

Normativas, regulación y seguridad

Profesor: Dr. Yunesky Masip
Escuela de Ingeniería Mecánica
PUCV



Estudio de Normativas de Seguridad del Hidrógeno



Peligros del Hidrógeno

Análisis de Incidentes en China (1999-2019)

Estudio de 120 casos de fallas en sistemas de hidrógeno:

- 32.28% - Fallos en tuberías, juntas y válvulas
- 15.51% - Equipos de almacenamiento
- 35.78% - Fallas por equipos defectuosos
- 14.22% - Errores humanos
- 12.07% - Problemas de diseño

Indica clara falta de comprensión y capacitación en estos sistemas.

Peligros Directos

1. Inflamación (rango de ignición: 4-75%)
2. Expansión brusca en hidrógeno comprimido
3. Peligros por baja temperatura (quemaduras, fragilización)
4. Desplazamiento de aire (asfixia)
5. Fragilización de metales por hidrógeno



Características de Seguridad del Hidrógeno



Gran Flotabilidad

El hidrógeno es el elemento más ligero, lo que permite su rápida dispersión hacia arriba en caso de fuga.



Menor Radiación de Llama

Las llamas de hidrógeno emiten menos radiación térmica que otros combustibles.



Alta Difusividad

Se dispersa rápidamente en el ambiente, reduciendo la concentración peligrosa en espacios abiertos.



No Produce CO

A diferencia de otros combustibles, no genera monóxido de carbono tóxico durante la combustión.

Estos elementos hacen que el hidrógeno, con las tecnologías adecuadas, tenga un riesgo aceptable y comparable a otros combustibles.

Normativa NFPA: Requerimientos Generales

01

Diseño de Edificios

Los edificios deben permitir evacuación segura y fácil acceso para personal de emergencia.

02

Almacenamiento

Prever liberaciones accidentales, incendios cercanos y riesgos alrededor de equipos que transporten hidrógeno.

03

Elementos Vitales

Atención especial a elementos estructurales relevantes para la integridad de la construcción.

04

Plan de Emergencia

Obligatorio cuando se exceda la cantidad máxima permitida. Debe incluir indicaciones de peligro y personal designado.

05

Restricciones

*Prohibido fumar a mínimo 25 pies (7.6 m) de elementos al aire libre.
Protección contra daños vehiculares.*

Sistemas de Ventilación

1

Diseño

Considerar cantidad y densidad de gases liberados

2

Ubicación de Escapes

12 pulgadas (305 mm) del techo para gases menos densos que el aire

3

Descarga

Al aire libre: mínimo 30 ft de líneas de propiedad, 10 ft de entradas a edificios

Los puntos de ingreso deben estar ubicados bajo los escapes y diseñados para evitar bloqueos por escombros, nieve u otros elementos.



Hidrógeno en Estado Gaseoso: Requisitos de Protección



Almacenamiento $<200 \text{ ft}^3$

- Ventilación: Natural o mecánica
- No requiere aislación automática
- Detección: Pérdida de ventilación



Almacenamiento $\geq 200 \text{ ft}^3$

- Ventilación: Natural o mecánica
- Requiere control de explosiones
- Detección: GH2 y pérdida de ventilación



Generación y Compresión

- Ventilación: Mecánica obligatoria
- Requiere aislación automática
- Detección: GH2, fuego, ventilación
- Separación requerida



Equipo de Apoyo

- No contiene hidrógeno
- No requiere ventilación adicional
- Detección: Solo GH2
- Equipo eléctrico sin clasificar

Hidrógeno Líquido: Distancias de Seguridad

Contenedores Portátiles

Para contenedores de 39.7 gal (150 L) o menos:

- *20 ft (6.1 m) de materiales inflamables*
- *25 ft (7.6 m) de equipos eléctricos*
- *50 ft (15 m) de entradas de ventilación*
- *50 ft (15 m) de otros gases inflamables*

Operaciones de soldadura y fumar están prohibidas mientras el hidrógeno esté presente.

Tuberías Enterradas

- *Soldadas sin válvulas bajo tierra*
- *Mínimo 18 pulgadas (450 mm) de relleno en áreas vehiculares*
- *Mínimo 12 pulgadas (300 mm) en áreas sin tráfico*
- *Separación entre tuberías: 2 veces su diámetro (máx. 9 pulgadas)*





Instalaciones de Distribución para Vehículos

1

Inspección Básica

Verificar mangueras, conexiones, detectores de gases, dispensadores, compresores y equipos de separación antes de cada operación.

2

Verificación de Integridad

350 bar: Segunda verificación al 80-90% de presión durante 5 segundos

700 bar: Dos verificaciones (40-50% y 80-90%) si presión inicial <200 bar

3

Límites de Operación

Los contenedores no pueden estar sujetos a presiones mayores al 125% de su presión de trabajo. Razón de entrega máxima: 0.1232 lb (60 g) por segundo.

4

Distancias Mínimas

Dispensadores: 10 ft (3 m) de construcciones, líneas de propiedad y espacios públicos. Extintor a máximo 50 ft (15.2 m) del área de dispensación.

Sistemas de Generación: Electrolizadores

Requisitos de Seguridad

- **Sistema de Apagado**

Obligatorio en caso de falla de ventilación

- **Concentración de Oxígeno**

Debe mantenerse menor a 23.5% en la habitación

- **Ventilación Continua**

Mantener H₂ menor al 25% del límite inflamable inferior

- **Detección Automática**

Iniciar ventilación al 10% del límite inflamable inferior

- **Puertas Resistentes**

Mínimo 1 hora de resistencia al fuego según NFPA 80

*Para sistemas con capacidad entre 1.3 oz/hr (36 gr/hr) y 220 lb/hr (100 kg/hr).
Sistemas mayores deben seguir estándares nacionales específicos.*

*En instalaciones en techos, el material alrededor de componentes
dentro de 12 in. (305 mm) debe ser no combustible.*



Reglamento de Seguridad de Instalaciones de Hidrógeno

Decreto Supremo N° 13 del Ministerio de Energía establece normas de seguridad para instalaciones de hidrógeno en Chile, publicado el 24 de junio de 2024.





Marco Legal y Objetivos

Base Normativa

Fundamentado en la Ley N° 21.305 sobre eficiencia energética y el DL N° 2.224 que crea el Ministerio de Energía

Objetivo Principal

Establecer requisitos mínimos de seguridad en diseño, construcción, operación y mantenimiento de instalaciones de hidrógeno

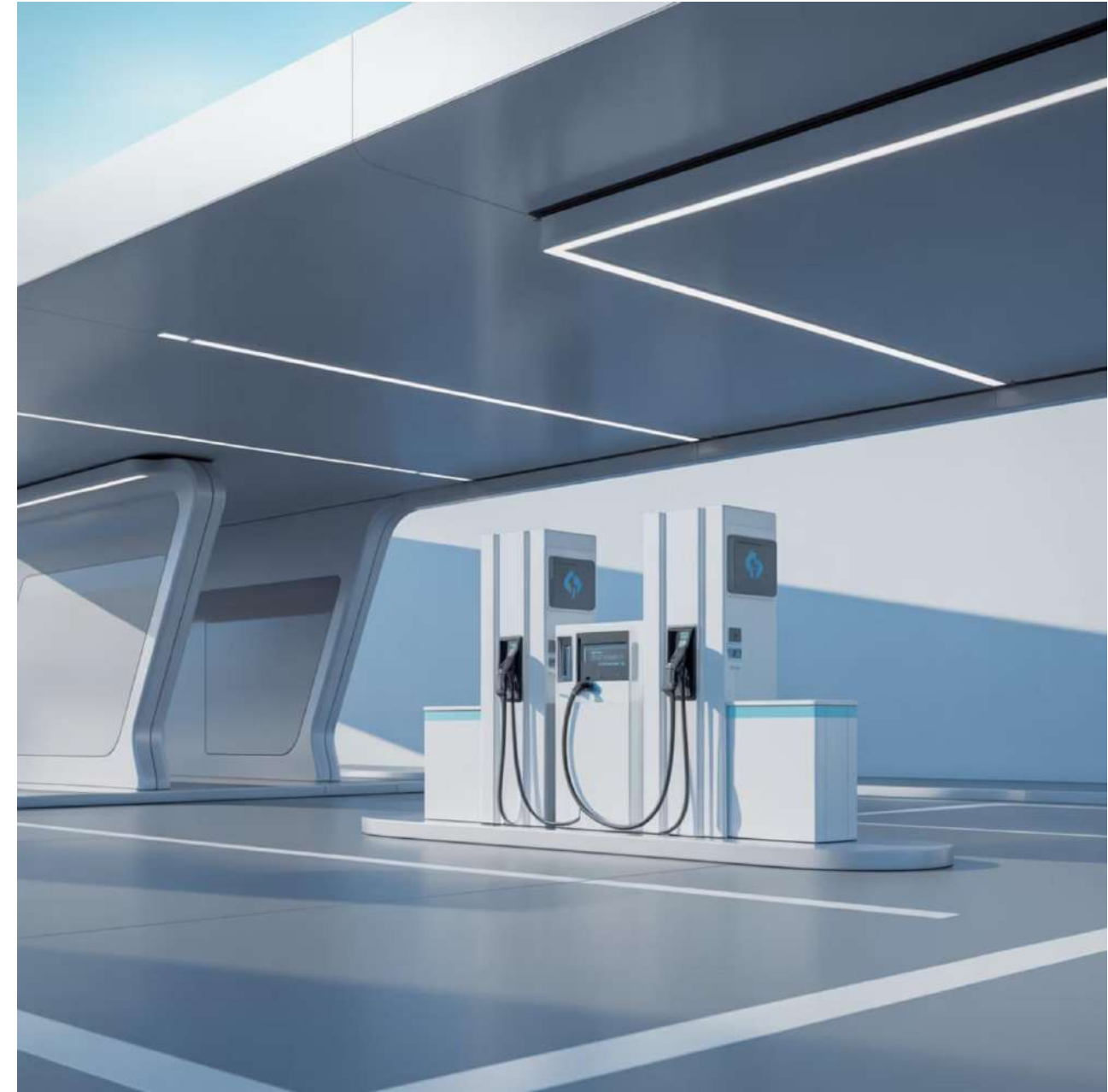
Alcance

Regula producción, acondicionamiento, almacenamiento, transferencia y consumo de hidrógeno como recurso energético

Instalaciones Excluidas del Reglamento

No Aplica Para:

- *Estaciones de servicio de hidrógeno para vehículos terrestres, ferroviarios, aéreos o marítimos*
- *Redes de transporte y distribución fuera de la instalación*
- *Vehículos que operan con hidrógeno*
- *Vehículos de transporte de hidrógeno*



Estas instalaciones se rigen por normativas específicas complementarias al presente reglamento.

Definiciones Clave del Reglamento



Instalación de Hidrógeno

Bien inmueble destinado a realizar operaciones de producción, acondicionamiento, almacenamiento, transferencia o consumo de hidrógeno



Certificado de Conformidad

Documento que establece que el diseño y construcción cumplen con las disposiciones reglamentarias y normas técnicas



Inspección Periódica

Procedimientos de verificación que corroboran el cumplimiento de disposiciones legales y técnicas



Manual de Seguridad

Documento con obligaciones, instrucciones y procedimientos de seguridad para instalaciones con capacidad superior a 2,35 kg

Normas Técnicas Aplicables

01

Normas Chilenas (NCh)

NCh2369 para diseño sísmico, NCh2190 para identificación de peligros, NCh1377 para marcado de cilindros

02

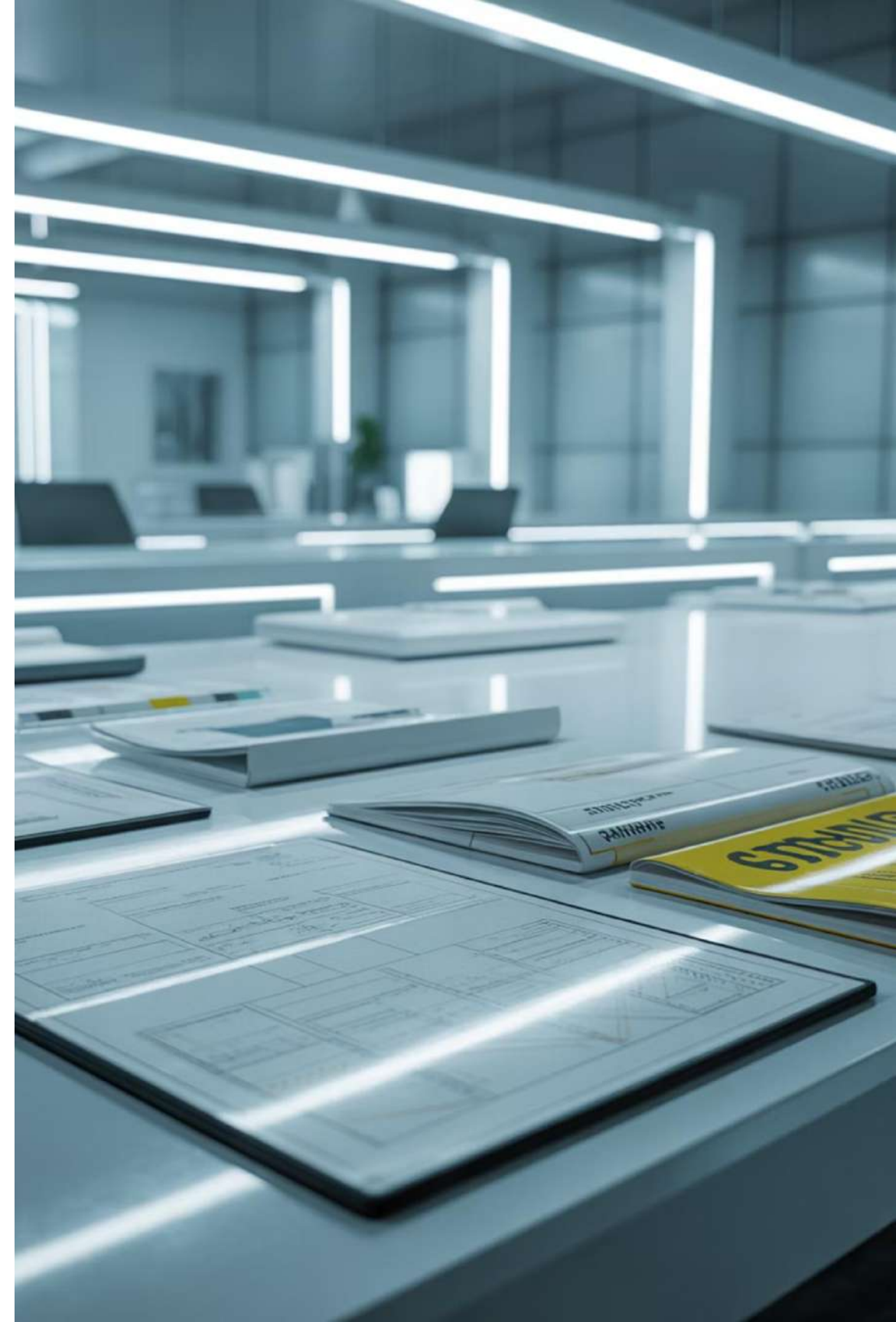
Normas Internacionales

NFPA 2 Hydrogen Technologies Code 2020, IBC 2021, ISO 834-1 para resistencia al fuego

03

Normas de Seguridad

OSHA 29 CFR 1910.165 para sistemas de alarma, IEC 62282-3-100 para celdas de combustible



Responsabilidades de Propietarios y Operadores

Propietarios

- *Velar por el cumplimiento normativo en diseño y construcción*
- *Contratar instaladores autorizados por la SEC*
- *Notificar transferencias de dominio dentro de 30 días*
- *Evaluar instalaciones post-accidente antes de reanudar operaciones*

Operadores

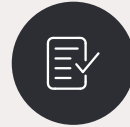
- *Garantizar operación, mantenimiento e inspección correcta*
- *Implementar Sistema de Gestión de Seguridad y Riesgos*
- *Mantener Manual de Seguridad y Plan de Emergencia actualizados*
- *Someter instalaciones a inspección periódica*
- *Llevar registro de todas las actividades*

Sistema de Gestión de Seguridad y Riesgos (SGSR)



Alcance

Obligatorio para instalaciones con capacidad superior a 5.000 kg de hidrógeno



Contenidos Mínimos

Política de seguridad, evaluación de riesgos, procedimientos operativos, brigadas de emergencia



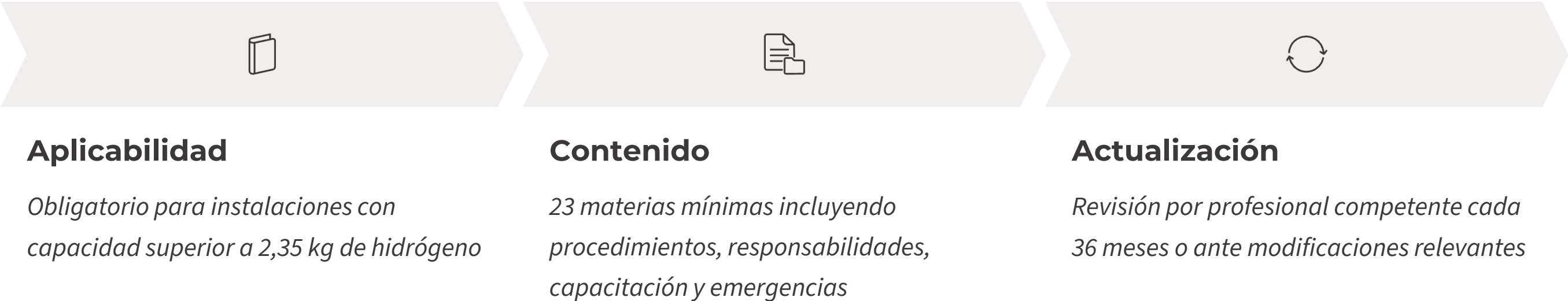
Revisión

Efectividad revisada cada 12 meses o cuando aumenten indicadores de desempeño

El SGSR debe incluir evaluación de riesgos con identificación de peligros, árbol de eventos y valores umbrales de sobrepresión y radiación de calor. Debe actualizarse dentro de 6 meses si hay cambios en diseño o entorno.



Manual de Seguridad: Requisitos Esenciales



El Manual de Seguridad debe incluir procedimientos de trabajo seguro, hojas de datos de seguridad, plan de gestión de materiales peligrosos, instrucciones de prevención de riesgos, y procedimientos de transferencia, carga y descarga de hidrógeno.

Plan de Emergencia y Accidentes (PEA)

Requisitos del PEA

- *Obligatorio para instalaciones con capacidad superior a 2,35 kg*
- *Elaborado por profesional competente*
- *Métodos de manejo según NFPA 2 sección 4.6*
- *Organización de excepción y procedimientos normalizados*
- *Disponible para SEC y personal de la instalación*



Capacitación del Personal

1

Frecuencia Anual

Todo el personal debe recibir capacitación anual sobre contenidos del Manual de Seguridad

2

Contenidos

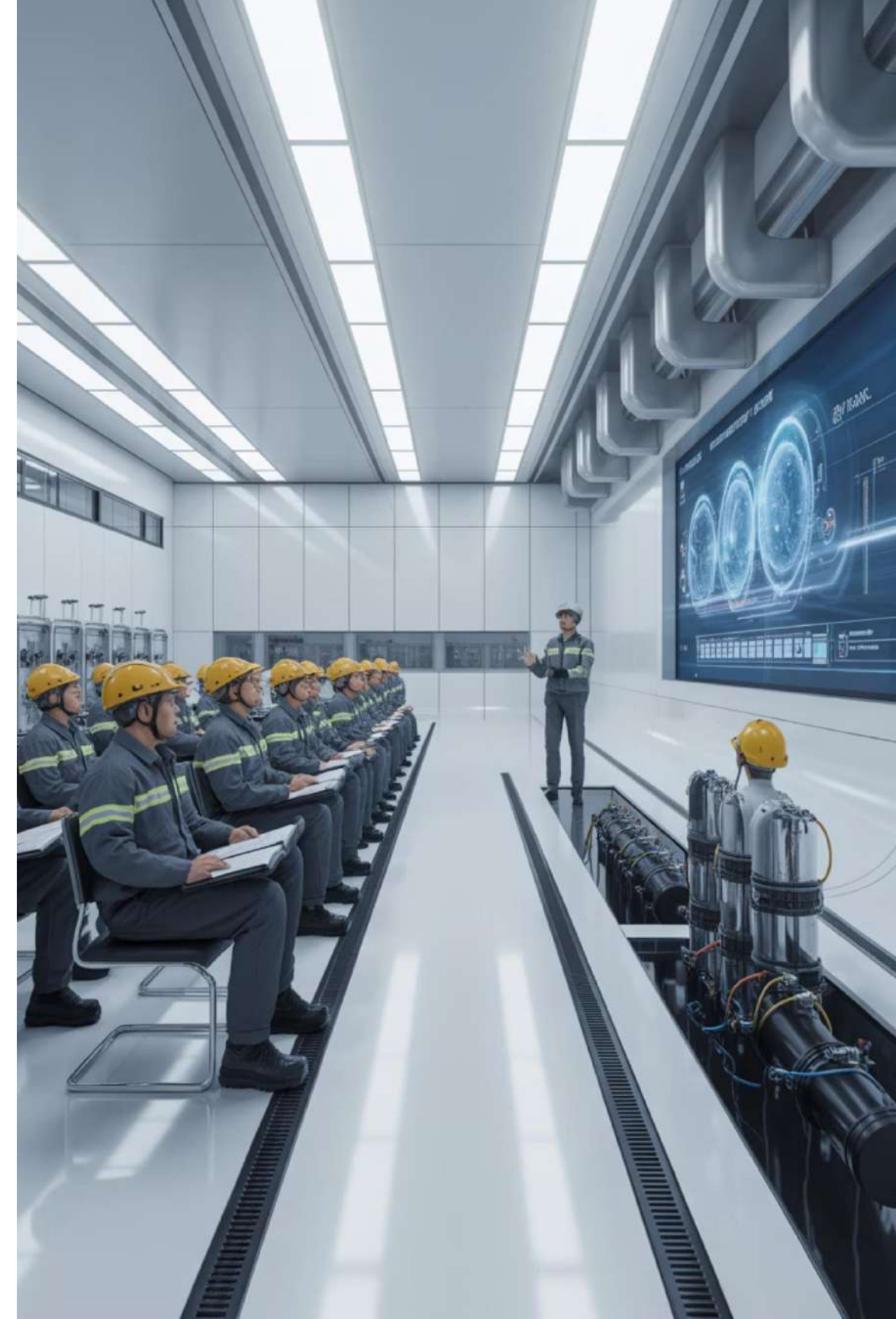
Información oral y escrita, sistemas de protección contra incendios, según nivel de responsabilidad

3

Registro

Documentación conservada por 36 meses, disponible para revisión de la SEC

Para instalaciones con capacidad superior a 5.000 kg, la capacitación incluye sistemas de control y extinción de incendios para brigadas de emergencia. Debe ser realizada por profesional competente.



Requisitos de Diseño y Construcción



Diseño Sísmico

Cumplimiento de NCh2369 para estructuras e instalaciones industriales, complementado con NCh2745 para aislación sísmica



Materiales

Clasificación en incombustibles y combustibilidad limitada según NFPA 2, ensayos según ASTM o normas chilenas



Certificación

Productos de hidrógeno deben contar con Certificado de Conformidad y ser aptos para uso con hidrógeno



Instalaciones Eléctricas

Cumplimiento de RIC N° 12 para ambientes explosivos, sistemas de respaldo y emergencia



Señalización y Código de Colores

Tuberías

Color amarillo con dos anillos rojos según NCh19. Ancho de anillos igual al diámetro del tubo, separados por un diámetro

Cilindros

Color rojo según NCh1377. Etiquetado conforme a DS N° 57/2019 sobre sustancias químicas peligrosas

Tanques Estacionarios

Rotulación con peligro primario y secundario según NCh2190 y NCh1411/4. Rótulos visibles a 10 metros, mínimo 50 cm por lado

Información Obligatoria

Tanques deben indicar "Hidrógeno Gaseoso", volumen interior en m³ y presión en Pa/kPa/MPa (con equivalente en bar)

Sistemas de Producción de Hidrógeno

Tipos de Sistemas

- 1. *Electrolizadores (electrólisis del agua)*
- 2. *Reformadores (conversión de hidrocarburos)*
- 3. *Gasificadores (conversión de carbón)*

Alcance: capacidad de producción mayor a 0,036 kg/h y menor a 100 kg/h

0.036
kg/h

Capacidad mínima regulada

100
kg/h

Límite superior estándar



*Los sistemas deben cumplir especificaciones del Capítulo 13 de NFPA 2/2020.
Sistemas superiores a 100 kg/h requieren evaluación especial según artículos 3 y 4 del reglamento.*



Inscripción y Comunicación a la SEC



Notificación de Inicio

Propietario debe comunicar a la SEC antes de iniciar construcción o modificación de instalación



Inscripción Obligatoria

Toda instalación nueva o modificada debe inscribirse ante la SEC previo a entrada en operación



Alcance

La inscripción no constituye aprobación de la instalación, proyecto ni ejecución por parte de la SEC

Sin perjuicio de la inscripción ante la SEC, toda instalación debe cumplir y obtener todas las autorizaciones y permisos requeridos por la normativa vigente.

Comunicación de Accidentes e Incidentes

1

Comunicación Inmediata

Dentro de 24 horas de ocurrencia: explosión, inflamación, fuga peligrosa, incendio, muerte o daño grave

2

Informe Detallado

Dentro de 30 días: causas directas e indirectas, consecuencias, informes técnicos, acciones correctivas

3

Evaluación Post-Evento

Propietario debe evaluar instalación antes de reanudar operación, dejando registro

4

Indicadores de Desempeño

SEC establece indicadores para medir desempeño de seguridad basados en informes de accidentes

El operador debe comunicar eventos como explosión, inflamación, daños a terceros, fugas peligrosas, atentados, incendios, muertes o lesiones graves, detenciones de emergencia y otros eventos de similar gravedad.

Guía de Autorización de Proyectos Especiales de Hidrógeno

Superintendencia de Electricidad y Combustibles



GUÍA DE APOYO
PARA SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN DE
PROYECTOS ESPECIALES DE HIDRÓGENO



Contenidos de la Guía

01

Introducción

Propósito y alcance de la guía para proyectos de hidrógeno

02

Solicitud de Autorización

Etapas generales, tipos de proyectos y proceso ante la SEC

03

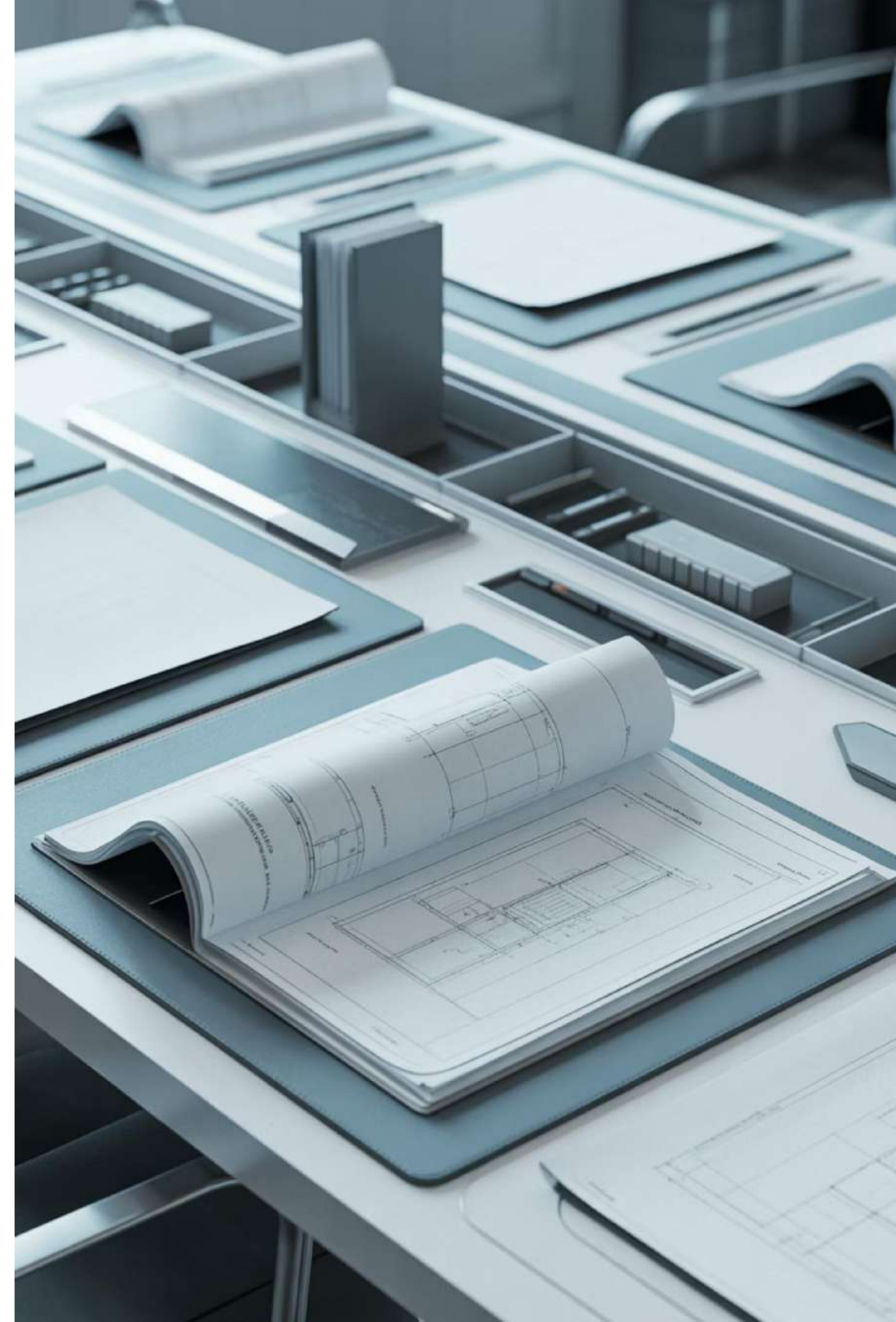
Documentación Requerida

Descripción detallada de antecedentes a presentar

04

Anexos Técnicos

Normas extranjeras, matrices comparativas y listados



Propósito de la Guía

Orientación y Apoyo

Esta guía orienta a personas y empresas interesadas en implementar proyectos de hidrógeno que consideren instalaciones relacionadas con producción, acondicionamiento, transporte, distribución, almacenamiento o consumo de hidrógeno como combustible.

Facilita la elaboración de la carpeta de documentos y la tramitación de solicitudes de autorización ante la Superintendencia de Electricidad y Combustibles.

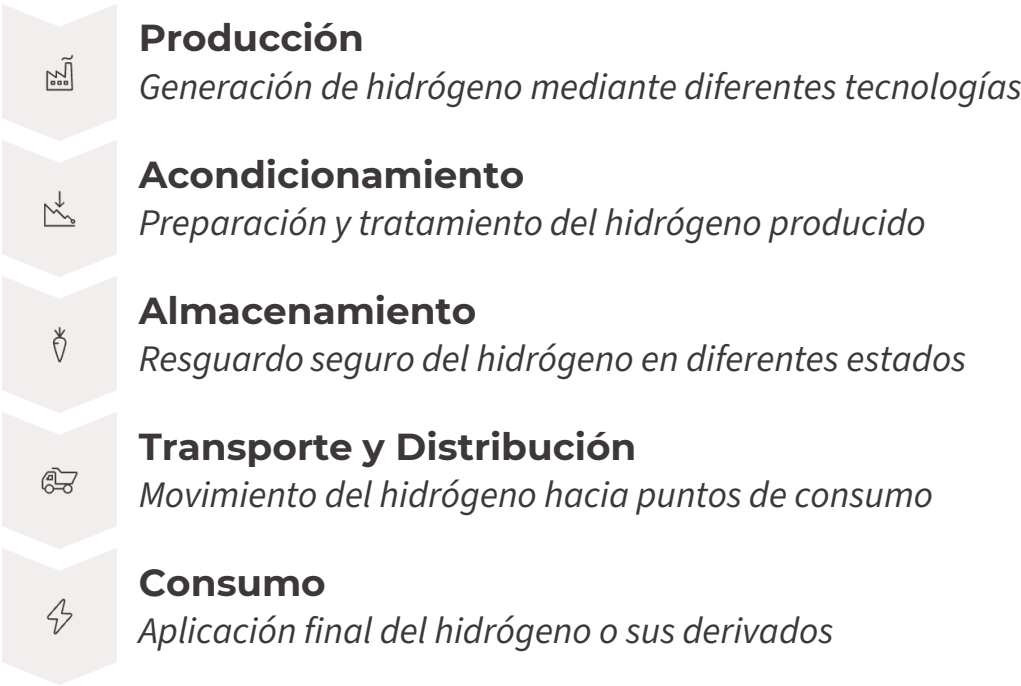
Marco Normativo

La normativa nacional establece la obligación de registro de instalaciones energéticas. Las instalaciones de hidrógeno deben registrarse en la SEC.

Ante la inexistencia de regulación específica, se requiere presentar un proyecto especial para autorizar el uso de tecnologías no reguladas, respaldadas por normas internacionales reconocidas.

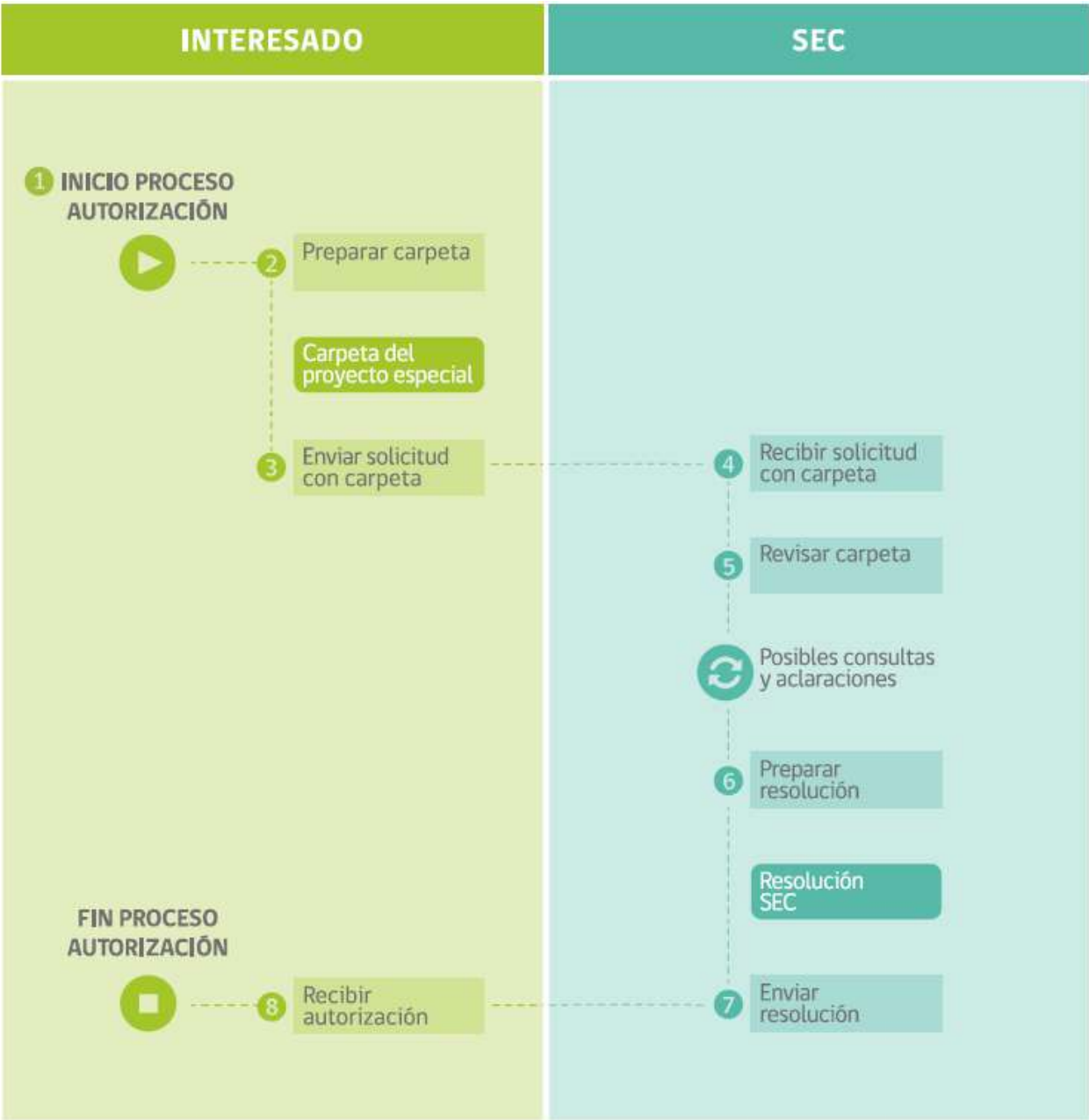


Cadena de Valor del Hidrógeno



II. SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN DE
PROYECTOS ESPECIALES
DE HIDRÓGENO

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO PARA AUTORIZACIÓN.



Leyenda:

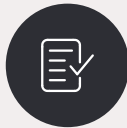
1 Etapa Proceso Documento 1 Etapa Proceso Documento

Proceso de Autorización ante la SEC



Modalidades de Presentación

- Presencial en oficinas regionales con carpeta física y respaldo digital
- Virtual a través del sitio web SEC con archivos digitales



Revisión de Antecedentes

La SEC verifica que la presentación contenga los antecedentes requeridos y que sean claros y suficientes para respaldar un diseño y operación segura.



Comunicaciones

Las observaciones se comunican mediante cartas oficiales, correos electrónicos y reuniones con el interesado o contacto designado.

Estructura de la Carpeta de Antecedentes



1	Introducción del Proyecto <i>Carta de presentación y antecedentes legales del interesado</i>
2	Descripción del Proyecto <i>Ubicación, diagramas de proceso y documentos referenciales</i>
3	Normativa Aplicable <i>Normas técnicas y matriz de comparación normativa</i>
4	Diseño del Proyecto <i>Requerimientos, bases de diseño, equipos y planos técnicos</i>
5	Seguridad en Instalaciones <i>Evaluación de riesgos, medidas de mitigación y sistemas de seguridad</i>
6	Calidad <i>Evaluación de conformidad de equipos y componentes principales</i>



Carta de Presentación: Información Requerida

Identificación	Descripción del Proyecto	Características Técnicas
- Nombre o razón social - RUT - Domicilio - Correo electrónico - Número telefónico - Contacto con SEC	- Nombre del proyecto - Ubicación - Breve descripción - Objetivo principal - Tipo de proyecto	- Uso final del hidrógeno - Tipo de hidrógeno (verde, gris, azul) - Otra información relevante



Tipos de Proyectos y Usos del Hidrógeno

Tipos de Proyecto

- *Investigación*
- *Desarrollo Aplicado*
- *Industrial / Comercial*

Usos Finales

- *Generación de energía eléctrica y/o calórica*
- *Inyección a redes de gas*
- *Vehículos que transiten por vía pública*
- *Vehículos y equipos que no transiten por vía pública*
- *Otros según alcance de la guía*

Clasificación del Hidrógeno

- *Verde: Producido con energías renovables*
- *Gris: Producido con combustibles fósiles*
- *Azul: Con captura de carbono*



Descripción Técnica del Proyecto

Ubicación Referencial

Región, comuna, localidad, dirección, coordenadas y condiciones geográficas relevantes que puedan afectar la operación.

1

Diagrama General del Proceso

Secuencia de etapas con flujos principales, insumos necesarios, equipos principales, válvulas, límites de batería y datos operativos.

2

Documentos Referenciales

Documentos principales desarrollados durante la ingeniería de detalle y referencias a proyectos similares internacionales.

3

La descripción debe ser un resumen ejecutivo que señale el tamaño del proyecto, la tecnología de producción, el lugar de utilización y el origen de la energía para su producción. No se requiere información económica ni de mercado.

Normativa Aplicable y Respaldo Técnico

Con el propósito de avalar la seguridad del proyecto, éste deberá estar respaldado por normas extranjeras pertinentes, internacionalmente reconocidas o por estudios específicos o técnicos.

Normas Internacionales

ANSI, ASME, ASTM, AWS, BS, EN, ISO, NFPA, UNE y otras normas reconocidas que garanticen la seguridad del proyecto.

Matriz de Comparación

Informe que detalla todos los aspectos de seguridad considerados, requisitos mínimos a cumplir y cómo el diseño da cumplimiento a tales requisitos.

Traducción al Español

Todos los aspectos relevantes de las normas utilizadas deben presentarse en idioma original con su correspondiente traducción.



Diseño del Proyecto: Componentes Principales

N

Requerimientos y Bases de Diseño

Especificación de requerimientos y fundamentos del proyecto con datos técnicos que expliquen el proceso completo y las subetapas necesarias para la operación normal.



Equipos Principales

Detalle y especificaciones técnicas de los componentes y equipos principales utilizados en el proyecto de hidrógeno.



Planos y Memorias de Cálculo

Planos de planta, distancias de seguridad, obras civiles, instalaciones eléctricas, diagramas de flujo y memorias de cálculo de equipos y verificación sísmica.

Planos Técnicos Requeridos

Plano de Planta (Lay-out) <i>Distribución de edificios y equipos del proyecto</i>	Distancias Mínimas de Seguridad <i>Planos con separaciones requeridas</i>	Obras Civiles y Fundaciones <i>Estructuras y cimentaciones</i>
Instalaciones Eléctricas <i>Zonas clasificadas y sistemas eléctricos</i>	Diagrama de Flujo <i>Sistemas y subsistemas del proceso</i>	

 **Importante:** Se debe proporcionar memoria de cálculo que demuestre el cumplimiento con la Norma Chilena NCh2369.Of2003 para el diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales.



Seguridad en Instalaciones

Evaluación de Riesgos

El interesado debe seleccionar la metodología apropiada para evaluar riesgos:

- *What if*
- *Análisis preliminar de riesgos (APR)*
- *5 porqués*
- *FMEA (Failure Mode and Effective Analysis)*
- *HAZOP/AFO (Análisis Funcional de Operatividad)*

Elaborar matriz de riesgo contemplando amenazas de operación, origen natural (sismo, tsunami, aluviones, deslizamientos, nevadas) y eventos antrópicos.

Medidas de Mitigación

Descripción de potenciales riesgos, sistemas de seguridad y procedimientos de emergencia para su mitigación y control.

Documentación Requerida:

- *Matriz con medidas de mitigación*
- *Clasificación de zonas de riesgo*
- *Planos de zonas afectadas*
- *Descripción de sistemas de seguridad*
- *Estudio de cálculo de áreas clasificadas*

Calidad y Evaluación de Conformidad

Certificación de Equipos

El titular debe acompañar antecedentes que aseguren que los componentes principales poseen un nivel de conformidad adecuado mediante certificados de fabricantes o certificación propia.

Componentes Principales

Equipos que se relacionan directamente con la cadena de valor del proyecto de hidrógeno y que son indispensables en el funcionamiento del sistema.

Documentación Pendiente

Si no se cuenta con toda la documentación al momento de la solicitud, se debe explicar los motivos y establecer compromiso de presentarla posteriormente. Puede solicitarse al momento de inscripción de la instalación.



Anexos Técnicos de Referencia

Anexo 1: Normas Extranjeras

Listado completo de normas internacionales aplicables a toda la cadena de valor del hidrógeno, incluyendo ASME, ISO, NFPA, CSA, EIGA, SAE y otras.

Anexo 2: Matriz de Comparación Normativa

Formato para presentar el análisis comparativo del cumplimiento del proyecto con los requisitos de seguridad de las normas técnicas declaradas.

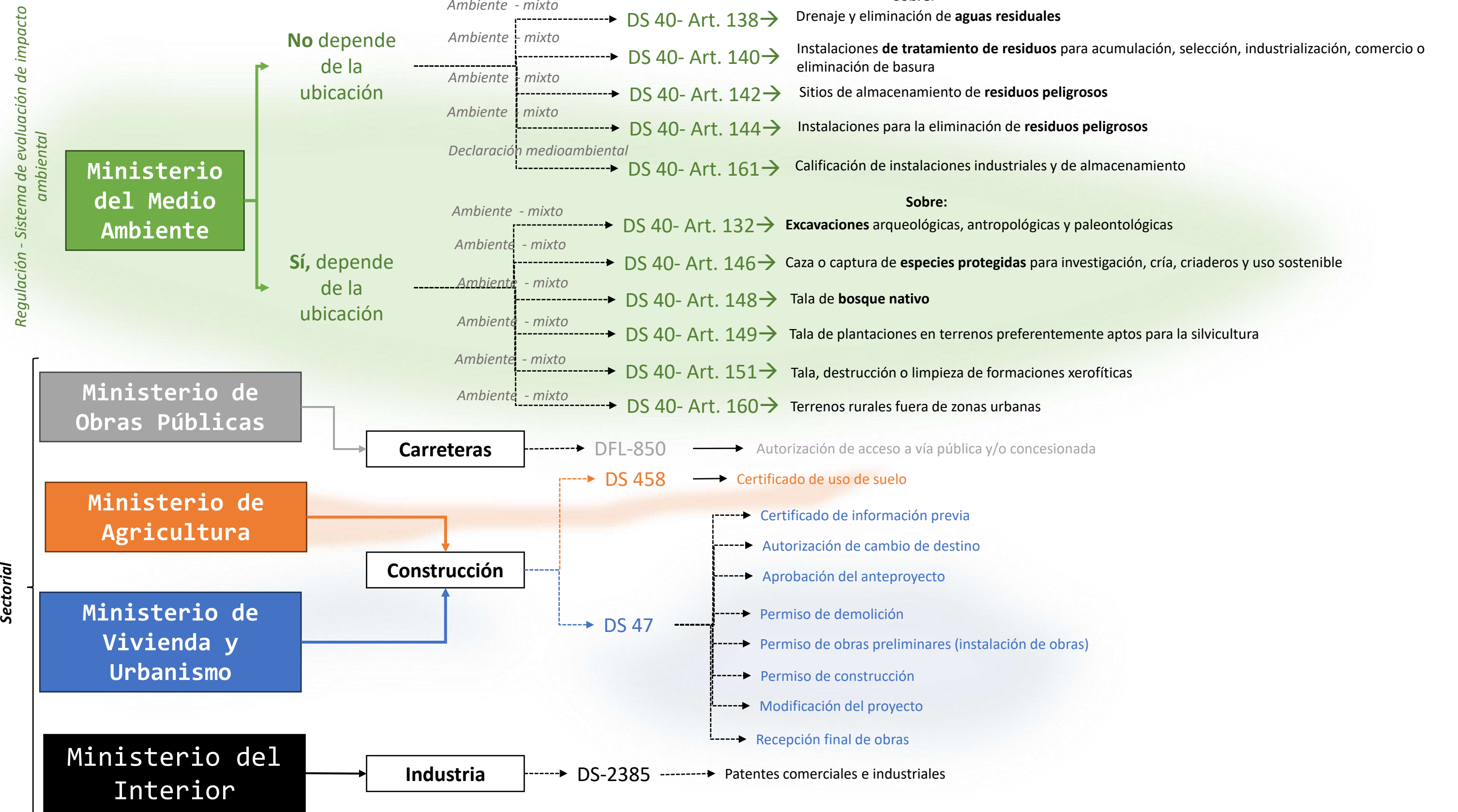
Anexo 3: Listado de Documentos

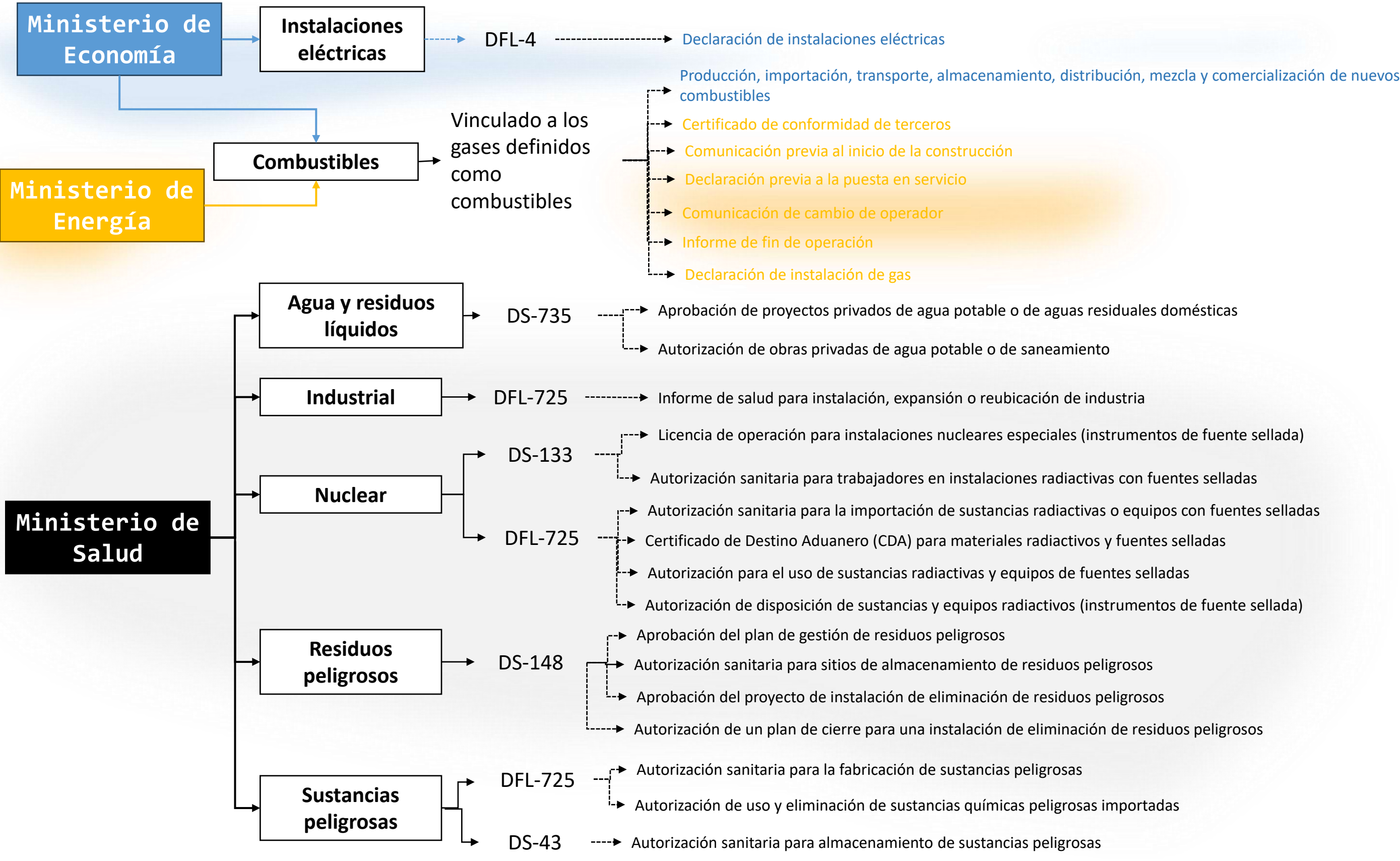
Checklist completo de todos los documentos requeridos para el proyecto especial de hidrógeno, organizado por secciones y subsecciones.

La guía proporciona herramientas completas para facilitar la presentación de proyectos especiales de hidrógeno ante la Superintendencia de Electricidad y Combustibles, asegurando el cumplimiento de estándares internacionales de seguridad.

“PERMISOLOGÍA”







Guía de Validación de Pilotos y Validación de Tecnologías de Hidrógeno en Minería



CENTRO NACIONAL
DE PILOTAJE
DE TECNOLOGÍAS
PARA LA MINERÍA

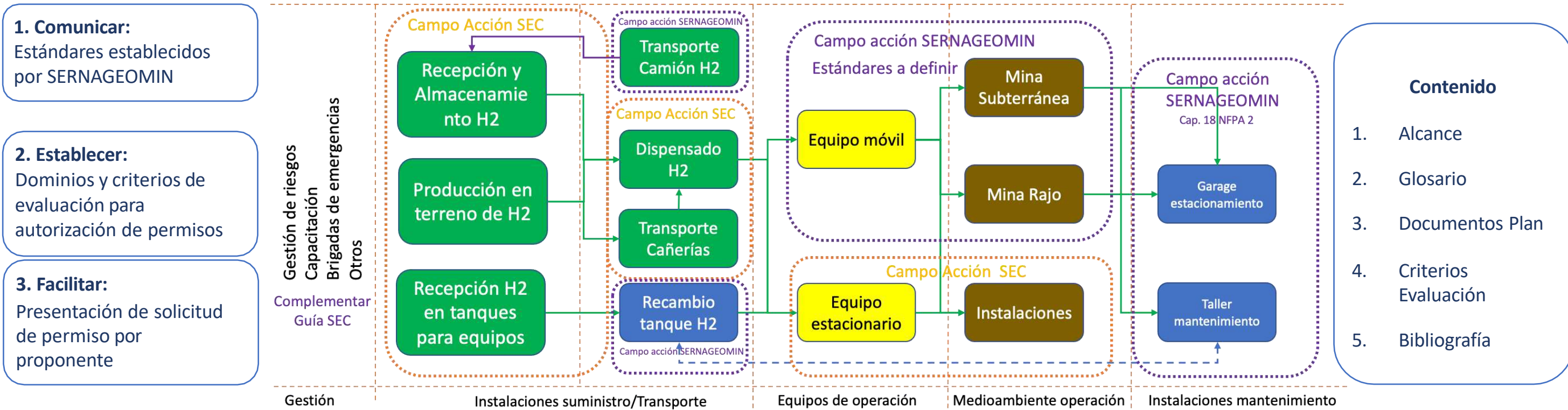
https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2021/10/Gu%C3%ADa-de-Hidrógeno_web.pdf



Objetivos de la Guía de SERNAGEOMIN

Pruebas Piloto:

Validar desde el punto de vista de seguridad un proceso que posteriormente se realizará de manera permanente



Regulación proyectos experimentales del sector transporte

Decreto 67 - Establece requisitos técnicos y administrativos para la autorización de proyectos experimentales.

Publicado el 24 de mayo de 2021



Artículo 1, ,,, Se entenderá por proyectos experimentales, o también llamados **programas piloto**, aquellas actividades, vinculadas entre sí, necesarias para evaluar la **aplicación de nuevas tecnologías para el sector de transporte**, aplicadas a vehículos no motorizados, vehículos motorizados, remolques o semirremolques y su entorno, y para cuya ejecución requieren ser eximidos de una o más normativas emanadas del Ministerio.

<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=1160059&f=2021-05-24>

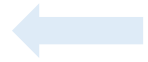
- **Memoria Final:** 45 días hábiles desde el término del proyecto.
- **Contenido:**
 - Análisis detallado de los resultados y las condiciones en que se realizó el proyecto experimental,
 - Debe estar de acuerdo a la evaluación metodológica propuesta.
 - Resultados obtenidos, con especial énfasis en:
 - Conclusiones de los objetivos planteados inicialmente,
 - Beneficios,
 - Identificación de los problemas y las falencias detectadas.
- Los contenidos particulares de cada informe se indicarán en la resolución que autoriza el programa.



Data Item	FCEB	CNG
Number of buses	5	5
Data period	1/20–7/20	4/20–7/20
Number of months	7	4
Total mileage in data period	102,997	53,623
Average odometer	34,687	18,282
Average monthly mileage per bus	3,322	4,469
Total FCPP ^a hours	7,688	—
Availability (85% is target)	76.9	65.2
Fuel economy (FCEB mi/kg or CNG mpgge ^b)	6.94	3.50
Fuel economy (mpdgc ^c)	7.84	3.92
Miles between roadcalls (MBRC) – bus ^d	11,444	10,725
MBRC – propulsion system only ^d	34,332	^e
MBRC – FC System only ^d	51,499	—
Total maintenance (\$/mile)	0.22	0.16
Maintenance – propulsion system only (\$/mile)	0.06	0.02

<https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/78078.pdf>

Normas, mejores prácticas y guías



Organizaciones normativas globales: **ISO – IEC**

Normas

- Redactadas por comité establecido por organismo normativo – independiente, sin fines de lucro
- Aprobadas por unanimidad del comité
- Basada en experiencia práctica y apoyo científico/técnico – análisis de riesgo, (deseable cuantitativo).
- Si no hay experiencia se hacen estudios pre-normativos
- Sujetas a derechos de autor (hay que comprar la mayoría de ellas y no se pueden compartir en formato electrónico).

Normas, mejores prácticas y guías

Organizaciones normativas globales: ISO – IEC

- Normas para sistemas, componentes y protocolos
- Focalización en armonización y eliminación de barreras comerciales
- Miembros son representantes de todos los países ... que quieren participar
- Comité técnico de normas para el hidrógeno
 - ISO/TC 197 *Hydrogen Technologies*
 - IEC/TC 105 *Fuel Cells* (Comisión Electrotécnica Internacional)



4. Normas, mejores prácticas y guías

Otras organizaciones relevantes:

- ONU – **CEPE** Comisión Económica Para Europa (UNECE en inglés) – no son normas ni reglamentos, son recomendaciones
UN WP.29 United Nations Working Party 29
 - GTR 13 Global Technical Regulation on hydrogen and fuel cell vehicles (2013)¹
 - Regulation No. 134 Uniform provisions concerning the approval of motor vehicles and their components with regard to the safety-related performance of hydrogen fuelled vehicles (HFCV) (2015)²
 - Recomendaciones relativas al TRANSPORTE DE MERCANCÍAS PELIGROSAS – Reglamentación Modelo (2019, dos volúmenes, 967p.) →
- Acuerdo Europeo sobre transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera (ADR 2021 – 1093 p.)³
- Transporte⁴: DOT USA; Hazardous Materials Safety Regulations Title 49 CFR Parts 100-199 Pipeline Safety Regulations PHMSA (Pipeline Hazardous Materials Safety Administration), resto Capítulos.

1 <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29registry/ECE-TRANS-180a13e.pdf>

2 <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2015/R134e.pdf>

3 <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/f8b10920-aefe-11eb-9767-01aa75ed71a1/language-es>

4. <https://www.phmsa.dot.gov/regulations>



4. Normas, mejores prácticas y guías

Otras organizaciones normativas relevantes para el hidrógeno

- NFPA: normas tipo *model codes* y tipo *standards*; foco en protección contra incendios (EE.UU.)
- ASME: recipientes a presión, cañerías, conductos, ... (EE.UU.)
- SAE: vehículos y dispensadoras (EE.UU., internacional)
- CSA: todo tipo de normas (Canadá)
- BNQ: todo tipo de norma (Canadá)
- CGA: gases comprimidos (EE.UU.)
- EIGA: gases comprimidos (Europa) (los documentos son gratuitos)
- AIGA: Asian Industrial Gas Association, (los documentos son gratuitos)



4. Normas, mejores prácticas y guías

Otras organizaciones normativas relevantes para el hidrógeno

- **AIGA: Asian Industrial Gas Association**
 - 04507 Gaseous Hydrogen Station
 - Otros 4 estándares
- **EIGA: European Industrial Gas Association**
 - Doc. 211/17 Hydrogen Vent Systems for Customer Applications
 - Otros 17 estándares
- **CGA: Compress Gas Association**
 - H-5 Standard for Bulk Hydrogen Supply Systems
 - H-3 Standard for Cryogenic Hydrogen Storage
 - G5.4 Standard for Hydrogen Piping Systems at User Location
 - G5.5 Hydrogen Vent Systems
 - Otros 9 estándares
- **NFPA: National Fire Protection Association**
 - NFPA 2/2020 (NFPA 2/2023) Hydrogen Technologies Code
 - NFPA 70 (NEC)- Article 500



4. Normas, mejores prácticas y guías Normas más relevantes para el hidrógeno

Existen más de 100 normas, las tres más relevantes:

- NFPA 2 Hydrogen Technologies Code
- CAN/BNQ 1784-000/2022 Canadian Hydrogen Installation Code
- ISO/TR 15916:2015 Basic considerations for the safety of hydrogen systems (no es una norma)
- ISO 14687:2019 Hydrogen fuel quality — Product specification

Guías y prácticas recomendadas

- ANSI/AIAA G-095A-2017 Guide to Safety of Hydrogen and Hydrogen Systems
- NASA/NSS 1740.16 Safety Standard for Hydrogen and Hydrogen Systems – Guidelines for Hydrogen System Design, Materials, Selection, Operations, Storage, and Transportation¹
(descontinuada en 2005, remplazada por ANSI/AIAA G-095A)
- NASA/TM-2003-212059 Guide for Hydrogen Hazards Analysis on Components and Systems²

¹ <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f11/871916.pdf>.

² <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20040033949> 2018-10-31T18:10:29+00:00Z

4. Normas, mejores prácticas y guías

Normativa de calidad del H2

Norma	Título	Año	Región o país
EN 17124	Hydrogen fuel — Product specification and quality assurance - Proton exchange membrane (PEM) fuel cell applications for road vehicles.	2019	Europa
CGA G-5.3	Commodity Specification for Hydrogen	2017	EE. UU.
SAE J2719	Hydrogen Fuel Quality for Fuel Cell Vehicles	2020	EE. UU.
ISO 14687	Hydrogen Fuel – Product Specification	2019	Internacional
AS ISO 14687	Hydrogen fuel quality – Product specification	2020	Australia
CNS 16012-2	Hydrogen fuel – Product specification – Part 2: Proton exchange membrane (PEM) fuel cell applications for road vehicles	2017	Taiwán
GB/T 37244	Fuel specification for proton exchange membrane fuel cell vehicles – Hydrogen.	2018	China
(NCh) 2187.Of92	Gases comprimidos – clasificación, requisitos de calidad y métodos de muestreo y análisis, 1992.	1992	Chile

4. Normas, mejores prácticas y guías

Especificaciones de
calidad del hidrógeno

ISO 14687:2019

Tipo	Grado	Categoría	Aplicaciones
I, gas	A (Combustión general)		Motores de combustión interna para el transporte; aparatos de combustión residenciales/comerciales (por ejemplo, calderas, cocinas o similares)
	B (Combustión industrial)		Combustible industrial para la generación de energía y la generación de calor, excepto las aplicaciones de celdas de combustible PEM
	C (Apoyo en tierra aeroespacial)		Hidrógeno gaseoso; sistemas de apoyo en tierra para aeronaves y vehículos espaciales, excepto las PEM
	D, PEM-FC (Vehículos carretera)		Hidrógeno gaseoso; Pilas de combustible PEM para vehículos de carretera
	E, PEM-FC (Estacionarias)	1, combustible en base a H2	Combustible a base de hidrógeno; aplicaciones de alta eficiencia/baja potencia
		2, combustible en base a H2	Combustible a base de hidrógeno; aplicaciones de alta potencia
		3, hidrógeno combustible	Hidrógeno gaseoso; aplicaciones de alta potencia/alta eficiencia
II, líquido	C (Vehículos aeroespaciales)		Necesidades de propulsión y energía eléctrica a bordo de aeronaves y vehículos espaciales; vehículos todoterreno
	D (Vehículos carretera)		Pilas de combustible PEM para vehículos de carretera
III, lechada (slush)	(Vehículos aeroespaciales)		Propulsión a bordo de aeronaves y vehículos espaciales



Principios de seguridad del H2

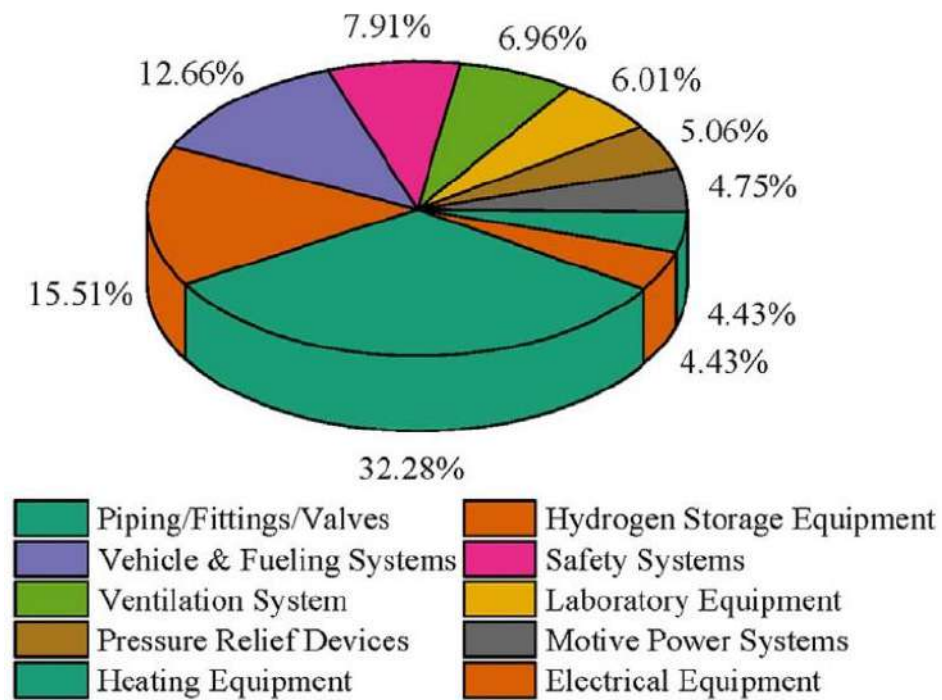
Peligro, seguridad y riesgo

- **Peligro:** riesgo o contingencia inminente de que suceda algún mal (RAE, 2 acepciones)
- **Seguro:** libre de riesgo, libre de peligro (RAE, 16 acepciones)
- **Riesgo:** combinación de la probabilidad de ocurrencia de un daño y su severidad, considerando la incertidumbre de ambos (ISO/TC 197)¹
 - a. Utilidad del concepto:
 - Sirve para aceptar, rechazar o mejorar una actividad o situación
 - Permite comparar alternativas
 - b. Percepción del riesgo (subjetiva) difiere del “riesgo objetivo/estimado
 - c. Riesgo igual a cero no existe
 - ¿Cómo determinar qué riesgo es aceptable o tolerable?

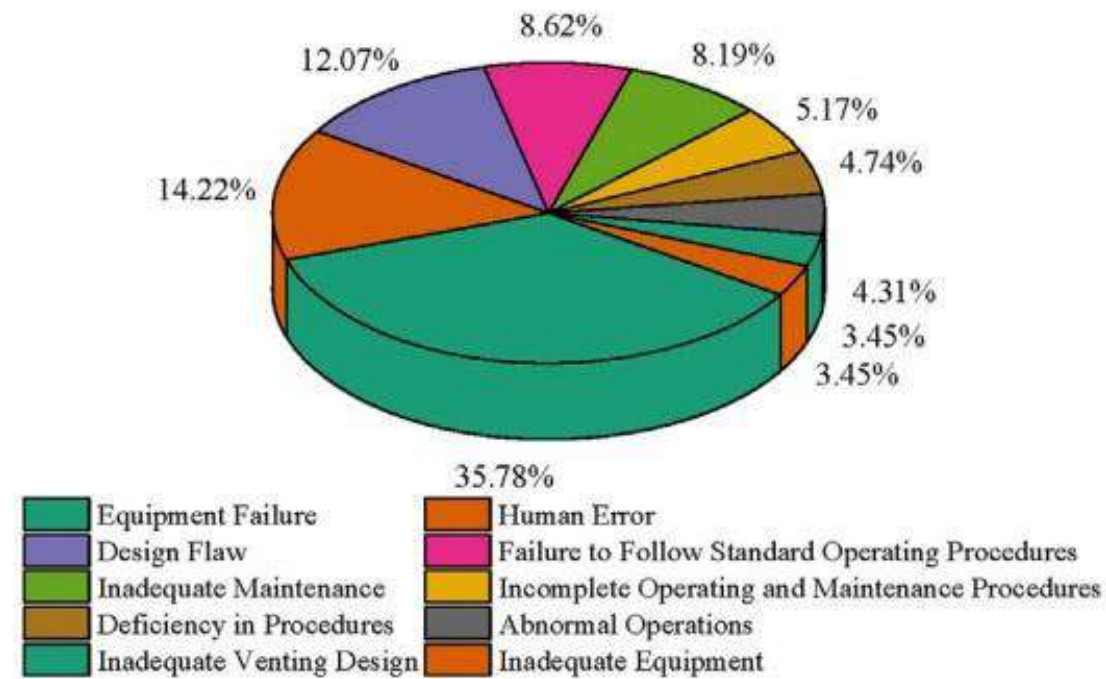
¹Tchouvelev, A. V., de Oliveira, S. P., & Neves Jr., N. P. (2019). Regulatory Framework, Safety Aspects, and Social Acceptance of Hydrogen Energy Technologies. En P. E. de Miranda (Ed.), Science and Engineering of Hydrogen-Based Energy Technologies. Academic Press. (p. 323, de ISO/IEC Guide 51: 2014, Safety Aspects e Guidelines for Their Inclusion in Standards, 1999.)

2. Peligro, seguridad y riesgo

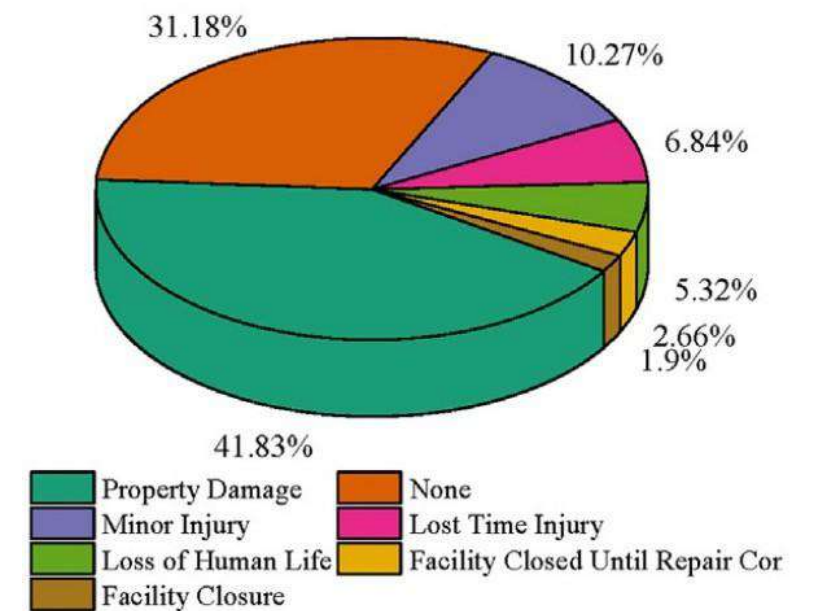
Estadísticas de Incidentes y Accidentes con Hidrógeno (1999 – 2019)



Equipamiento



Causas probables

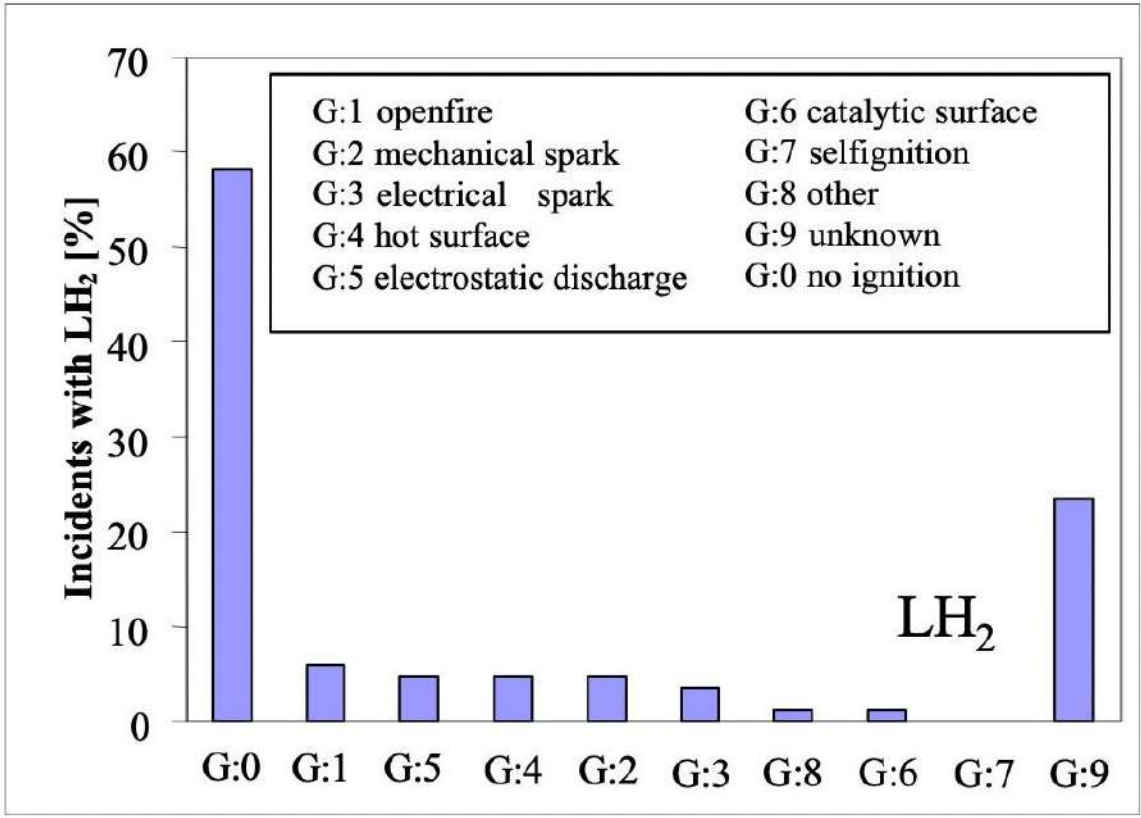
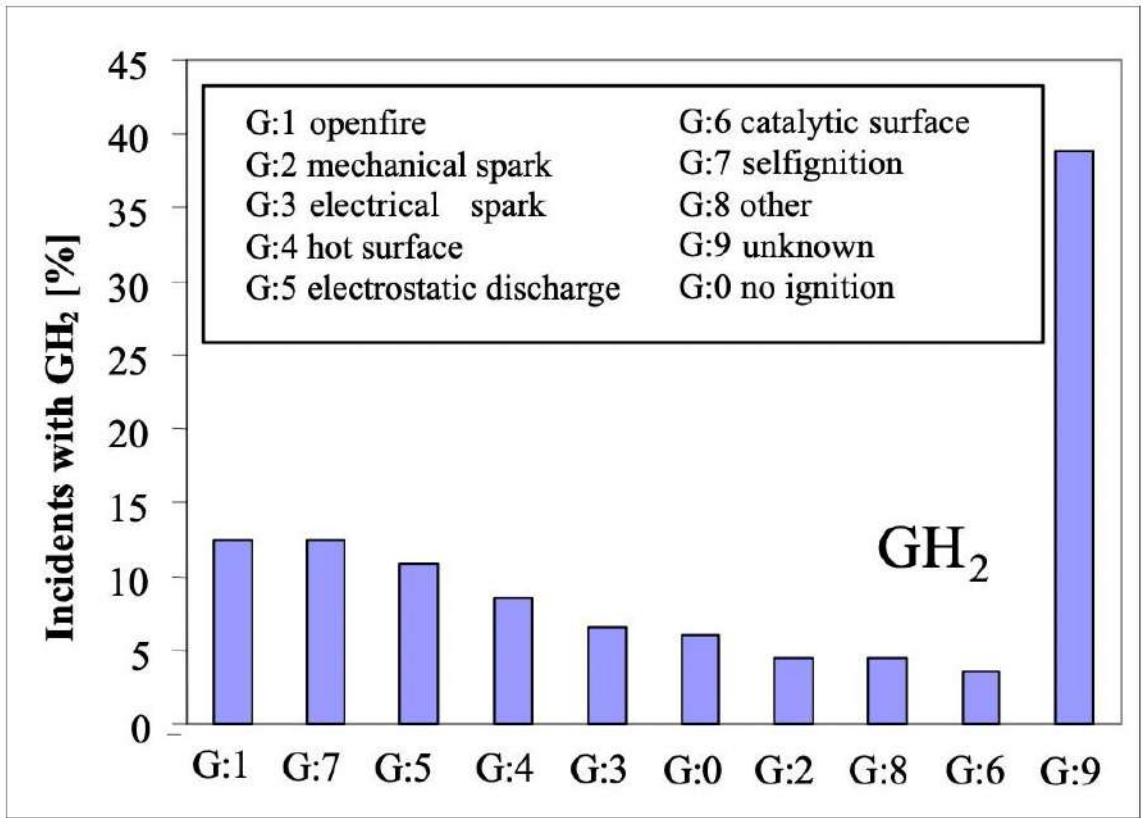


Daños y lesiones

Ref.: Review on hydrogen safety issues: Incident statistics, hydrogen diffusion, and detonation process. Fuyuan Yang a,b, Tianze Wang a, Xintao Deng a, Jian Dang a, Zhaoyuan Huang a, Song Hu a, Yangyang Li a, Minggao Ouyang a. International Journal of Hydrogen Energy 46 (2021) 31467-31488

2. Peligro, seguridad y riesgo

Mecanismos de encendido en incidentes por liberación de GH2 y LH2



2. Peligro, seguridad y riesgo

Fuentes de Información



Resumen

Una modificación defectuosa en un colector múltiple de tuberías de gas, permitió la mezcla de hidrógeno y oxígeno, lo que resultó en una explosión del tubo de almacenamiento. Varios empleados sufrieron quemaduras graves por el incidente.

Sinopsis del incidente
Discusión
Causas
Factores contribuyentes
otros

Key:

⊖ = No Ignition

💣 = Explosion

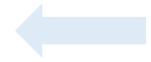
🔥 = Fire

Hydrogen Incident Summaries by Equipment and Primary Cause/Issue

Equipment / Cause	Equipment Design or Selection	Component Failure	Operational Error	Installation or Maintenance	Inadequate Gas or Flame Detection	Emergency Shutdown Response	Other or Unknown
Hydrogen Gas Metal Cylinder or Regulator		⊖ 3/31/2012 🔥 4/30/1995 ⊖ 2/6/2013	⊖ 4/26/2010	💣 12/31/1969			⊖ 3/17/1999 ⊖ 11/1/2001 💣 12/23/2003
Piping/Valves	⊖ 4/4/2002 ⊖ 2/2/2008 ⊖ 5/11/1999	⊖ 4/20/1987 ⊖ 11/4/1997 ⊖ 12/31/1969 ⊖ 8/19/1986 ⊖ 7/27/1991 ⊖ 12/19/2004 ⊖ 2/6/2008 🔥 10/3/2008 🔥 4/5/2006 ⊖ 5/1/2007 ⊖ 9/19/2007 💣 10/31/1980	🔥 2/7/2009	🔥 1/24/1999 ⊖ 2/24/2006 ⊖ 6/8/1998 💣 12/31/1969 🔥 2/7/2009	🔥 9/1/1992 💣 10/31/1980	🔥 10/3/2008	

Ref.: descargado el 11 de Julio 2023, https://h2tools.org/lessons?search_api_fulltext=

3. Peligros del hidrógeno



Tiene los mismos peligros de cualquier **gas inflamable, comprimido** o a **temperatura criogénica**¹, más uno propio del hidrógeno:

- Inflamación
- Expansión brusca de gas comprimido,
- Peligros por baja temperatura del hidrógeno criogénico
 - Quemaduras
 - Condensación de aire enriquecido
 - Fragilización de materiales: rotura frágil, falla catastrófica, temperatura de transición dúctil-frágil
- Fragilización de metales por hidrógeno (propio del hidrógeno)
- Desplazamiento del aire: asfixia (hipoxia)

¹ $T < 120 \text{ K}$ (– 153 °C) 13th IIR Intl. Congress of Refrigeration, 1971; NIST. <https://en.wikipedia.org/wiki/Cryogenics>

3. Peligros del hidrógeno

Gas inflamable, comprimido o criogénico

- Gas inflamable



Llama



Bola de fuego



Explosión

- Gas a presión



- Explosión
- Latigazo de manguera a alta presión

- Fluido criogénico



- Quemaduras de piel
- Condensación de aire enriquecido en oxígeno
- Fragilización de materiales

3. Peligros del hidrógeno

Poco probable si la instalación es adecuada:

- Diseño y normas rigurosas
- Material dúctil
- Ensayos de ciclos
- Fabricación certificada
- Dispositivos de seguridad

Dos muertos produjo explosión en gasolinera de Vitacura (2003)

<https://www.cooperativa.cl/noticias/pais/dos-muertos-produjo-explosion-en-gasolinera-de-vitacura/2003-11-19/000200.html>



Explosión de tanque inadecuado para GNC, Punta Arenas, Magallanes, Chile (2014)

<https://elpinguino.com/noticias/158849/Instalacin-pirata-desat-la-explosin>

3. Peligros del hidrógeno

Quemadura de personas

Quemadura causada por vapor de helio criogénico



Incendio con aire líquido enriquecido en oxígeno

Gas	Ebullición °C
<i>Helio</i>	-269
<i>Hidrógeno</i>	-253
<i>Nitrógeno</i>	-196
<i>Oxígeno</i>	-183

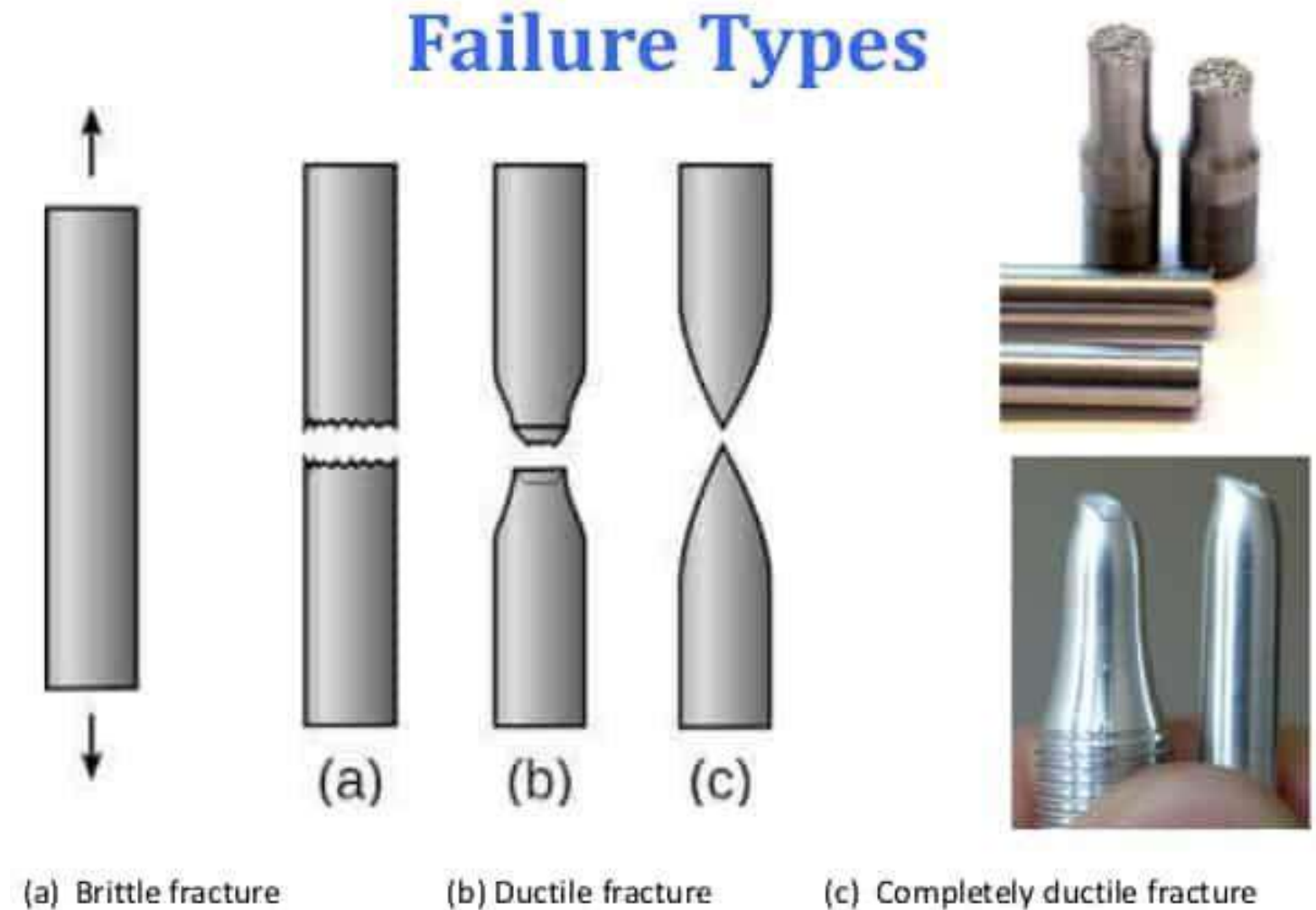
- Condensación de aire
- Enriquecimiento en oxígeno
- Puede quemar el pavimento de asfalto
- Hielo de oxígeno en hidrógeno líquido



3. Peligros del hidrógeno

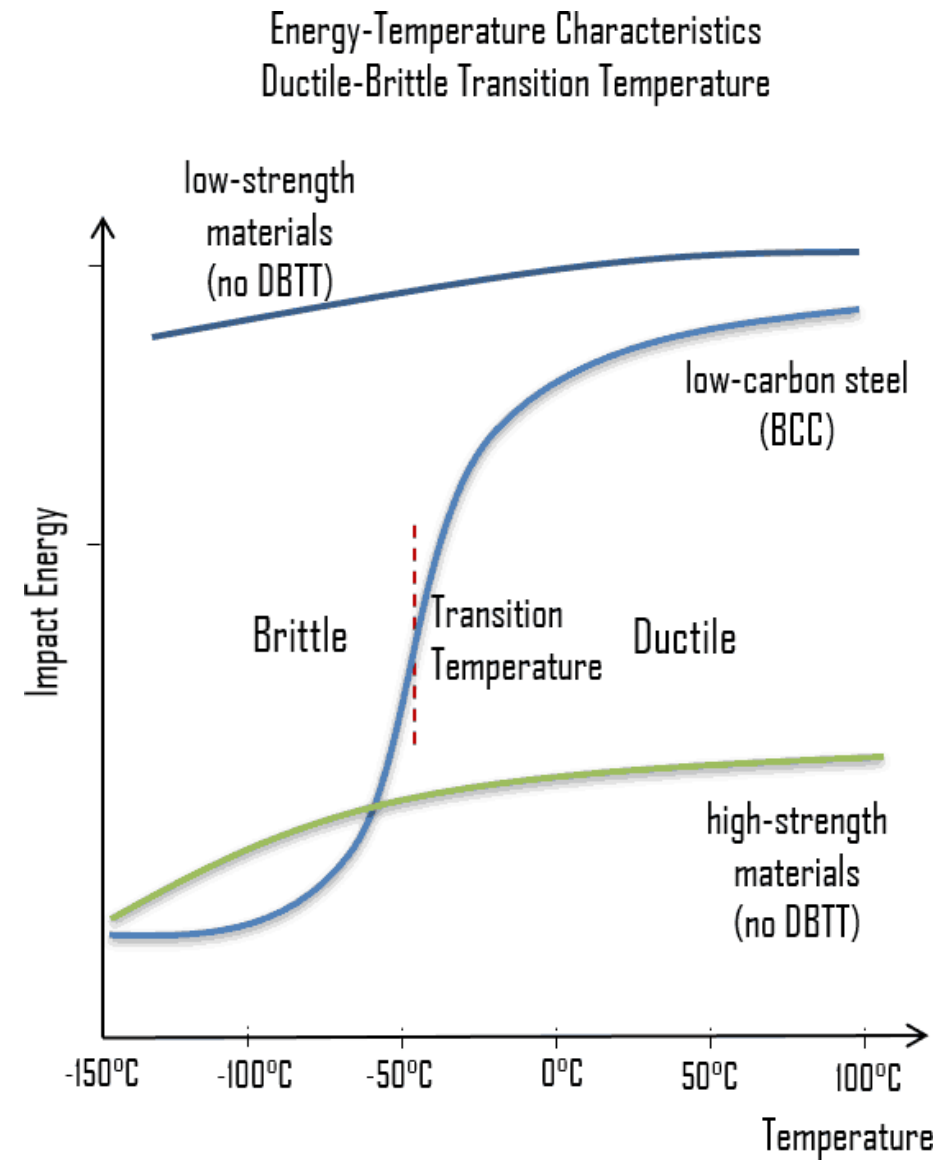
Fragilización: rotura frágil y dúctil

- Rotura frágil: propagación de grieta con baja deformación plástica¹
- Factores: ductilidad, velocidad y ciclos de carga, defectos del material, otros efectos: baja temperatura, corrosión, hidrógeno
- Se explica por propagación de grieta (micro)
- Falla violenta (catastrófica)

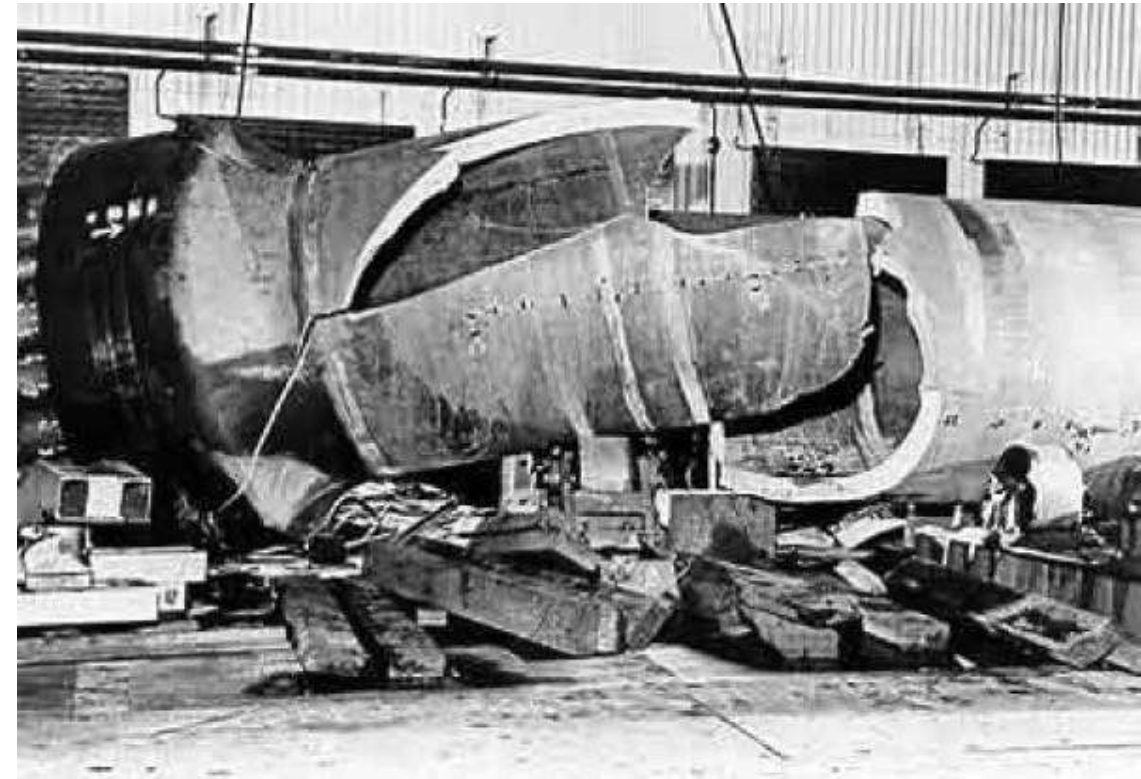


3. Peligros del hidrógeno

Temperatura de transición dúctil-frágil



Falla violenta



Falla de un recipiente a presión debido a un mal tratamiento térmico posterior a la soldadura junto con una grieta inducida por hidrógeno durante una prueba de presión

Falla de un recipiente a presión debido a un mal tratamiento térmico posterior a la soldadura junto con una grieta inducida por hidrógeno durante una prueba de presión

<https://www.nuclear-power.com/nuclear-engineering/materials-science/material-properties/ductility/ductile-brittle-transition-temperature/>

Referencia: Rebecca, 2010, Investigation On Fatigue Crack Growth And Hydrogen Embrittlement On Pipeline Steels, Thesis, Politecnico Di Milano

3. Peligros del hidrógeno

Fragilidad por hidrógeno

Ocurre por uno o más de los siguientes mecanismos:

- a. Fragilización por hidrógeno ambiental – deformación plástica en ambiente con hidrógeno, grietas parten en la superficie
- b. Fragilización por hidrógeno interno – hidrógeno absorbido, grietas internas
- c. Fragilización por reacción con hidrógeno – reacción con componentes del material para formar hidruros frágiles o gases (alta temperatura)

Mecanismos complejos, iniciados con la disolución de hidrógeno en el metal, frecuentemente segregado en la punta de grietas existentes, reduciendo la cohesión entre los átomos del material

Cu, Al, Aceros Inox <Fragilización H₂> Fe, Ni, Ti, Co y aleaciones

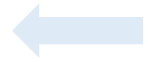
<https://h2tools.org/technical-reference-for-hydrogen-compatibility-of-materials>

NSS 1740.16 SAFETY STANDARD FOR HYDROGEN AND HYDROGEN SYSTEMS Guidelines for Hydrogen System Design, Materials Selection, Operations, Storage, and Transportation, 1997

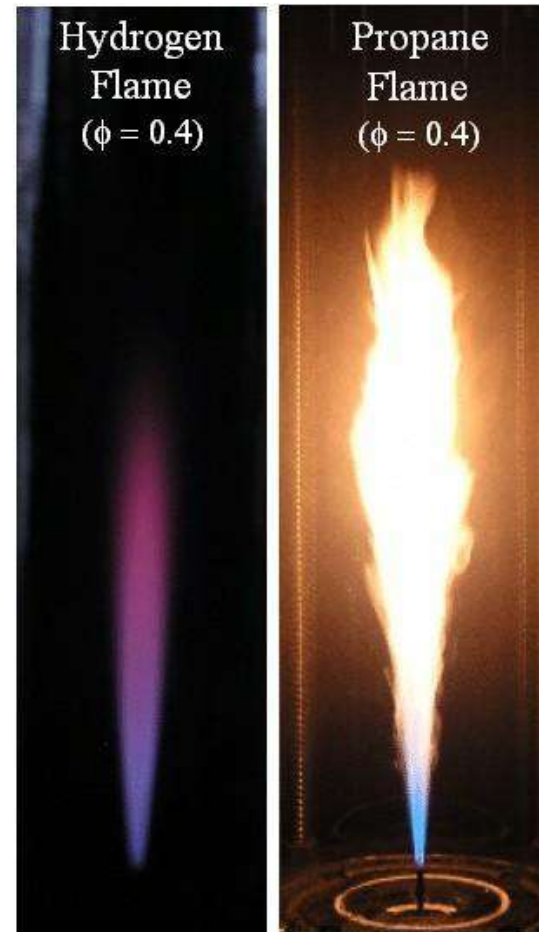


https://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen_embrittlement

4. Efectos de la inflamación de mezcla aire/hidrógeno



- Llama
 - Contacto, temperatura de llama ligeramente superior a GLP y GN
 - Radiación, efecto a distancia
- Deflagración o bola de fuego
 - Contacto
 - Radiación
- Explosión (confinamiento) y detonación
 - Onda de presión y viento
 - Proyección de objetos a alta velocidad



Fuente: <https://hydrogen.wsu.edu/2017/03/17/so-just-how-dangerous-is-hydrogen-fuel/>

Journal of environment engineering, 5(1):157-167, 2009 M. Farid et al, Characteristics of Gaseous and Liquid Fuel Combustion in Laboratory-scale Furnaces