

SAFESPILL

DIRECTRICES DE DISEÑO DE ENSAMBLAJE DE PISOS DE DRENAJE DE LÍQUIDOS INFLAMABLES (ILDFA)

para la CONSTRUCCIÓN DE HANGARES DE AERONAVES NUEVOS Y REACONDICIONADOS

Versión 7.1

Revisado en Diciembre de 2025

Safespill Systems, LLC
4510 Brittmoore Rd
Houston, TX 77041
(713) 645-4370
www.safespill.com

Tabla de Contenidos

1.	Alcance del Documento	1
2.	Propósito del ILDFA.....	2
3.	Tuberías e Instrumentación	3
4.	Cobertura del Hangar.....	6
4.1.	Distribución de Pisos	6
4.2.	Ubicación de las Zanjas.....	8
5.	Diseño de Losas de Concreto	11
5.1.	Requisitos de la Losa de Concreto	11
5.1.1.	NFPA 409 (edición de 2022).....	11
5.1.2.	Hoja Técnica FM 7-93	11
5.1.3.	UFC 4-211-01, Cambio 4	11
5.2.	Nueva Construcción: Losa de Concreto Empotrada	12
5.3.	Losa Existente: Calces.....	14
5.4.	Hangar Reacondicionado: Rampas	15
5.5.	Hangar Reacondicionado: Relleno de Concreto	16
6.	Zanjas	17
6.1.	Consideraciones Estructurales para las Zanjas	17
6.2.	Diseño de Zanjas.....	20
6.2.1.	Zanjas en Hangares Reacondicionados.....	21
6.2.2.	Hangares de Nueva Construcción	23
6.3.	Efectos del Encofrado de Aluminio en la Construcción de Concreto.....	25
7.	Especificaciones Estructurales	26
7.1.	Capacidad de Carga Puntual	26
7.2.	Textura del Perfil y Resistencia al Deslizamiento	27
7.3.	Pantallas FOD	29
7.4.	Fuerza de Fricción en Condiciones de Parada	30
8.	Aberturas en el Piso	33
8.1.	Puntos de Amarre.....	33
8.2.	Puntos de Conexión a Tierra.....	34
8.3.	Acceso a los Servicios Públicos	37
9.	Requisitos de Agua para la Descarga.....	38
9.1.	Fiabilidad	38
9.2.	Dispositivos de Suministro de Agua.....	39
9.3.	Diseño de la Bomba de Refuerzo.....	41
10.	Patín de la Bomba de Descarga.....	42
10.1.	Controlador de la Bomba de Descarga	43
11.	Sistema de Control.....	44
11.1.	Panel de Control Principal	44
11.2.	Caja de Conexiones de Controles	46
11.2.1.	Aplicaciones UFC 4-211-01 (U.S. Military).....	47
11.3.	Batería de Reserva.....	48
11.4.	Secuencia de Funcionamiento de la Alarma de Incendios.....	49
11.5.	Árbol Lógico	50
12.	Componentes Eléctricos en Zanjas.....	52
12.1.	Sensores de Detección de Líquidos	52
12.2.	Válvula Solenoides.....	54
13.	Contención y Drenaje	50
13.1.	Consideraciones sobre el Tamaño - Depósito de Contención	50
13.2.	Consideraciones sobre el Tamaño - Separador de Agua y Aceite.....	53
13.3.	Opciones de Contención y Separador de Agua y Aceite	54
13.3.1.	Tanque Subterráneo de Contención	54
13.3.2.	Separador subterráneo de agua y aceite	55
13.3.3.	Sistema Híbrido - OWS Pequeño + Depósito de Desborde	56
13.3.4.	Sólo Tanque de Contención sobre el Suelo.....	57

13.3.5.	Tanque de Contención sobre el Suelo + Paquete Safespill OWS.....	58
13.3.6.	Integración de Tanques de Reciclaje de Circuito Cerrado.....	59
13.3.7.	Depósito Híbrido sobre el Suelo + Contención de Desbordamiento.....	60
13.4.	Comentarios sobre los Requisitos de Caudal de los Aspersores.....	61
14.	Patín Safespill OWS (Separador de Agua y Aceite).....	62
15.	Aire Preacondicionado (PCA)	64
16.	Sistema de Rociadores Superiores	65
17.	Detectores Ópticos de Llama	66
18.	Suministro de Agua en Climas Fríos	67
19.	Compatibilidad de la Calefacción en la Losa	68
20.	Conclusión.....	70

Tabla de Figuras

Figura 3-1: Diagrama Simplificado ILDFA de Tuberías e Instrumentación (P&ID) de una zona	4
Figura 3-2: Esquema del ILDFA que muestra 4 zonas activadas por derrame en la intersección de 4 zonas	5
Figura 4-1: Ejemplo de un hangar F-35C de dos bahías con un ILDFA fijado al radio de derrame	7
Figura 4-2: Ejemplo de hangar para un MH-60T Jayhawk diseñado de pared a pared, según UFC 4-211-01.....	7
Figura 4-3: Ejemplo de hangar de Boeing 747-400 diseñado con un ILDFA reducido	8
Figura 4-4: Ejemplo de disposición recomendada de la zanja en relación con la aeronave	9
Figura 4-5: Perfil de conexión de extremo a extremo mostrado de cerca	8
Figura 4-6: Proceso de instalación de la conexión de extremo a extremo	9
Figura 4-7: Conjunto ILDFA acabado con las conexiones de extremo a extremo indicadas en el interior del recuadro naranja ...	10
Figura 5-1: Diseño de losa con zanjas prefabricadas de aluminio.....	12
Figura 5-2: Transición de la Losa del Hangar al ILDFA con Concreto Empotrado.....	13
Figura 5-3: Transición de Losa de Hangar a ILDFA en zanjas.....	13
Figura 5-4: Barra plana de aluminio utilizada para calzar los requisitos de pendiente adecuados durante la instalación	14
Figura 5-5: Ejemplo de instalación de calces bajo ILDFA.	14
Figura 5-6: Rampas de Acceso Inclínicas Estándar ILDFA	15
Figura 5-7: ILDFA con rampa de entrada inclinada 1:48 para helicóptero con poca altura libre	15
Figura 5-8: Relleno de concreto utilizado a lo largo del muro perimetral	16
Figura 5-9: Ejemplo de relleno de concreto utilizado alrededor de los pilares en el centro del hangar.....	16
Figura 6-1: Representación de una zanja de aluminio y una losa de concreto que muestra la fuerza transferida.....	17
Figura 6-2: Render que muestra las vigas de soporte de la cubierta de la zanja.	18
Figura 6-3: Tapas de zanja parcialmente instaladas con algunas vigas de soporte aún expuestas.....	18
Figura 6-4: Instalación terminada de la tapa de la zanja.....	19
Figura 6-5: Requisitos de Pendiente y Profundidad de la Zanja.....	20
Figura 6-6: Zanja prefabricada ILDFA para proyectos de reacondicionamiento	21
Figura 6-7: Zanja prefabricada ILDFA para nuevas construcciones.....	23
Figura 7-1: Las pruebas de carga demuestran que ILDFA puede soportar 96,000 libras (43,545 kg)	26
Figura 7-2: Perfil de piso Safespill con textura antideslizante	27
Figura 7-3: Superficie superior ILDFA con pantalla FOD instalada debajo de las perforaciones	29
Figura 7-4: Ejemplo de remolcador trasladando una aeronave a ILDFA.	30
Figura 7-5: Diagrama de cuerpo libre que muestra las fuerzas sobre el ILDFA bajo una aeronave en movimiento.....	31
Figura 8-1: Núcleo de concreto perforado en la losa del hangar	33
Figura 8-2: Punto de amarre ILDFA anclado químicamente a la losa de concreto	33
Figura 8-3: Punto de amarre ILDFA sin tapa	33
Figura 8-4: Ejemplo de punto de amarre ILDFA con conexión de cadena de aeronave	33
Figura 8-5: Ejemplo de Punto de Conexión a Tierra ILDFA.....	34
Figura 8-6: Vista transversal del punto de toma de tierra ILDFA incrustado en el perfil	34
Figura 8-7: Corte de 3" en el Perfil de Piso ILDFA	35
Figura 8-8: Punto de Conexión a Tierra Insertado en el Perfil de Piso ILDFA.....	35
Figura 8-9: Bus de tierra instalado en zanja de aluminio prefabricada ILDFA para terminación de puntos de tierra.....	36
Figura 8-10: Terminación del punto de tierra al final de la zanja.....	36
Figura 8-12: Utilidad Apertura con ejemplo de flujo a través de canales	37
Figura 8-11: Apertura Utilitaria con la tapa quitada	37
Figura 8-13: Concepto de Puerta de Acceso	37
Figura 9-1: Ejemplo de disposición del suministro de agua con los dispositivos necesarios.	40
Figura 9-2: Ejemplo de Patín de Bomba de Refuerzo.....	40
Figura 10-1: Típica carcasa de patín de bomba en instalación de hangar ILDFA.	42
Figura 10-2: Diseño del ILDFA con patines de bomba en lados opuestos del sistema.....	43
Figura 11-1: Panel de Control del ILDFA montado en la pared interior del hangar	44
Figura 11-2: Ejemplo de la HMI del ILDFA con el modo de limpieza de la Zona 3 activado	45
Figura 11-3: Caja de Conexiones de Controles Típica montada en la pared cerca de la zanja ILDFA.....	46
Figura 11-4: Gabinete de baterías montado en la pared cerca del panel de control principal	48
Figura 11-5: Secuencia de Operaciones para FACP de acuerdo con UFC 4-211-01	49
Figura 11-6: Árbol Lógico ILDFA	50
Figura 11-7: Árbol Lógico del ILDFA (Continuación).....	51

Figura 12-1: Componentes y funcionamiento del sensor de detección de líquidos	53
Figura 12-2: Conexión de la tubería enterrada al suministro del distribuidor de lavado.....	54
Figura 12-3: Gabinete de válvulas mural para 8 zonas de ILDFA	54
Figura 13-1: Ejemplo de cálculo para el dimensionamiento de la contención utilizando UFC 4-211-01 (Cambio 4).....	51
Figura 13-2: Ejemplo de cálculo para el dimensionamiento de la contención utilizando la norma NFPA 409	51
Figura 13-3: Ejemplo de cálculo para el dimensionamiento de la contención utilizando la Hoja Técnica FM 7-93.....	52
Figura 14-1: P&ID de Patín OWS (Separador de Agua y Aceite) Safespill	63
Figura 14-2: Patín OWS externo vista lateral junto al tanque de contención	63
Figura 15-1: Trazado aprobado para ILDFA en hangares utilizando zanjas PCA	64
Figura 17-1: Las pruebas del detector de llama se realizaron en el ILDFA mostrado.	66
Figura 18-1: P&ID simplificado de ILDFA para la protección contra la congelación.....	67
Figura 19-1: Sistema de calefacción radiante en losa para hangar que utiliza ILDFA	68
Figura 19-2: Comparación de la calefacción radiante en el forjado con y sin ILDFA.....	69

REGISTRO DE REVISIONES

Diciembre de 2025, Publicación de la Versión 7.1

Sustituye: Versión 6.0 (Febrero de 2025)

Revisiones Globales

- Actualizadas todas las referencias a UFC 4-211-01 (Cambio 4), NFPA 409 (edición propuesta para 2026) y Hoja Técnica FM 7-93 (2022).

Revisiones Específicas de los Capítulos

Capítulo 4 - Cobertura del Hangar

- Criterios refinados del radio de derrame.
- Orientaciones ampliadas sobre la separación entre zanjas y la longitud máxima de los perfiles.
- Se han añadido imágenes que muestran las conexiones de extremo a extremo de los perfiles.

Capítulo 5 - Diseño de Losas de Concreto

- Requisitos de pendiente y acabado actualizados según todas las rutas del código.
- Se ha añadido una nueva Sección 5.5 - Relleno de concreto para hangares reacondicionados.
- Cifras revisadas para losas empotradas y detalles del hardware de transición.

Capítulo 6 – Zanjas

- Se ha añadido un debate sobre los problemas de corrosión relacionados con las zanjas de aluminio como encofrado de concreto.
- Pasos de instalación actualizados y nuevas figuras para el montaje de zanjas prefabricadas.

Capítulo 7 - Especificaciones Estructurales

- Datos revisados sobre resistencia al deslizamiento y pruebas aclaradas según ANSI/NFSI B101.1.

Capítulo 8 - Aberturas en el Piso

- Se han actualizado las cifras de los puntos de conexión a tierra y los esquemas de cableado.
- Se han añadido nuevos ejemplos de aberturas de acceso a servicios públicos.

Capítulo 9 - Requisitos de Agua para la Descarga

- Se han añadido orientaciones sobre la fiabilidad del suministro de agua y notas sobre la redundancia de las fuentes.
- Sección de la bomba de refuerzo actualizada con la huella y el peso típicos.

Capítulo 10 - Patín de la Bomba de Descarga

- Se han aclarado el dimensionamiento de la bomba, el diseño de la carcasa y la integración de los controles.

Capítulo 11 - Sistema de Control

- Aclaración de la ubicación de montaje de la caja de conexiones.

Capítulo 12 - Componentes Eléctricos en Zanjas

- Revisión de las tablas de dimensionamiento de conductos y descripciones de cableado.
- Detalles actualizados de la caja de la válvula solenoide.

Capítulo 13 - Contención y Drenaje

- Totalmente reescrito con nuevos cálculos de ejemplo para las rutas UFC, NFPA y FM.
- Criterios añadidos de selección de contención frente a OWS y tablas comparativas de códigos.

Capítulo 14 - Patín Separador de Agua y Aceite (OWS) Safespill

- Añadido el peso típico de OWS y las cifras de la vista externa.

Capítulo 16 - Sistema de Rociadores Superiores

- Se ha añadido un resumen de los datos de las pruebas de incendio a escala real y de los resultados de la activación de los rociadores.

Capítulo 18 - Suministro de Agua en Climas Fríos

- Se ha añadido el lenguaje de protección contra la congelación y se ha actualizado el diagrama de configuración de las válvulas.

Capítulo 19 - Compatibilidad de la Calefacción en la Losa (Nuevo)

- Se han introducido orientaciones sobre la compatibilidad radiante-calorífica con los pisos ILDA.

1. Alcance del Documento

El alcance de este documento es proporcionar orientación sobre el diseño del conjunto de piso de drenaje de líquidos inflamables (ILDFA) a las empresas de arquitectura e ingeniería (A&E) que se encuentren en las primeras fases de diseño de un proyecto de hangar de nueva construcción o de un proyecto de reacondicionamiento de un hangar existente. El objetivo es proporcionar información suficiente para especificar un ILDFA para un proyecto sin necesidad de que el fabricante del ILDFA aporte información detallada en las fases preliminares del diseño. No obstante, este documento debe considerarse simplemente un punto de partida para el diseño. Cada proyecto presenta retos únicos y debe consultarse a Safespill cuando se encuentren situaciones no contempladas en este documento.

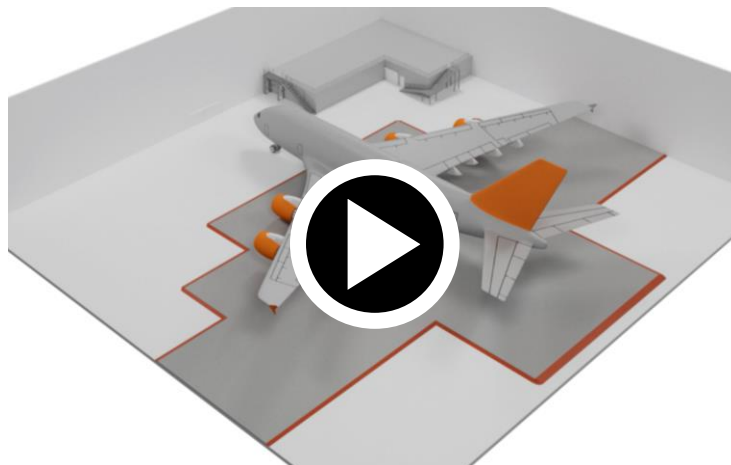
Safespill está comprometido con la mejora continua; por lo tanto, las mejores prácticas, la instalación y la fabricación evolucionan continuamente. Consulte la última versión del documento en: <https://safespill.com/technical-specs-resources/>

Antes de seguir leyendo este documento, vea los siguientes vídeos que proporcionan información general sobre los principios de funcionamiento del sistema y sobre cómo abordar la disposición y el dimensionamiento del sistema.

[Explicación del Piso Safespill](#)



[Opciones de Diseño de Pisos](#)



2. Propósito del ILDFA

Un ILDFA está diseñado para contener y eliminar derrames de líquidos inflamables antes de que se conviertan en un incendio. En sus fundamentos, el ILDFA es un piso hueco de aluminio extruido con una superficie superior perforada, conectado a un sistema de zanjas para evacuar cualquier líquido derramado a un lugar aceptable (es decir, un sistema de contención, un separador de agua y aceite, o según indique la autoridad local). En caso de que se incendie un derrame, el ILDFA controlará y extinguirá rápidamente el incendio del líquido inflamable.

Una aplicación de un ILDFA es la protección contra incendios de Clase B (combustible) en el interior de un hangar de aeronaves, aceptada por la NFPA 409 (Edición 2022) para hangares de los Grupos 1 y 2 en combinación con un sistema de rociadores superiores. Los ILDFA están aprobados según la norma de aprobación FM 6090 y son el método preferido de protección contra incendios para hangares de aeronaves según la Hoja Técnica FM 7-93.

El Mando de Sistemas de Ingeniería de Instalaciones Navales de Estados Unidos (NAVFAC) ha verificado el uso operativo diario del sistema y tiene múltiples ILDFA en uso actualmente. Se espera que el Criterio Unificado de Instalaciones (UFC) 4-211-01, "Hangares de Mantenimiento de Aeronaves", se revise con el Cambio 4 en 2025 para incluir orientaciones sobre la instalación de ILDFA en hangares reacondicionados y de nueva construcción. En este documento se hace referencia a las secciones pertinentes de UFC 4-211-01.

Además, el Centro de Ingenieros Civiles de la Fuerza Aérea de Estados Unidos (AFCEC) ha verificado de forma independiente el rendimiento del ILDFA en pruebas de incendio, tal y como se documenta en este informe de pruebas:

<https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD1168510.pdf>

3. Tuberías e Instrumentación

Un ILDFA se divide en zonas, cada una con una superficie típica de 1,320 ft² (122.5 m²) por zona. La anchura estándar de la zona es de 30 pies (9.2 m), y los perfiles de piso de aluminio se fabrican en longitudes de hasta 39.3 pies (12.0 m).

Cada zona incluye los siguientes componentes específicos.

- Válvula solenoide
- Sensores de detección de líquidos por fibra óptica
- Distribuidor de lavado

Todos los puntos de conexión mostrados en



Figura 3-1 representan la interfaz entre el alcance del suministro de Safespill y el del contratista instalador. A petición del cliente, Safespill puede incluir estas conexiones en su ámbito de actuación.

Si un proyecto requiere perfiles más largos para reducir el número de zanjas u optimizar el diseño, póngase en contacto con Safespill para revisar las opciones de diseño y confirmar la viabilidad de la fabricación y el cumplimiento de la normativa.

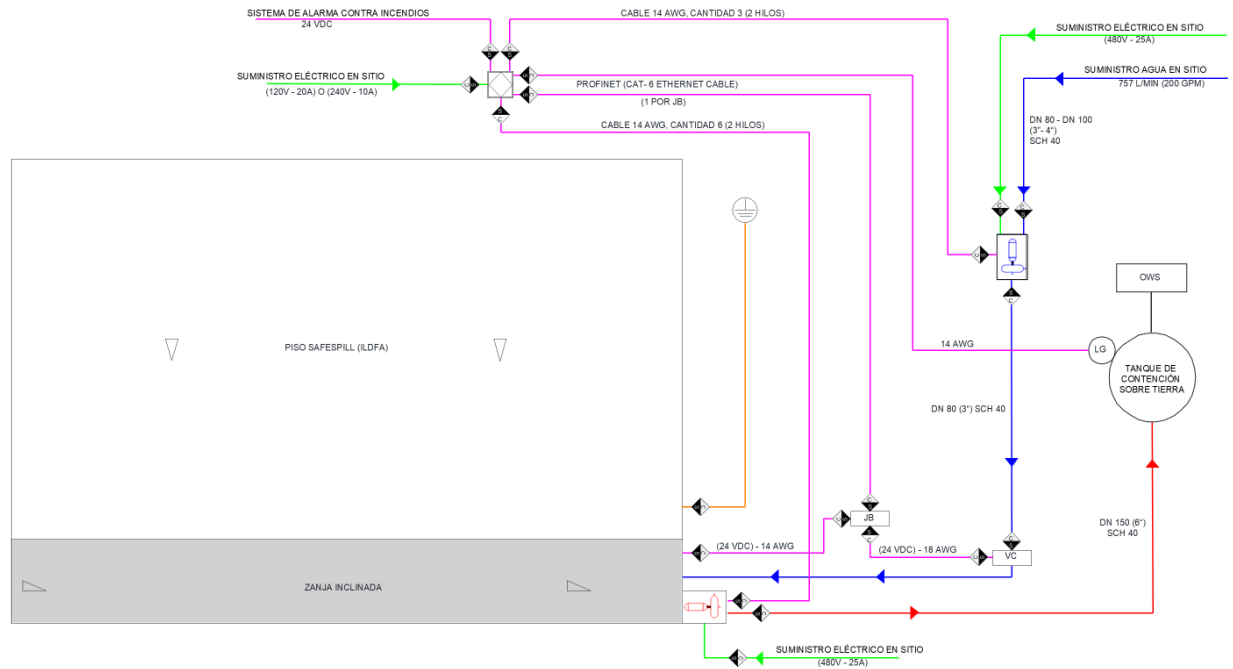




Figura 3-1: Diagrama Simplificado ILDFA de Tuberías e Instrumentación (P&ID) de una zona

Cuando se produce un derrame en una zona, sólo se activa el distribuidor de lavado dedicado a esa zona. Cada distribuidor de lavado requiere un suministro de agua de 189 LPM (50 GPM).

En un escenario en el que un derrame cae en la intersección de varias zonas, como se muestra en Figura 3-2, se activarán varias zonas en las direcciones x e y. Hasta 4 zonas (es decir, las zonas 1, 2, 6 y 7 en la Figura 3-2) detectarían un derrame y activarían los 4 distribuidores de lavado asociados.

En este caso, 4 zonas multiplicadas por 50 GPM/zona (189 LPM) requerirán 200 GPM (757 LPM) como suministro máximo de agua para el sistema.

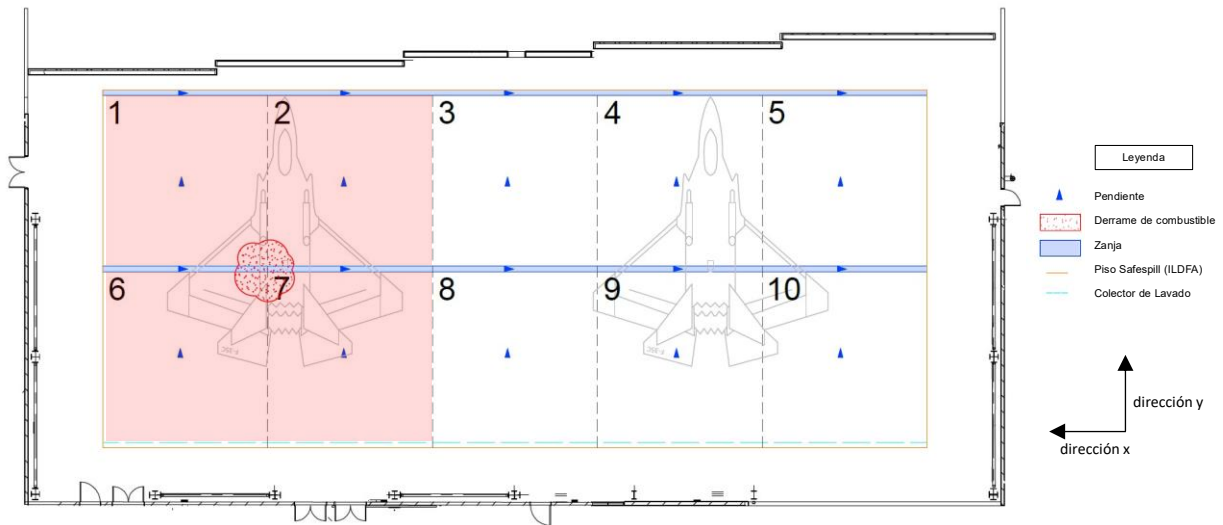


Figura 3-2: Esquema del ILDFA que muestra 4 zonas activadas por derrame en la intersección de 4 zonas

4. Cobertura del Hangar

La cobertura de pared a pared del piso del hangar proporcionará la mayor flexibilidad en diversos escenarios de estacionamiento de aeronaves. El ILDFA puede desplazarse de la pared si existen requisitos de espacio libre en el hangar establecidos por el propietario, como las distancias requeridas con respecto a paredes y obstáculos fijos.

Sin embargo, en los hangares en los que las aeronaves tienen plazas de estacionamiento designadas, la cobertura de pared a pared puede no ser necesaria, y se pueden ahorrar costos significativos reduciendo la cobertura del piso. Para las instalaciones de ILDFA que sigan el UFC 4-211-01, sólo se permite la cobertura parcial del hangar cuando lo apruebe el Ingeniero de Protección contra Incendios de Componentes (CFPE, según se define en UFC 3-600-1) o el Representante Técnico de Componentes (CTR).

Para instalaciones que cumplan con la norma UFC 4-211-01, asegúrese de que el ILDFA cubra todas las áreas donde podría producirse un derrame de combustible trazando un radio de 18 pies (5.5 m) desde el borde exterior de todas las áreas que contengan combustible en la aeronave, como los depósitos de combustible y los motores, tal y como se muestra en la

Figura 4-1 a Figura 4-3.

Para instalaciones que sigan los requisitos de la Hoja Técnica FM 7-93 o NFPA 409 (Edición 2022), utilice un radio de derrame de 16 pies (4.9 m) para aeronaves pequeñas y un radio de derrame de 18 pies (5.5 m) para aeronaves grandes.

De acuerdo con la Hoja Técnica FM 7-93 (Capítulo 2.2.2.2) y la NFPA 409 (Capítulo 8.2.13.4.1), se consideran aeronaves "pequeñas" todas las aeronaves de hasta 78 pies (24 m) de longitud con una anchura de fuselaje inferior a 13 pies (4 m). Para las aeronaves pequeñas, el escenario máximo de derrame de combustible en el peor de los casos es de 200 gpm (757 LPM), mientras que para las aeronaves grandes de más de 78 pies (24 m), el escenario máximo de derrame de combustible en el peor de los casos es de 400 GPM (1.514 LPM).

Para consultar el informe con los datos y escenarios del radio de derrame, [haga clic aquí](#).

4.1. Distribución de Pisos

A continuación se muestran tres ejemplos de cobertura de hangares del ILDFA. En la

Figura 4-1, se muestra una configuración de plazas de estacionamiento en múltiples bahías. En la Figura 4-2, se muestra un ILDFA de pared a pared para múltiples aeronaves. En la Figura 4-3, se muestra una configuración de plaza de estacionamiento para una sola aeronave.

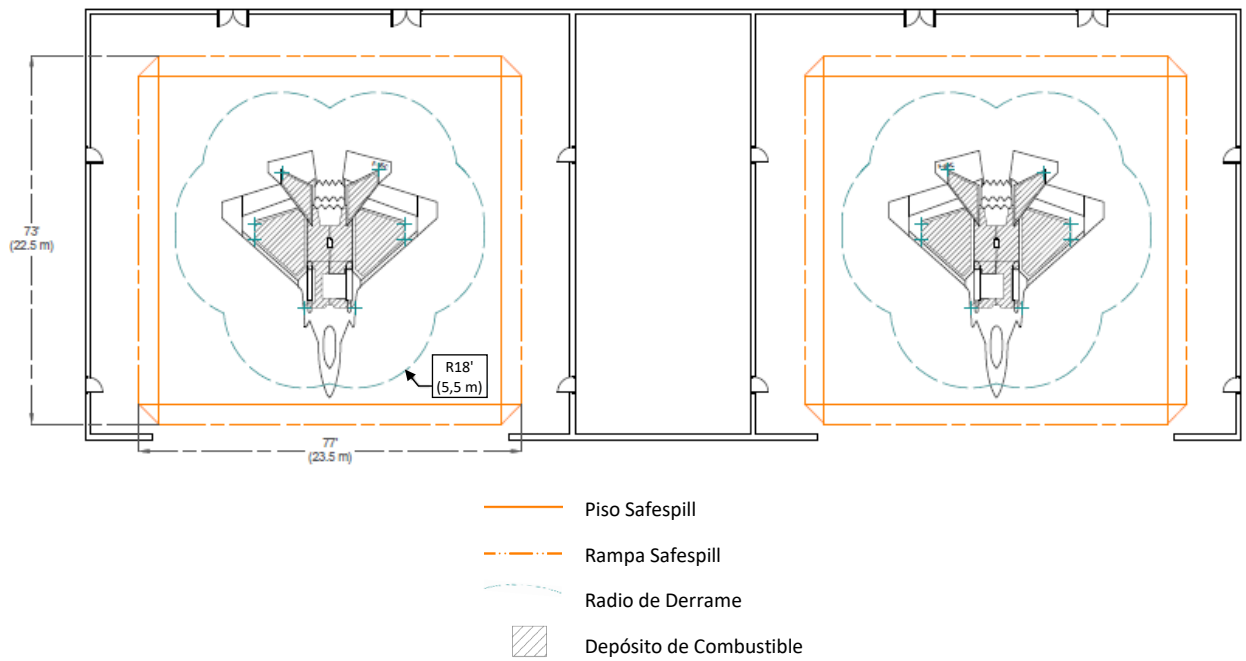


Figura 4-1: Ejemplo de un hangar F-35C de dos bahías con un ILDFA fijado al radio de derrame

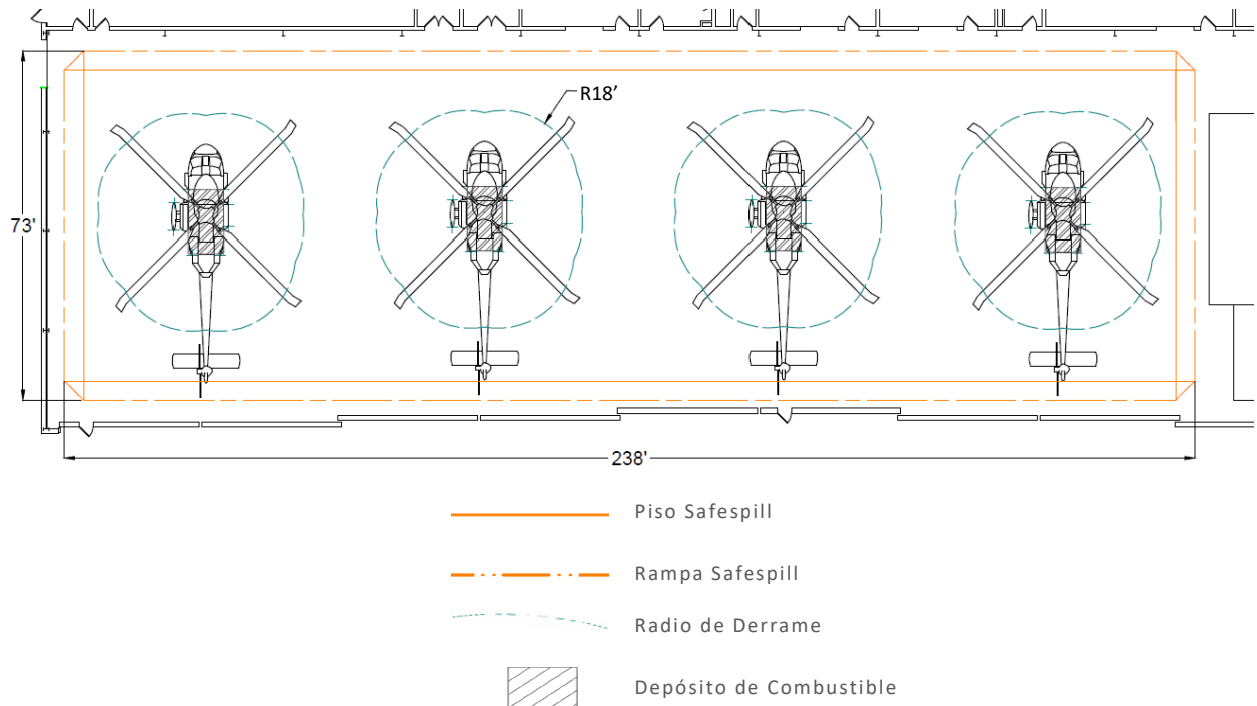


Figura 4-2: Ejemplo de hangar para un MH-60T Jayhawk diseñado de pared a pared, según UFC 4-211-01

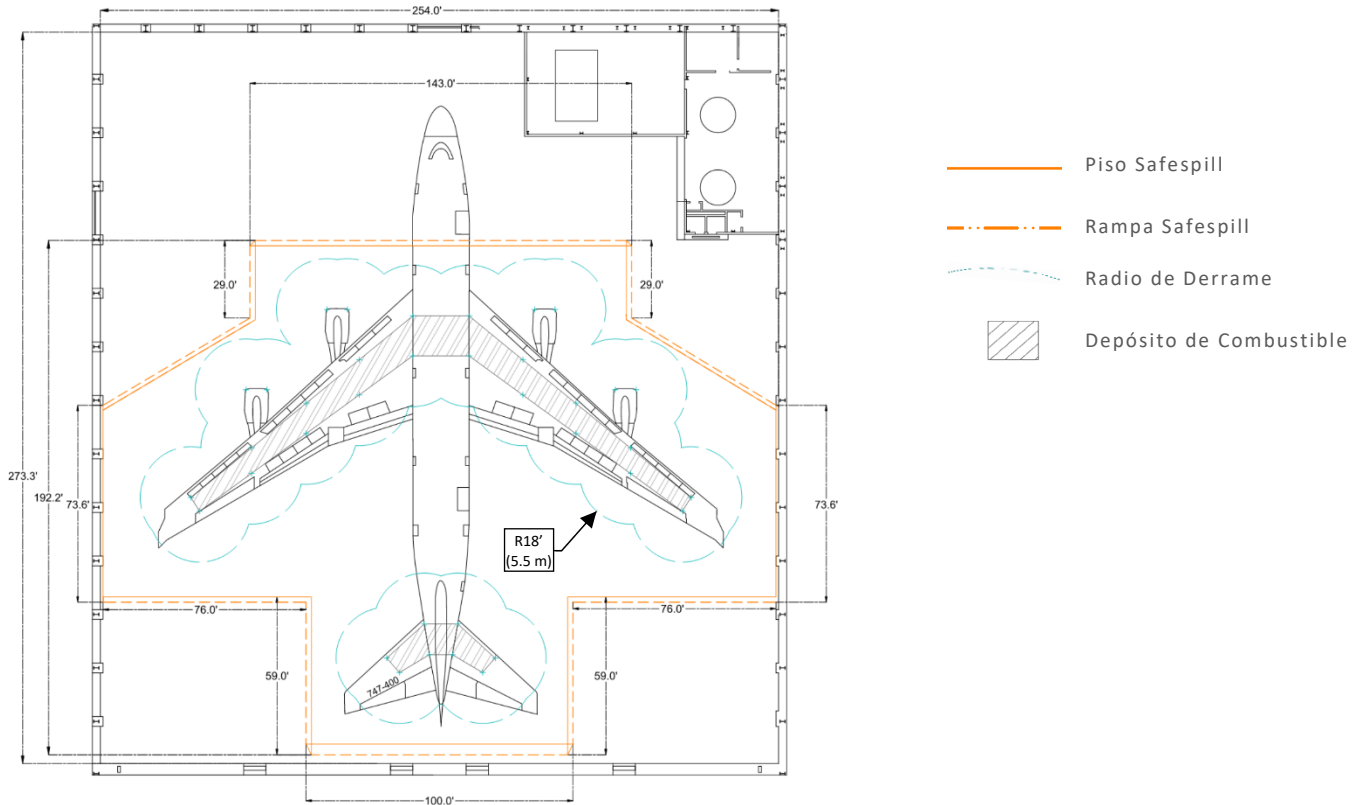


Figura 4-3: Ejemplo de hangar de Boeing 747-400 diseñado con un ILDFA reducido que sólo cubre las posibles zonas de derrame

4.2. Ubicación de las Zanjas

La ubicación de las zanjas en aplicaciones de reacondicionamiento debe determinarse en función de las pendientes de la losa existente. En la mayoría de los casos, ya existen zanjas en los puntos más bajos del hangar, y están diseñadas para alinearse con las pendientes existentes de la losa del hangar (consulte el [Capítulo 6, Zanjas](#) para obtener orientación sobre el uso de zanjas existentes con ILDFA).

Si no existen zanjas en el hangar, es habitual que la losa del hangar presente una sola pendiente, con su punto más bajo situado cerca de la(s) puerta(s) del hangar. En este caso, se instalará una zanja a lo largo de la puerta del hangar. Esta es también la disposición preferida para las aplicaciones de nueva construcción.

Se recomienda que, a la hora de determinar la ubicación de las zanjas, éstas se coloquen en función de la configuración del estacionamiento de aeronaves del hangar, de modo que la zanja ILDFA discorra perpendicular a la aeronave y la pendiente, paralela a la aeronave. Esta alineación evita que un derrame de una aeronave migre a las aeronaves adyacentes y las exponga.

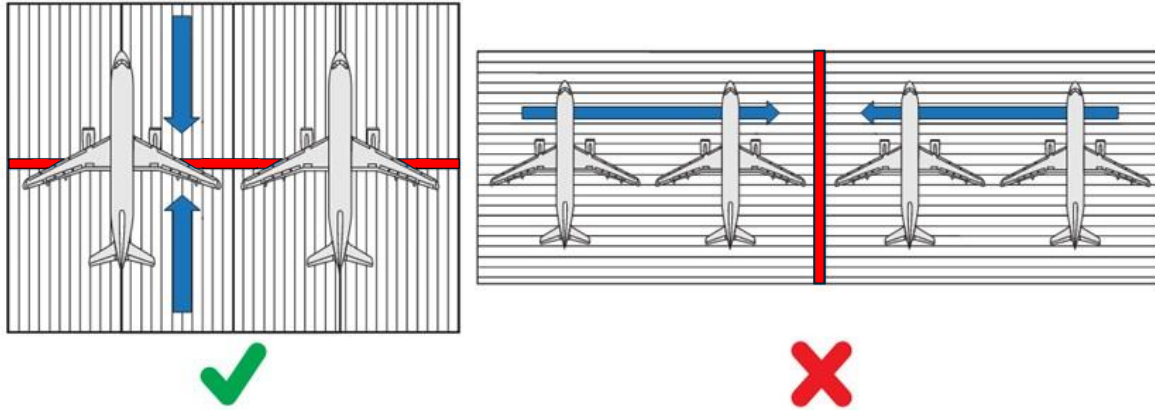


Figura 4-4: Ejemplo de disposición recomendada de la zanja en relación con la aeronave (Hoja Técnica FM 7-93, Fig. 2.2.2.2-1)

Para reducir el costo y el tiempo de construcción, el número de zanjas debe reducirse al mínimo y las secciones ILDFA pueden fabricarse con diferentes longitudes para lograr un espaciado óptimo de las zanjas.

Los perfiles de piso ILDFA se fabrican en longitudes de hasta 39.3 pies (12.0 m). Safespill puede proporcionar secciones continuas más largas mediante conexiones de campo de extremo a extremo, como se muestra en la Figura 4-5 a la Figura 4-7. Sin embargo, el ingeniero responsable debe consultar a Safespill antes de optar por esta opción para confirmar la compatibilidad del diseño, la posibilidad de fabricación y el cumplimiento de los códigos y normas aplicables.



Figura 4-5: Perfil de conexión de extremo a extremo mostrado de cerca



Figura 4-6: Proceso de instalación de la conexión de extremo a extremo

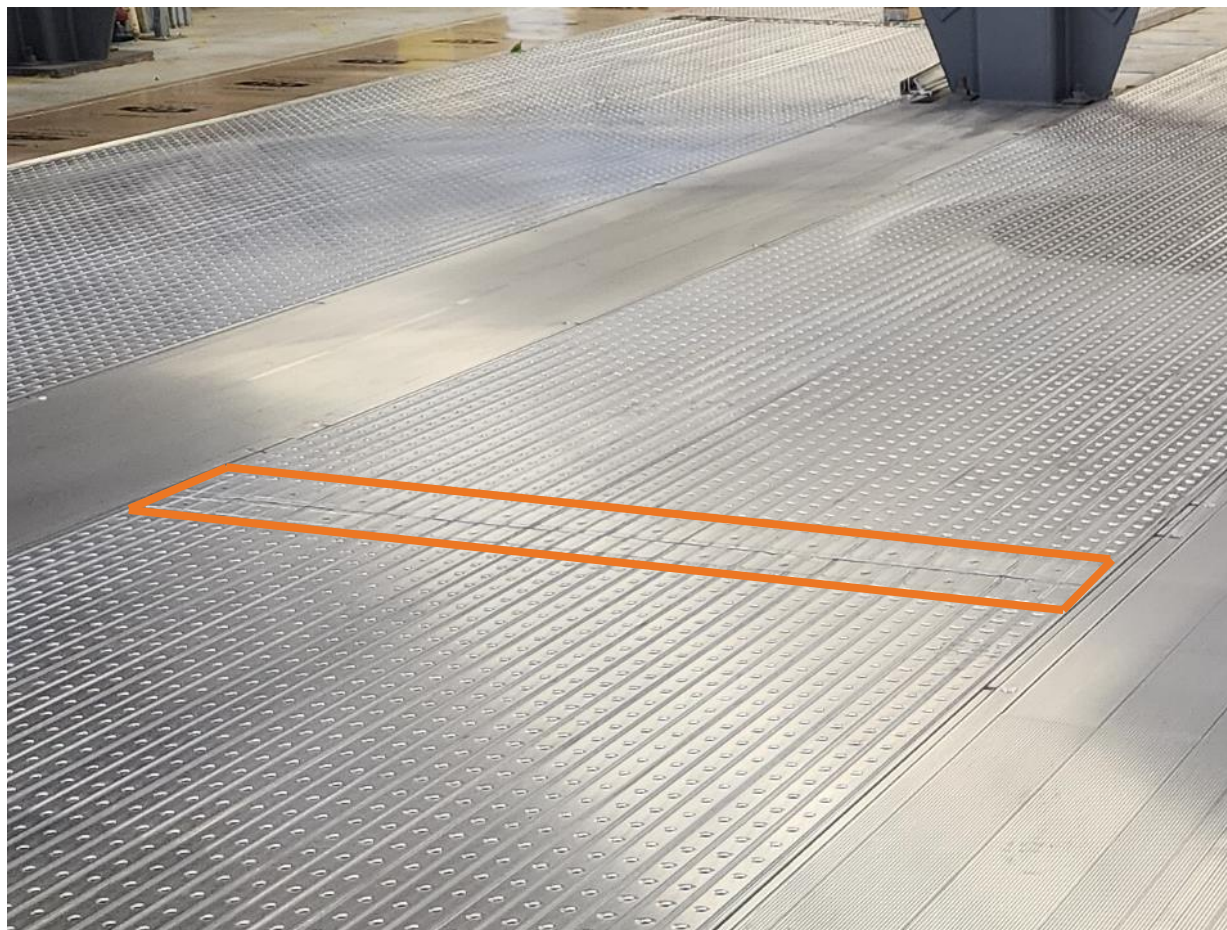


Figura 4-7: Conjunto ILDFA acabado con las conexiones de extremo a extremo indicadas en el interior del recuadro naranja

5. Diseño de Losas de Concreto

5.1. Requisitos de la Losa de Concreto

El ILDFA ha sido diseñado y probado para soportar el peso máximo al despegue (MTOW) de cualquier aeronave comercial o militar en un escenario de carga de compresión.

La pendiente de la losa de concreto debe cumplir el código aplicable:

5.1.1. NFPA 409 (edición de 2022)

La Sección 7.12.2.5 exige una pendiente mínima del 0.5% (0.3°)

5.1.2. Hoja Técnica FM 7-93

La Hoja Técnica requiere una pendiente mínima del 0.5% (0.3°).

- Hoja Técnica FM 7-93 no especifica la pendiente requerida para un ILDFA y remite a las instrucciones de instalación del fabricante y a la lista de productos de la Guía de Homologación de FM Approvals.
- Hoja Técnica FM 7-93, 2.2.2.3.2.2 no es aplicable para instalaciones ILDFA ya que esta sección proporciona requisitos para "Sistemas de Drenaje de Emergencia" que no son equivalentes a ILDFA.

5.1.3. UFC 4-211-01, Cambio 4

La Sección 3-4.2.3 requiere una pendiente con un mínimo de 0.5% y un máximo de 1.5% (0.3° a 0.85°).

Una configuración ideal para una instalación ILDFA inclinará la losa de concreto hacia la entrada de la puerta del hangar.

5.2. Nueva Construcción: Losa de Concreto Empotrada

Al diseñar un ILDFA para un hangar de nueva construcción, el rebaje de la losa en 2 pulgadas (51 mm) proporcionará una transición enrasada entre el piso de concreto y el ILDFA. En este caso, no se necesitarán rampas.

Tenga en cuenta que el ILDFA se instalará directamente sobre la losa de concreto, pero no debe tenerse en cuenta a la hora de determinar la resistencia estructural de la losa.

Por ejemplo, un requisito de espesor de losa de 10" (254 mm) para un hangar no puede reducirse a 8" (203 mm) con un ILDFA (la altura del ILDFA es de 2" (50 mm)); la losa debe seguir teniendo un espesor de 10" (254 mm). La losa más el ILDFA será de 12" (305 mm).

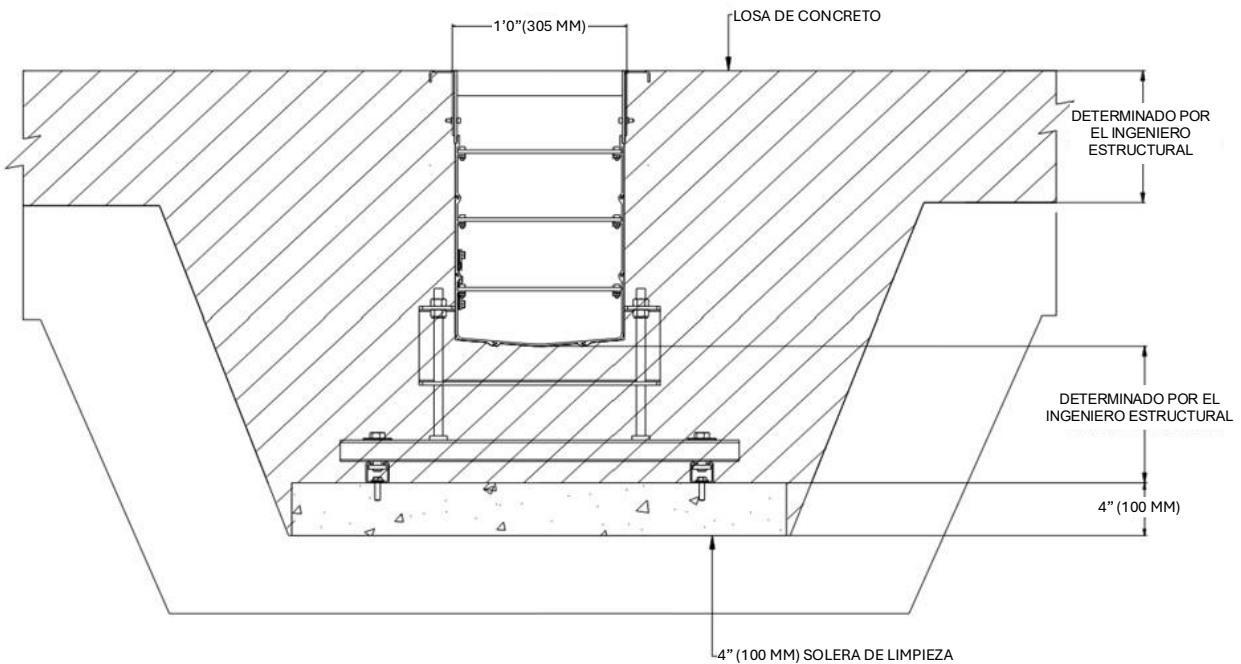


Figura 5-1: Diseño de losa con zanjas prefabricadas de aluminio

El concreto empotrado debe tener una pendiente constante entre el 0.5% y el 1.5% hacia cada zanja. La planitud constante reduce al mínimo la necesidad de calces. se recomienda un acabado "muy plano" de acuerdo con la norma 117 del Instituto Americano del Concreto (ACI) y las irregularidades de la losa no deben superar un delta de elevación de 0.125" a lo largo de 10 ft.

Para reforzar las esquinas del concreto encofrado o cortado, se recomienda utilizar ángulos de acero o aluminio como se muestra en la

Figura 5-2. Cuando se utilicen metales distintos, se instalarán juntas de fluoroelastómero (FKM, Viton™) para aislar los metales y evitar la corrosión galvánica.

El tamaño del ILDFA incluirá un espacio de 1" - 2" (25 a 50 mm) alrededor del perímetro del piso, entre el borde del piso y el hueco de concreto, para tener en cuenta las tolerancias de construcción. Este espacio debe coordinarse durante el diseño y se rellenará con concreto, epoxi o equivalente una vez instalado el ILDFA.

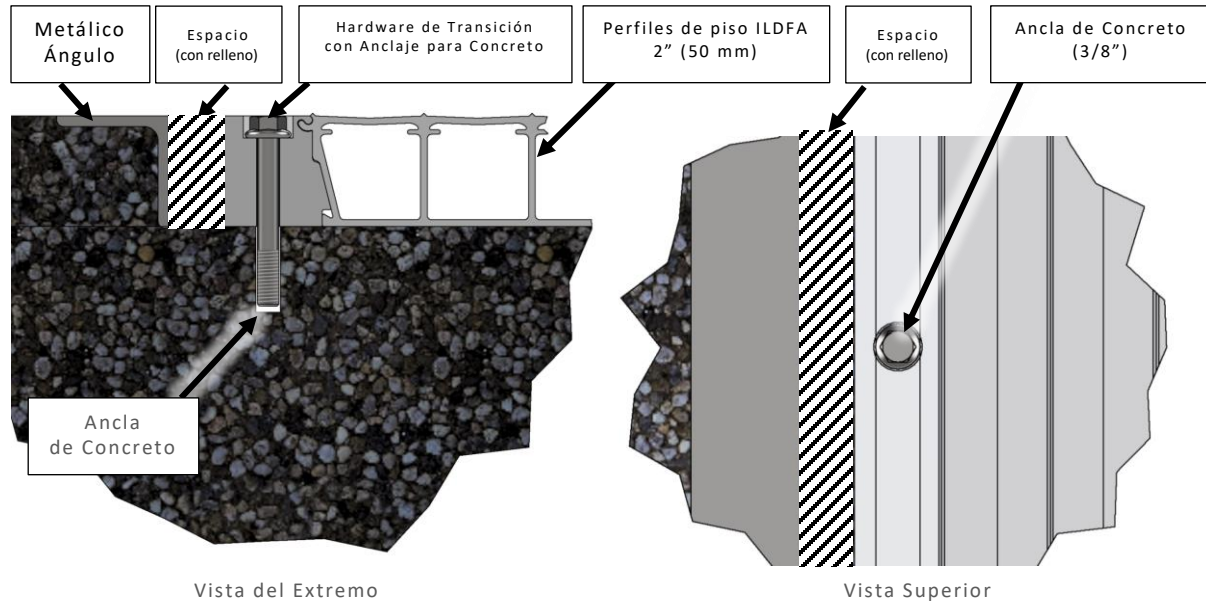


Figura 5-2: Transición de la Losa del Hangar al ILDFA con Concreto Empotrado

Cuando una zanja está situada en una zona empotrada, las vigas de la zanja deben extenderse a través de la zanja y apoyarse en el concreto entre el borde de la zanja y el hardware de transición. El diseño de esta transición se detalla en Figura 5-3. La distancia requerida desde el borde de la zanja hasta el extremo del hardware de transición es de 6-1/2" (140 mm). Con una separación de 1" – 2" (25 - 50 mm) por tolerancias de construcción, la losa debe diseñarse con un rebaje situado a 7-1/2" (165 mm) a 8-1/2" (190 mm) del borde de la zanja.

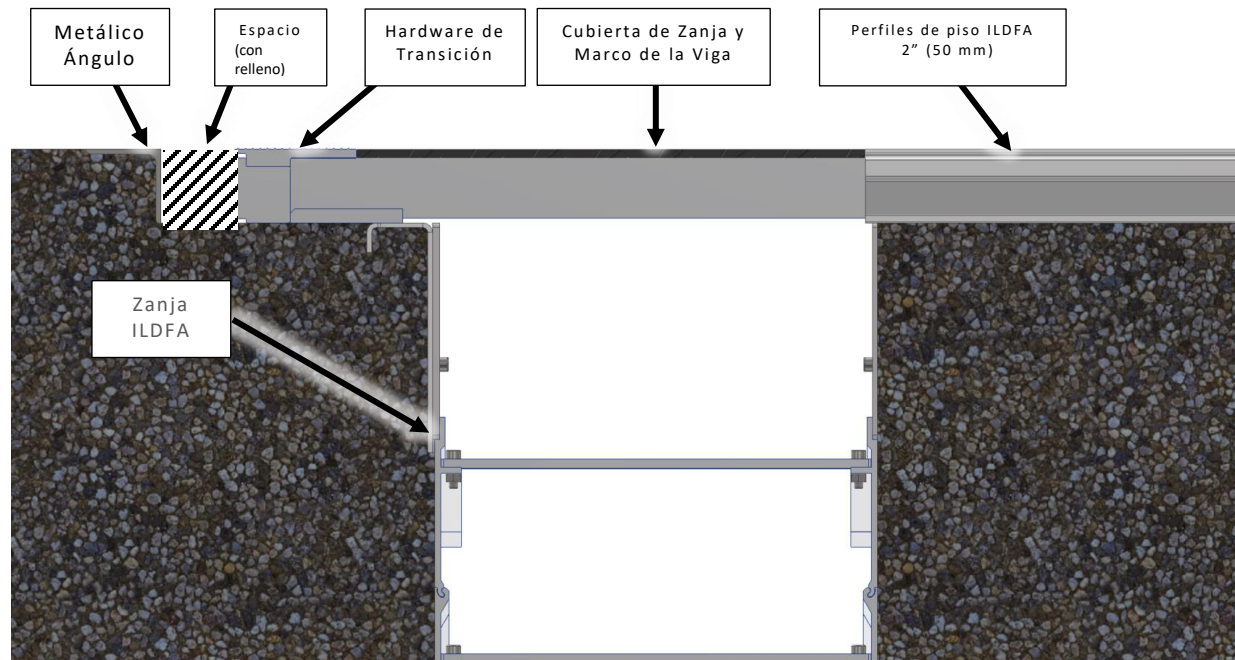


Figura 5-3: Transición de Losa de Hangar a ILDFA en zanjas

5.3. Losa Existente: Calces

Si la losa del hangar existente cumple con la pendiente requerida del 0.5% al 1.5%, pero tiene un número limitado de inconsistencias o puntos bajos, se pueden utilizar barras planas de aluminio para calzar secciones individuales y cumplir con los requisitos de pendiente. Figura 5-4 muestra un ejemplo de calce del ILDFA para que coincida con la pendiente del 0.5% durante la instalación.

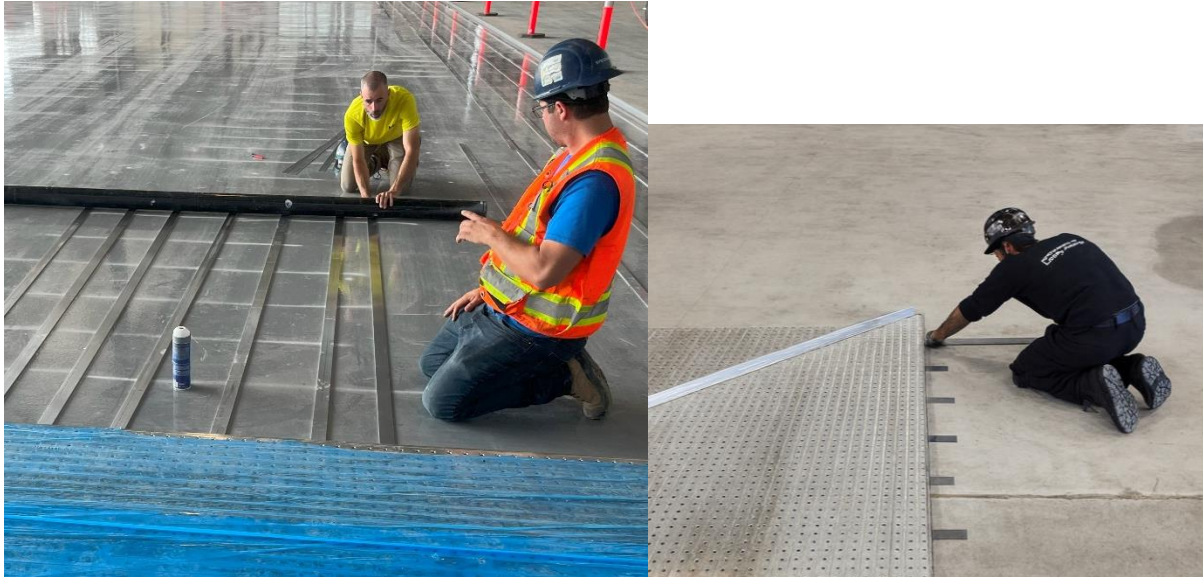


Figura 5-4: Barra plana de aluminio utilizada para calzar los requisitos de pendiente adecuados durante la instalación

Cuando sea necesario calzar, un ingeniero estructural debe confirmar que la separación y la altura de las calzas son adecuadas para soportar las cargas previstas. Normalmente, cuando los perfiles Safespill ILDFA requieren calzos, éstos se colocan cada 12" (300 mm) con alturas de calzo no superiores a 2" (50 mm). Cada cuña de aluminio se fija a la losa de concreto utilizando una resina epoxi especificada para la adhesión de concreto y metal (Hilti HIT-RE 500 V3 es un ejemplo).



Figura 5-5: Ejemplo de instalación de calces bajo ILDFA.

5.4. Hangar Reacondicionado: Rampas

Para las instalaciones de reacondicionamiento que requieran que el ILDFA se instale directamente sobre la losa del hangar, se instalarán rampas en todos los lados del piso. Las rampas se anclan a la losa mediante anclajes de concreto para restringir el movimiento.



Figura 5-6: Rampas de Acceso Inclinas Estándar ILDFA

Las rampas estándar para el ILDFA tienen una longitud de 40 pulgadas (1.0 m) desde el borde del piso y se utilizarán en la mayor medida posible. En los lugares donde las aeronaves entran y salen del piso, se utilizarán rampas estándar.

En zonas en las que sólo accederán al piso equipos y personal de mantenimiento, puede ser aceptable utilizar rampas con una pendiente más pronunciada. De este modo, se puede maximizar la superficie útil y dejar espacio libre alrededor de puertas, escaleras y otros obstáculos preexistentes en el hangar. Las rampas empinadas tienen una longitud de 24 pulgadas (0.6 m) desde el borde del piso.

Si el hangar va a albergar una aeronave rotatoria u otra aeronave que tenga una barra de remolque o remolcador con un espacio libre de elevación corto, puede ser necesario utilizar una rampa de entrada inclinada de 1:48.

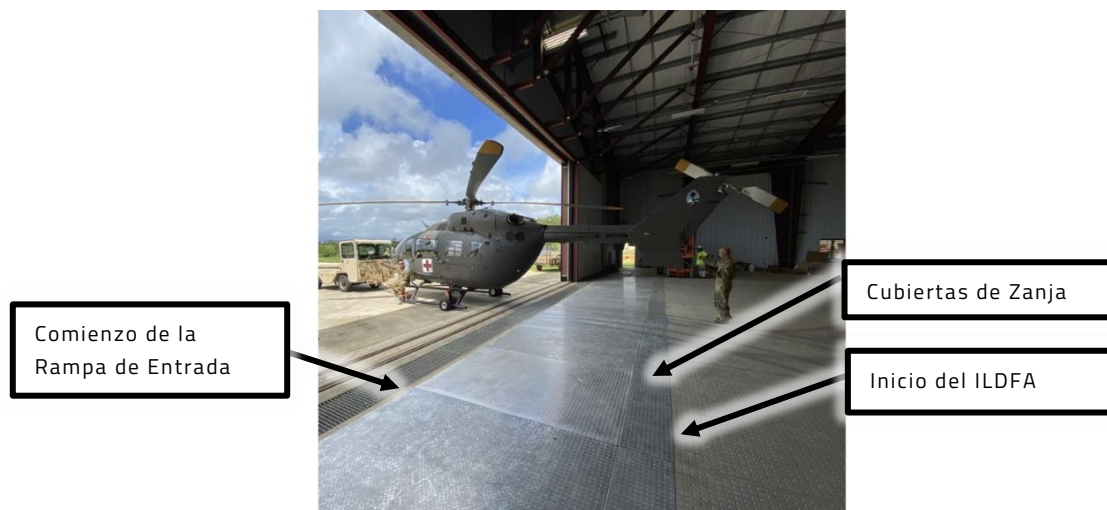


Figura 5-7: ILDFA con rampa de entrada inclinada 1:48 para helicóptero con poca altura libre

5.5. Hangar Reacondicionado: Relleno de Concreto

Se puede utilizar relleno de concreto alrededor del perímetro del ILDFA en lugar de rampas de aluminio, en particular cuando columnas, muros u otros obstáculos limitan el espacio libre disponible para la instalación de rampas estándar. El relleno de concreto se instala después de colocar y alinear el ILDFA.

El relleno de concreto debe formarse de manera que quede enrasado con la superficie superior del ILDFA, proporcionando una transición suave y continua para el personal y el equipo de mantenimiento. La superficie acabada debe tener una pendiente hacia el ILDFA no inferior al 0.5% (0.3°) para que cualquier líquido que se derrame sobre el relleno de concreto vuelva a la superficie del ILDFA en lugar de acumularse fuera de la huella del ILDFA.

El relleno de concreto es una alternativa práctica a las rampas en zonas localizadas, como alrededor de columnas estructurales o muros perimetrales. Aunque las rampas siguen siendo el método preferido para los principales puntos de acceso de aeronaves, el relleno de concreto ofrece una solución versátil que puede aplicarse de forma selectiva allí donde los obstáculos o la geometría compleja requieran una adaptación.

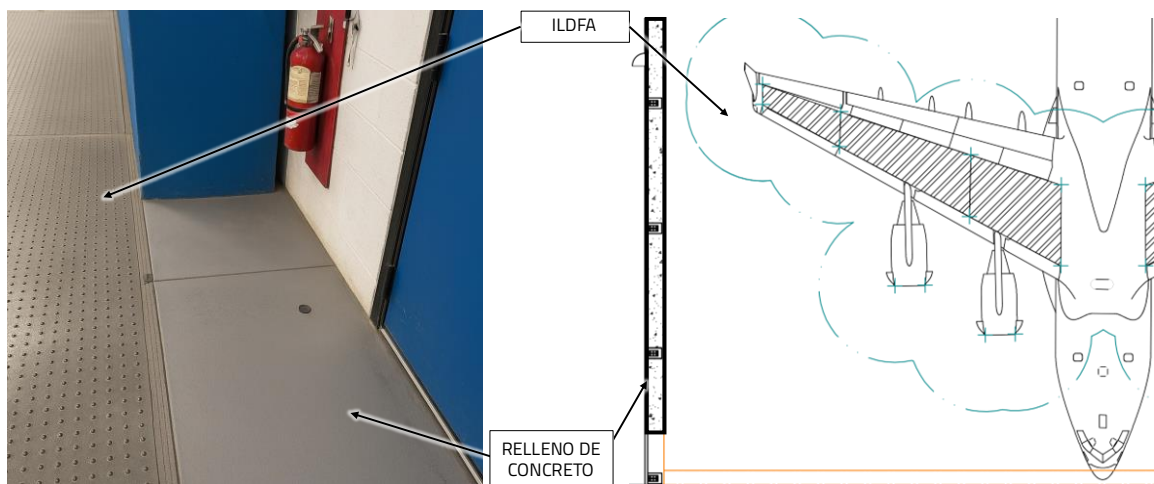


Figura 5-8: Relleno de concreto utilizado a lo largo del muro perimetral (izquierda) y planos del hangar con el relleno de concreto indicado (derecha).



Figura 5-9: Ejemplo de relleno de concreto utilizado alrededor de los pilares en el centro del hangar.

6. Zanjas

6.1. Consideraciones Estructurales para las Zanjas

Debido al diseño de las zanjas y del marco de la viga de la cubierta de la zanja, las cubiertas de aluminio de la zanja no experimentan la carga de las aeronaves que se desplazan sobre las cubiertas de la zanja. Las fuerzas generadas por las aeronaves se distribuyen a través de la cubierta de la zanja hasta el marco de la viga y en la losa de concreto, como se muestra en la Figura 6-1.

En los proyectos de nueva construcción, las zanjas de aluminio sirven como encofrado para el concreto, pero no son estructurales.

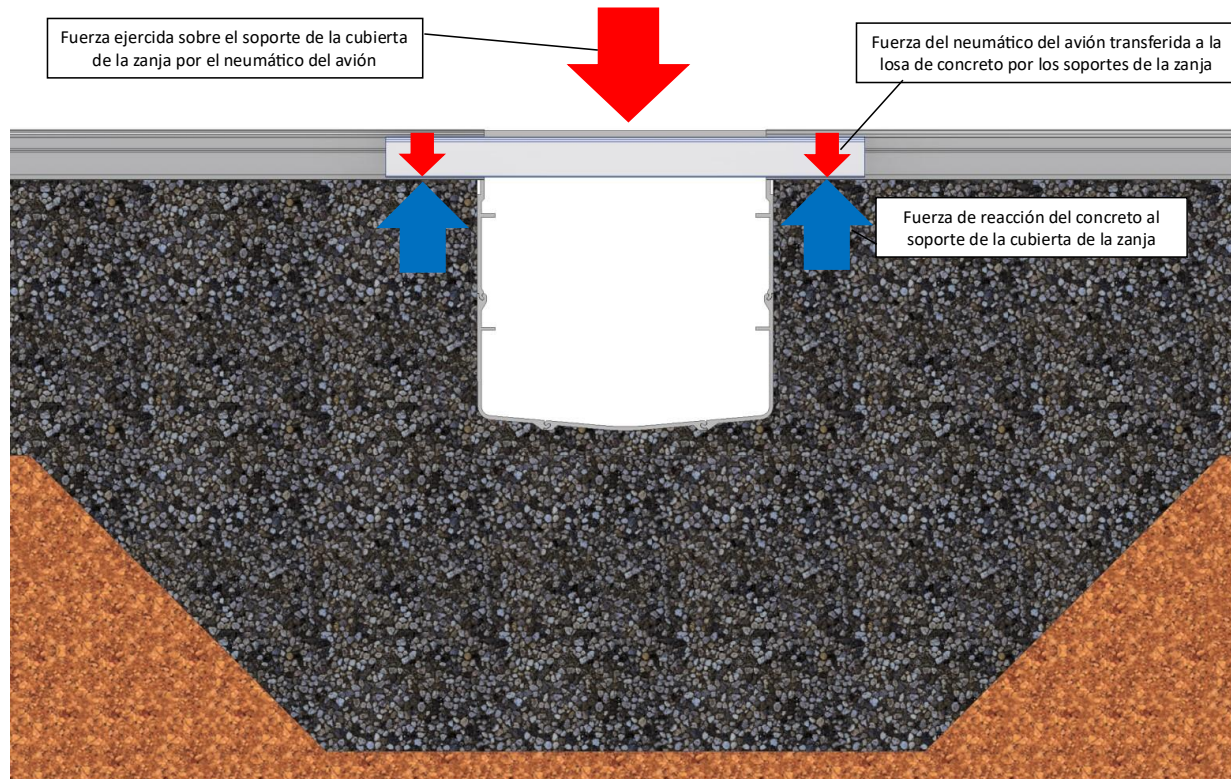


Figura 6-1: Representación de una zanja de aluminio y una losa de concreto que muestra la fuerza transferida del neumático de la aeronave al concreto.

Las cubiertas de las zanjas y los marcos de las vigas se han diseñado utilizando análisis de elementos finitos para garantizar que los soportes puedan soportar la capacidad de carga puntual para el peso máximo al despegue (MTOW) del fuselaje más grande, tal y como se describe en la [Sección 7.1, Capacidad de Carga Puntual](#).

Las vigas situadas bajo la tapa de la zanja se encajan en los canales del perfil y abarcan la anchura de la zanja.

La Figura 6-2 muestra las vigas encajadas en los canales de los perfiles, con la tapa de la zanja retirada y los primeros perfiles retirados. Figura 6-3 muestra la instalación de las tapas de zanja y Figura 6-4 muestra la instalación finalizada de las tapas de zanja.

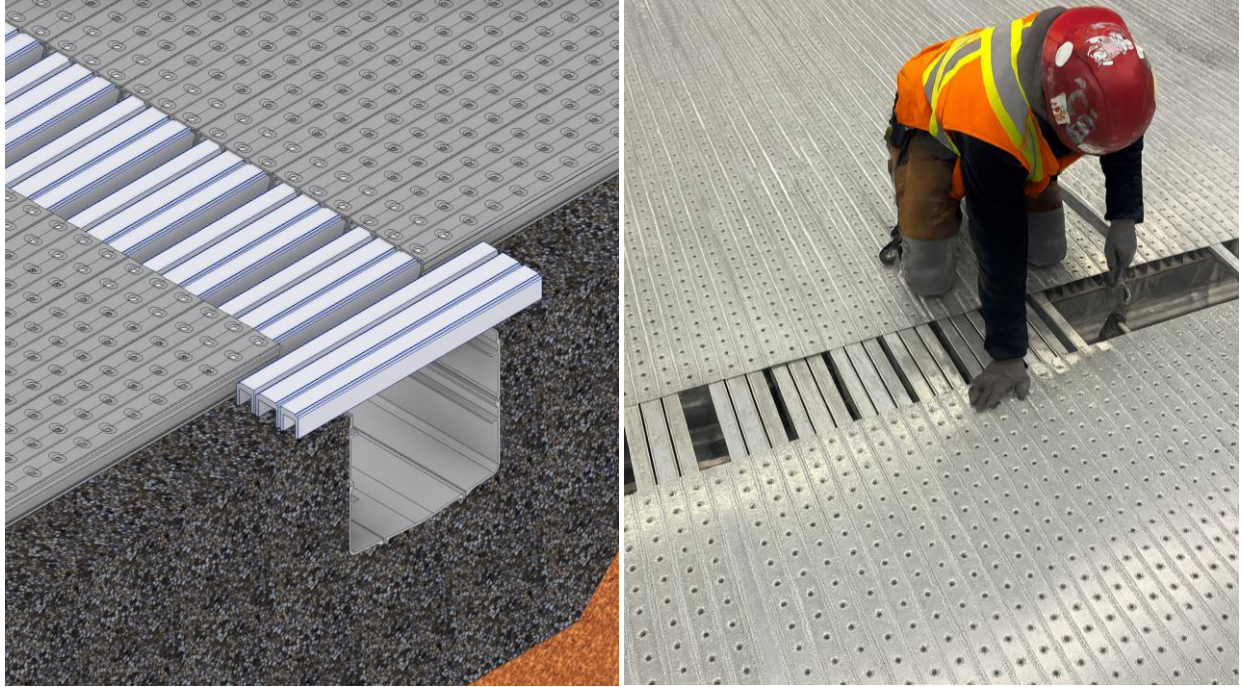


Figura 6-2: (Izquierda) Render que muestra las vigas de soporte de la cubierta de la zanja. Primeros perfiles y tapa de zanja retirados para mostrar los soportes de las vigas. (Derecha) Vigas de soporte de la zanja instaladas sobre el terreno

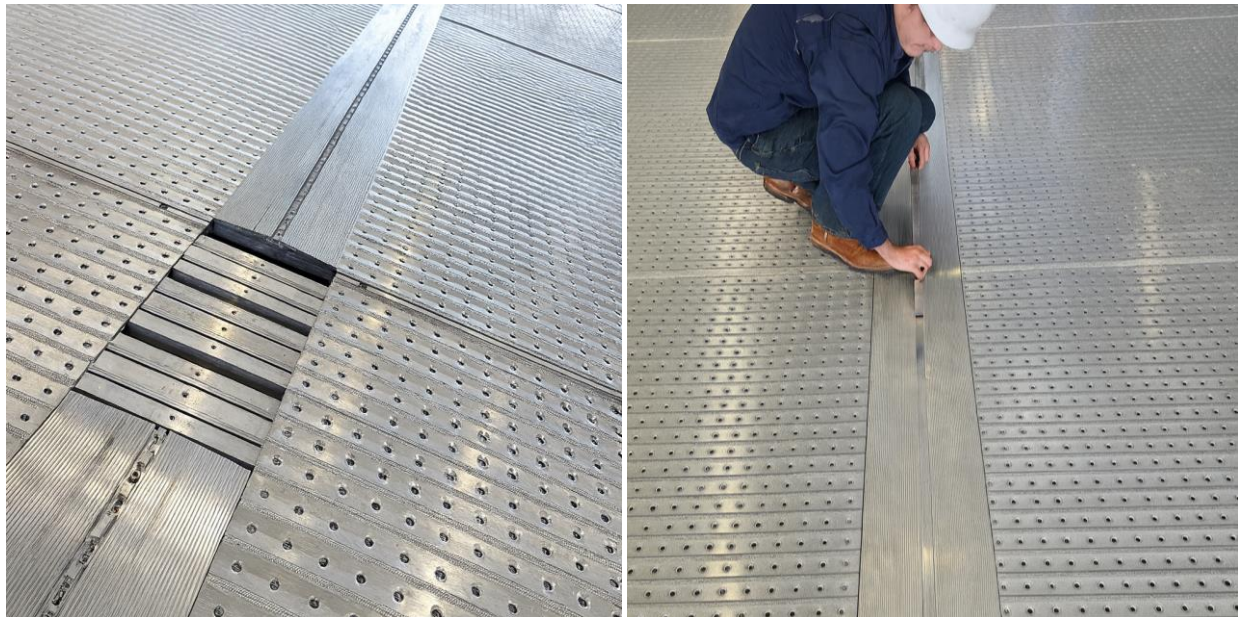


Figura 6-3: Tapas de zanja parcialmente instaladas con algunas vigas de soporte aún expuestas (Izquierda).
Instalación de la tapa del perno en la tapa de la zanja (derecha).



Figura 6-4: Instalación terminada de la tapa de la zanja.

6.2. Diseño de Zanjas

Safespill recomienda el uso de nuestras zanjas prefabricadas de aluminio para los sistemas ILDFA. Las zanjas prefabricadas se entregan en el lugar del proyecto con todas las tuberías de suministro del distribuidor de lavado y los conductos eléctricos ya instalados. El suministro de zanjas prefabricadas con estos componentes reduce los costos de producción y el tiempo de instalación. Una vez instaladas las zanjas, los tramos de tuberías y conductos se conectan de extremo a extremo, lo que elimina pasos adicionales de fabricación sobre el terreno.

Si ya existen zanjas adecuadas en el hangar, es posible utilizarlas si se cumplen las siguientes condiciones:

1. Las zanjas existentes se encuentran en ubicaciones aceptables según la información comentada en la Sección 4.2, "Ubicación de las Zanjas."
2. Las zanjas existentes cumplen los requisitos de caudal volumétrico y constructibilidad necesarios para alojar los conductos de fontanería y electricidad descritos anteriormente.

Cuando se utilicen zanjas existentes, la pendiente interna de la zanja deberá ser como mínimo del 0.5% (0.3°) para garantizar que todo el líquido drene hasta el punto más bajo.

Cuando se instalan zanjas nuevas, se diseñan y fabrican con una pendiente interna del 0.5% (0.3°) para garantizar que el líquido drene hasta el punto más bajo. Una vez instalada, el borde superior de la zanja debe estar nivelado y enrasado con la losa de concreto circundante. La profundidad mínima de las zanjas es de 480 mm (19") para permitir el flujo adecuado del líquido derramado y del conducto de las tuberías.

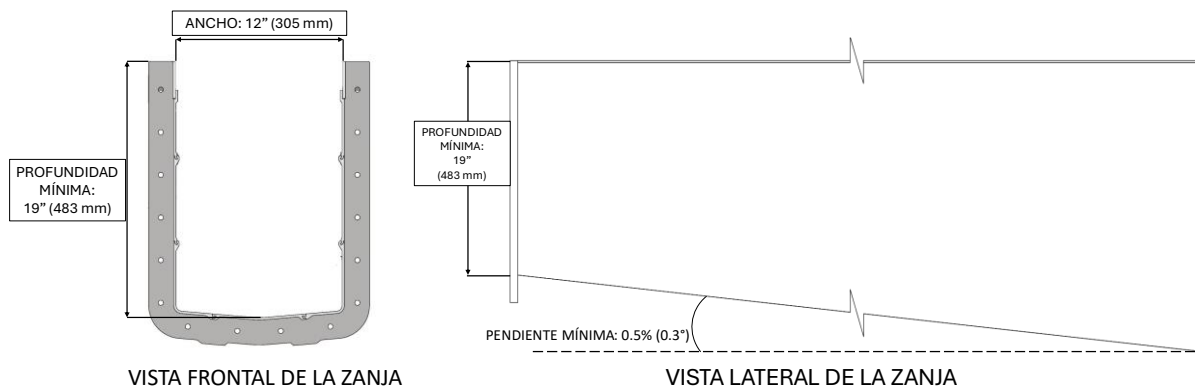


Figura 6-5: Requisitos de Pendiente y Profundidad de la Zanja

6.2.1. Zanjas en Hangares Reacondicionados

Para los proyectos de modernización sin zanjas existentes, será necesario cortar la losa del hangar existente e instalar zanjas prefabricadas de aluminio que se rellenarán con concreto en el sitio.



Figura 6-6: Zanja prefabricada ILDFA para proyectos de reacondicionamiento

En función del grosor de la losa existente, puede ser necesario añadir barras de refuerzo y refuerzos estructurales. Será necesario realizar un análisis de ingeniería estructural para determinar el refuerzo necesario para garantizar la integridad estructural de la losa de concreto.

Las carcasas de zanja prefabricadas de aluminio se suministran con soportes de zanja ajustables. Los soportes de zanja se sueldan al revestimiento de la zanja y se conectan a un canal de puntal de aluminio estándar de 1-5/8" (41 mm) mediante varillas roscadas y puntales angulares. El canal del puntal de aluminio se ancla a la losa de lodo, que debe tener una pendiente mínima del 0.5% (Figura 6-5). Las varillas roscadas se pueden ajustar para nivelar la zanja y los puntales angulares se fijan una vez alcanzada la altura requerida para evitar que el revestimiento de la zanja se mueva y se retuerza durante el derrame del relleno de concreto.

En la página siguiente se muestra un proceso paso a paso para la instalación de la zanja prefabricada ILDFA en aplicaciones de reacondicionamiento.

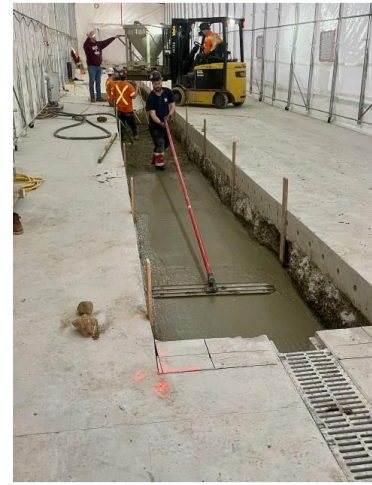
REACONDICIONAMIENTO – PREPARACIÓN DE ZANJAS



CORTAR A TRAVÉS DE LA LOSA



EXCAVAR/COMPACTAR



VERTER LODO/LOSA DE RATA

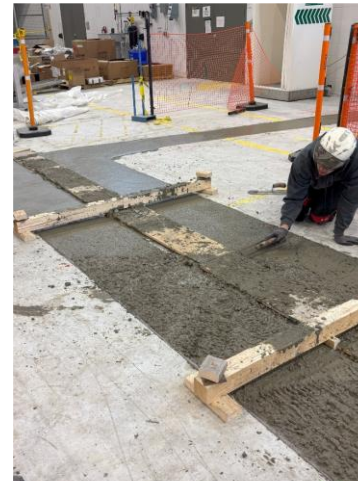
REACONDICIONAMIENTO – INSTALACIÓN DE ZANJAS



COLOCAR/ALINEAR ZANJA



CONECTAR SERVICIOS



VERTER CONCRETO

6.2.2. Hangares de Nueva Construcción

En el caso de los hangares de nueva construcción, las zanjas moldeadas en el sitio no están limitadas a profundidades o longitudes específicas en lo que respecta al ILDFA. Un ingeniero estructural deberá determinar las dimensiones máximas de las zanjas de colada en el sitio que permitan las condiciones del suelo existente.

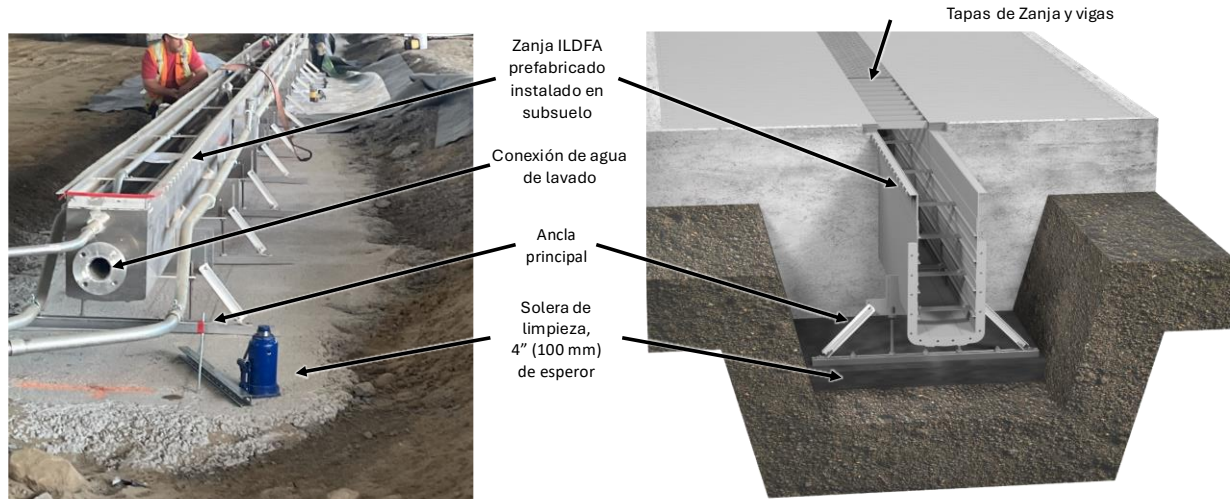
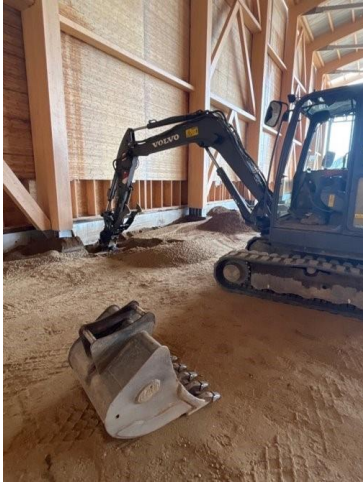


Figura 6-7: Zanja prefabricada ILDFA para nuevas construcciones

Las carcasas de zanja de aluminio moldeado en el sitio para nuevas construcciones se suministran con soportes de zanja ajustables. Los soportes de zanja se sueldan al revestimiento de la zanja y se conectan a un canal de puntal de aluminio estándar de 1-5/8" (41 mm) mediante varillas roscadas y puntales angulares. El canal del puntal de aluminio se ancla a la losa de lodo, que debe tener una pendiente mínima del 0.5% (Figura 6-5). Las varillas roscadas pueden ajustarse para nivelar la zanja y los puntales angulares se fijan una vez alcanzada la altura requerida para evitar que el revestimiento de la zanja se mueva y se retuerza durante el derrame de la losa.

En la página siguiente se muestra un proceso paso a paso para la instalación de la zanja prefabricada ILDFA en aplicaciones de nueva construcción.

NUEVA CONSTRUCCIÓN – PREPARACIÓN DE ZANJA



EXCAVAR



VERTER LODO/LOSA DE RATA



COLOCAR/ALINEAR ZANJA

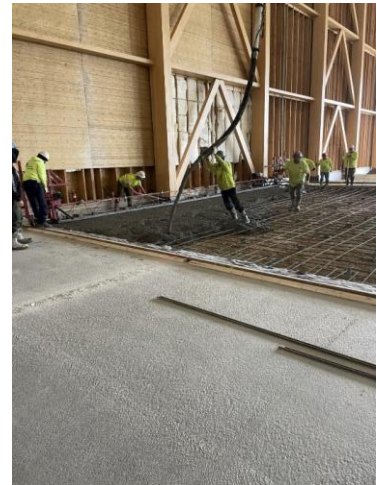
NUEVA CONSTRUCCIÓN – INSTALACIÓN DE ZANJA



CONECTAR LÍNEA DE DESCARGA
SE MUESTRA EL SUBTERRÁNEO POR GRAVEDAD



CONECTAR SERVICIOS
FONTANERÍA Y ELECTRICIDAD



VERTER LOSA

6.3. Efectos del Encofrado de Aluminio en la Construcción de Concreto

Aunque los componentes de aluminio pueden sufrir cierta corrosión al entrar en contacto con concreto sin curar, Safespill utiliza con éxito casquillos de aluminio para zanja como encofrado para zanjas moldeadas en el sitio. Mientras que las tasas de corrosión iniciales durante el derrame del concreto pueden ser de hasta 0.0375 pulgadas/año (950 μm /año), la tasa de corrosión disminuye bruscamente una vez que el concreto fragua y se observan tasas de corrosión insignificantes durante el primer año desde la instalación. Las zanjas Safespill están diseñadas con un espesor mínimo de 4 mm (5/32 pulg.) y la profundidad total de corrosión estimada es inferior a 0.38 mm (0.015 pulg.) durante la vida útil de la instalación.

Cuando exista la posibilidad de que los componentes de aluminio del ILDA estén en contacto con metales como rejillas de hierro fundido, barras de refuerzo de acero o ángulos de acero al carbono, deberán aplicarse materiales de aislamiento no conductores para evitar la corrosión galvánica. Se recomiendan revestimientos de fluoroelastómero (FKM, Viton™) o bituminosos para el aislamiento entre la zanja de aluminio y metales distintos.

Para obtener más información sobre este tema, consulte las siguientes fuentes:

Herting, G., & Odnevall, I. (2021). Corrosión del aluminio y el zinc en el concreto en condiciones simuladas del depósito de residuos de baja actividad en Suecia. *Corrosión y Degradación de Materiales*, 2(2), 150-162. <https://doi.org/10.3390/cmd2020009>

Luo, D., Li, F. & Xing, G. (2022). Resistencia a la corrosión de la aleación de aluminio 6061-T6 y su viabilidad como refuerzo cerca de la superficie en estructuras de concreto. *REVIEWS ON ADVANCED MATERIALS SCIENCE*, 61(1), 638-653. <https://doi.org/10.1515/rams-2022-0048>

7. Especificaciones Estructurales

7.1. Capacidad de Carga Puntual

Los perfiles de piso ILDFA se fabrican con aluminio de grado marino de la serie 6000, que proporciona resistencia a la corrosión y gran solidez, lo que permite que el sistema tenga una vida útil de más de 50 años.

Se realizaron pruebas destructivas para determinar la capacidad de carga puntual de los perfiles de piso ILDFA. El ILDFA fue capaz de soportar 96,000 libras (43,545 kg) distribuidos en un área de 9" x 16" (229 mm x 406 mm), que representa la superficie de contacto de un neumático de aeronave de combate.

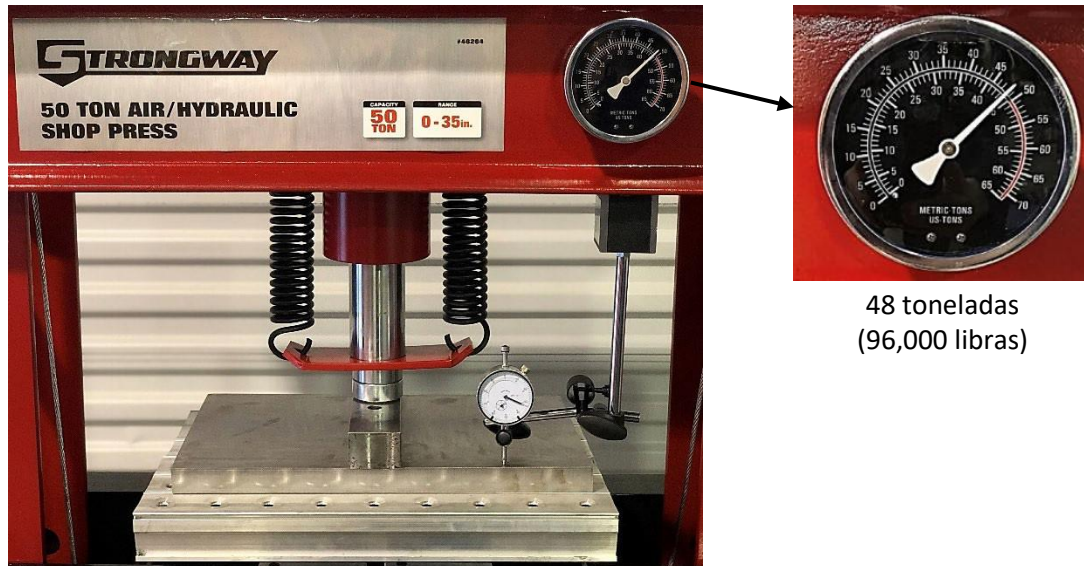


Figura 7-1: Las pruebas de carga demuestran que ILDFA puede soportar 96,000 libras (43,545 kg) distribuidos en 229 mm x 406 mm

Debe tenerse en cuenta que el uso de la presión de los neumáticos de las aeronaves para estimar la carga puntual es una estimación conservadora, ya que supone que toda la presión ejercida dentro del neumático se transfiere directamente a la zona de contacto entre el neumático y la superficie que hay debajo. Sin embargo, la elasticidad del neumático también absorbe parte de esta fuerza.

Tabla 7-1 utiliza la capacidad de carga puntual demostrada anteriormente para calcular los factores de seguridad de varias aeronaves. Normalmente, las aeronaves pequeñas, como las aeronaves de combate, ejercen la mayor carga puntual.

Tabla 7-1: Cálculo del Factor de Seguridad ILDFA para varias aeronaves

Capacidad de carga puntual del ILDFA:	96.000 libras / (9 pulgadas * 16 pulgadas) = 666 psi (46 bar)
Carga por neumático* Stratotanker KC-135:	170 psi
Factor de Seguridad:	3.9
Carga por neumático* F-35:	250 psi
Factor de Seguridad:	2.7

*Referencia: Libro de Datos de Aviación Goodyear 2022. Sección 6C Cartas de Aplicación en Aeronaves Militares

7.2. Textura del Perfil y Resistencia al Deslizamiento

El Safespill ILDFA consta de una superficie superior de aluminio pulido con pendientes poco profundas para dirigir el flujo de líquido hacia los orificios de drenaje. El piso Safespill difiere de las superficies tradicionales de los pisos de los hangares de aeronaves y ha sido sometido a rigurosas pruebas para garantizar una superficie de trabajo segura, funcional y duradera para los contratistas, personal de mantenimiento y demás personal que trabaje o camine sobre el ILDFA.

Los pisos de los hangares de aeronaves están expuestos habitualmente a riesgos como la humedad, el fluido hidráulico y los derrames de lubricantes. Para hacer frente a estas condiciones, Safespill incorpora una textura antideslizante en los puntos altos de la superficie de aluminio (véase Figura 7-2). Este diseño proporciona tracción adicional sin comprometer la capacidad de los líquidos para drenar eficazmente.

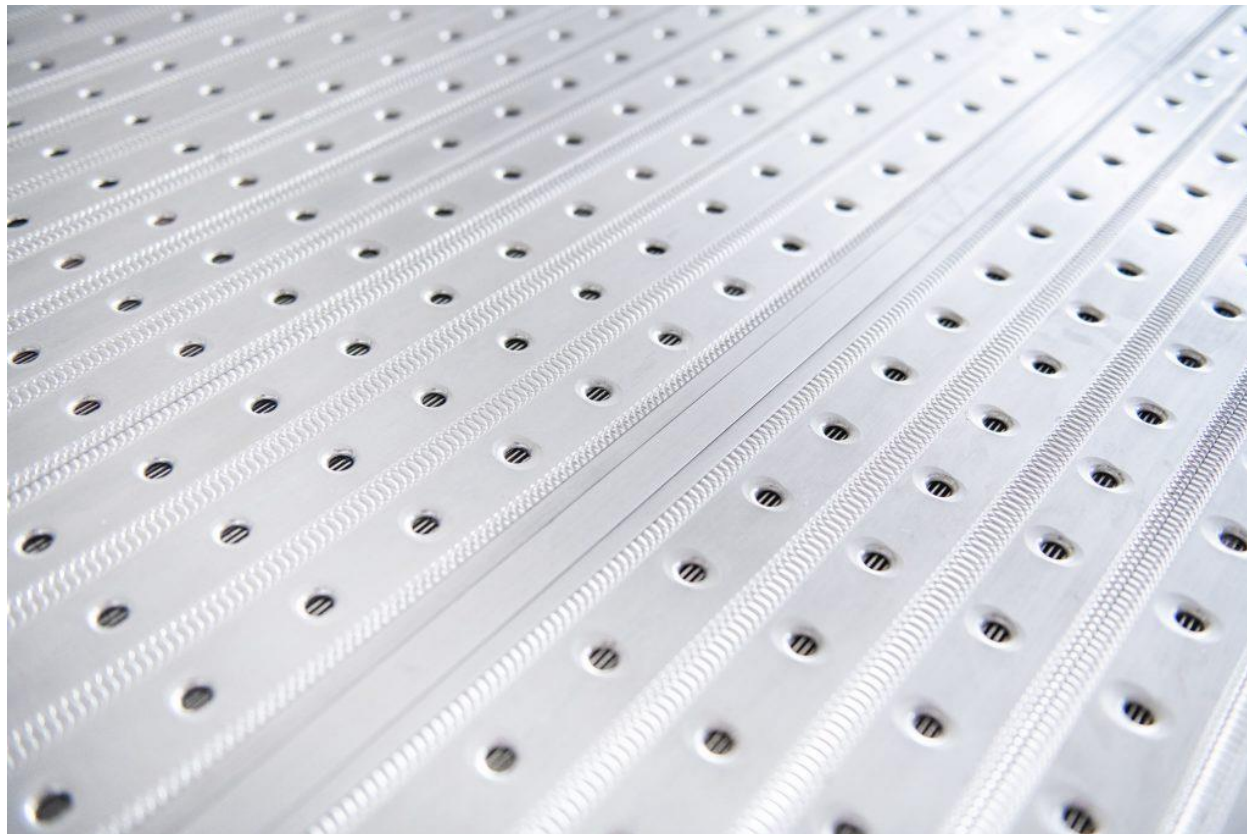


Figura 7-2: Perfil de piso Safespill con textura antideslizante

El Centro de Ingenieros Civiles de la Fuerza Aérea de Estados Unidos (AFCEC) evaluó el uso operativo del ILDFA en 2021 en la base aérea Edwards. Las encuestas realizadas al personal de mantenimiento y operaciones indicaron que la facilidad de uso, la visibilidad, la detección de objetos extraños y la tracción de la superficie recibieron una valoración neutra o positiva en comparación con los pisos de concreto tradicionales de los hangares. Los únicos comentarios negativos se refirieron a la maniobrabilidad del equipo y a la comodidad de arrodillarse, cuestiones que se resolvieron posteriormente modificando el diseño de la superficie superior.

Estas modificaciones se comentan en el siguiente vídeo:

<https://www.youtube.com/watch?v=BnpZZ3edwD0>

Para garantizar que la resistencia al deslizamiento no se viera comprometida por estos cambios de diseño, se realizaron pruebas independientes de acuerdo con la norma ANSI/NFSI B101.1 utilizando un tribómetro ASM 825A.

Se evaluaron tres superficies:

- 1) Safespill (ILDFA)
- 2) Concreto Pulido
- 3) Muestra de Concreto Revestido de Epoxi del Hangar, 10 años de antigüedad (VX-30 Point Mugu, Hangar 372)

Una comparación del SCOF para cada superficie en condiciones secas, húmedas y aceitosas se muestra en Tabla 7-2.

Tabla 7-2: Superficies de Concreto SCOF vs Piso Safespill (ILDFA)

Condiciones	Seco	Mojado	Aceitoso
Safespill (ILDFA)	0.72 - Tracción Alta	0.78 - Tracción Alta	0.25 - Tracción Mínima
Concreto Pulido	0.84 - Tracción Alta	0.76 - Tracción Alta	0.16 - Tracción Mínima
Muestra de Concreto Revestido de Epoxi (PM-372)	0.73 - Tracción Alta	0.56 - Tracción Moderada	0.05 - Tracción Mínima

Según estas pruebas, el piso Safespill ofrece una resistencia al deslizamiento equivalente a la del concreto pulido y el concreto con revestimiento epoxi en condiciones secas, y una resistencia al deslizamiento superior en condiciones húmedas y aceitosas. La muestra de concreto con revestimiento epoxi del hangar 372 representa un estado típico de la superficie tras 10 años de uso continuado. Múltiples inspecciones confirmaron que la muestra analizada era representativa del envejecimiento de los pisos de los hangares.

Estos resultados se ajustan a las directrices del Instituto Nacional de Seguridad de Pisos (NFSI) sobre tracción disponible y probabilidad de resbalar (Tabla 7-3: Tracción Disponible y Probabilidad de Deslizamiento según el SCOF).

Tabla 7-3: Tracción Disponible y Probabilidad de Deslizamiento según el SCOF

Valor SCOF	Tracción Disponible	Probabilidad de Deslizamiento
≥ 0.6	Tracción Alta	Baja
$0.4 \leq \text{SCOF} < 0.6$	Tracción Moderada	Aumentada
< 0.4	Tracción Mínima	Alto

Es importante señalar que todas las superficies de los pisos de los hangares ya sean de concreto, con revestimiento epoxi o ILDFA, presentan una tracción reducida en condiciones aceitosas. Las mejores prácticas del sector exigen una limpieza rápida de los derrames para mitigar los riesgos de resbalones. En este contexto, el piso Safespill ofrece una ventaja operativa: su capacidad integrada de drenaje y lavado permite eliminar rápidamente los derrames de líquidos, mientras que el concreto convencional depende únicamente de la limpieza manual.

En resumen, el Safespill ILDFA proporciona una superficie de trabajo que es igual o mejor que el piso convencional del hangar en términos de resistencia al deslizamiento, visibilidad y detección de FOD, al tiempo que ofrece una seguridad única y ventajas operativas a través de su sistema de drenaje de líquidos de ingeniería.

7.3. Pantallas FOD

Debajo de cada perforación en la superficie superior del ILDFA, se instala una pantalla FOD para evitar que los residuos de objetos extraños (FOD) entren en los canales del ILDFA. Esto reduce la probabilidad de que se produzcan atascos en el sistema de drenaje y evita que los encargados del mantenimiento pierdan componentes clave cuando trabajan encima del ILDFA.

Las aberturas de la rejilla FOD son lo suficientemente pequeñas como para impedir que entren en el ILDFA arandelas tan pequeñas como la nº 5 o la M4. Sin embargo, las aberturas permiten el paso de arena y polvo para que estas perforaciones no queden bloqueadas por los residuos. La inclusión de la pantalla FOD no limita la capacidad de drenaje del ILDFA de Safespill.

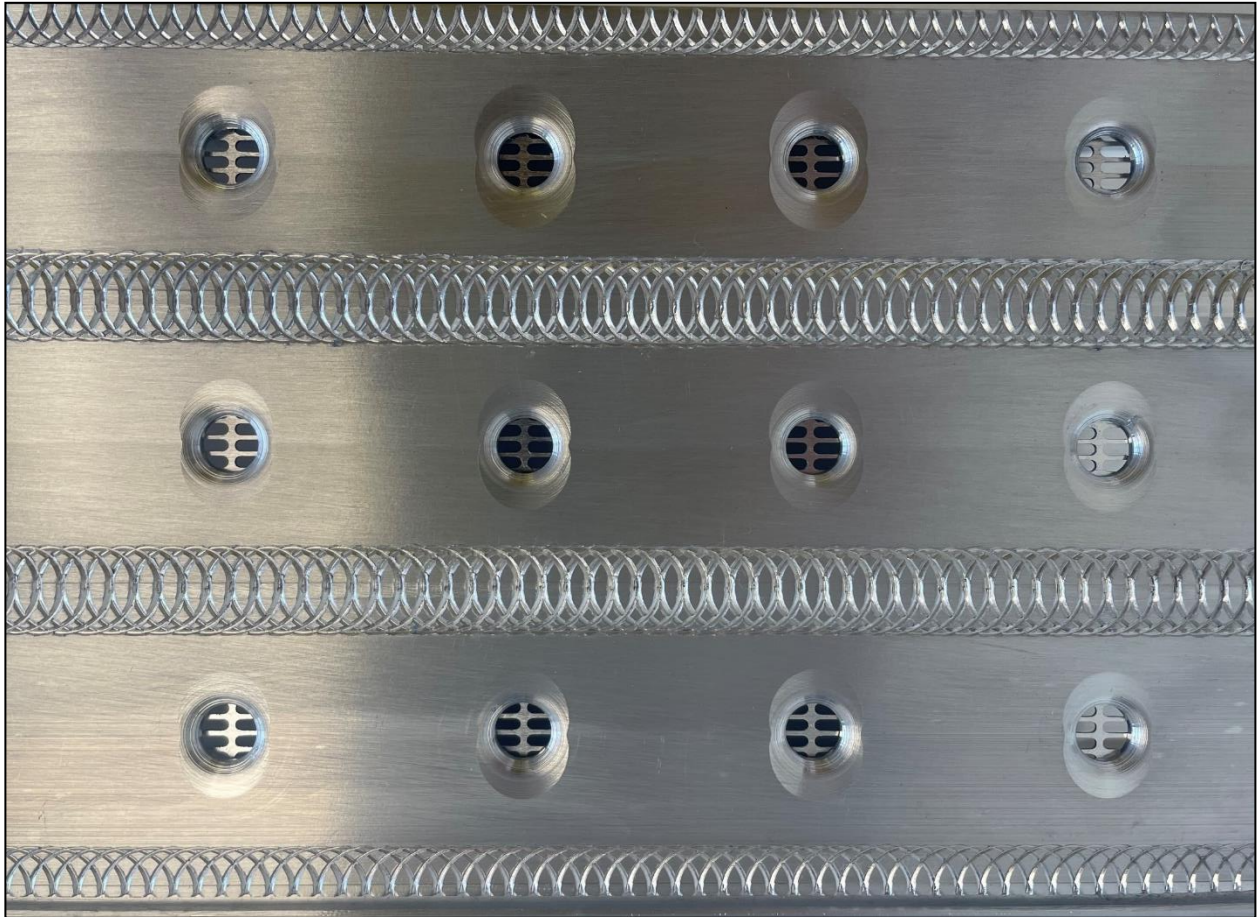


Figura 7-3: Superficie superior ILDFA con pantalla FOD instalada debajo de las perforaciones

7.4. Fuerza de Fricción en Condiciones de Parada

Dado que los perfiles de piso del ILDFA se instalan directamente sobre la losa del hangar, es razonable considerar si el movimiento de las aeronaves al entrar y salir del piso podría provocar desplazamientos. Esta sección demuestra que este movimiento no supone ningún problema.

La gran superficie de contacto entre los perfiles de aluminio y la losa de concreto proporciona suficiente fricción estática para resistir el desplazamiento. Además, el conjunto del piso siempre está delimitado por puntos de anclaje perimetrales, como se detalla en las Secciones 5.2 y 5.4.

Para ilustrarlo, consideremos un escenario de emergencia en el que una aeronave de gran tamaño y un tractor de remolque se detienen repentinamente mientras están posicionados en el ILDFA. Para que los perfiles se muevan, la fuerza horizontal generada por la desaceleración tendría que superar la resistencia estática por fricción entre el ILDFA y la losa. Los cálculos que se exponen a continuación confirman que esta condición no es alcanzable en escenarios de funcionamiento realistas.



Figura 7-4: Ejemplo de remolcador trasladando una aeronave a ILDFA.

La fuerza generada por la parada del tractor de remolque se describe mediante el diagrama de cuerpo libre que figura a continuación:

F_v = Fuerza vertical debida al peso de la aeronave.

F_h = Fuerza de movimiento horizontal de la aeronave.

$F_v = (\text{masa del tractor de remolque} + \text{masa de la aeronave} + \text{masa del ILDFA}) * \text{aceleración gravitatoria}$



Figura 7-5: Diagrama de cuerpo libre que muestra las fuerzas sobre el ILDFA bajo una aeronave en movimiento

El coeficiente de fricción entre el ILDFA y el piso de un hangar en condiciones secas es de aproximadamente 0.73. Por lo tanto, la relación entre la fuerza horizontal y la fuerza normal debe ser superior a 0.73 para superar las fuerzas de fricción estáticas y mover el ILDFA con respecto al piso del hangar.

La fuerza de fricción estática se describe mediante la Ecuación 1.

$$(1) F_f = \mu * F_n$$

Donde F_f es la fuerza de fricción, μ es el coeficiente de fricción, y F_n es la fuerza normal de la aeronave e ILDFA en el plano vertical. La fuerza normal es igual y opuesta a la Fuerza Vertical (F_v) mostrada en el diagrama de cuerpo libre anterior.

Para superar la fuerza de fricción estática y mover el ILDFA, la fuerza horizontal generada por la aeronave en deceleración debe superar la fuerza de fricción.

$$(2) F_h > F_f$$

Combinando las ecuaciones 1 y 2:

$$(3) F_h > 0.73 * F_v$$

Las ecuaciones para las fuerzas horizontales y verticales se dan en las ecuaciones 4 y 5:

$$(4) F_h = (m_{\text{aeronave}} + m_{\text{tractor}}) * a$$

$$(5) F_v = (m_{\text{aeronave}} + m_{\text{tractor}} + m_{\text{piso}}) * g$$

Dado que la masa del ILDFA es mucho menor que la del tractor y la aeronave, se ignora, y la ecuación puede simplificarse a:

$$(6) (m_{\text{aeronave}} + m_{\text{tractor}}) * a > 0.73 * (m_{\text{aeronave}} + m_{\text{tractor}}) * g$$

Simplificando aún más, la condición puede evaluarse independientemente del peso del tractor y de la aeronave.

$$(7) a > 0.73 * g \text{ donde } g = \text{aceleración debida a la gravedad} = 9.8 \text{ m/s}^2$$

La desaceleración puede representarse como el producto de la velocidad inicial y la distancia de frenado.

$$(8) a = V_i * d_s$$

La distancia de frenado puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$(9) d_s = \frac{V_i^2}{2 * \mu * g}$$

El coeficiente de fricción de un neumático de caucho sobre una superficie de aluminio puede aproximarse a 0.51. Basándose en una velocidad inicial estimada de 5 mph (8 km/h), la distancia de frenado es de 1.74 pies (0.53 m) y la desaceleración es de aproximadamente 1.2. $\frac{m}{s^2}$.

La fuerza de fricción, expresada como el producto de la aceleración debida a la gravedad y el coeficiente de fricción entre el aluminio y el piso del hangar, es mucho mayor: 7.2 m/s^2 .

Por lo tanto, **el ILDFA no se moverá en este escenario.**

Para más información sobre escenarios alternativos, consulte al fabricante del ILDFA.

8. Aberturas en el Piso

8.1. Puntos de Amarre

Se pueden incorporar aberturas en el ILDFA para acceder a los puntos de amarre. Los puntos de amarre mostrados en las Figuras 8-1 a 8-4 tienen una capacidad de carga de 10,000 libras (4,536 kg). Con un taladro saca núcleos, se hace un agujero de 6.5" (165 mm) de diámetro en el concreto. El amarre se instala y luego se ancla químicamente como se muestra en las Figuras 8-1 y 8-2.

El acceso ILDFA para el punto de amarre se asienta a ras de la superficie superior (Figura 8-3) y permite la conexión de la cadena para asegurar la aeronave dentro del hangar como se muestra en la Figura 8-4.

En los proyectos de nueva construcción, los puntos de amarre no deben incluirse en el diseño de la losa del hangar para que el fabricante del ILDFA tenga flexibilidad a la hora de instalar el sistema.



Figura 8-1: Núcleo de concreto perforado en la losa del hangar.



Figura 8-2: Punto de amarre ILDFA anclado químicamente a la losa de concreto

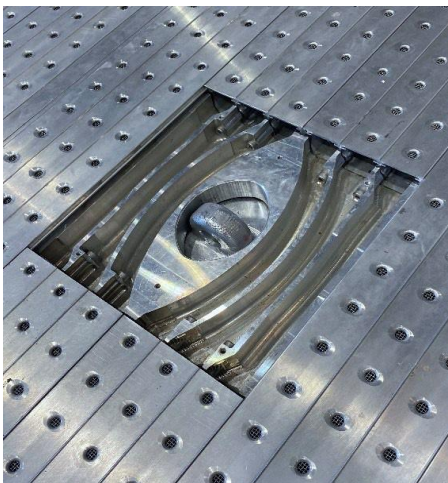


Figura 8-4: Punto de amarre ILDFA sin tapa



Figura 8-3: Ejemplo de punto de amarre ILDFA con conexión de cadena de aeronave

8.2. Puntos de Conexión a Tierra

Los puntos de toma de tierra para la puesta a tierra de las aeronaves están integrados en el piso del ILDFA y están conectados a un bus de terminación de cobre situado dentro de la zanja del ILDFA utilizando un cable de toma de tierra con revestimiento mínimo de 6 AWG. El bus de terminación se conecta a su vez a las picas de puesta a tierra o a la toma de tierra del edificio. Un ejemplo de un punto de conexión a tierra ILDFA se muestra en Figura 8-5.

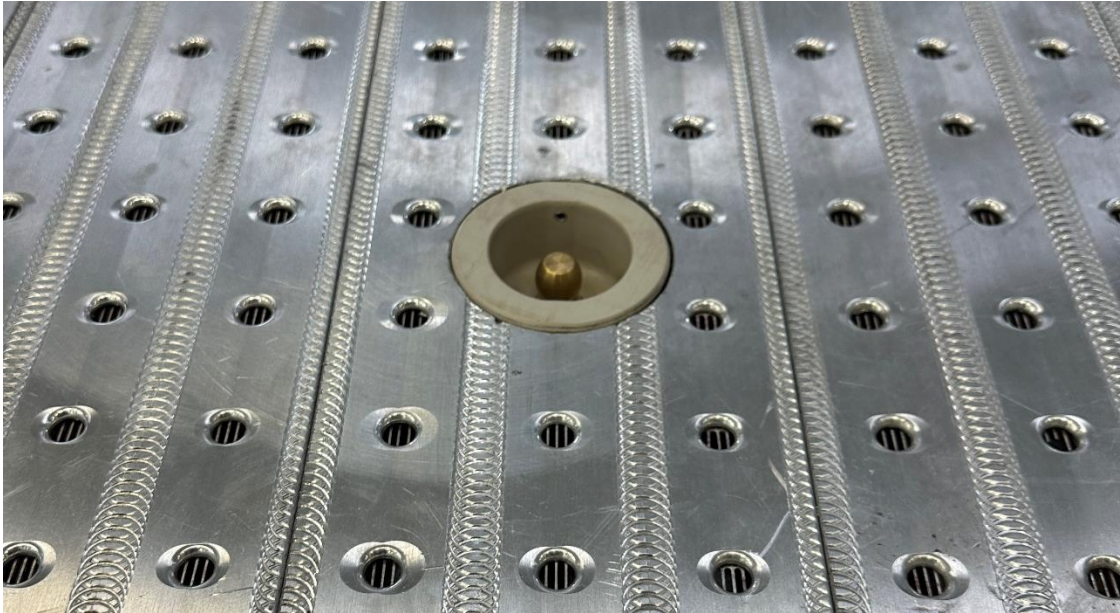


Figura 8-5: Ejemplo de Punto de Conexión a Tierra ILDFA

Los puntos de conexión a tierra consisten en un vaso de material compuesto de alta resistencia (PEEK) diseñado para superar la capacidad de carga puntual de los perfiles de piso ILDFA. En la parte compuesta se coloca un perno esférico (ERICO B165R o equivalente) que aísla de los perfiles de aluminio del piso ILDFA.

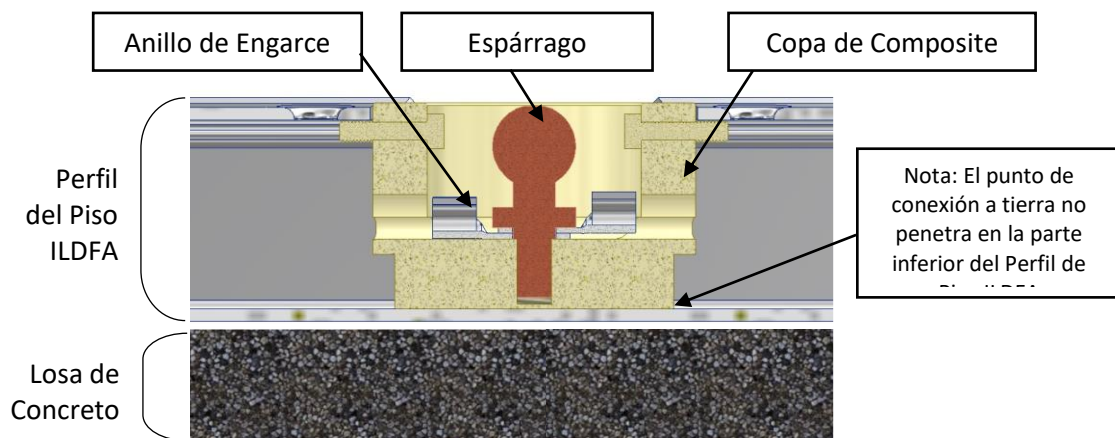


Figura 8-6: Vista transversal del punto de toma de tierra ILDFA incrustado en el perfil

El punto de conexión a tierra **no es accesible** a través de la parte inferior del piso, y todos los cables de conexión a tierra se conducen a través de los canales de los perfiles de piso Safespill ILDFA.

Para instalar un punto de conexión a tierra, se corta un agujero de 3" (76 mm) de diámetro a través de la superficie superior del perfil de piso del ILDFA (Figura 8-7). El conjunto del punto de conexión a tierra se inserta en la abertura y se fija en su lugar con tornillos de fijación para evitar su extracción (Figura 8-8).

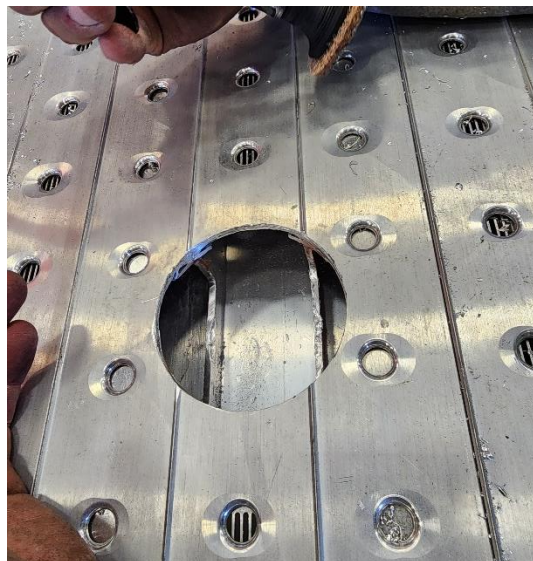


Figura 8-8: Corte de 3" en el Perfil de Piso ILDFA

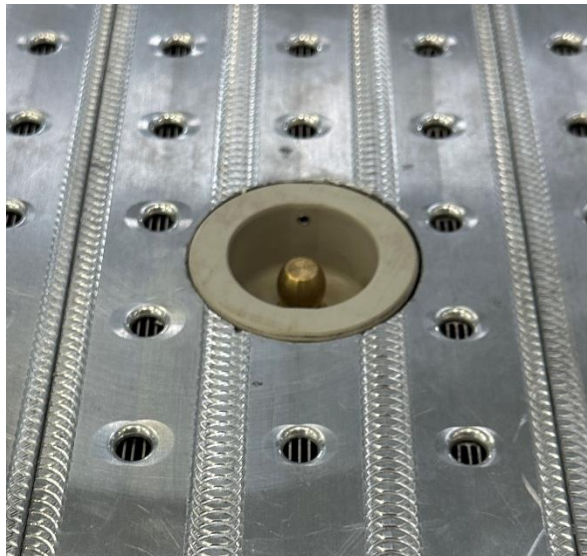


Figura 8-7: Punto de Conexión a Tierra Insertado en el Perfil de Piso ILDFA

Los puntos de puesta a tierra están conectados en serie con dos vías independientes a tierra utilizando cable de puesta a tierra de 6 AWG. El cable se conduce a través de los perfiles ILDFA hasta la zanja, luego a través de la zanja hasta el borde del conjunto del piso, y finalmente termina en un bus de tierra (Figura 8-9). El bus de puesta a tierra se conecta a una barra de puesta a tierra o a la toma de tierra del edificio (Figura 8-10).

Los puntos de toma de tierra pueden colocarse en cualquier lugar del ILDFA, excepto en la parte superior de las zanjas. Se pueden añadir puntos de inmovilización adicionales con carácter retroactivo si cambian las configuraciones de estacionamiento de las aeronaves o las operaciones de los hangares.

En los proyectos de nueva construcción, ya no es necesaria una rejilla de puesta a tierra específica dentro de la losa del hangar cuando se utilizan puntos de puesta a tierra ILDFA. En las aplicaciones de reacondicionamiento, no se utilizan la red de puesta a tierra existente ni otros servicios públicos.

Es importante tener en cuenta que estos puntos de conexión a tierra están designados únicamente para la conexión a tierra de aeronaves. Dado que el ILDFA está construido enteramente de aluminio, también se requiere la conexión a tierra del propio conjunto del piso. Al igual que con los puntos de conexión a tierra de las aeronaves, Safespill proporciona puntos de conexión a tierra en las secciones del perfil ILDFA, un bus de terminación de cobre en las zanjas y el bus de terminación deberá conectarse a la tierra del edificio.

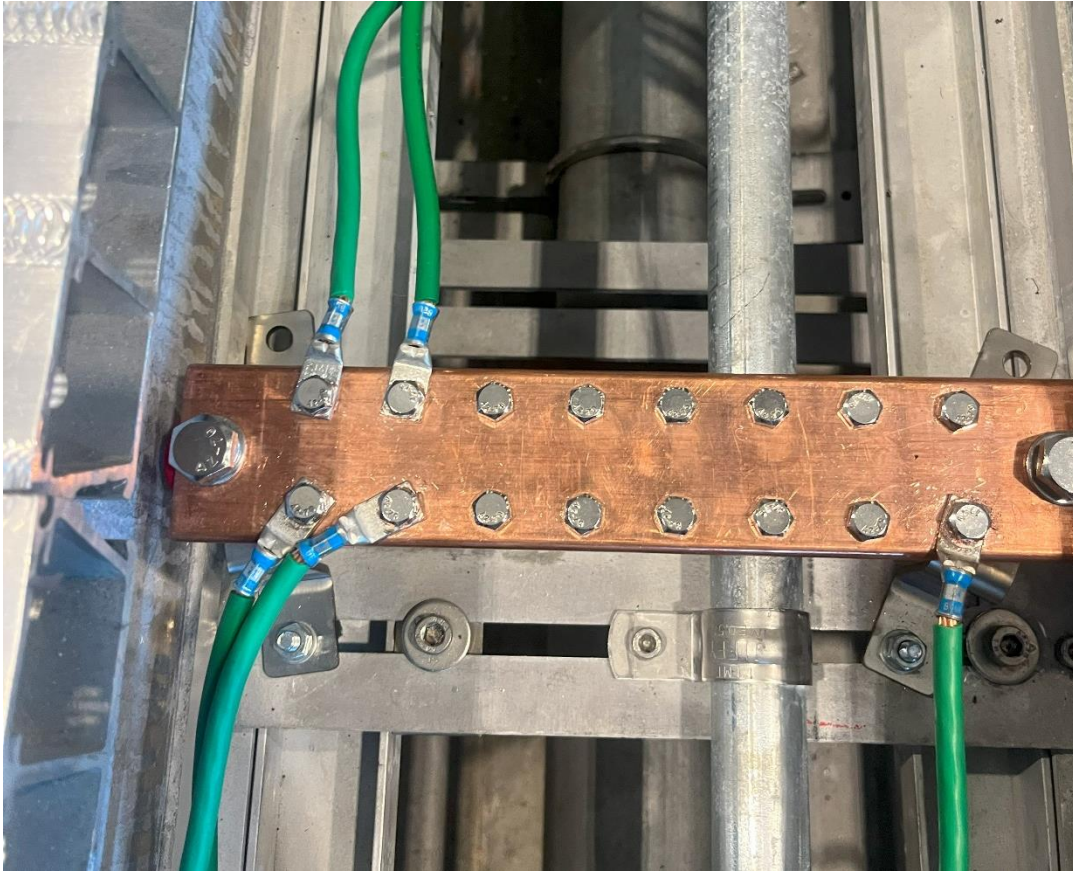


Figura 8-9: Bus de tierra instalado en zanja de aluminio prefabricada ILDFA para terminación de puntos de tierra.

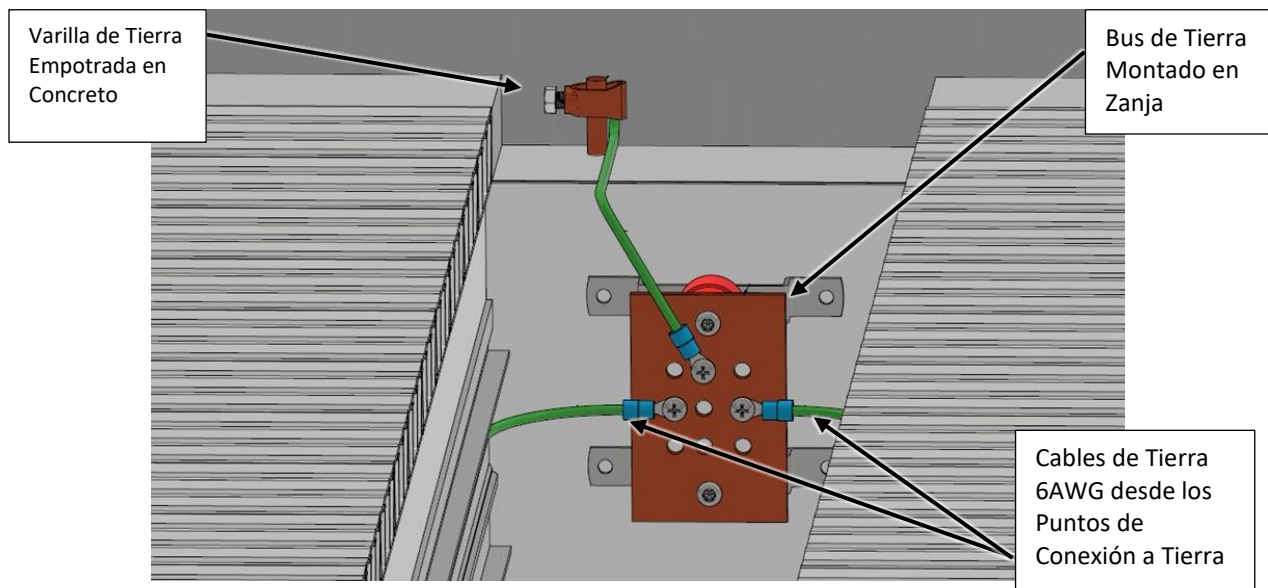


Figura 8-10: Terminación del punto de tierra al final de la zanja. El tamaño de la barra de puesta a tierra puede variar en función del número de puntos de puesta a tierra. La figura muestra la terminación en la varilla de puesta a tierra, pero en algunos casos puede utilizarse la terminación en la toma de tierra del edificio.

8.3. Acceso a los Servicios Públicos

Las aberturas en el ILDFA permiten el acceso a los servicios existentes en la losa que no pueden ser reubicados, tales como desagües de alcantarillado, cajas eléctricas y conexiones neumáticas. El bloque de aluminio mecanizado se incorpora al diseño del piso y dirige el flujo alrededor de la abertura. Las aberturas tienen la misma capacidad de carga que los perfiles de piso ILDFA cuando la tapa está instalada. Para el acceso a la caja eléctrica, puede ser necesario tomar precauciones adicionales para evitar que el líquido penetre en el equipo eléctrico.

Las Figuras 8-11, 8-12 y 8-13 son ejemplos de posibles aperturas. Los estilos y dimensiones exactos necesarios para cada proyecto se determinan durante la fase de diseño.



Figura 8-11: Apertura Utilitaria con la tapa quitada

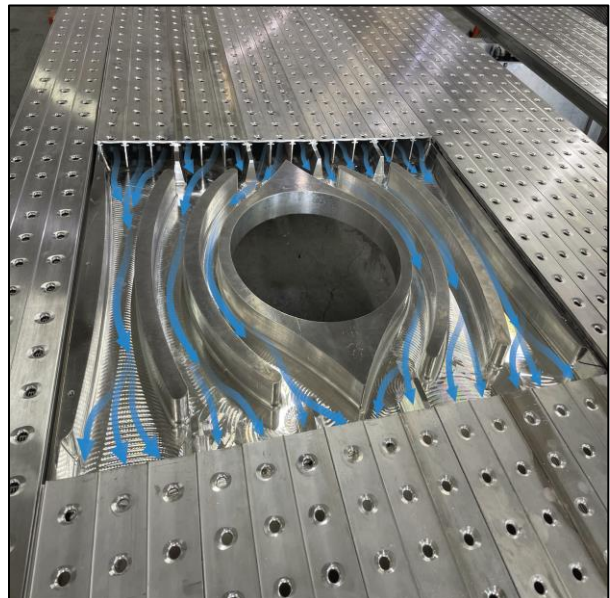


Figura 8-12: Utilidad Apertura con ejemplo de flujo a través de canales

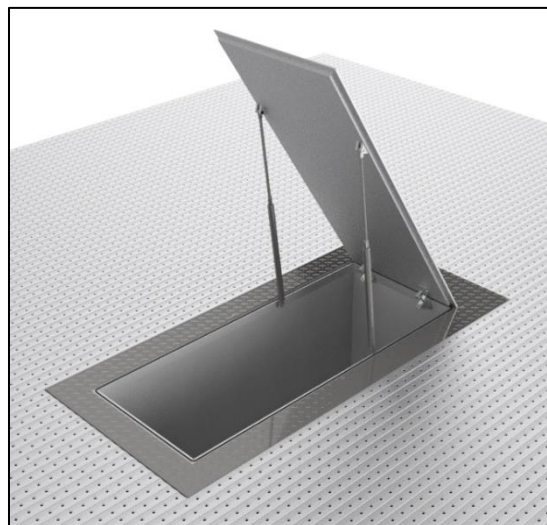


Figura 8-13: Concepto de Puerta de Acceso

9. Requisitos de Agua para la Descarga

Un ILDFA necesita agua para purgar los canales de drenaje internos. El requisito de agua del ILDFA es de 200 GPM (757 LPM). Cada zona requiere un suministro de agua de 50 GPM (189 LPM). Si se produce un derrame en la esquina de una zona, las 3 zonas adyacentes podrían activarse también.

Por lo tanto, el suministro total de agua necesario es de $4 \times 50 \text{ GPM} = 200 \text{ GPM}$ (757 LPM)

Existen tres opciones para el suministro de agua del ILDFA:

1. Suministro de Agua Doméstica – Conectar aguas arriba del contador de agua de la instalación
2. Suministro de Agua de los Aspersores de la Instalación – Conectar aguas arriba del desconector de los aspersores y del interruptor de caudal
3. Fuente de agua no potable de mantenimiento continuo – Por ejemplo, una cisterna de suministro de agua o un sistema de reciclaje de agua

El distribuidor de lavado funciona a una presión mínima de 4.1 bares (60 psi) y máxima de 8.3 bares (120 psi). Dependiendo de la presión del agua del hangar, una bomba de refuerzo o un reductor de presión pueden garantizar el suministro de la presión correcta al ILDFA. Para más detalles, véase la *Sección 9.3, Diseño de la Bomba de Refuerzo*.

Si la instalación de una tubería exclusiva para el hangar requiere una instalación de fontanería importante o si la disponibilidad de agua es limitada, se puede colocar una cisterna exclusiva fuera del hangar como alternativa. Normalmente, esto requeriría un depósito de 6,000 (34,070 L) a 12,000 galones (45,425 L).

- La norma UFC 4-211-01 exige 30 minutos de descarga de agua a 200 GPM (757 L/min).
- La norma NFPA 409 (Edición de 2022) exige 45 minutos de descarga de agua a 200 GPM (757 L/min).
- La Hoja Técnica FM 7-93 requiere 60 minutos de agua de lavado a 200 GPM (757 L/min)

9.1. Fiabilidad

Al considerar la fiabilidad y los requisitos para el suministro de agua, es importante tener en cuenta que el suministro de agua de lavado del ILDFA **no está sujeto a los requisitos de la NFPA 20**.

Si se utiliza una bomba de refuerzo, es necesario indicarla. Sin embargo, **no** se exige que tenga redundancia **ni** que cumpla los requisitos de la norma NFPA 20.

Esto se basa en las pruebas de fuego a escala real documentadas en el siguiente informe:

[Análisis Modal de Fallos y Efectos Safespill ILDFA](#)

En este programa de pruebas, se realiza una prueba de incendio en la que se desactiva intencionadamente el agua de lavado. En esta prueba, el sistema contiene y controla con éxito el incendio provocado por el derrame de líquido inflamable, lo que confirma que el agua de lavado no es un componente crítico de la supresión.

En consecuencia, no es necesario que la bomba de refuerzo cumpla los requisitos de la NFPA 20, ni que el suministro de agua cumpla los requisitos de fiabilidad de la NFPA 20.

9.2. Dispositivos de Suministro de Agua

Cuando utilice un suministro de agua doméstico, asegúrese de que se instala un desconector antes de todos los componentes ILDFA.

Para todos los suministros de agua, facilite lo siguiente

Válvulas

Proporcione válvulas de control de agua que sean del tipo indicador y cumplan con los requisitos de la NFPA 13, alrededor de todos los componentes que deban aislarse para el servicio. Esto incluye aguas arriba y aguas abajo de las bombas de refuerzo, aguas arriba de cada conexión al ILDFA, aguas arriba de cada colador y aguas arriba de cada amortiguador de golpes de ariete o depósito de expansión.

Amortiguador de Golpes de Ariete

Proporcione un amortiguador de golpes de ariete dimensionado según los cálculos del fabricante y situado lo más cerca posible de la caja de la válvula solenoide.

Coladores

Coloque un filtro, con una abertura inferior a US Mesh 20 (1/32" o 0.8 mm), aguas arriba de todos los componentes del ILDFA. Para las aplicaciones según UFC 4-211-01, el filtro debe ser una cesta simplex de cromo-molibdeno conforme a ASTM A217/A217M, con una conexión embridada, y una cesta de filtro de acero inoxidable con un tamaño de malla 40.

Caudalímetro

Proporcione un caudalímetro ultrasónico para controlar las tuberías de suministro del distribuidor de lavado. El caudal se controla y se conecta al panel de control del ILDFA. Si durante el funcionamiento se miden caudales fuera de los parámetros típicos, aparecerán alarmas en el panel de control y se enviará una señal de avería al FACP.

Figura 9-1 muestra un ejemplo de disposición del suministro de agua cuando no se utiliza una bomba de refuerzo. En este caso, se instalan un caudalímetro, un amortiguador de golpes de ariete y un colador de cesta aguas arriba de la conexión al ILDFA y situados en la pared trasera de un hangar.

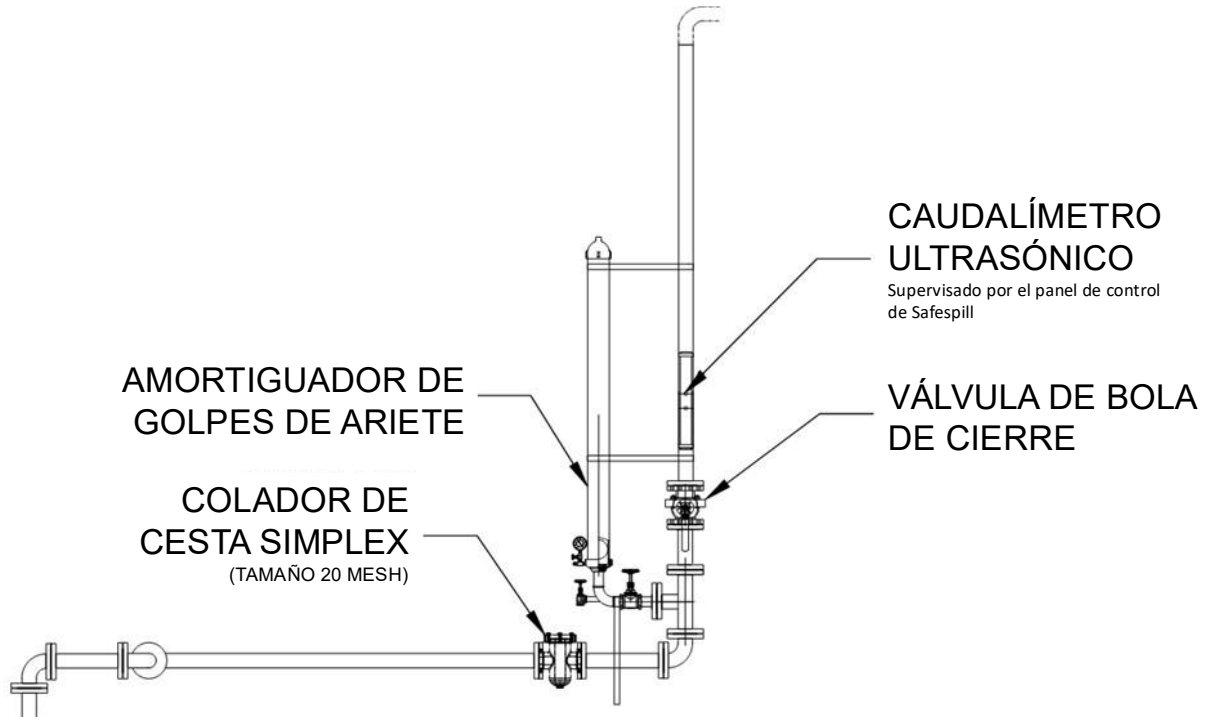


Figura 9-1: Ejemplo de disposición del suministro de agua con los dispositivos necesarios.

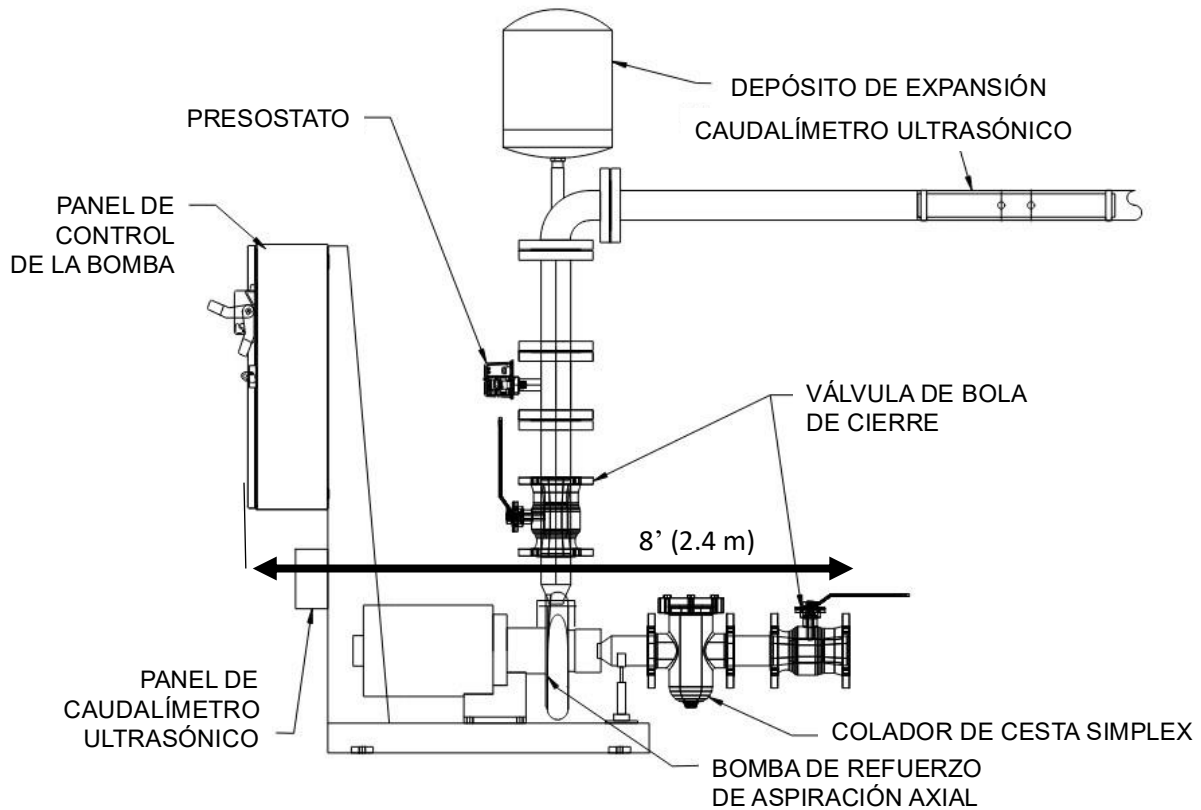


Figura 9-2: Ejemplo de Patín de Bomba de Refuerzo

9.3. Diseño de la Bomba de Refuerzo

En Figura 9-2 , en la página anterior, se muestra un ejemplo de un patín de bomba de refuerzo típico.

Para determinar si es necesaria una bomba de refuerzo, debe evaluarse la pérdida por fricción a través de las tuberías del ILDFA en relación con la presión disponible del suministro de agua entrante. En el punto de conexión, el ILDFA requiere un suministro de agua de 200 galones por minuto (757 L/min) a 100 psi (6.9 bar). Esto garantiza que el sistema de lavado mantenga una presión de funcionamiento mínima de 50 psi (3.5 bar) cuando se activan simultáneamente hasta cuatro zonas. Si el suministro de agua disponible no puede mantener esta presión con el caudal requerido, deberá instalarse una bomba de refuerzo.

Las condiciones de suministro de agua y las configuraciones de las tuberías varían según el proyecto, por lo que es necesaria una evaluación en cada instalación para dimensionar adecuadamente la bomba de aumento de presión. Sin embargo, una configuración típica es una bomba centrífuga de aspiración axial con un diámetro nominal de entrada y salida de 3" (DN 80), accionada por un motor de 20 CV. La potencia de funcionamiento de esta bomba suele ser de 480 VCA a 20 amperios, aunque se pueden suministrar motores alternativos para cumplir los requisitos locales de voltaje.

La alimentación eléctrica se suministra directamente desde el edificio a un panel de control de la bomba equipado con un arrancador de motor. La bomba puede ponerse en marcha mediante una señal del panel de control principal del ILDFA cuando se abre una válvula solenoide, o mediante un presostato instalado en la línea de alimentación aguas abajo de la bomba.

Para facilitar la instalación, la bomba de refuerzo y todos los componentes necesarios suelen estar integrados en un patín. El patín estándar ocupa un espacio de 8 pies (2.4 m) por 4 pies (1.2 m) y pesa aproximadamente 400 libras (181 kg), aunque el espacio y el peso pueden variar en función del tamaño de la bomba.

El patín de refuerzo se instala normalmente en una sala de bombas adyacente a la bahía del hangar; sin embargo, si debe colocarse dentro del hangar, debe tenerse cuidado de que no interfiera con la huella del piso del ILDFA.

10. Patín de la Bomba de Descarga

Al diseñar el ILDFA, el sistema de patines de bomba suele utilizar una bomba centrífuga FM Approved nominal de 6" (DN 150) y 50 CV con un caudal máximo de 1500 GPM (5680 l/min). La bomba de descarga está controlada por un controlador de bomba aprobado.

Se requiere una fuente de alimentación trifásica de 460/480 VCA con un disyuntor de 65 A para cada patín de bomba. Para los hangares situados fuera de Estados Unidos, los motores de las bombas pueden modificarse para que funcionen con la tensión trifásica local.

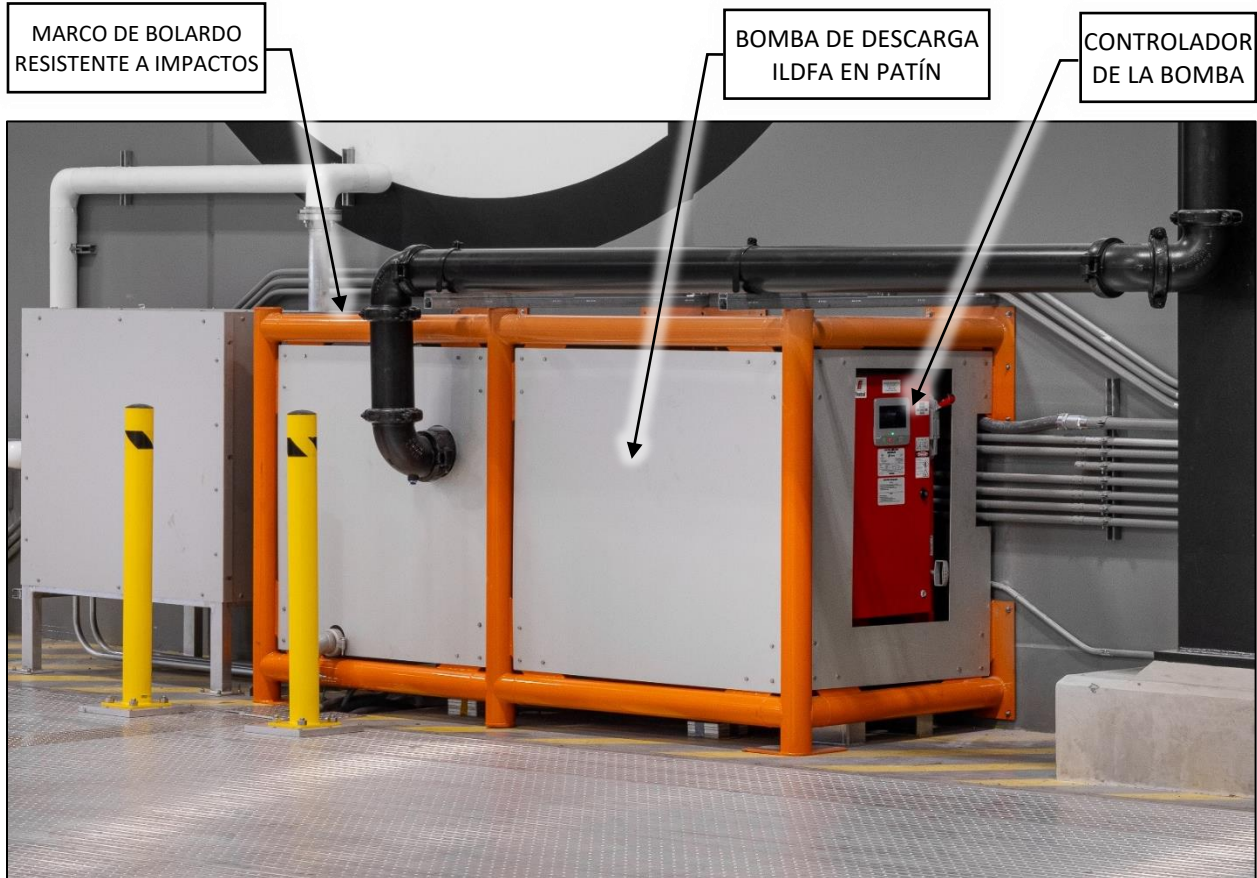


Figura 10-1: Típica carcasa de patín de bomba en instalación de hangar ILDFA.

La bomba y el controlador están alojados dentro de un bastidor de bolardo de aluminio soldado, con paneles de aluminio de alta resistencia para proteger el equipo de colisiones, como montacargas, remolcadores o carros de herramientas. El marco del bolardo tiene una superficie aproximada de 10 pies (2.9 m) por 5 pies (1.5 m) y una altura aproximada de 5.5 pies (1.6 m).

La disposición del hangar, la anchura y el número de zanjas determinarán si se necesitan uno o varios patines de bomba.

En el caso de un hangar que necesite dos patines de bomba, los patines se situarán en cada extremo del ILDFA a lo largo de la pared del hangar para bombear el líquido desde las zanjas hasta la contención externa sobre el suelo. Como alternativa, el líquido puede drenarse por gravedad a un tanque de contención subterráneo o a un separador de agua y aceite (OWS) subterráneo. En el *Capítulo 13, Contención y Drenaje*, se ofrecen más detalles sobre las opciones de contención y drenaje.

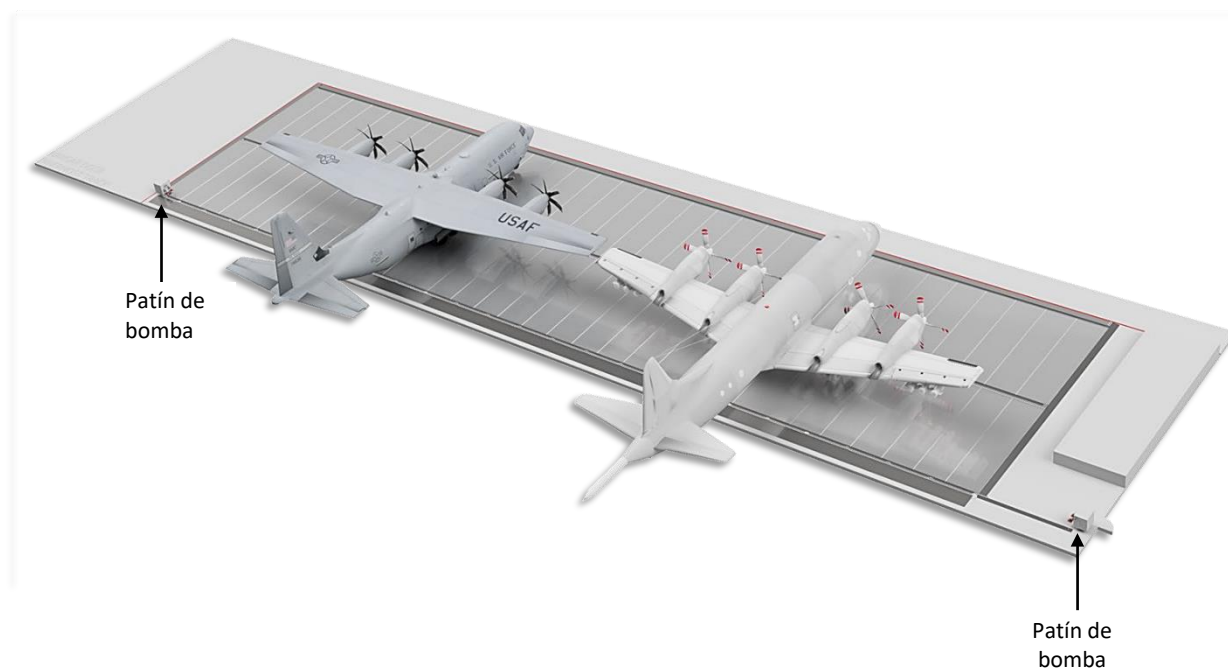


Figura 10-2: Diseño del ILDFA con patines de bomba en lados opuestos del sistema

10.1. Controlador de la Bomba de Descarga

Para garantizar la fiabilidad, todas las bombas de descarga se conectarán a un controlador de bombas contra incendios aprobado. El controlador de la bomba contra incendios se instalará dentro del bastidor del patín de la bomba, con una abertura en los paneles de la carcasa para permitir el acceso. El controlador de la bomba proporcionará señalización al panel de control principal para proporcionar alertas cuando se pierda la alimentación, las bombas estén funcionando o se produzca una inversión de fase. Un sensor de detección de líquido instalado en la caja de drenaje enviará una señal al controlador de la bomba para que ponga en marcha la bomba de descarga siempre que haya líquido en la caja de drenaje del ILDFA. La bomba arrancará al detectar líquido y funcionará durante un tiempo preestablecido después de que el sensor de detección de líquido se seque.

Para la mayoría de las aplicaciones, la bomba funcionará durante (1) minuto después de que el sensor de detección de líquido esté seco, como se muestra en el árbol lógico de ejemplo en Figura 11-6. Para las aplicaciones que siguen la Hoja Técnica de FM 7-93, la bomba deberá funcionar hasta que se apague manualmente. Los cambios en el tiempo de funcionamiento pueden adaptarse mediante la programación en el sitio del controlador de la bomba.

11. Sistema de Control

Para todas las instalaciones ILDFA, se proporcionará un panel de control principal en cada hangar. Cerca de las zanjas se instalará una caja de conexiones de control que actuará como corte entre el panel de control principal y el cableado que entre en la zanja. Una caja de conexiones de control puede alojar hasta 16 zonas ILDFA. Todos los paneles de control y cajas de conexiones ILDFA están aprobados por UL-508A y FM, y suelen requerir una alimentación de 2,400 vatios. Los paneles de control y las cajas de conexiones que transportan cableado intrínsecamente seguro cuentan con la certificación UL-698A.

11.1. Panel de Control Principal

El panel de control del ILDFA consiste en una caja NEMA 4/IP66, que debe montarse en una pared dentro del hangar, en un lugar central donde sea visible para todo el personal del hangar.

En los hangares con varias bahías, se proporcionará un panel de control principal para cada bahía del hangar. Figura 11-1 muestra un ejemplo de panel de control principal del ILDFA montado en la pared interior del hangar. La colocación está a la vista de todas las zonas del ILDFA y es accesible para los equipos de respuesta a emergencias y el personal de mantenimiento.

Las dimensiones típicas del panel de control principal son 24" (0.61 m) de ancho por 30" (0.76 m) de alto por 12" (0.3 m) de profundidad. El panel de control principal debe instalarse a una altura mínima de 0.45 m del suelo.

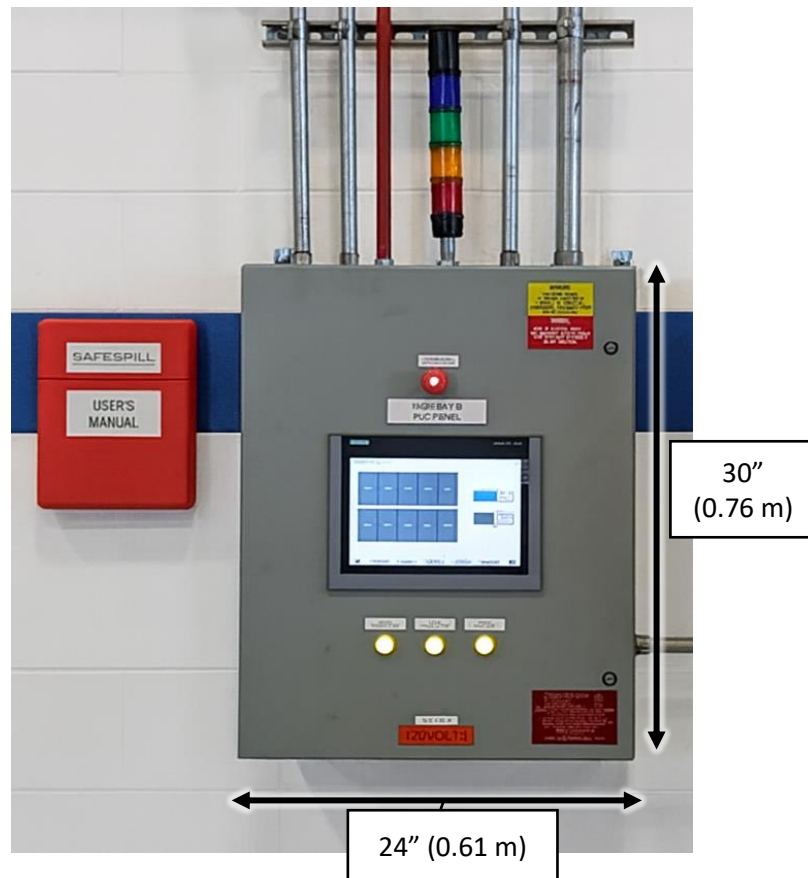


Figura 11-1: Panel de Control del ILDFA montado en la pared interior del hangar

El panel de control principal tiene luces indicadoras de pérdida de potencia, sistema armado y condiciones del tanque. Las alarmas audiovisuales se activan en el panel de control principal. El panel de control principal dispone de contactos secos para la conexión al panel de control de alarmas contra incendios (FACP) del hangar o al sistema de gestión de edificios (BMS). En la *Sección 11.4, Secuencia de Funcionamiento de la Alarma de Incendio*, se proporciona una secuencia de funcionamiento de la alarma de incendio.

El ILDFA está diseñado para detectar únicamente derrames de líquidos y no detecta incendios. Por lo tanto, el panel de control del ILDFA no activará la "alarma" para un FACP, y se recomienda que el ILDFA se instale junto a los sistemas de detección de incendios para activar la alarma en el FACP.

UFC 4-211-01 exige el uso de detectores ópticos de llamas de triple infrarrojo (IR) en hangares con ILDFA instalado. Información adicional relacionada con el uso de Detectores Ópticos de Llama con ILDFA se discute en la *Sección 0, Detectores Ópticos de Llama*.

Una interfaz hombre-máquina (HMI) instalada en el panel de control principal permite al usuario activar ciclos de limpieza, activar manualmente el sistema si se produce un derrame, observar las condiciones actuales de los sensores y los niveles del depósito, y ver los registros de alarmas.

Si se permite la supervisión remota, el fabricante del ILDFA puede acceder al PLC y la HMI de los paneles de control a través de una conexión VPN para analizar los datos y realizar mejoras continuas. Esto permite al fabricante realizar pruebas de diagnóstico. Un ejemplo es la comprobación de los sensores de detección de líquidos para diagnosticar errores en zonas concretas.

Durante el funcionamiento estándar, el sistema está armado y se activará en tres escenarios:

1. Operación Automática - Activada por sensores de detección de líquidos
2. Operación de Emergencia – Se activa manualmente, cuando se observa un derrame pero aún no se ha detectado, mediante un botón en la HMI
3. Operación Manual – Se activa manualmente, para limpieza o lavado, mediante un botón en la HMI

Encontrará más detalles sobre las operaciones del sistema en la *Sección 11.5, Árbol Lógico*.

La HMI muestra la zona que está siendo activada por uno de los tres escenarios. El ejemplo de abajo en Figura 11-2 muestra la Zona 3 del ILDFA activada para operación manual en verde.



Figura 11-2: Ejemplo de la HMI del ILDFA con el modo de limpieza de la Zona 3 activado

11.2. Caja de Conexiones de Controles

La caja de conexiones de los controles se utiliza como punto de corte entre el cableado del panel de control principal y el cableado que entra en la zanja. Estas cajas de conexiones deben instalarse cerca del final de las zanjas, montadas en una pared o columna cercana del hangar y conectadas a los conductos de la zanja. Las dimensiones típicas de una caja de conexiones de controles son 20" (0.79 m) de ancho por 20" (0.79 m) de alto y 8" (0.32 m) de profundidad. La caja de conexiones de los controles debe instalarse a una altura mínima de 18" (0.45 m) del suelo.

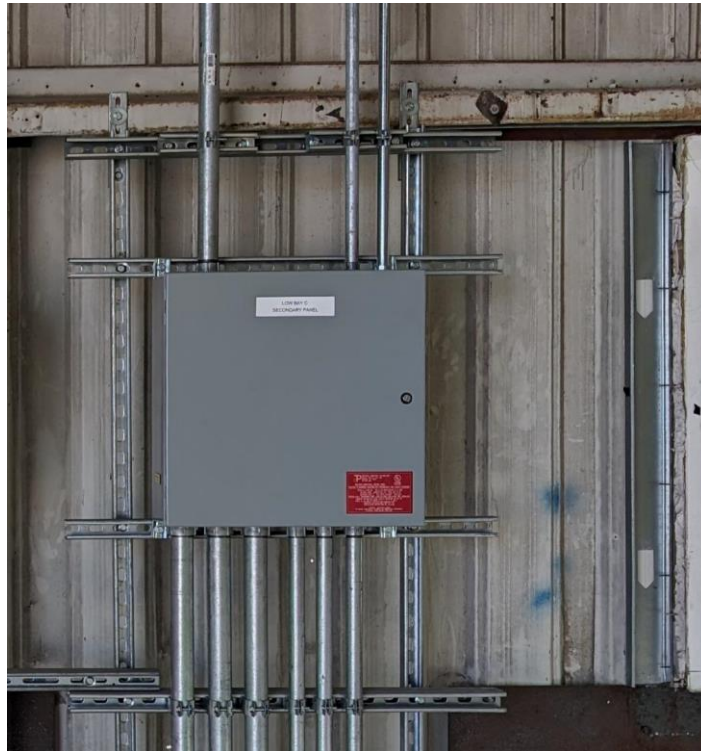


Figura 11-3: Caja de Conexiones de Controles Típica montada en la pared cerca de la zanja ILDFA

La caja de conexiones envía señales de entrada para los sensores de detección de líquidos al panel de control principal y recibe señales de salida para las válvulas solenoides desde el panel de control principal. Cada caja de conexiones puede conectarse a un máximo de 16 zonas.

Para la mayoría de las aplicaciones, la caja de conexiones incluye un controlador lógico secundario para procesar las señales locales. Esta configuración minimiza los requisitos de cableado entre el panel de control principal y la caja de conexiones, manteniendo idénticas características de seguridad y rendimiento.

La caja de conexiones de los controles suele contener:

1. Barreras de seguridad intrínseca (IS) para el cableado de sensores de detección de líquidos
2. Bloques de terminales para el cableado de válvulas solenoides situados en gabinetes de válvulas murales adyacentes
3. Un controlador lógico secundario para el procesamiento local de señales

Las señales de entrada y salida entre la caja de conexiones y el panel de control principal se transmiten a través de Profinet (cable Ethernet CAT6).

Se requiere el siguiente cableado entre el panel de control principal y la caja de conexiones de los controles:

- 24VDC para alimentar las Barreras IS y el controlador lógico secundario: 6AWG, 2 conductores + 1 Tierra
- 1 cable Ethernet Profinet (CAT6) para detección de líquidos y comunicación con válvulas solenoides

El cableado adicional para los sensores del depósito, los caudalímetros o los dispositivos auxiliares también puede pasarse a través de la caja de conexiones en función del diseño del proyecto.

11.2.1. Aplicaciones UFC 4-211-01 (U.S. Military)

En los proyectos militares estadounidenses que siguen la norma UFC 4-211-01, los requisitos de ciberseguridad y segregación de redes suelen prohibir la transmisión de señales a través de Ethernet. Estas aplicaciones generalmente requieren que todos los circuitos estén cableados desde los terminales de la caja de conexiones directamente al controlador lógico ubicado en el panel de control principal.

En consecuencia, la caja de conexiones de los controles incluye:

1. Barreras de seguridad intrínseca (IS) para el cableado de sensores de detección de líquidos
2. Bloques de terminales para el cableado de válvulas solenoides en gabinetes murales adyacentes

Cableado necesario entre el panel de control principal y la caja de conexiones de los controles:

- 24 V CC para la alimentación de las Barreras IS: 12 AWG, 2 conductores + 1 tierra
- Señal del sensor de detección de líquidos: 22 AWG, 2 conductores por zona (32 conductores para 16 zonas)
- Potencia de la válvula solenoide: 14 AWG, 2 conductores por zona (32 conductores para 16 zonas)

Es posible que se necesiten conductores adicionales para los sensores del depósito, caudalímetros u otros dispositivos auxiliares.

11.3. Batería de Reserva

Cada panel de control principal estará conectado a una batería de reserva que proporcionará alimentación de 24 VDC para 48 horas de espera más 30 minutos de funcionamiento. Las baterías se almacenarán en un gabinete para baterías, que deberá instalarse junto al panel de control principal, al menos a 18 pulgadas del suelo.

Las dimensiones del gabinete de baterías serán:

Para aplicaciones con **16 zonas o menos**: 19" (0.48 m) de ancho por 40" (1.02 m) de alto y 17" (0.43 m) de profundidad.

Para aplicaciones con **más de 16 zonas**: 26" (0.66 m) de ancho por 40" (1.02 m) de alto y 17" (0.43 m) de profundidad.

Cuando se pierde la alimentación del edificio, el panel de control principal cambiará automáticamente a la alimentación de la batería y continuará proporcionando alimentación al controlador lógico, los dispositivos de señalización, los sensores de detección de líquidos, las válvulas solenoides y el sensor o sensores del depósito. Cuando se pierde la alimentación del edificio, el panel de control principal mostrará la pérdida de alimentación mediante una luz indicadora y transmitirá una señal de supervisión al FACP.

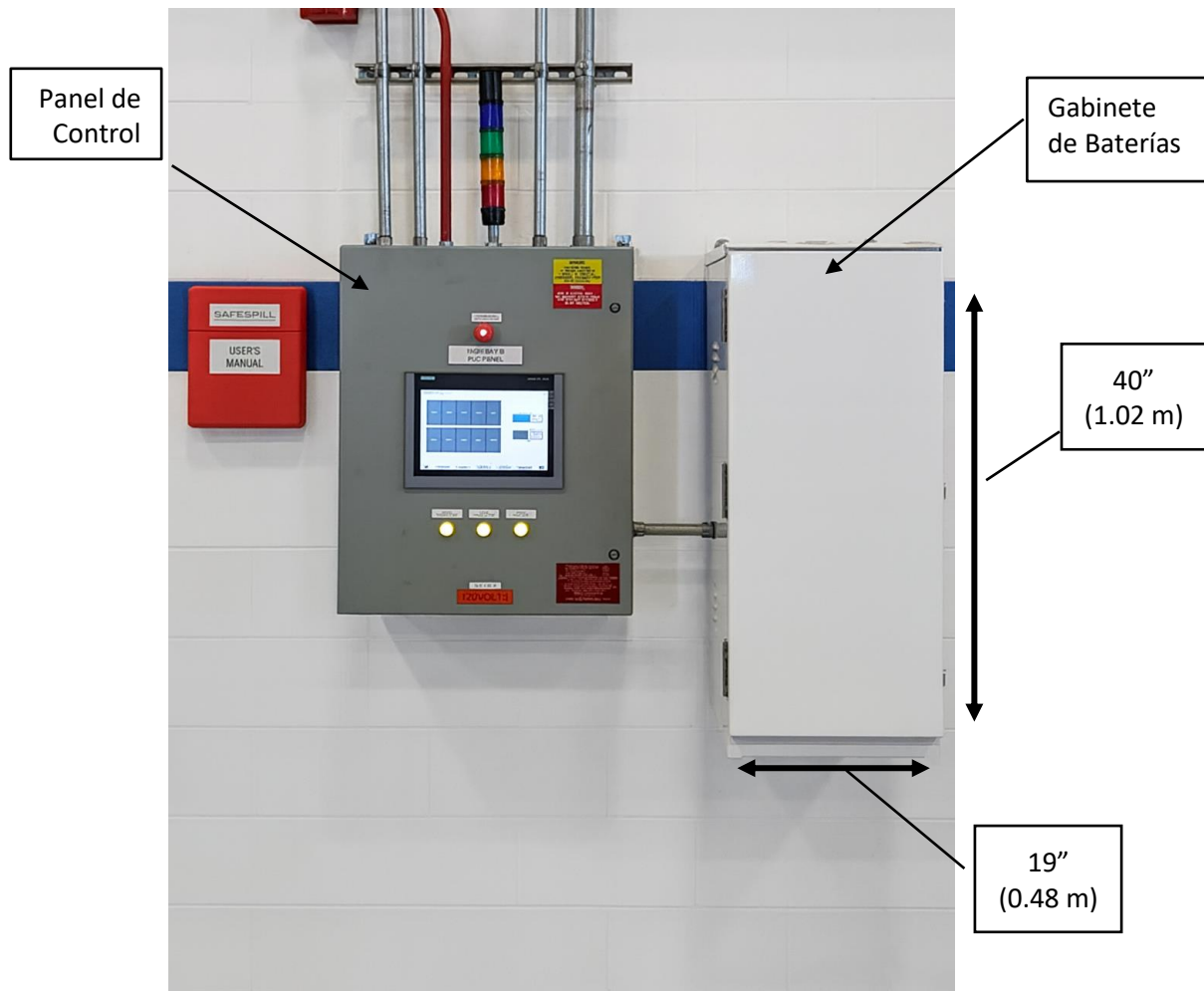


Figura 11-4: Gabinete de baterías montado en la pared cerca del panel de control principal

11.4. Secuencia de Funcionamiento de la Alarma de Incendios

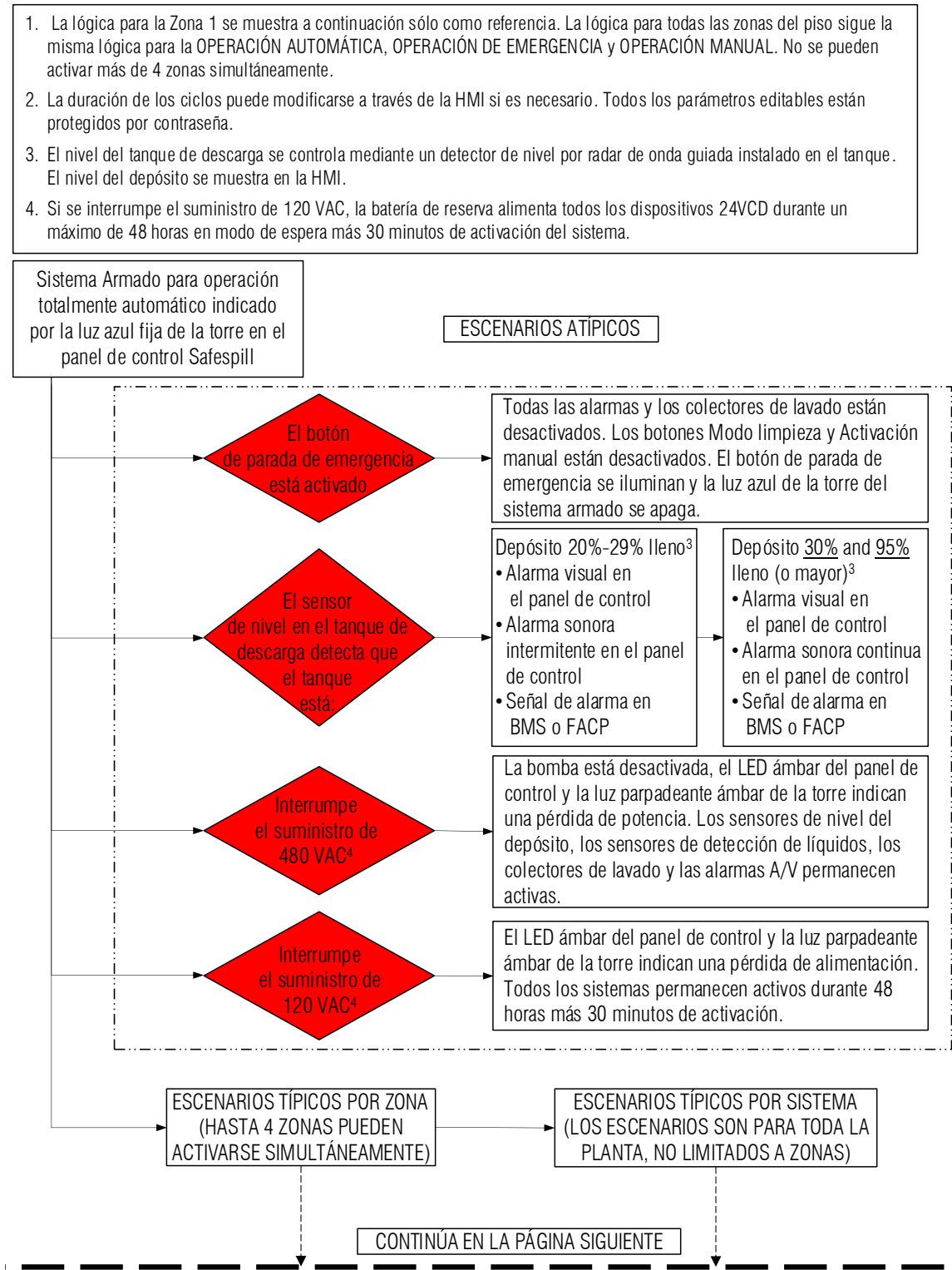
La Figura 11-5 muestra una secuencia típica de funcionamiento de una alarma de incendio que cumple los requisitos mínimos para la secuencia de funcionamiento de acuerdo con UFC 4-211-01. Esto incluye la señalización entre el sistema de control ILDFA y el FACP o BMS del hangar

SECUENCIA DE OPERACIÓN DEL ILDFA					
		SALIDA DEL SISTEMA			
		ANUNCIO EN EL PANEL DE CONTROL DE SAFESPILL			
		AVISO ACÚSTICO CONTINUO EN EL PANEL DE CONTROL DE SAFESPILL	LUZ ESTROBOSCÓPICA CONTINUA EN EL PANEL DE CONTROL DE SAFESPILL	LUZ INDICADORA CONTINUA EN EL PANEL DE CONTROL DE SAFESPILL	NOTIFICACIÓN ACÚSTICA SILENCIABLE EN EL PANEL DE CONTROL DE SAFESPILL
ENTRADAS DEL SISTEMA		A	B	C	D
1	ACTIVACIÓN AUTOMÁTICA DE ILDFA (DERRAME DETECTADO)	X	X		X
2	ACTIVACIÓN DE EMERGENCIA ILDFA	X	X		X
3	ACTIVACIÓN DE LA PARADA DE EMERGENCIA DE SAFESPILL			X	X
4	BAJO CAUDAL DETECTADO DURANTE LA OPERACIÓN DEL SOLENOIDE, SUMINISTRO DE LAVADO DE SAFESPILL				X
5	SEÑAL DEL PANEL DE CONTROL DE SAFESPILL, EL DEPÓSITO DE DESCARGA ESTÁ ≥ 95% LLENO	X	X	X	X
6	SEÑAL DEL PANEL DE CONTROL DE SAFESPILL, EL DEPÓSITO DE DESCARGA ESTÁ 30-94% LLENO	X	X	X	X
7	SEÑAL DEL PANEL DE CONTROL DE SAFESPILL, EL DEPÓSITO DE DESCARGA ESTÁ 20-29% LLENO		X	X	X
8	SEÑAL DEL PANEL DE CONTROL SAFESPILL, SE INTERRUMPE EL SUMINISTRO DE TENSIÓN DE 120			X	X
9	SEÑAL DEL PANEL DE CONTROL SAFESPILL, SE INTERRUMPE EL SUMINISTRO DE TENSIÓN DE 480	X	X	X	

Figura 11-5: Secuencia de Operaciones para FACP de acuerdo con UFC 4-211-01

11.5. Árbol Lógico

Figura 11-6 y Figura 11-7 son ejemplos del árbol lógico del ILDFA que explica el flujo de operaciones para todos los escenarios típicos y atípicos.





12. Componentes Eléctricos en Zanjas

Los sensores de detección de líquidos, las válvulas solenoides y el cableado de estos dispositivos se instalan dentro de la zanja del ILDFA y son suministrados por Safespill.

12.1. Sensores de Detección de Líquidos

En cada zona del ILDFA se instala (1) sensor de detección de líquidos. El sensor de detección de líquidos es intrínsecamente seguro y está aprobado por FM para su uso en ubicaciones de Clase 1, División 1. El sensor de detección de líquidos consta de un amplificador de dos hilos que convierte las tensiones intrínsecamente seguras en una luz roja visible.

Figura 12-1 ofrece una explicación visual de los componentes y el funcionamiento del sensor de detección de líquidos.

La luz roja visible viaja a través de un cable de fibra óptica hasta un prisma de cristal y vuelve por el cable de fibra óptica a un receptor del sensor. Cuando el prisma de cristal no está sumergido en líquido, la luz roja vuelve al sensor sin interrupción. Cuando el prisma de cristal se sumerge en líquido, la luz roja se dispersa y no vuelve al sensor. El sensor transmite una condición de "luz" u "oscuridad" a una barrera intrínsecamente segura situada en la caja de conexiones de los controles.

Cada sensor de detección de líquidos se conecta a la barrera intrínsecamente segura a través de (2) conductores de 18AWG, con un conector de desconexión rápida M12 de 4 patillas en el lado del dispositivo.

El cableado del sensor de detección de líquidos se conduce a través de la zanja en un conducto metálico rígido para evitar la abrasión y el aplastamiento. Tabla 12-1 proporciona el tamaño de conducto recomendado en función del número de zonas en cada tramo de conducto. Tenga en cuenta que el tamaño del conducto se mantiene constante desde la caja de conexiones de los controles hasta cada sensor de detección de líquidos del conducto.

Si se daña un componente del sensor de detección de líquidos o el cableado, el dispositivo se registra como activado y señala al panel de control que se ha producido un derrame.

Tabla 12-1: *Tamaño de Conducto Recomendado para el Cableado del Sensor de Detección de Líquidos*

Número de Zonas	Tamaño de Conducto Recomendado
12 Zonas o Menos	1" (27 mm)
de 13 a 20 Zonas	1-1/4" (35 mm)
Más de 20 zonas	1-1/2" (41 mm)

Prisma de Vidrio en el extremo del cable



Amplificador de sensor y cable de fibra



Cable de fibra óptica SECO



Cable de fibra óptica HÚMEDO



Figura 12-1: Componentes y funcionamiento del sensor de detección de líquidos

12.2. Válvula Solenoides

Para cada zona del ILDFA, se instala (1) válvula solenoide en un gabinete de válvulas montado en la pared, cerca del extremo de una zanja. Se requiere una línea de suministro de agua nominal de 3" (DN80) a cada gabinete de válvulas. Dentro del gabinete de válvulas, esta línea de suministro de agua se bifurca a cada válvula, y una tubería nominal de 1-1/2" (DN 40), schedule 40 se dirige desde cada válvula a un conjunto de tuberías dentro de la zanja ILDFA. Las tuberías desde el gabinete montado en la pared hasta la zanja ILDFA normalmente requerirán el tendido en una zanja de servicios públicos para evitar obstrucciones en el hangar.

Aguas abajo de cada válvula, las tuberías permanecen vacías en condiciones normales y se llenan de agua y se presurizan sólo cuando se activa la válvula solenoide. Una vez cerrada la válvula solenoide, una válvula de drenaje automática instalada dentro de la zanja permite drenar el tramo de tuberías para protegerlo contra la congelación. Las válvulas solenoides se cierran en caso de fallo, por lo que, si se produce un corte de corriente, no se suministra agua a todas las zonas del piso.

La Figura 12-2 muestra un ejemplo de gabinete de válvulas mural con 8 zonas. En este ejemplo, las dimensiones del gabinete son 24" de ancho (0.6 m) x 48" de alto (1.2 m) por 10" de fondo (0.25 m). Se muestra como ejemplo una zanja utilitaria con rejilla abierta para la conexión de tuberías desde el gabinete a la zanja ILDFA.

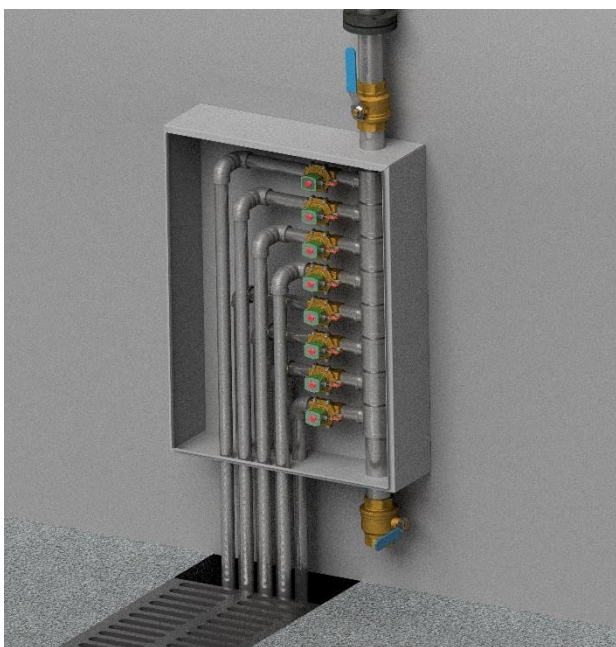


Figura 12-3: Gabinete de válvulas mural para 8 zonas de ILDFA

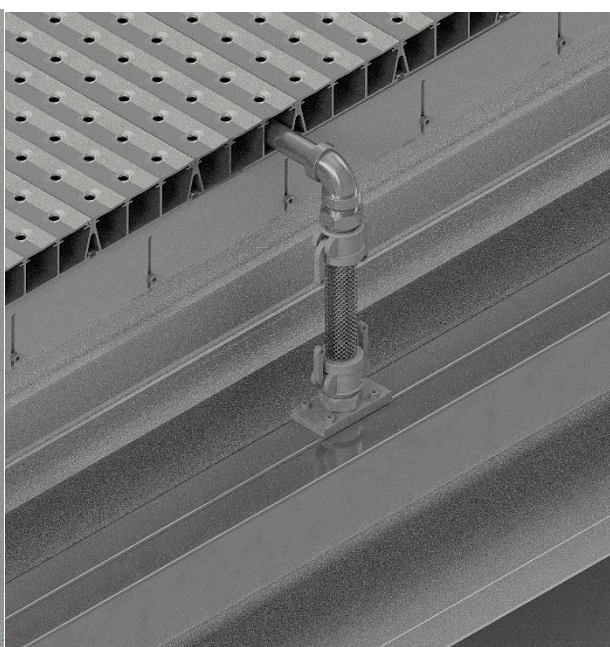


Figura 12-2: Conexión de la tubería enterrada al suministro del distribuidor de lavado

Tras entrar en la zanja ILDFA, las tuberías continúan hasta la zona designada, donde se realizan las conexiones entre la tubería de 1-1/2" (DN 40) y las tuberías adicionales que recorren el perfil y abastecen al distribuidor de lavado instalado en el extremo opuesto del piso.

13. Contención y Drenaje

NFPA 409 (Edición propuesta para 2026), Hoja Técnica FM 7-93 (Julio de 2022) y UFC 4-211-01 (Cambio 4) proporcionan orientación sobre el estilo de contención y drenaje; sin embargo, cada norma varía en sus requisitos. Independientemente del estilo o el tamaño del depósito, la contención de líquidos debe situarse **fuera** del hangar.

Existen varias opciones de contención que se detallan en la *Sección 13.3, Opciones de Contención y Separadores de Agua y Aceite*

13.1. Consideraciones sobre el Tamaño - Depósito de Contención

Al calcular el tamaño requerido para un **tanque de contención**, primero hay que determinar dos criterios críticos:

1. ¿Cuál es el código o norma aplicable?
2. ¿Las aeronaves del hangar se consideran grandes o pequeñas?

Los códigos aplicables definen las aeronaves pequeñas como aquellas con una longitud máxima de 78 pies (24 m) y una anchura de fuselaje inferior a 13 pies (4 m).

Para aeronaves pequeñas, considere la capacidad total de combustible a bordo como el mayor volumen potencial de derrame.

En el caso de aeronaves grandes, considere el tamaño máximo de una sola celda de combustible interna para el mayor volumen potencial de derrame.

La Tabla 13-1 proporciona los requisitos de dimensionamiento de los tanques de contención basados en UFC 4-211-01 (Cambio 4), NFPA 409 (Edición propuesta para 2026) y Hoja Técnica FM 7-93 (Julio de 2022).

Tabla 13-1: Requisitos de Tamaño de la Contención

	UFC 4-211-01	NFPA 409	FM 7-93
Volumen del Derrame en el Peor Escenario Posible (WCS)	Para aeronaves pequeñas ¹ : Capacidad total de combustible intraborda Para aeronaves más grandes: La célula de combustible interna mayor		
Agua de Lavado WCS	200 GPM (757 L/min)		
Agua para Aspersión	N/A	Hasta 600 GPM ² (2,271 L/min)	600 GPM (2,271 L/min)
Duración del Evento	30 minutos	45 minutos	60 minutos
Factor de Seguridad	10%	10%	N/A
Redundancia	100%	N/A	N/A

1. NFPA 409 Capítulo 8.2.13.4.1 y Hoja Técnica FM 7-93, Capítulo 2.2.2.2 definen las aeronaves pequeñas de hasta 78 pies (24 m) de longitud con una anchura de fuselaje inferior a 13 pies (4 m)
2. Véase la Sección 13.4, Comentarios sobre los Requisitos de Caudal de los Aspersores

Las Figuras 13-1, 13-2 y 13-3 proporcionan ejemplos de cálculos para el dimensionamiento de la contención según cada código.

EJEMPLO DE CÁLCULO
USANDO UFC 4-211-01

Mayor Derrame Potencial	Volumen Total de Combustible	10 409 L 2 750 galones
Agua de Lavado WCS	757 L/min * 30 min	22 710 L 6 000 galones
Factor de seguridad	10%	3 312 L 875 galones
Redundancia	100%	36 430 L 9 625 galones
Volumen del tanque de contención		72 860 L 19 250 galones

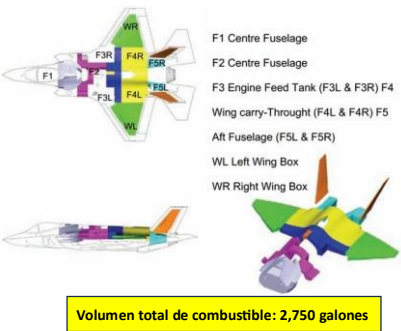


Figura 13-1: Ejemplo de cálculo para el dimensionamiento de la contención utilizando UFC 4-211-01 (Cambio 4) para un hangar que alberga aeronaves F-35.

EJEMPLO DE CÁLCULO
USANDO NFPA 409, Edición 2026

Mayor Derrame Potencial	La Mayor Celda de Combustible Interna	46 140 L 12 190 galones
Agua de Lavado WCS	757 L/min * 45 min	34 065 L 9 000 galones
Agua de Aspersor	2 271 L/min * 45 min	102 195 L 27 000 galones
Factor de seguridad	10%	18 240 L 4 819 galones
Volumen del tanque de contención		53 009 galones 200 640 L

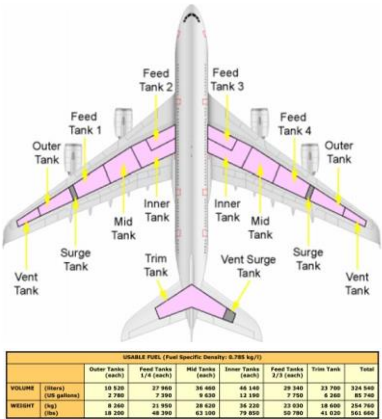


Figura 13-2: Ejemplo de cálculo para el dimensionamiento de la contención utilizando la norma NFPA 409 (Edición 2026) para un hangar que alberga un Airbus A380.

EJEMPLO DE CÁLCULO
USANDO FMDS 7-93

Mayor Derrame Potencial	La Mayor Celda de Combustible Interna	46 140 L 12 190 galones
Agua de Lavado WCS	757 L/min * 60 min	45 420 L 12 000 galones
Agua de Aspersor	2 271 L/min * 60 min	136 260 L 36 000 galones
Factor de Seguridad	N/D	N/D
Volumen del tanque de contención		227 820 L 60 190 galones

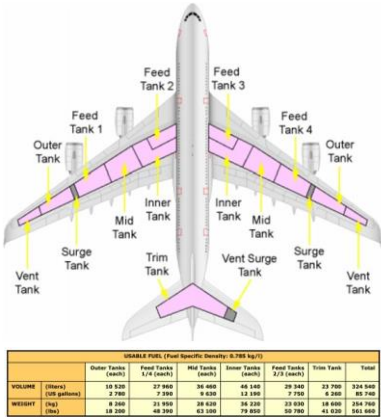


Figura 13-3: Ejemplo de cálculo para el dimensionamiento de la contención utilizando la Hoja Técnica FM 7-93 (Julio de 2022) para un hangar que alberga un Airbus A380

13.2. Consideraciones sobre el Tamaño - Separador de Agua y Aceite

Al calcular el caudal necesario para un **separador de agua y aceite**, primero hay que determinar dos criterios críticos:

1. ¿Cuál es el código o norma aplicable?
2. ¿Las aeronaves del hangar se consideran grandes o pequeñas?

Los códigos aplicables definen las aeronaves pequeñas como aquellas con una longitud máxima de 78 pies (24 m) y una anchura de fuselaje inferior a 13 pies (4 m).

Para aeronaves pequeñas, considere un caudal de combustible de 200 gpm (757 L/min).

Para aeronaves grandes, considere un caudal de combustible de 400 gpm (1514 L/min).

Tabla 13-2: Requisitos de Dimensionamiento del Separador de Agua y Aceite

	UFC 4-211-01	NFPA 409	FM 7-93
Volumen del Derrame en el Peor Escenario Posible (WCS)	Para aeronaves pequeñas ¹ : 200 GPM (757 L/min) Para aeronaves más grandes: 400 GPM (1,514 L/min)		
Agua de Lavado WCS	200 GPM (757 L/min)		
Agua para Aspersión	N/A	Hasta 600 GPM (2,271 L/min)	600 GPM (2,271 L/min)
Factor de Seguridad	10%	10%	N/A

Para dimensionar los separadores de agua y aceite, el cálculo es sencillo. Se requieren 4 tamaños posibles:

Tabla 13-3: Caudales Necesarios para el Separador de Agua y Aceite

	UFC 4-211-01	NFPA 409 o FM 7-93
Aeronaves Pequeñas	440 GPM (1,665 L/min)	1,100 GPM (4,165 L/min)
Aeronaves Grandes	660 GPM (2,500 L/min)	1,320 GPM (5,000 L/min)

13.3. Opciones de Contención y Separador de Agua y Aceite

En esta sección se ofrecen detalles sobre 7 opciones diferentes para tratar las mezclas de agua y combustible vertidas por los ILDFA instalados en hangares. Para todas las opciones, sigue siendo necesario seguir las consideraciones de dimensionamiento proporcionadas en las Secciones 13.1 y 13.2. Para los tanques de contención sobre el suelo, proporcione tanques que cumplan la norma UL 142. Para depósitos de contención subterráneos, proporcione depósitos que cumplan la norma UL 1316

13.3.1. Tanque Subterráneo de Contención

Descripción General:

El drenaje se canaliza bajo tierra desde el ILDFA del hangar hasta un depósito de contención subterráneo que cumple la norma UL 1316. El flujo es impulsado por gravedad y el tanque de contención está dimensionado para el volumen total calculado en la Sección 13.1.

Pros:

- Diseño hidráulico y gestión del caudal sencillos
- ILDFA no depende de la bomba de descarga

Contras:

- Costos adicionales de excavación e instalación
- Requiere vaciado y transporte periódicos
- El suelo contaminado con PFAS por el uso de AFFF puede requerir una costosa rehabilitación
- Las aguas subterráneas elevadas o los suelos inestables pueden impedir la instalación de depósitos subterráneos



13.3.2. Separador subterráneo de agua y aceite

Descripción General:

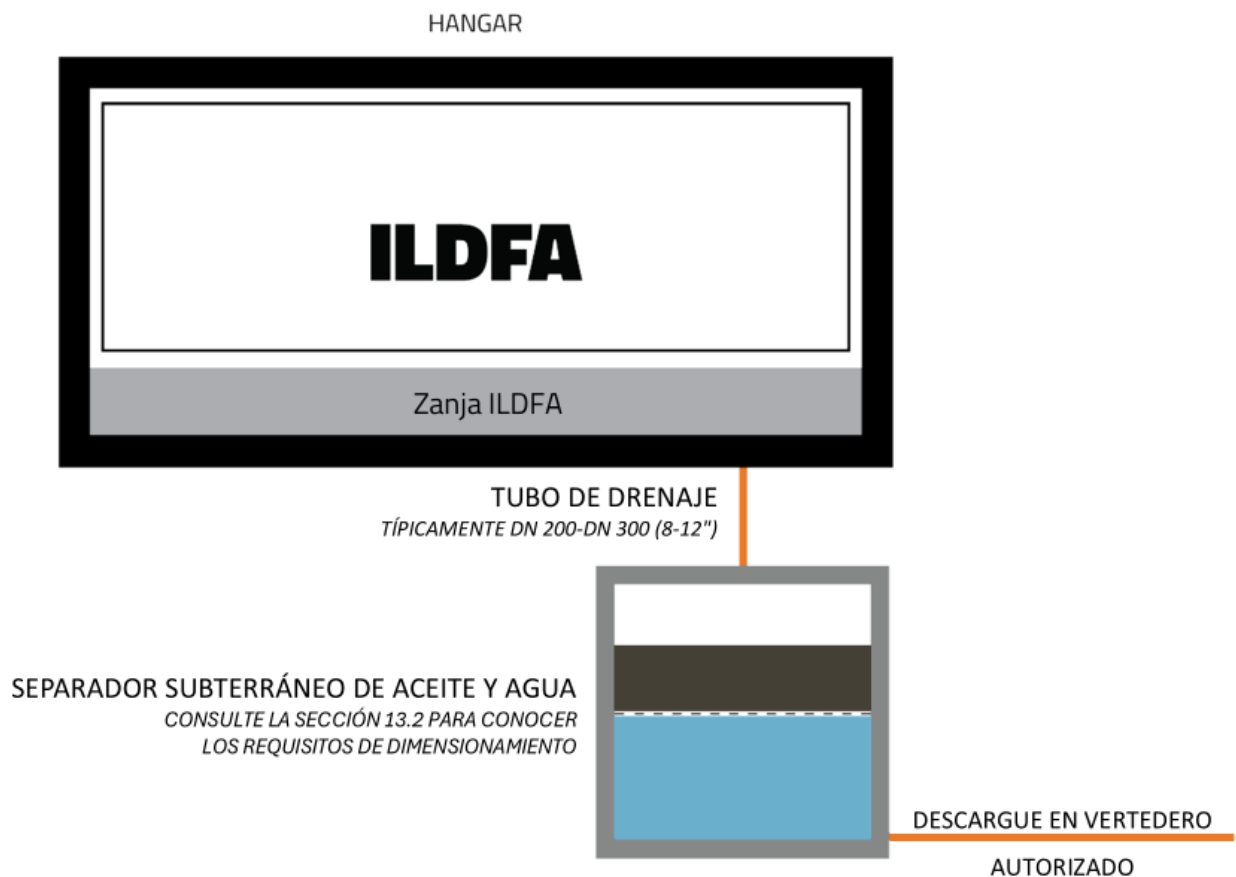
El drenaje se dirige bajo tierra desde el ILDFA del hangar hasta un separador de agua y aceite subterráneo. El caudal se conduce por gravedad y el OWS se dimensiona para los caudales calculados en la Sección 13.2.

Pros:

- No es necesario transportar el agua contaminada
- ILDFA no depende de la bomba de descarga

Contras:

- Mayor costo y complejidad de la instalación subterránea (excavación, PFAS, condiciones del sitio)
- La fiabilidad del sistema depende en gran medida de un mantenimiento proactivo
- Requiere pruebas de conformidad continuas



13.3.3. Sistema Híbrido - OWS Pequeño + Depósito de Desborde

Descripción General:

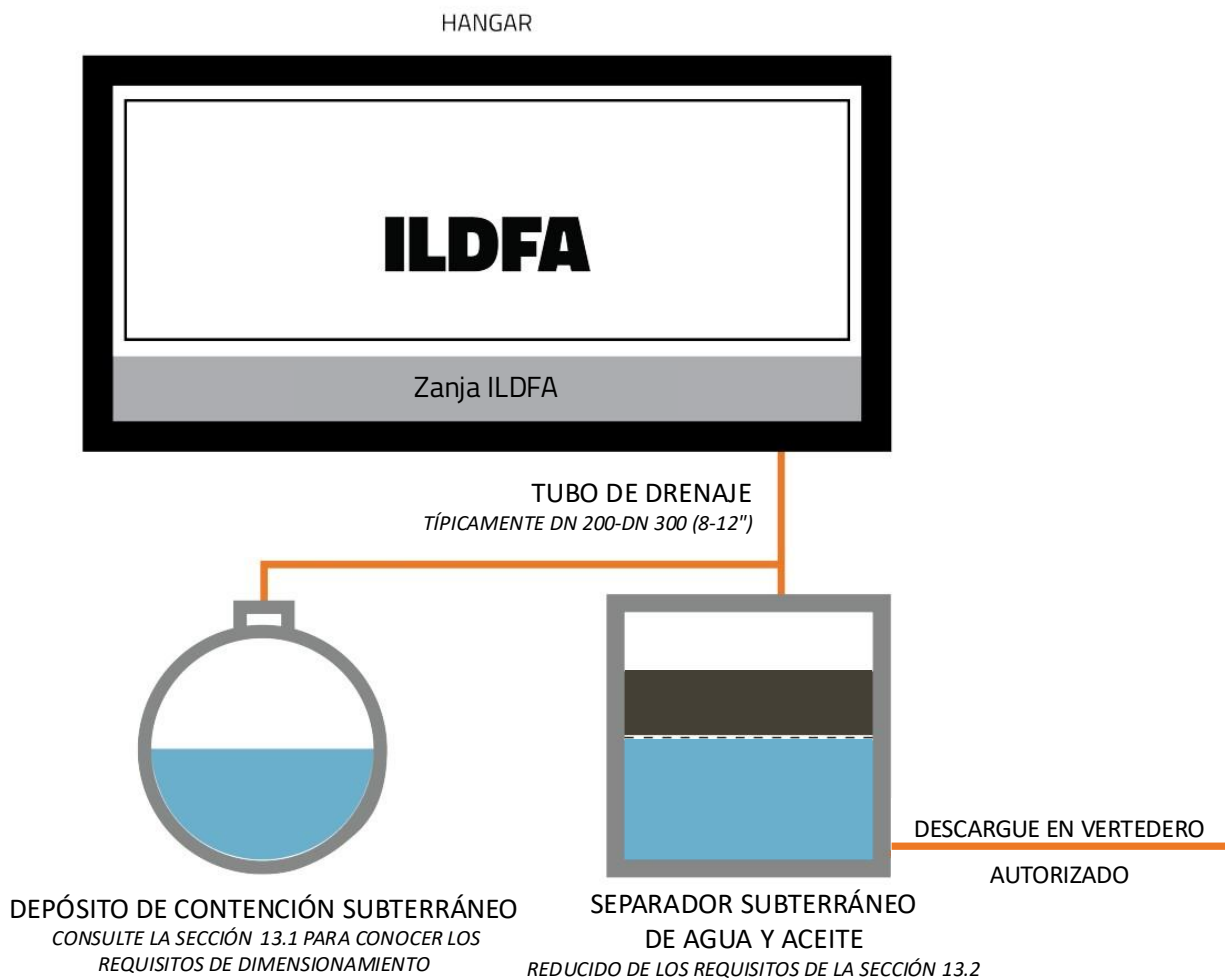
La descarga diaria del ILDFA fluye a través de tuberías subterráneas hasta un pequeño separador de agua y aceite. Los desbordamientos de grandes derrames se conducen a un tanque de contención subterráneo. El OWS es una unidad de bajo costo, dimensionada para la actividad rutinaria, mientras que el Tanque de Desbordamiento está dimensionado para grandes eventos de derrame.

Pros:

- Costo reducido para las OWS más pequeñas
- Reduce la probabilidad de llenar el depósito y provocar retrasos en las operaciones
- Reduce la necesidad de evacuar el agua contaminada

Contras:

- Mayor costo y complejidad de la instalación subterránea (excavación, PFAS, condiciones del sitio)
- Requiere OWS y tanque de contención
- Requiere un diseño adicional para la válvula de desbordamiento/derivación



13.3.4. Sólo Tanque de Contención sobre el Suelo

Descripción General:

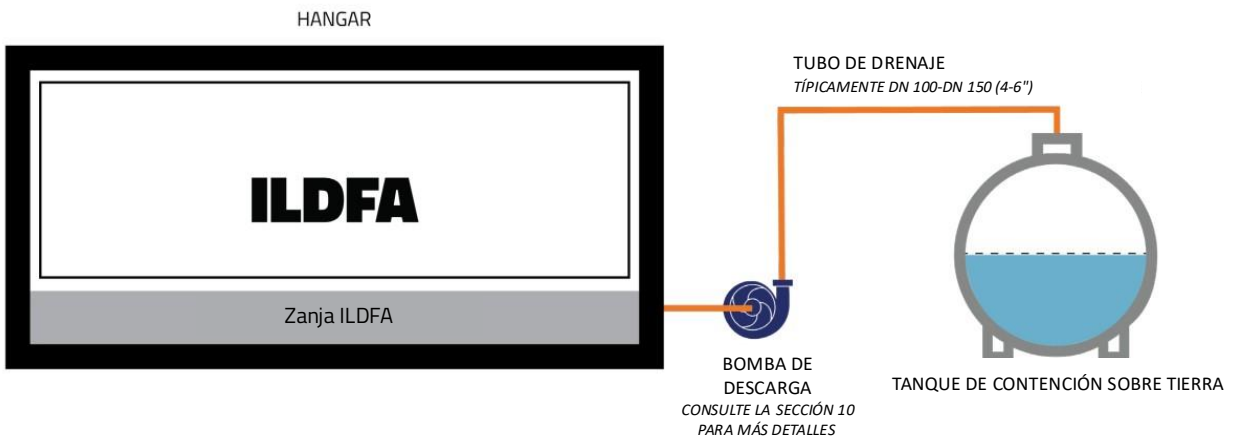
El derrame del ILDFA se bombea a un tanque de contención dedicado situado sobre el suelo, que contiene todo el volumen calculado en la Sección 13.1. No se produce ningún tratamiento durante el suceso, sólo contención.

Pros:

- Sistema simplificado
- No requiere excavación
- Accesible para inspección visual y mantenimiento periódico
- Puede modularse y reubicarse en caso necesario

Contras:

- Depende del transporte o de las pruebas de eliminación
- Ocupa espacio adicional fuera del hangar
- El uso del hangar puede retrasarse mientras se vacían o prueban los tanques de contención



13.3.5. Tanque de Contención sobre el Suelo + Paquete Safespill OWS

Descripción General:

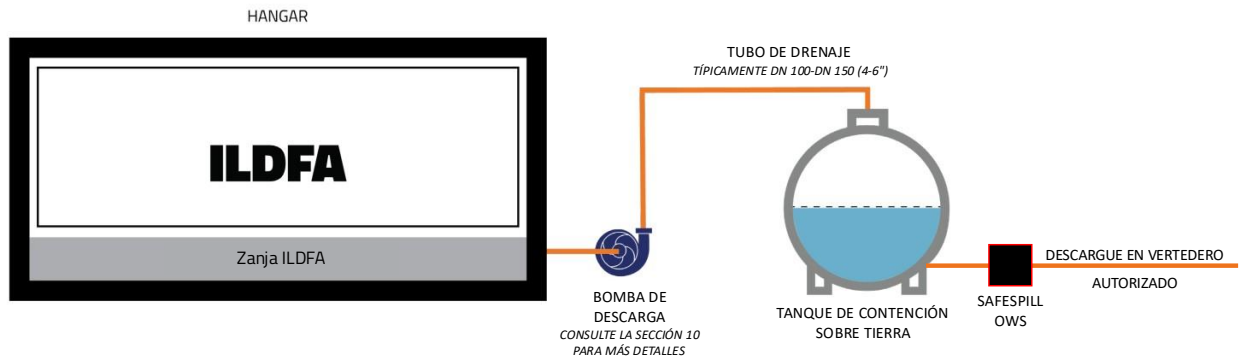
El derrame del ILDFA se bombea a un tanque de contención dedicado situado sobre el suelo, que contiene todo el volumen calculado en la Sección 13.1. Tras un derrame, una plataforma Safespill OWS trata el fluido recolectado. Para más detalles sobre el Safespill OWS, véase la Sección 14.

Pros:

- Disposición sobre el suelo de fácil mantenimiento
- Tratamiento eficaz de bajo caudal para operaciones posteriores al derrame
- No se requiere tratamiento durante el flujo máximo
- El agua vertida por el vertedero Safespill OWS contiene <10 ppm de hidrocarburos, por lo que cumple la mayoría de los umbrales reglamentarios de derrame directo

Contras:

- Ocupa espacio adicional fuera del hangar
- Requiere mantenimiento OWS



13.3.6. Integración de Tanques de Reciclaje de Circuito Cerrado

Descripción General:

Mejora la Opción 5 mediante el reciclado del agua de Safespill OWS a un tanque de reciclado de agua de lavado, lo que permite la reutilización del 100% del agua descargada.

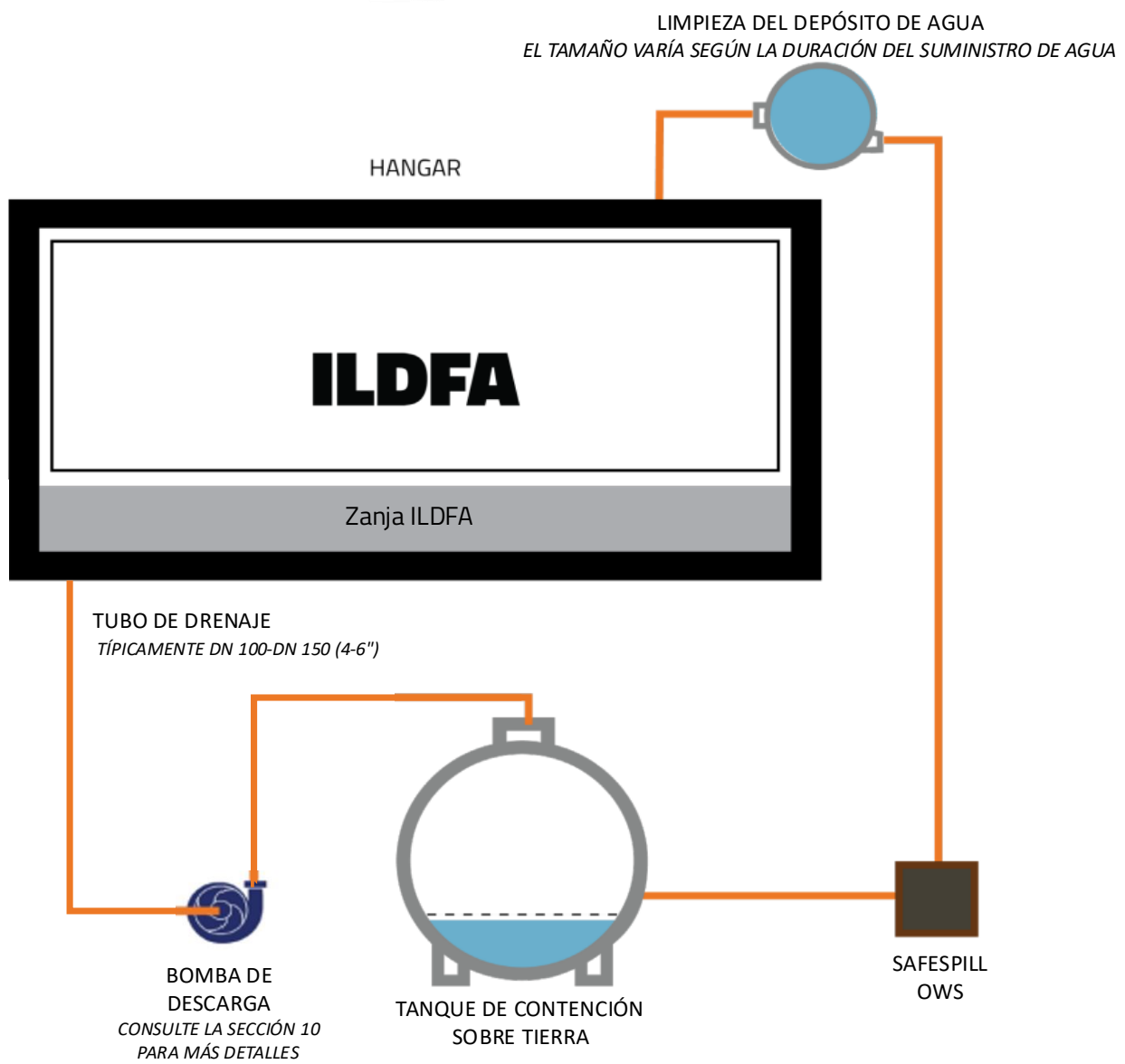
Tamaños de los depósitos de agua de lavado: UFC 4-211-01 (6,000 gal), NFPA 409 (9,000 gal), FM 7-93 (12,000 gal).

Pros:

- Apoya los objetivos de sostenibilidad y puede contribuir a la certificación LEED
- Reduce el consumo de agua a largo plazo

Contras:

- Mayor complejidad y costo de instalación
- Requiere un mantenimiento continuo y pruebas de conformidad



13.3.7. Depósito Híbrido sobre el Suelo + Contención de Desbordamiento

Descripción General:

Un tanque de contención sobre el suelo de 15,000 galones (57,000 litros) de tamaño mínimo captura la descarga diaria del ILDFA. El paquete Safespill OWS opcional puede tratar el contenido del tanque.

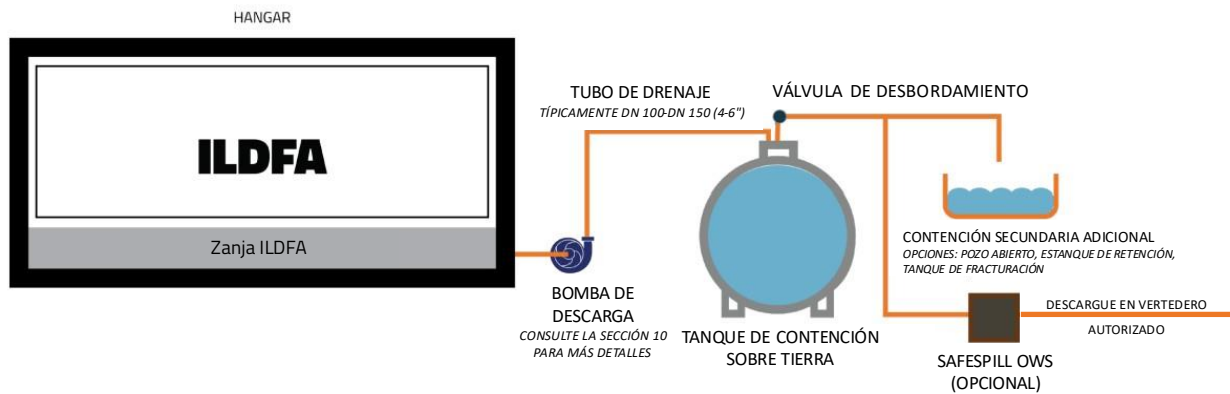
El desbordamiento del tanque de contención sobre el suelo se dirige a una contención externa adicional, como un pozo abierto, un estanque o tanques de fracturación. La válvula de desborde desvía el flujo cuando el depósito alcanza su capacidad.

Pros:

- Equilibrio rentable entre la contención rutinaria y en el peor de los casos
- Elimina la necesidad de un depósito primario de gran capacidad o de sistemas subterráneos
- Aprovecha la infraestructura de bombeo existente
- Modular y adaptable a distintos diseños de sitios web
- La unidad OWS opcional mejora el cumplimiento de la normativa en caso de derrames recurrentes

Contras:

- Los múltiples componentes requieren coordinación y espacio
- Las zonas de desbordamiento deben protegerse, diseñarse e inspeccionarse periódicamente
- Depende de múltiples sistemas mecánicos (bombas de descarga y válvulas)
- La unidad OWS sigue necesitando mantenimiento y supervisión



13.4. Comentarios sobre los Requisitos de Caudal de los Aspersores

En la NFPA 409 (edición de 2022), la capacidad de tasa de drenaje requerida del ILDFA se escribió de la siguiente manera:

"8.2.13.4

El conjunto del piso deberá tener un caudal de drenaje superior al 110% del caudal total previsto de descarga de combustible, más un margen para el caudal de rociadores requerido."

Esta redacción se consideró imprecisa, ya que "un margen para el caudal de rociadores requerido" no especifica claramente si el margen se refiere a toda la superficie del hangar, a toda la superficie del ILDFA o al tamaño del incendio de diseño.

Durante el ciclo de revisión 2026 de la NFPA 409, el comité técnico acordó modificar esta sección para aclarar que el ILDFA debe tener en cuenta el agua de lavado, el agua de los aspersores y el flujo de combustible. Sin embargo, el comité acordó que sólo una parte del caudal de agua de los rociadores requerido debe incluirse en el cálculo y optó por alinear los requisitos de la NFPA 409 con los requisitos de la Hoja Técnica 7-93 de FM, que limita el caudal máximo requerido de los rociadores a 600 gpm (2.271 L/min). El texto revisado, que se incluirá en la edición de 2026 de la NFPA 409, figura a continuación:

"7.5.14.4

El conjunto del piso deberá tener un caudal de drenaje superior al 110% del caudal total previsto e incluir todo lo siguiente:

- (1) La tasa total prevista de descarga de combustible
- (2) El caudal de agua de lavado previsto
- (3) Un margen para que el caudal de los aspersores no supere los 600 gpm (2,271 L/min)"

14. Patín Safespill OWS (Separador de Agua y Aceite)

Debido al uso de agua como medio de lavado, el agua se mezclará con el combustible derramado dentro del tanque de contención. Para minimizar la frecuencia de vaciado de los tanques y reducir los costos de saneamiento, se puede incluir un patín separador de agua y aceite (OWS) con el paquete ILDFA.

El Patín OWS funciona independientemente del panel de control del hangar del ILDFA y puede procesar el contenido líquido del tanque de contención de forma manual o automática tras un derrame. El sistema separa los hidrocarburos del agua, vertiendo el agua tratada a un punto de derrame autorizado y recogiendo el aceite recuperado para su correcta eliminación.

Cada patín OWS está completamente cerrado y ocupa un espacio de 8 pies × 10 pies (2.5 m × 3.0 m). El peso operativo máximo es de 15,000 libras (6,800 kg) con todos los depósitos internos llenos. Los requisitos de energía eléctrica incluyen una conexión de 120 VCA, 25 A al panel de control del OWS, que suministra energía a las bombas de a bordo y a los arrancadores de motor.

La configuración estándar incluye todo lo siguiente:

- **Separador de Agua y Aceite:** Caudal máximo de entrada de 10 GPM (40 L/min).
- **Filtro de Carbón Activado:** Elimina los hidrocarburos residuales para conseguir una calidad del agua tratada <5 mg/L de hidrocarburos totales del petróleo (HTP).
- **Tanque de Almacenamiento de Aceite:**
 - Capacidad: 500 galones (1,900 L)
 - Equipado con un sensor de nivel que avisa al operador cuando está lleno.
 - Incluye una bomba de combustible montada en el depósito para el vaciado a un recipiente de eliminación.
- **Panel de Control:**
 - Alojamiento de arrancadores de motor para bombas a bordo
 - Muestra el nivel del depósito de aceite, el caudal de entrada y el caudal de salida
 - Diseñado para el control local, independiente del sistema ILDFA.

Componentes y Configuraciones Opcionales

Dependiendo del alcance del proyecto, de los requisitos medioambientales o de las preferencias del usuario final, el patín OWS puede suministrarse con características adicionales o alternativas como:

- **Trasvase automatizado de fluidos** desde el depósito de contención (modo continuo o a demanda).
- **Capacidad de control remoto** o integración con los sistemas de supervisión de las instalaciones.
- **Depósito de contención secundario** para una mayor protección del medio ambiente.
- **Calefactores o aislantes** para instalaciones de clima frío.
- **Puertos de muestreo** para la verificación de la calidad del agua.

El usuario final, la Autoridad Competente (AHJ), o la autoridad ambiental local es responsable de determinar si el agua tratada puede ser descargada al sistema sanitario o pluvial, o reciclada de nuevo al tanque de suministro de agua del ILDFA. El operador del hangar es responsable del vaciado periódico del depósito de almacenamiento de aceite y de la sustitución del filtro de carbón cuando sea necesario.

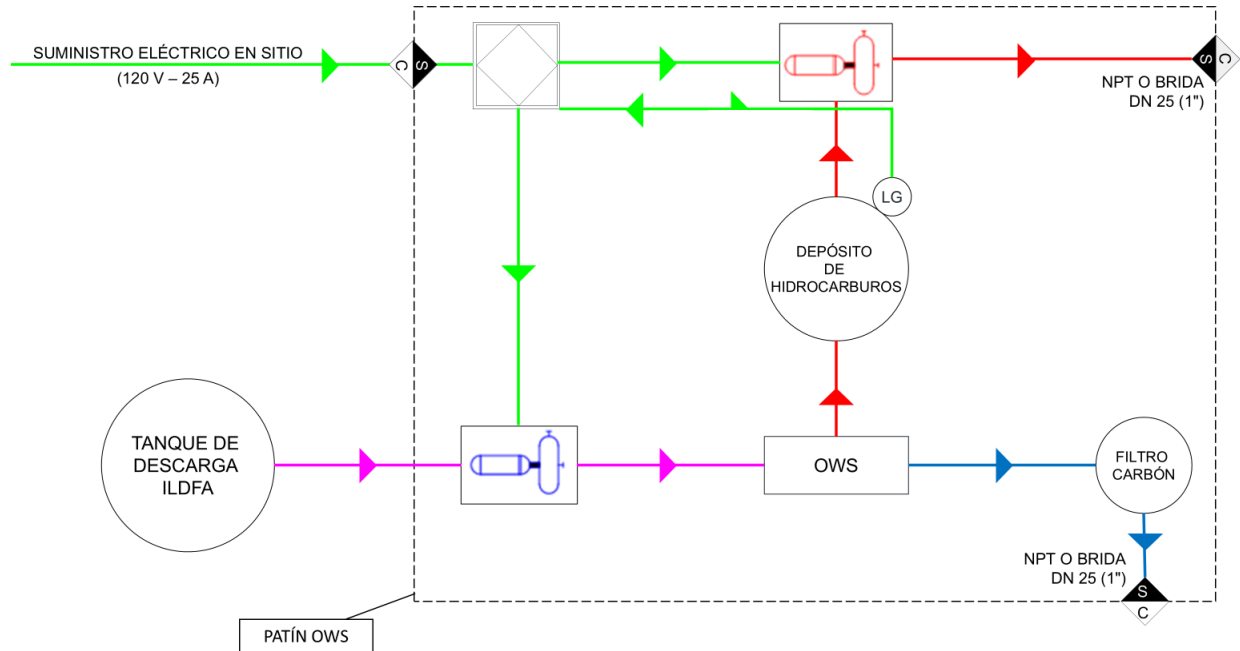


Figura 14-1: P&ID de Patín OWS (Separador de Agua y Aceite) Safespill



Figura 14-2: Patín OWS externo vista lateral junto al tanque de contención (izquierda) y vista final con panel de control (derecha)

15. Aire Preacondicionado (PCA)

La instalación del Safespill ILDFA es compatible con los hangares que utilizan zanjas de aire acondicionado (PCA). El siguiente diseño ha sido presentado y aprobado por NAVFAC.

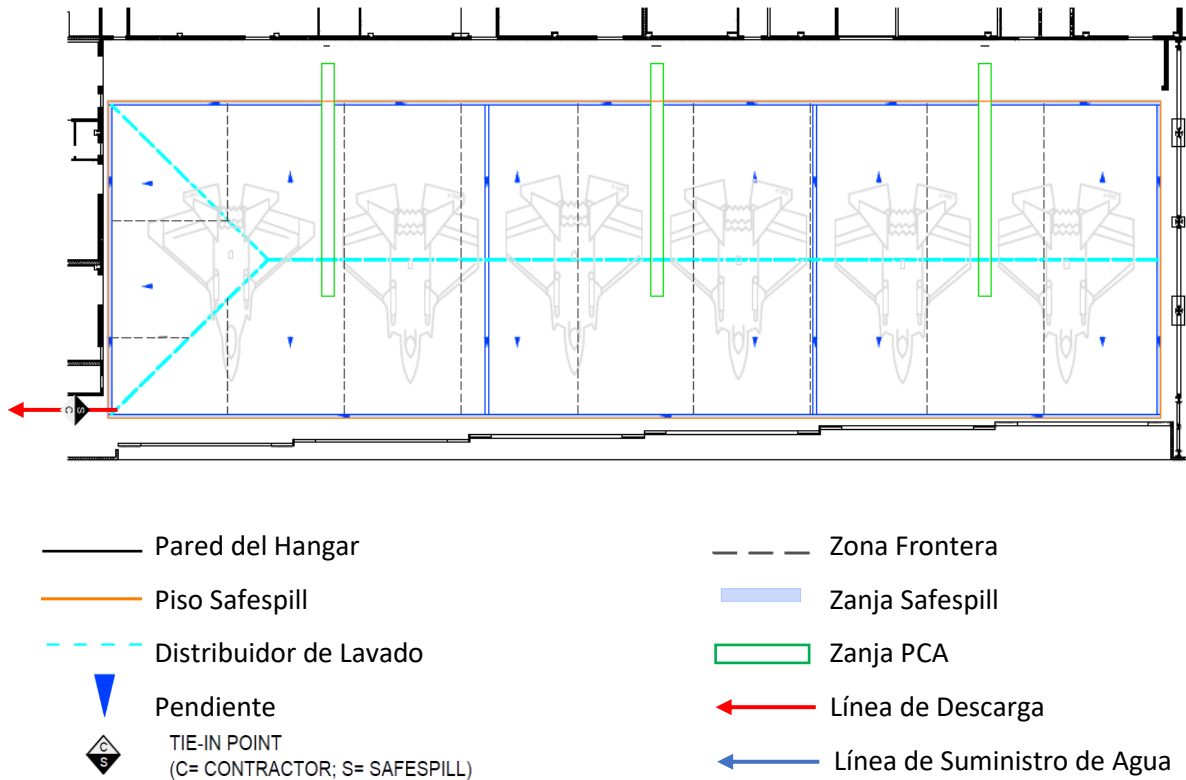


Figura 15-1: Trazado aprobado para ILDFA en hangares utilizando zanjas PCA

En este diseño, no hay intersección entre las zanjas PCA y las zanjas ILDFA. Los conductos de aire no entran en las zanjas del ILDFA y ningún líquido del ILDFA entrará en las zanjas del PCA. Las zanjas PCA están totalmente aisladas de las zanjas ILDFA.

Las zanjas del PCA comienzan cerca de la pared trasera del hangar y se extienden por debajo de los perfiles del piso del ILDFA. Las zanjas ILDFA siempre se inclinan en sentido contrario a las zanjas PCA.

16. Sistema de Rociadores Superiores

Cuando se instala un ILDFA, sigue siendo necesario disponer de un sistema de rociadores en el hangar, tal como exigen la NFPA 409, la Hoja Técnica FM 7-93, el UFC 4-211-01 o las autoridades locales. El sistema de rociadores es necesario para proteger el hangar contra incendios que no sean de hidrocarburos.

Las pruebas de incendio en vivo a escala real indican que si se produce un incendio de líquido inflamable en un hangar con un ILDFA instalado, es extremadamente improbable que se activen los rociadores de cabezal cerrado, basándose en las reducciones del tamaño del derrame y la tasa de liberación de calor.

Consulte el informe de la prueba aquí: https://safespill.com/wp-content/uploads/2023/11/NFPA_409-Test-Report_Safespill_Web.pdf

Extracto del informe adjunto:

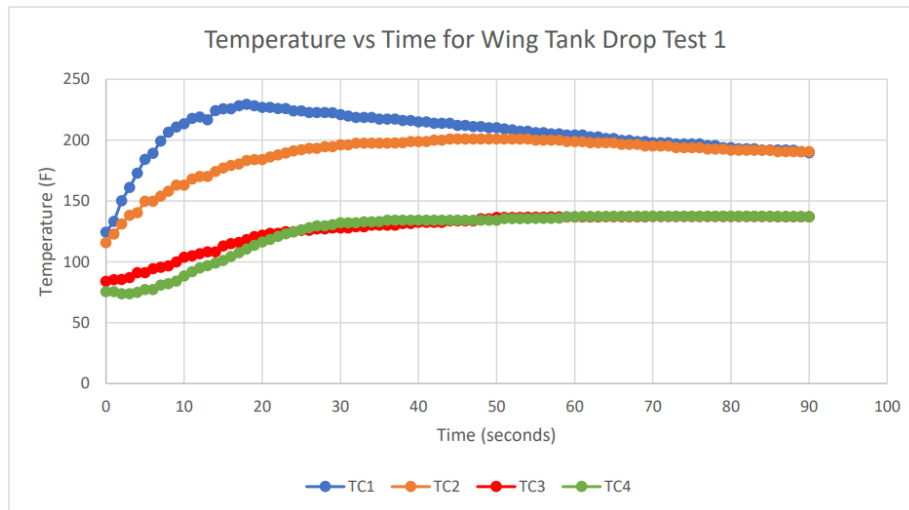
"Cuando se utilicen sistemas de rociadores de agua de cabezal cerrado, la norma NFPA 409 exige el uso de rociadores de respuesta rápida con una temperatura nominal de 175 °F para los hangares del Grupo I, exigiéndose rociadores de temperatura equivalente o superior para otros grupos de hangares y zonas con temperaturas ambiente elevadas".

Aunque la altura del techo puede variar en función de las aeronaves alojadas en la instalación, los techos típicos de los hangares tienen más de 12 metros (40 pies) de altura, lo que es mucho más alto que el techo de (7.5 metros) 25 pies de la instalación de pruebas Safespill. La norma NFPA 409 exige una separación máxima entre rociadores de 337 metros (12 pies).

Durante las pruebas, se colocaron termopares adyacentes a 2 metros (6.5 pies) del origen del incendio y las temperaturas observadas, incluso a sólo 4 metros de la superficie del conjunto del piso, rara vez superaron los 175 °F.

Basándose en los resultados de las pruebas, es razonable concluir lo siguiente:

- (1) Sólo los rociadores instalados en hangares con techos inferiores a 9 metros (30 pies) son susceptibles de activarse
- (2) En los hangares que cumplan los criterios (1), sólo es probable que se activen los rociadores situados directamente encima del origen del incendio. Es improbable que se activen los aspersores adyacentes"



17. Detectores Ópticos de Llama

UFC 4-211-01 requiere la instalación de detectores ópticos de llama infrarrojos (IR) triples en los hangares donde se instale ILDFA. Los detectores ópticos de llamas se utilizan para detectar incendios en el hangar, mientras que el ILDFA detecta derrames de líquidos. La detección de llama activa la alarma FACP, mientras que la detección de líquido ILDFA activa la supervisión FACP.

Debido a las preocupaciones relacionadas con la reflectividad del ILDFA, Det-Tronics llevó a cabo pruebas de detector de llama en un ILDFA el 13 de diciembre de 2021 en la planta de fabricación de ILDFA en Houston, TX en un día soleado. Los resultados concluyeron que el detector de llama no se ve afectado por el acabado mate del ILDFA y muestra menos reflexión que un piso epoxi con acabado brillante típico. El informe de pruebas del detector de llamas [Det-Tronics](https://safespill.com/Det-Tronics-Flame-Detector-Safespill-Testing) se puede encontrar en [Safespill.com/Det-Tronics-Flame-Detector-Safespill-Testing](https://safespill.com/Det-Tronics-Flame-Detector-Safespill-Testing).



Figura 17-1: Las pruebas del detector de llama se realizaron en el ILDFA mostrado.

18. Suministro de Agua en Climas Fríos

Los distribuidores de lavado del ILDFA requieren suministro de agua, que suele ser tubería húmeda hasta las válvulas montadas en la pared, como se describe en 12.2. Mientras que las tuberías dentro de las zanjas ILDFA permanecen vacías en condiciones normales, las tuberías de suministro desde la sala de bombas hasta los gabinetes de válvulas dentro del hangar pueden, en algunas instalaciones, atravesar zonas sujetas a temperaturas de congelación. En tales casos, deberán incorporarse medidas de diseño adicionales para garantizar que el suministro de agua permanezca protegido contra las heladas.

Cuando las tuberías no puedan ubicarse por completo dentro de un espacio acondicionado, podrá instalarse una válvula de suministro accionada por motor y controlada eléctricamente antes del gabinete de la válvula solenoide para aislar el suministro durante las condiciones de espera. Como se describe en 12.2, cada zona incluye una válvula de drenaje automática situada en el punto más bajo de la línea, que permite que el agua residual se descargue en la zanja ILDFA y se elimine de la misma manera que cualquier otro líquido recogido.

Las válvulas de drenaje automático están diseñadas para proporcionar protección contra la congelación permitiendo que las tuberías de suministro se drenen después de su funcionamiento; sin embargo, pueden quedar pequeñas cantidades de agua residual en los puntos bajos o en los accesorios. Estos restos de agua no comprometen la protección contra la congelación.

Si se produce un derrame, la válvula de suministro aguas arriba y la(s) válvula(s) solenoide(s) de la(s) zona(s) afectada(s) se abren simultáneamente para suministrar agua de lavado al ILDFA.

Como alternativa al uso de una válvula de suministro adicional aguas arriba y una configuración de drenaje, se puede utilizar un sistema de calefacción para mantener la protección contra la congelación a lo largo de las secciones expuestas de las tuberías de suministro.

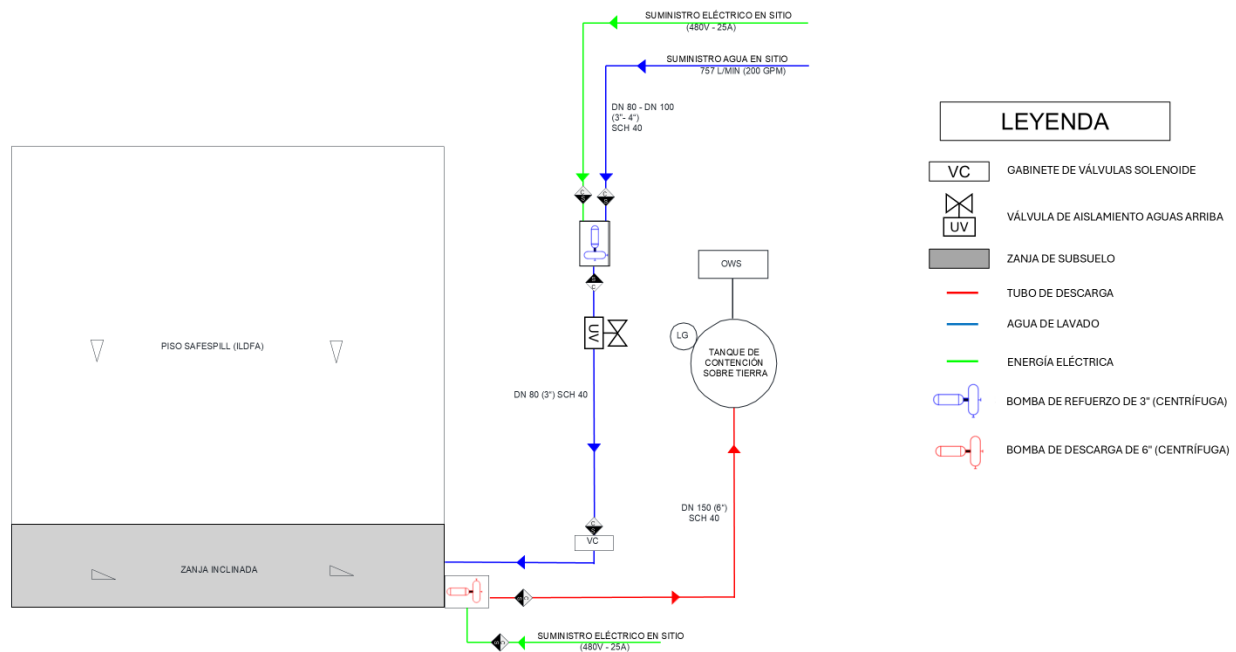


Figura 18-1: P&ID simplificado de ILDFA con la adición de válvula de aislamiento aguas arriba para la protección contra la congelación

19. Compatibilidad de la Calefacción en la Losa

ILDFA se ha instalado con éxito en múltiples hangares que incorporan sistemas de calefacción radiante en losa con tuberías de glicol o agua. Este método de calefacción suele emplearse en climas fríos para evitar la congelación en los hangares y mantener un entorno de trabajo cómodo para el personal.



Figura 19-1: Sistema de calefacción radiante en losa para hangar que utiliza ILDFA

En estos sistemas, el fluido calentado circula a través de tuberías empotradas en la losa de concreto bajo el ILDFA. El calor se conduce a través del concreto y sale a la superficie, donde se irradia al espacio ocupado.

Cuando los perfiles ILDFA, fabricados con aluminio de alta conductividad, se colocan sobre la losa calentada, actúan como una superficie térmica ampliada. El aluminio absorbe rápidamente el calor del concreto subyacente y lo redistribuye lateralmente, compensando las variaciones de temperatura de la superficie causadas por las distintas ubicaciones de los tubos. Este efecto proporciona una salida radiante más uniforme en toda la superficie del piso, lo que reduce los puntos fríos y crea un entorno térmico más uniforme para las aeronaves y el personal.

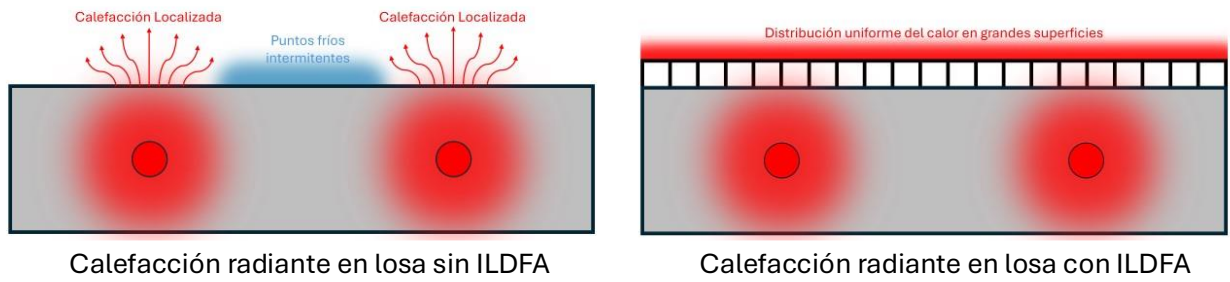


Figura 19-2: Comparación de la calefacción radiante en el forjado con y sin ILDFA

Aunque el aluminio introduce una capa adicional por encima de la losa, que puede retrasar ligeramente el tiempo de respuesta inicial del sistema de calefacción, el resultado global es una mayor eficacia de la transferencia de calor y mejores condiciones de confort. Los perfiles de aluminio funcionan eficazmente como aletas de dispersión del calor, aumentando la superficie efectiva de intercambio térmico y suavizando la distribución de la energía radiante en el hangar.

20. Conclusión

Este documento tiene por objeto servir de guía de referencia para el diseño preliminar del Ensamblaje de Pisos de Drenaje de Líquidos Inflamables (ILDFA) en hangares de aeronaves. Aunque proporciona orientaciones generales para ayudar a arquitectos e ingenieros durante las primeras fases del proyecto, no debe utilizarse como sustituto de una consulta específica del proyecto. Cada hangar presenta retos únicos, y las decisiones finales de diseño deben coordinarse directamente con Safespill para garantizar el cumplimiento de los códigos aplicables, las mejores prácticas y las normas de instalación más actuales.

Para consultar la versión más reciente de este documento y otros recursos técnicos, visite: <https://safespill.com/technical-specs-resources/>.

Si tiene preguntas específicas sobre un proyecto, póngase en contacto con Safespill:

Safespill
4510 Brittmoore Rd
Houston, TX 77041
Email: info@safespill.com
Teléfono: (713) 645-4370
Sitio web: www.safespill.com