012)

La norma de diseño fue revisado en base a la experiencia de los desastres del Gran Terremoto de Tohoku (2011) y el Sismo de Kobe (1995).

La norma sísmica se puede aplicar para el diseño de puentes, viaductos, estructuras de cimentación, estructuras de contención (muros, pilares, etc.), taludes y **túneles**.



Esta norma está sujeta a la Norma Internacional ISO23469(2005) y aplica la metodología denominada **diseño basado en desempeño**.



Railway Technical Research Institute

2

Asistencia a la elaboración de la Norma de Técnica de Diseño Sismorresistente de las estructuras subterráneas (2017-)

MTC del Perú: Elaborando la norma de diseño sismorresistente para las estructuras subterráneas

↓ “¡Queremos adoptar el diseño basado en desempeño de Japón!”

JICA (Embajada del Japón, Ministerio de Tierras, Infraestructura, Transporte y Turismo) Asistencia a la elaboración de la norma de diseño mediante el envío de los expertos en el diseño sismorresistente



Railway Technical Research Institute

3

Temas de hoy

- ① Historia de los daños sísmicos en Japón y la evolución de la norma de diseño sismorresistente
- ② Concepto del Diseño basado en Desempeño (Concept of Performance based Design)

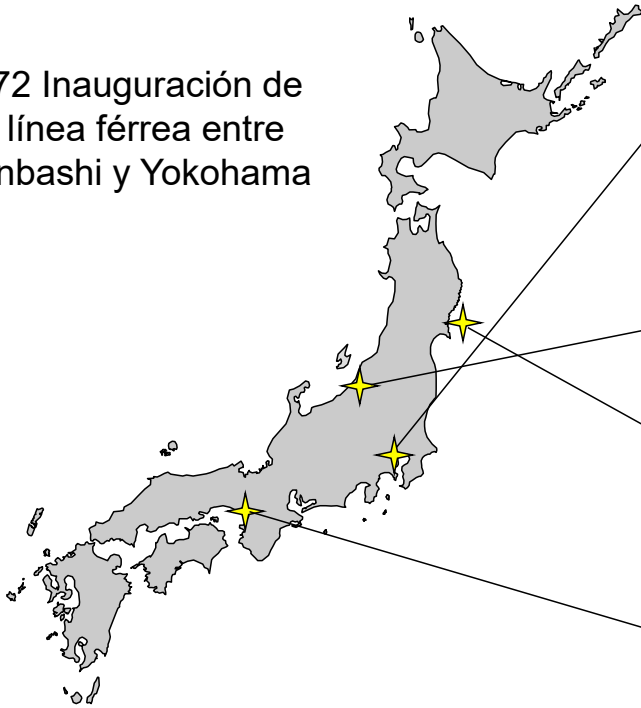


Railway Technical Research Institute

4

Sismos en el Pasado (~2000)

1872 Inauguración de la línea férrea entre Shinbashi y Yokohama



Año	Sismo	M
1923	Gran Sismo de Kantō	7.9
1927	Kita-Tango	7.3
1930	Kita-Izu	7.3
1948	Fukui	7.1
1952	Tokachi-Oki	8.2
1961	Kita-Mino	7.0
1964	Niigata	7.5
1968	Tokachi	7.9
1978	Izu Ohsima Kinkai	7.0
1978	Miyagi-Oki	7.4
1982	Uraga-Oki	7.1
1983	Nihonkai-Chubu	7.7
1993	Hokaido-Nansei-Oki	7.8
1995	Hyogo-ken Nambu	7.2



1923 Gran Sismo de Kantō

Magnitud de 7.9
142,800 fallecidos/desaparecidos

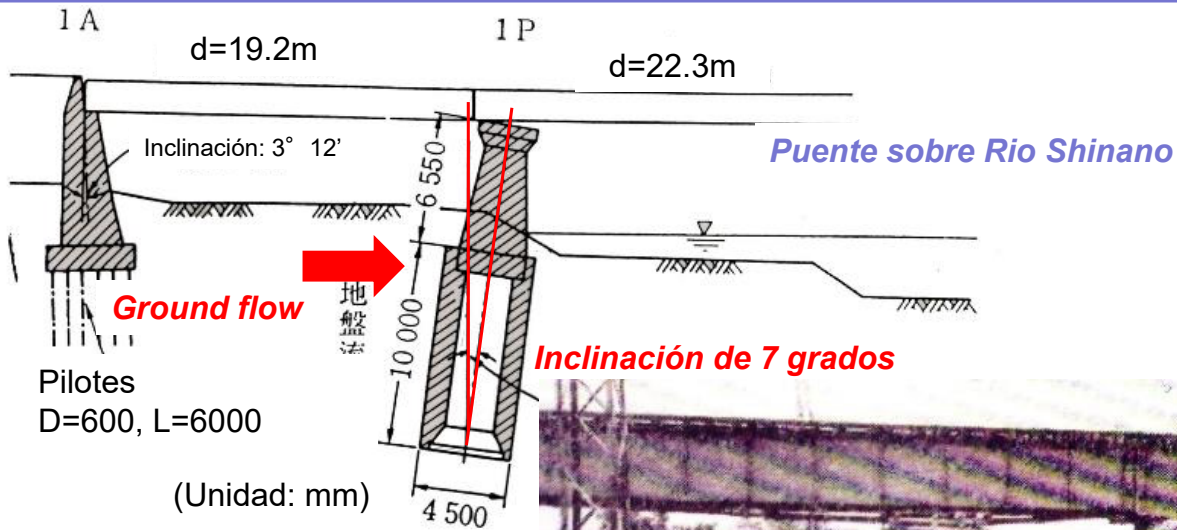


Daños en el terraplén de la vía férrea

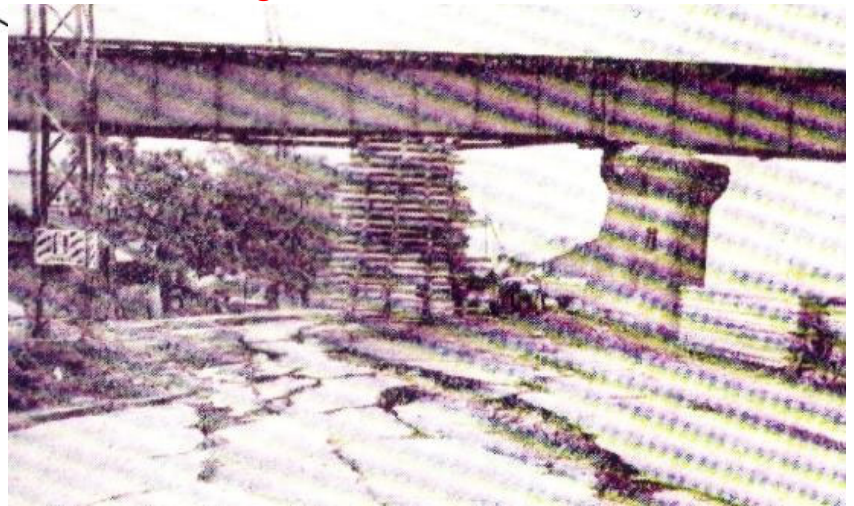
Diseño sísmico con $k_h=0.2$ desde 1930.



1964 Sismo de Niigata (M7.5)



A partir del año 1974 se introduce la evaluación de la licuefacción en el diseño sismorresistente



1978 Sismo de Miyagi-Oki (M7.4)



Introducción del método de intensidades sísmicas modificado, entre otros



1995 Sismo de Hyogo-ken Nambu (M7.2)

- Ocurrió el 17 Ene.1995 a las **A.M.5:46**
- Magnitud: 7.2

Gran impacto con una **intensidad sísmica mayor a 7** golpeó la ciudad de Kobe

Epicentro



Nro. De Fallecidos: 6,434
Nro. De Heridos: 43,792



Railway Technical Research Institute

9

1995 Sismo de Hyogo-ken Nambu (M7.2)

Falla por Corte en Columnas de Concreto Armado



La falla por corte de las columnas de CA causo un daño fatal que concluyó en el colapso de las vigas (falla frágil).



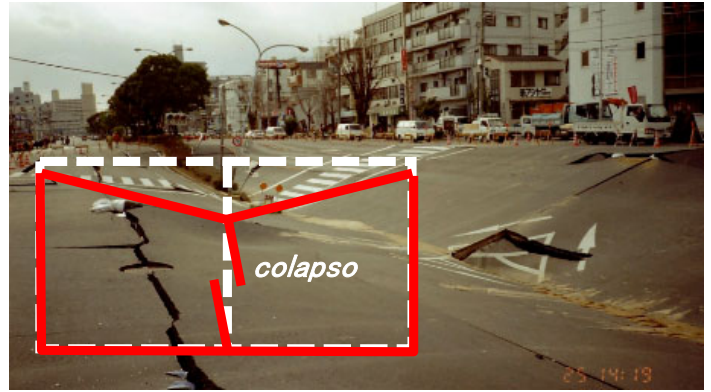
Railway Technical Research Institute

10

1995 Sismo de Hyogo-ken Nambu (M7.2)

La **columna central** colapsó debido a una **falla por corte**.
 Antes de este sismo, en Japón se consideraba que las estructuras subterráneas tenían un alto desempeño sísmico.

● Se necesitó 6 meses para restaurar la operación del ferrocarril.



1999 Túnel a cielo abierto:

Propenso a tener mayores efectos por sismos → Diseño Sismorresistente
 Dificultad de restauración → Infraestructuras importantes → Evaluación de recuperabilidad

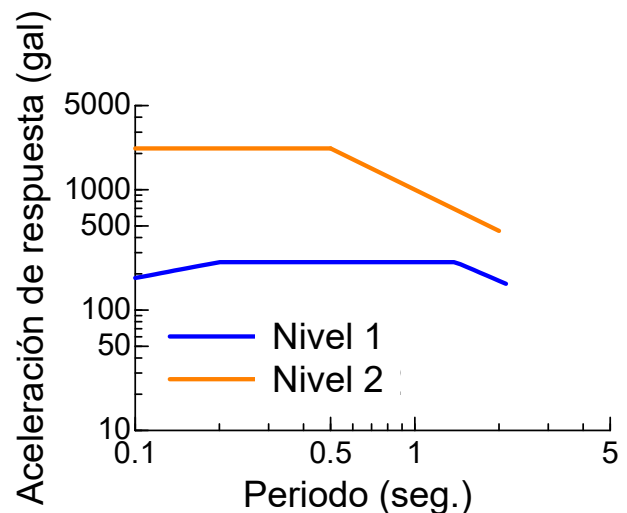


1995 Sismo de Hyogo-ken Nambu (M7.2)

Recubierto con laminas de acero



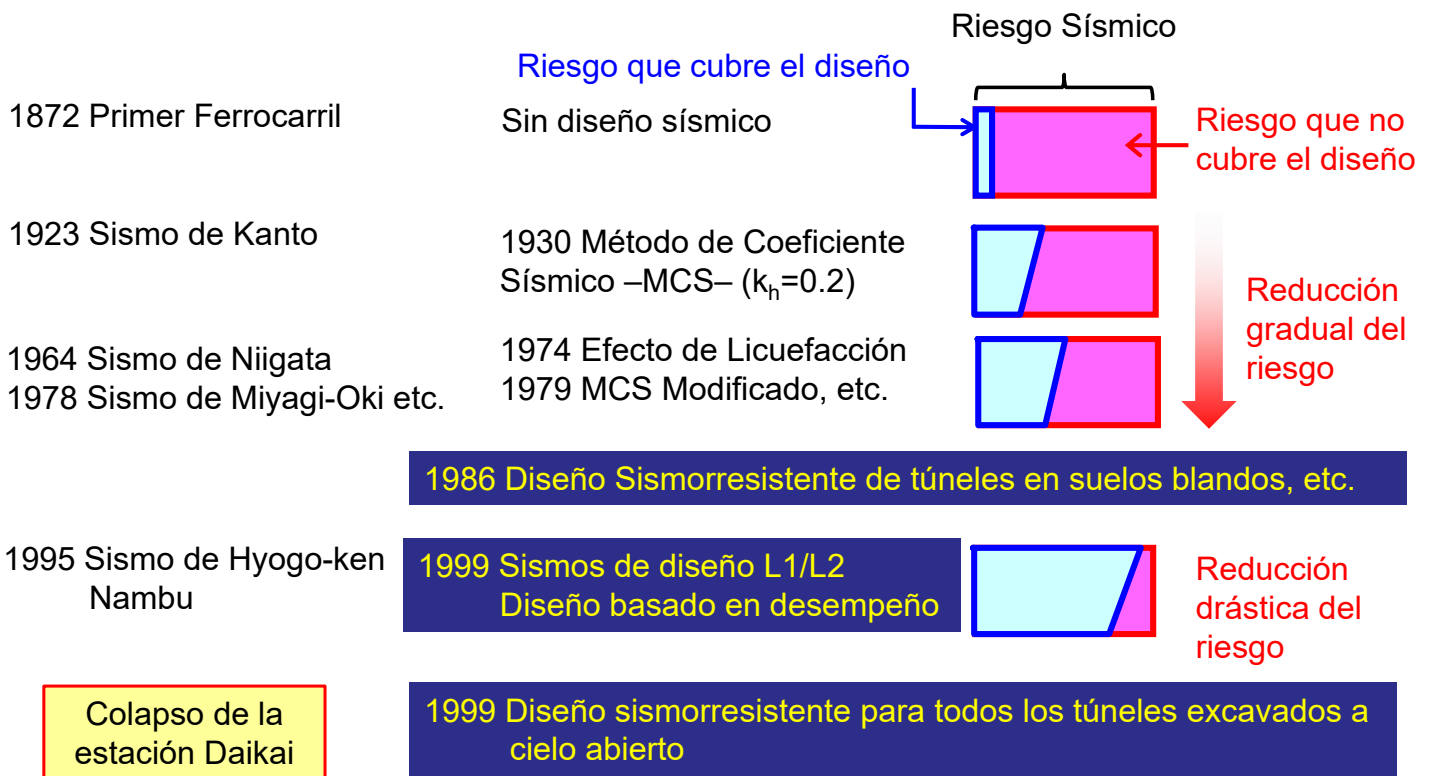
1995~ Implementación de refuerzo sísmico de emergencia.



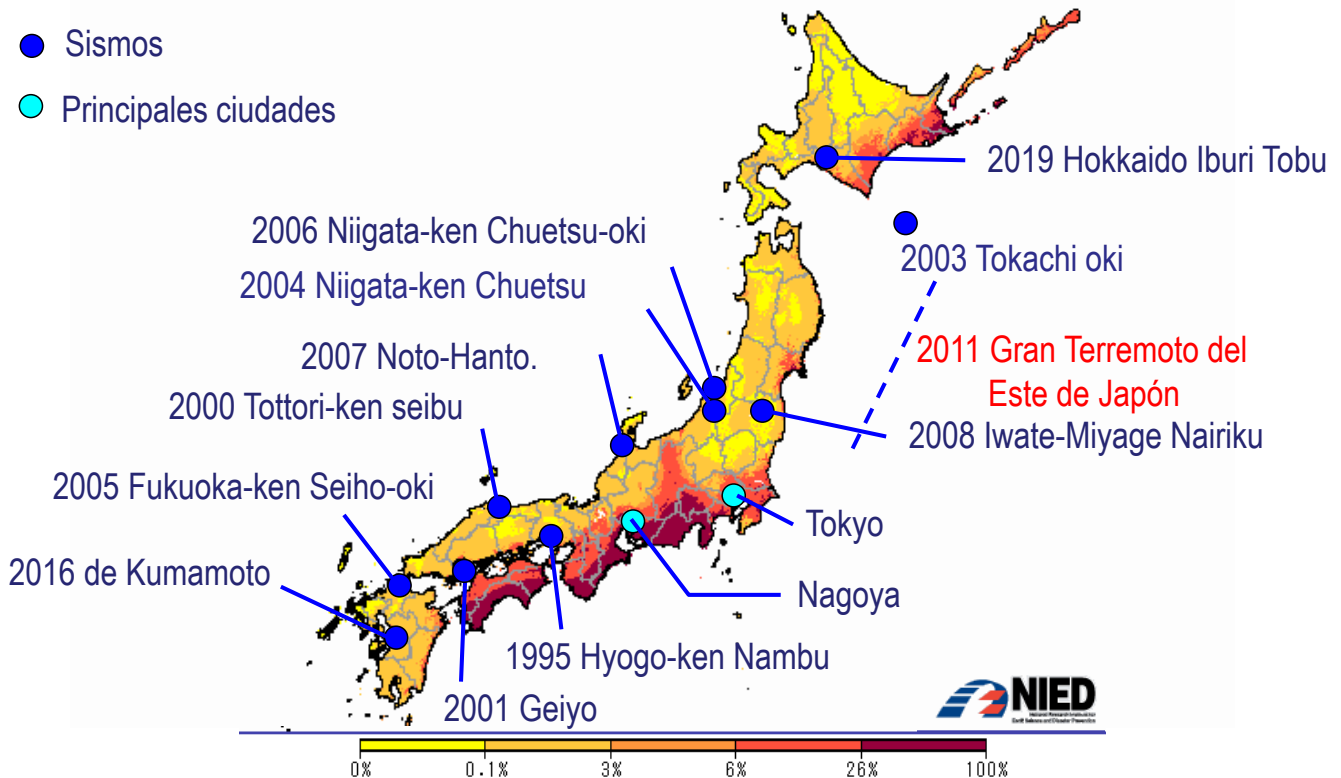
1999 Diseño de dos etapas (L1, L2)



Desastres Sísmicos y Transición de la Norma de Diseño



Sismos en el Pasado (2000~)



Probabilidad de ocurrencia de un evento sísmico con una intensidad mayor a 6 durante 30 años
(*Sismos producidos en el océano)



2011 Gran Terremoto del Este de Japón (M9.0)

Se produjeron 4 sismos en 1 día, todos con magnitud > 7.0 !!!

M 9.0,
Sismo principal,
2:46 p.m.

M 7.4,
3:08 p.m.

M 7.5,
3:25 p.m.

M 7.7,
3:15 p.m.

Numerosas réplicas golpearon el área del desastre una y otra vez.



Railway Technical Research Institute

15

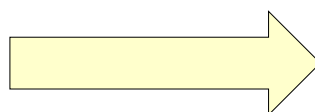
2011 Gran Terremoto del Este de Japón (M9.0)

1995 Sismo de Hyogo-ken Nambu

2011 Gran Terremoto del Este de Japón



Falla por corte



Falla por flexión

Con refuerzos sísmicos de emergencia y modificación de la norma de diseño se evitaron los daños catastróficos



Railway Technical Research Institute

16

2011 Gran Terremoto del Este de Japón (M9.0)



Muchos postes eléctricos colapsaron debido a la intensidad sísmica. La restauración tomó mucho tiempo en comparación con otras estructuras.

2012 Mención sobre el método de cálculo del valor de respuesta de los elementos de instalaciones complementarias



Railway Technical Research Institute

17

2011 Gran Terremoto del Este de Japón (M9.0)



Daños en las vigas y estribos/pilares de los puentes debido a la escorrentía producida por el tsunami

2012 Introducción del Método Anti-Catástrofe

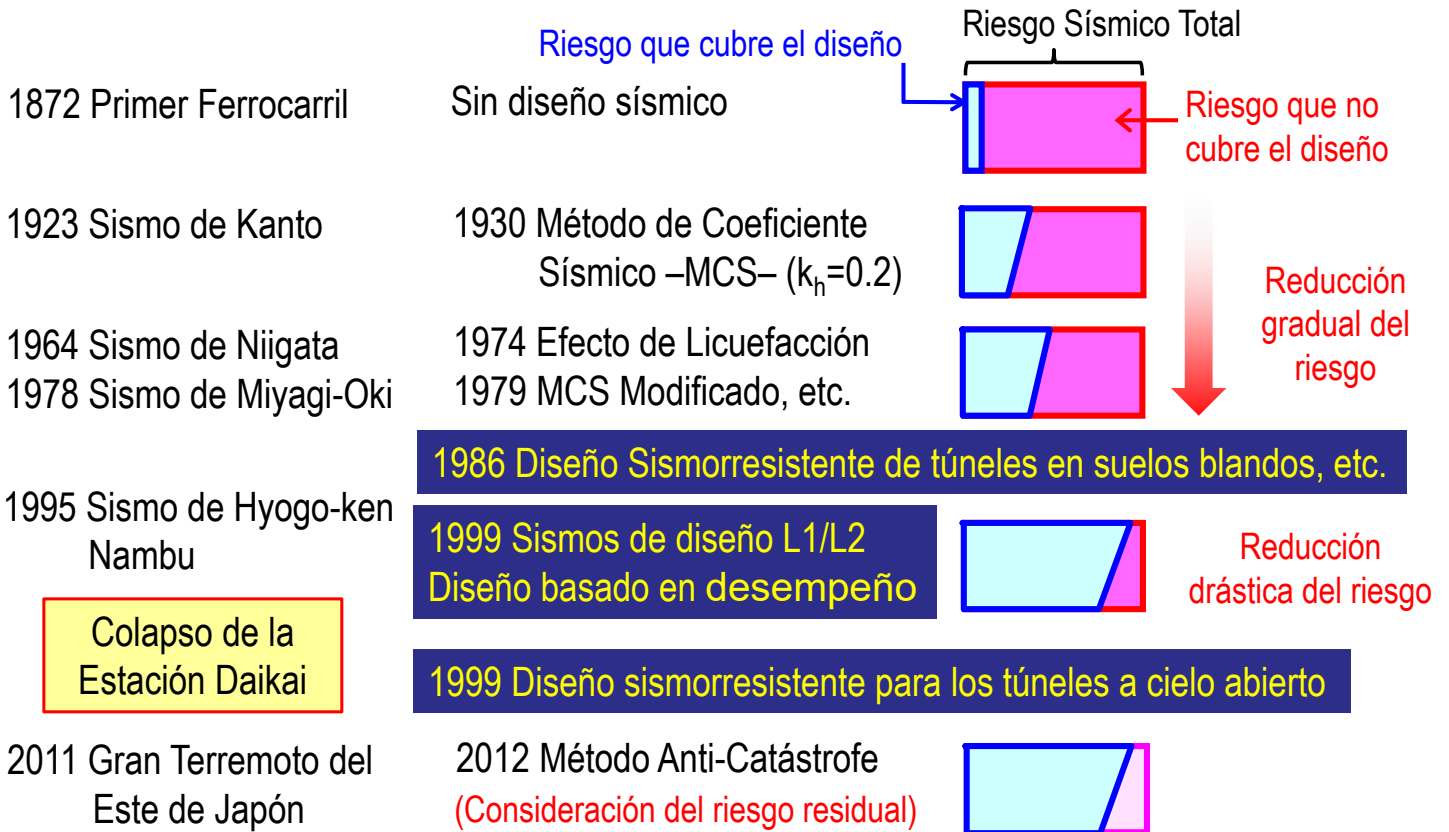
Desempeño que no conduce a una situación catastrófica incluso contra una fuerza externa inesperada



Railway Technical Research Institute

18

Desastres Sísmicos y Transición de la Norma de Diseño



Temas de hoy

- ① Historia de los daños sísmicos en Japón y la evolución de la norma de diseño sismorresistente
- ② Concepto del Diseño basado en Desempeño (Concept of Performance based Design)



Diseño basado en desempeño

Consiste en **especificar el desempeño estructural requerido** y **evaluar objetivamente** si la estructura retiene dicho desempeño a lo largo del período de ensayo.

- Da a conocer a la sociedad el desempeño mediante descripción e indicación para aumentar la fiabilidad;
- permite seleccionar libremente los materiales y el tipo estructural;
- permite aplicar la tecnología innovadora para asegurar el desempeño;
- responde a la globalización tecnológica de los materiales de construcción que circulan en el mercado internacional; etc.



Ejemplos del desempeño estructural requerido

No causar decesos ante grandes sismos : Seguridad

Permitir rehabilitar en pocos días en medianos sismos : Facilidad de rehabilitar

Permitir el uso inmediato después de sismos menores : Usabilidad

Desempeño requerido	Magn. de sismos	Importancia		
		Alta	mediana	baja
Seguridad	Grande	✓	✓	✓
Facilidad de rehabilitar	Mediana	✓	✓	-
Usabilidad	Pequeña	✓	-	-

Controlar el desempeño según la importancia de la estructura

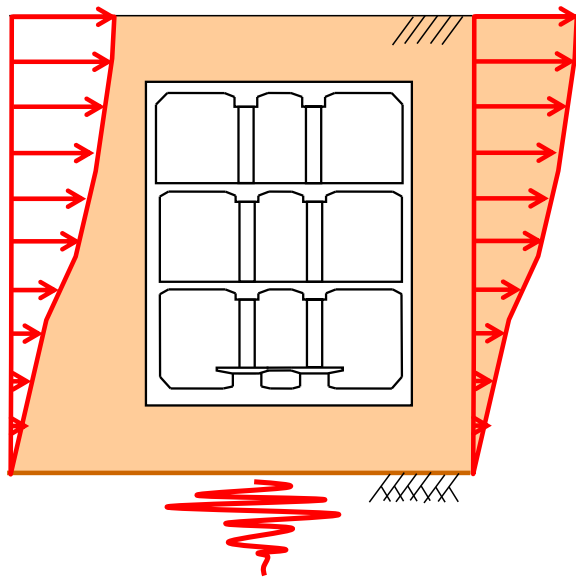


Diseño y construcción económica

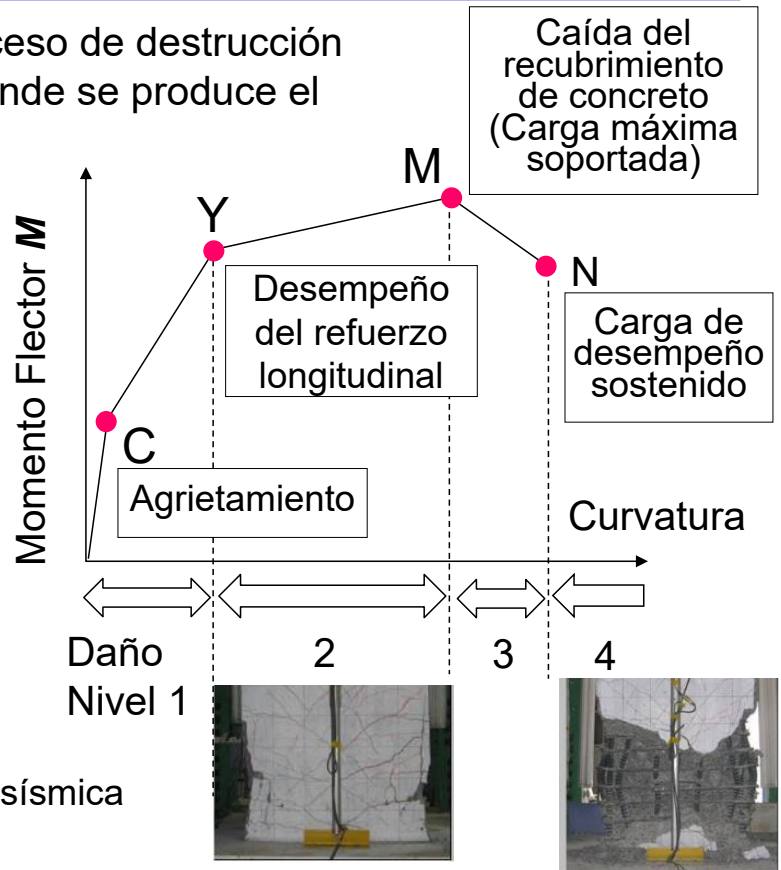


Evaluar objetivamente el desempeño

Cálculo de diseño: Rastrear el proceso de destrucción de la estructura y calcular hasta donde se produce el daño ante la vibración sísmica.



Deformación del suelo por la vibración sísmica
Deformación del túnel



Evaluar objetivamente el desempeño Niveles límite de los daños

Definir los niveles límite de los daños de cada miembro y diseñar para que los daños producidos sean menores a los límites definidos para satisfacer el desempeño requerido.

Niveles límite de daños de los miembros

	Usabilidad	Facilidad de rehabilitar	Seguridad
Losas superiores e inferiores	1	2	3
Losas Que soportan los vagones	1	2	3
Losas intermedias Que no soportan los vagones	2	3	3
Paredes laterales	1	2	3
Pilares centrales	1	2	3



Anexo-09

**Presentación en el Seminario en Línea del
Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento
(MVCS)**

Planificación del Transporte Urbano

Planificación del Transporte Urbano

~Para un transporte urbano resistente a los desastres~



30 de octubre, 2020
NIPPON KOEI Co., Ltd.
Mochizuki

NIPPON KOEI

Índice

1. Transporte urbano y desastres en Japón
2. Riesgo de desastres en América del Sur (ejemplos en Lima, Perú)
3. Concepto de planificación del transporte urbano resistente a los desastres
4. Ejemplos de medidas tomadas en Japón (Plan)
5. Ejemplos de medidas tomadas en Japón (Infraestructura / Operación)
6. Resumen

1. Transporte urbano y desastres en Japón (ejemplos)

Gran Terremoto de Hanshin-Awaji (1995)



https://www.hanshin.co.jp/company/history/index_5.html

Gran Terremoto y Tsunami del Este de Japón (2011)



https://www.npa.go.jp/hakusyo/h23/honbun/html/1-toku1_2_1.html

Inundación de Fukuoka (2005)

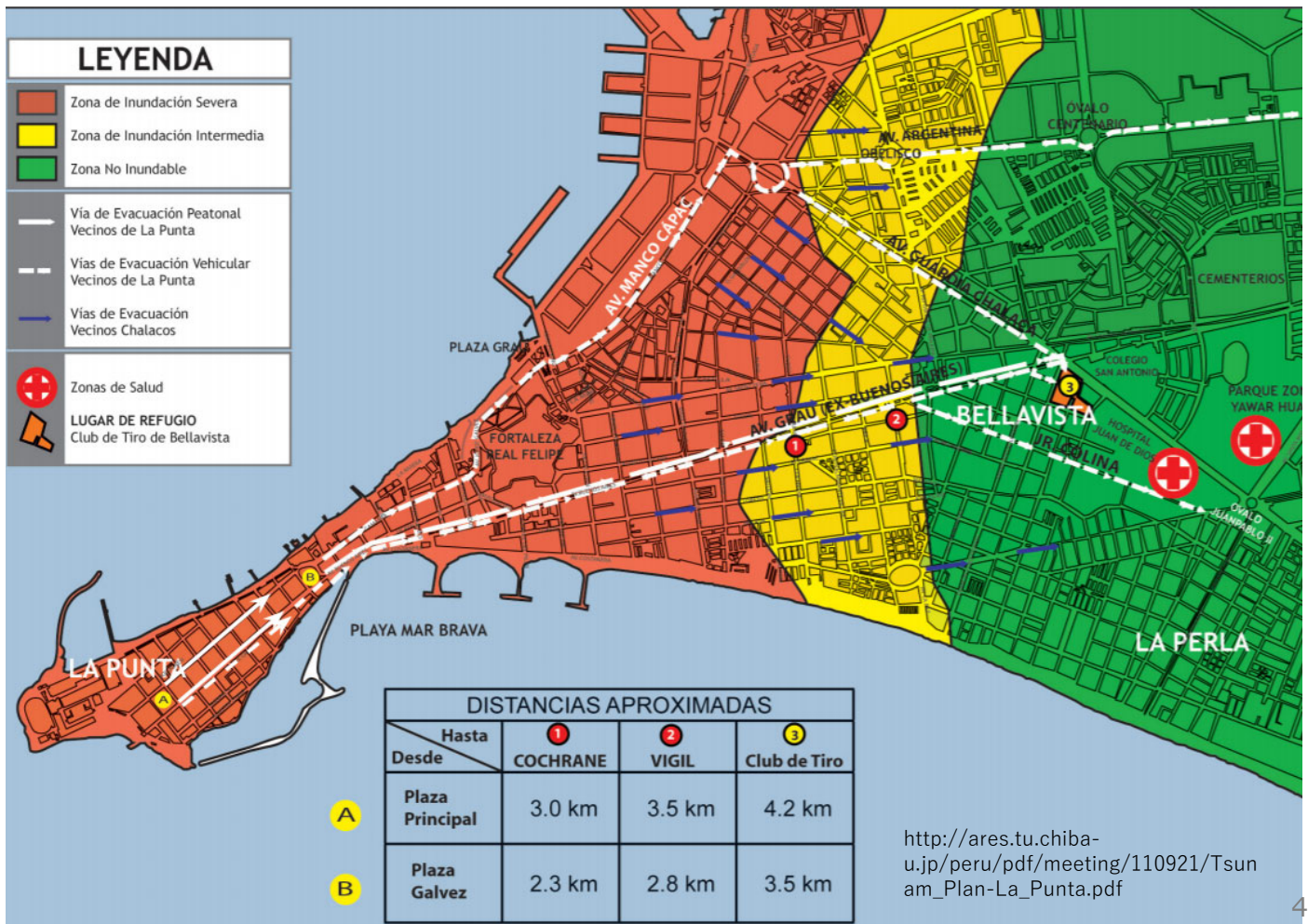


2. Riesgos previstos de desastres en América del Sur (ejemplos en Lima, Perú)

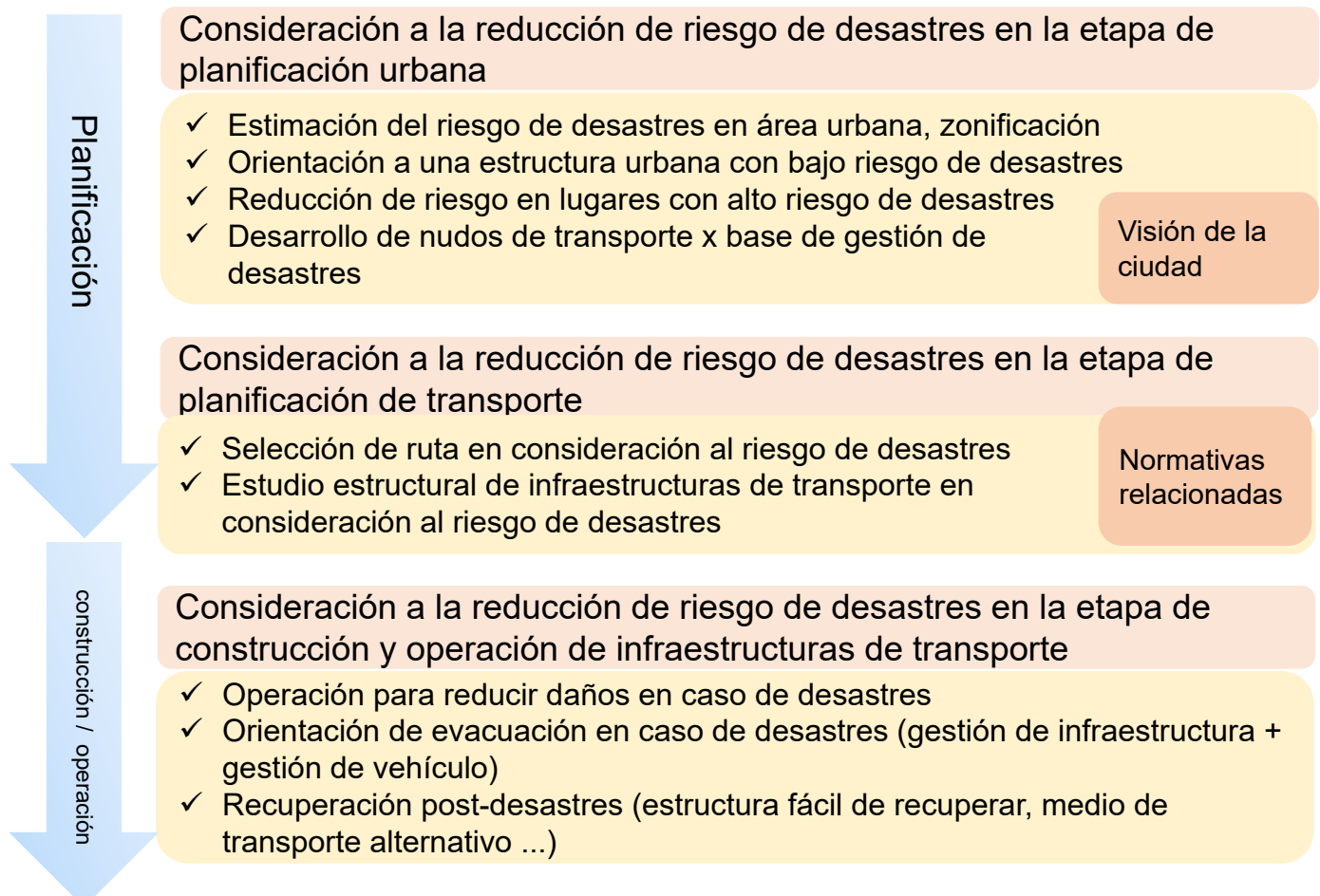
- Daños a las infraestructuras de transporte por el movimiento sísmico
- Daños a las infraestructuras de transporte por el tsunami
- Incendio a gran escala en las zonas urbanas densamente pobladas
- Desbordamiento de ríos e inundaciones debido a fuertes lluvias
- Deslizamientos de tierra en las áreas urbanas con pendiente pronunciada debido a fuertes lluvias



2. Riesgo de desastres en América del Sur (ejemplos en Lima, Perú)



3. Concepto de planificación del transporte urbano resistente a desastres

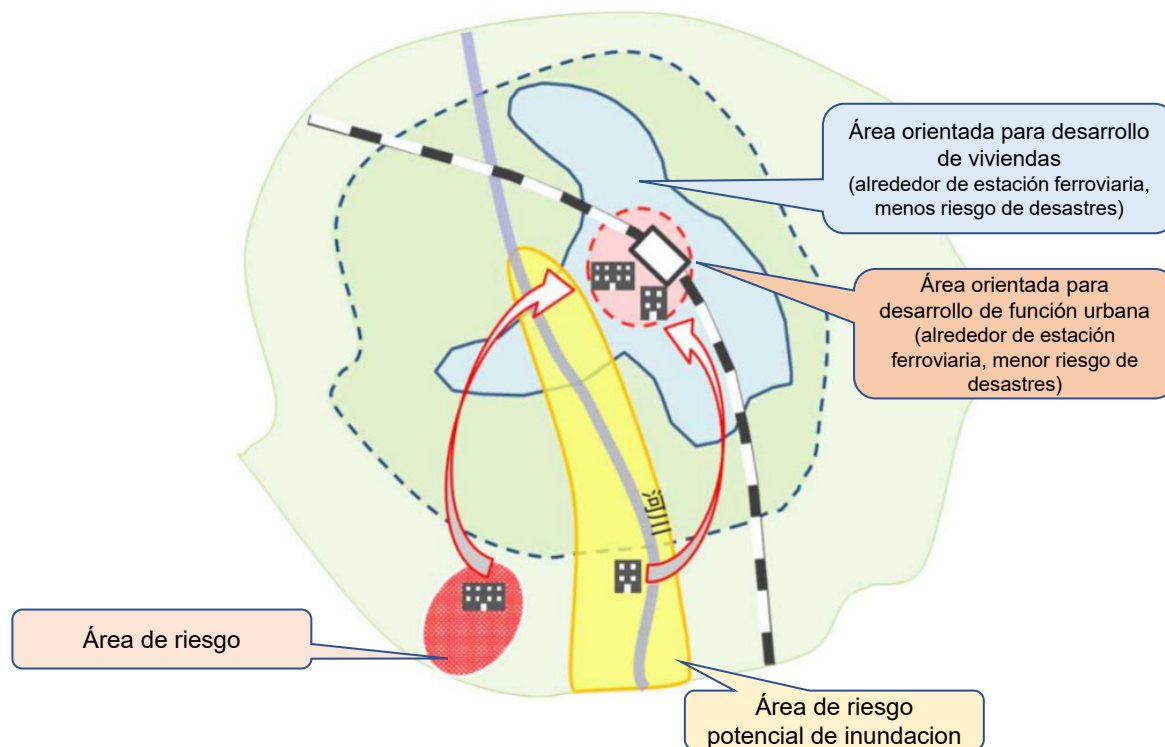


4. Ejemplos de medidas tomadas en Japón (Orientación a una estructura urbana con bajo riesgo de desastres)

- ✓ Priorización de áreas con menos riesgo de desastres dentro de áreas urbanas existentes (plan de optimización de áreas de desarrollo)



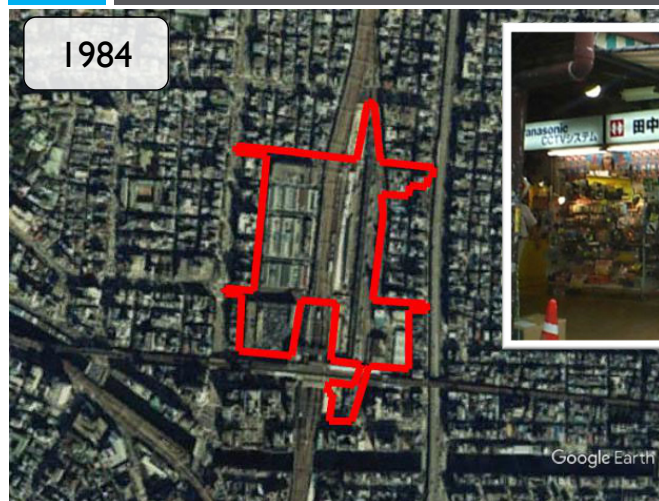
Plan de Transporte



<https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001326007.pdf>

6

4. Ejemplos de medidas tomadas en Japón (Reducción de riesgo de desastres x Desarrollo de nudos de transporte)



Zona de Akihabara
Proyecto de acondicionamiento territorial

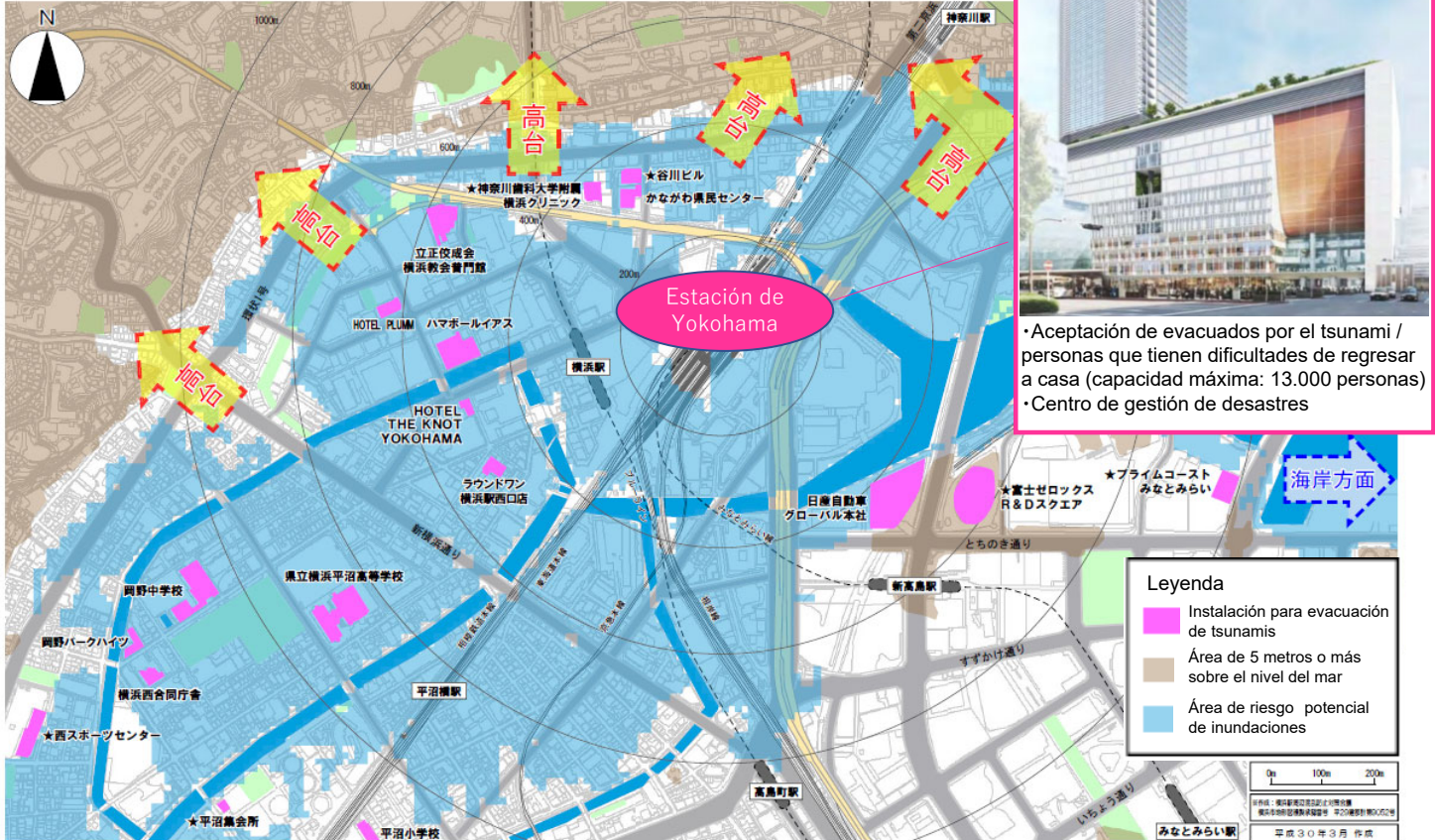
Propietario de Proyecto : Gobierno de Tokio
Período de Proyecto: 1997 – 2011

Área: 8.8 ha

7

4. Ejemplos de medidas tomadas en Japón (Desarrollo de “base de gestión de Desastres”)

Ejemplo del área cercana a la Estación de Yokohama (Estación de Yokohama: 2.3 millones de usuarios/ día)



4. Ejemplos de medidas tomadas en Japón (Selección / revisión de ruta en consideración al riesgo de desastres)

Elevación / reubicación a la zona interior de tramos dañados por el tsunami (Línea Joban)



<https://townscape.kotobuki.co.jp/works/type1/traffic/233.html>

Imagen de defensa múltiple contra tsunami



<https://www.pref.miyagi.jp/uploaded/attachment/666720.pdf>

Caso del Metro de Tokio



https://www.tokyometro.jp/safety/prevention/wind_flood/pdf/measures.pdf

10

6. Resumen

- Frente al riesgo de desastres previsible...
 - ⇒ Hacer "máxima preparación" desde las etapas de planificación y construcción

- Frente al riesgo de desastres "imprevisibles" o "fuera de control por falta de tiempo para tomar medidas" ...
 - ⇒ Dar prioridad a salvar la vida humana y suplementar con la gestión operativa

- Japón ha experimentado varios desastres hasta ahora
 - Es nuestro deseo que la experiencia de Japón sirva para reducir los daños...

11