

VIII Seminario Internacional de
Ingeniería y Operación Portuaria | 2018

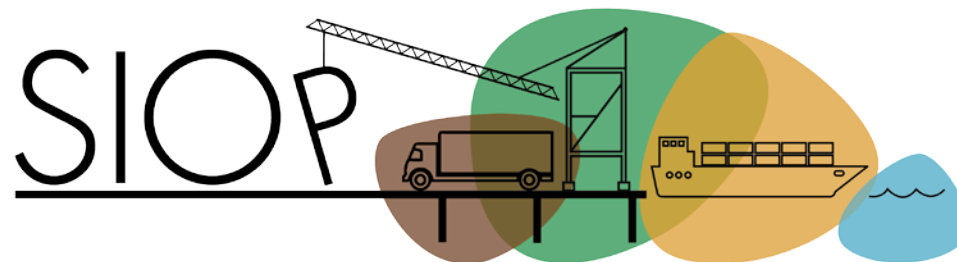
Talcahuano | Puertos para el futuro



Pablo Andrés Pedraza Cabrera

Ingeniero Civil Oceánico

Ingeniero de Proyectos - GHD



VIII Seminario Internacional de
Ingeniería y Operación Portuaria | 2018

Talcahuano

Puertos para el futuro

“Propuesta Metodológica: Análisis de Riesgo en los puertos de Chile para la elaboración de estrategias de continuidad de negocios”

Pablo.Pedrazac@outlook.es / Pablo.Pedraza@ghd.com
+56 9 890 246 18

Extracto de investigación:
“Propuesta Metodológica: Análisis de Riesgo en el Terminal 2 de
Puerto de Valparaíso ante el escenario de 1730, para la
elaboración de estrategias de continuidad”

Agradecimientos



Contenido

1. Introducción y Motivación

2. Caso de Estudio

3. Metodología

4. Resultados

5. Conclusiones

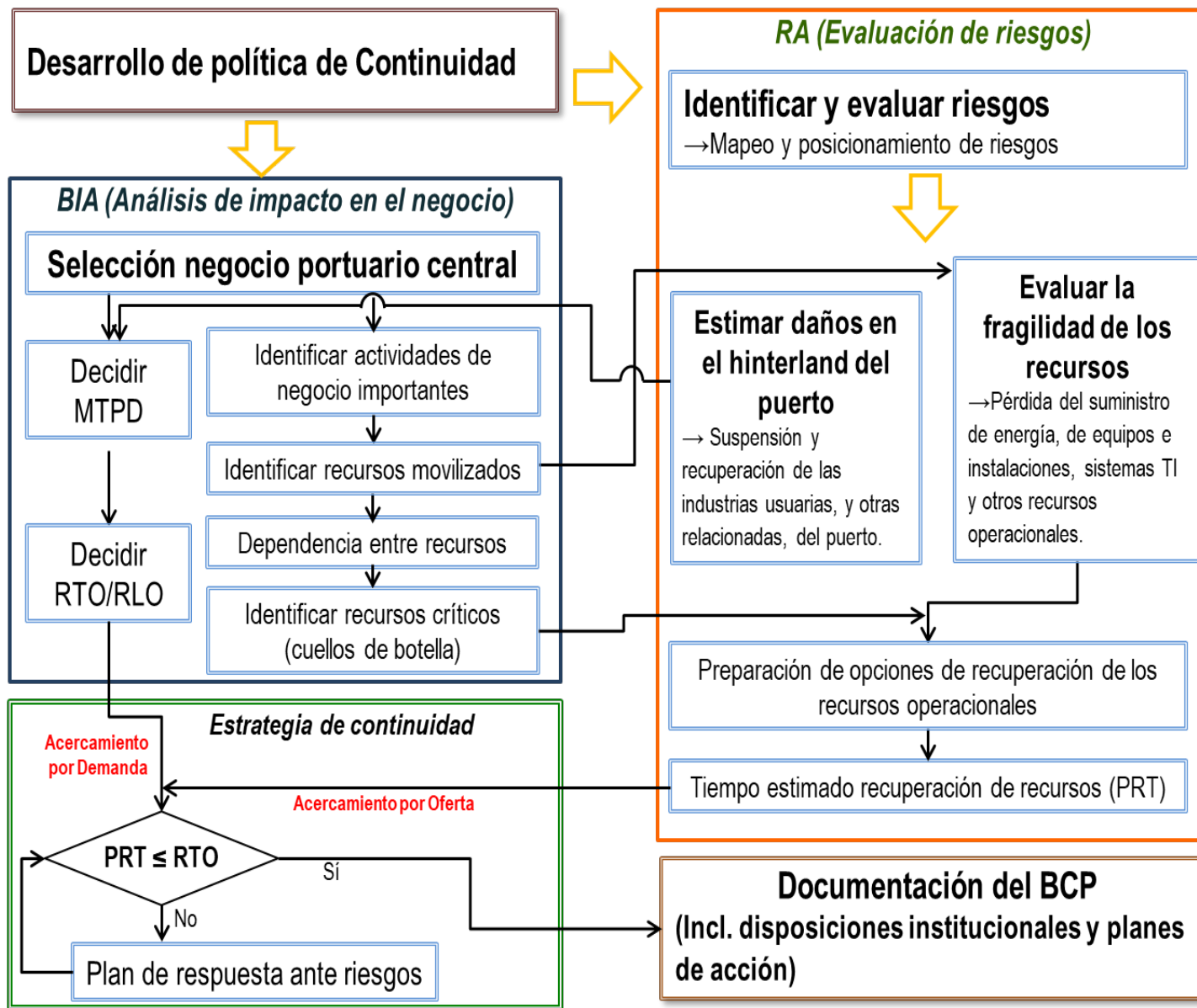
1. Introducción y Motivación

2. Caso de Estudio

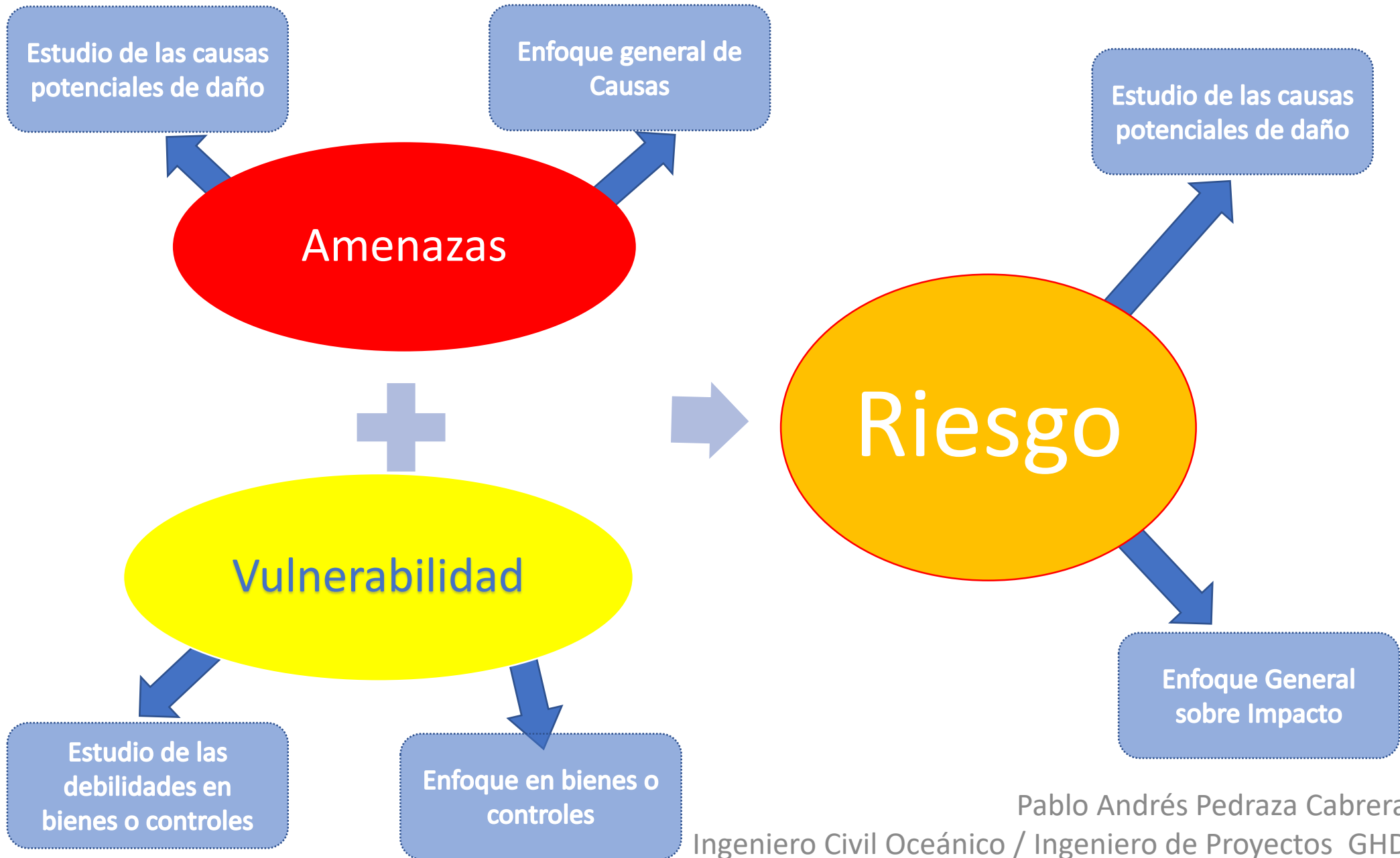
3. Metodología

4. Resultados

5. Conclusiones



¿Qué es el riesgo?



- 1. **Introducción y Motivación**
- 2. Caso de Estudio
- 3. Metodología
- 4. Resultados
- 5. Conclusiones

¿Cómo evaluamos o calculamos el riesgo?

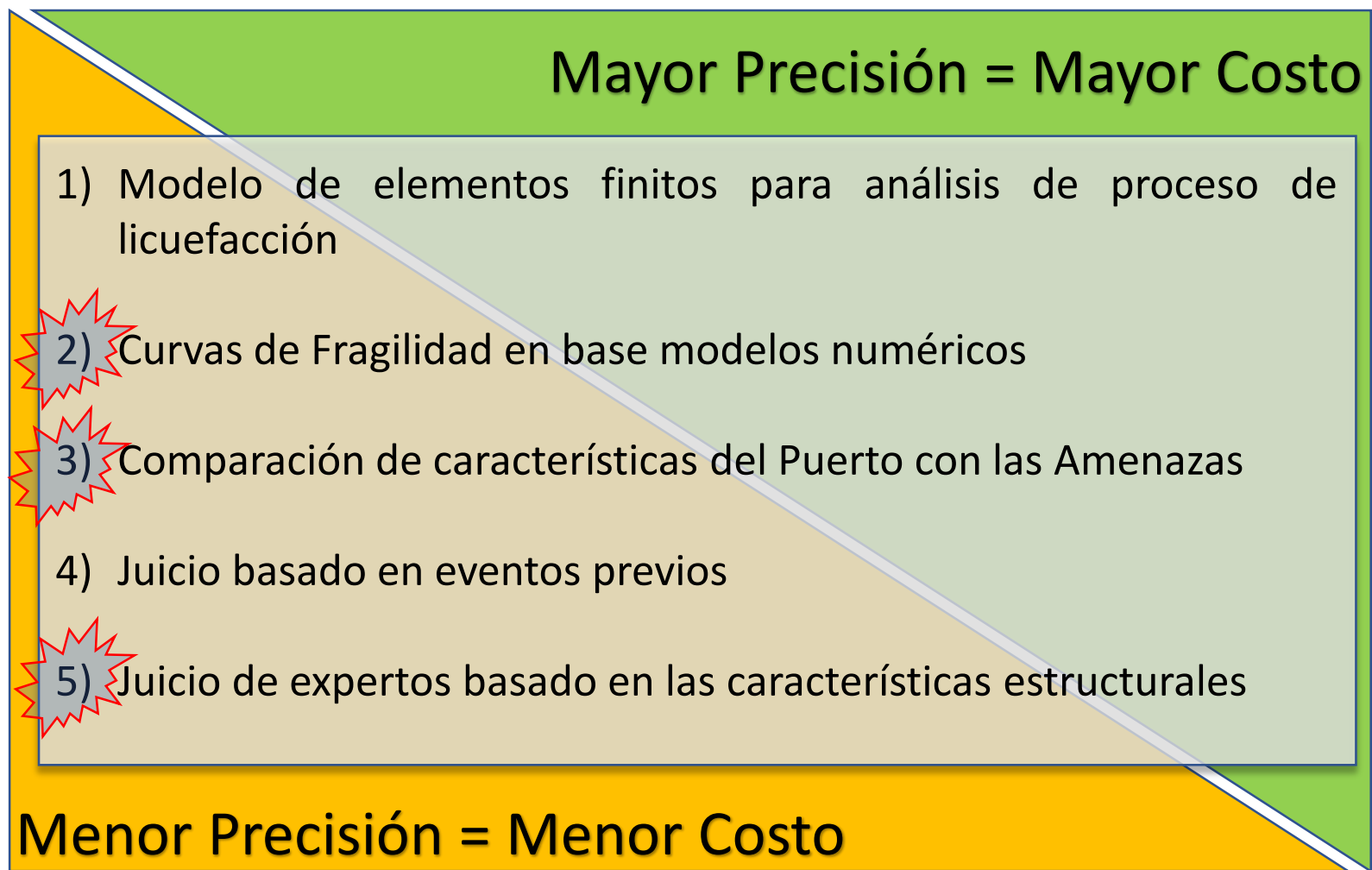
1. Introducción y Motivación

2. Caso de Estudio

3. Metodología

4. Resultados

5. Conclusiones



Caso de Estudio – Instalaciones y Recursos de TCVAL

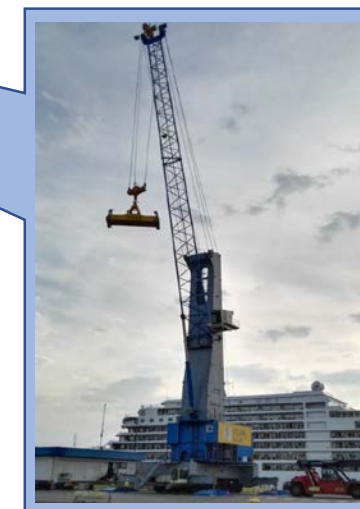
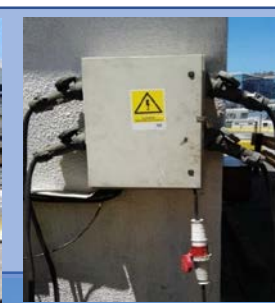
1. Introducción y Motivación

2. Caso de Estudio

3. Metodología

4. Resultados

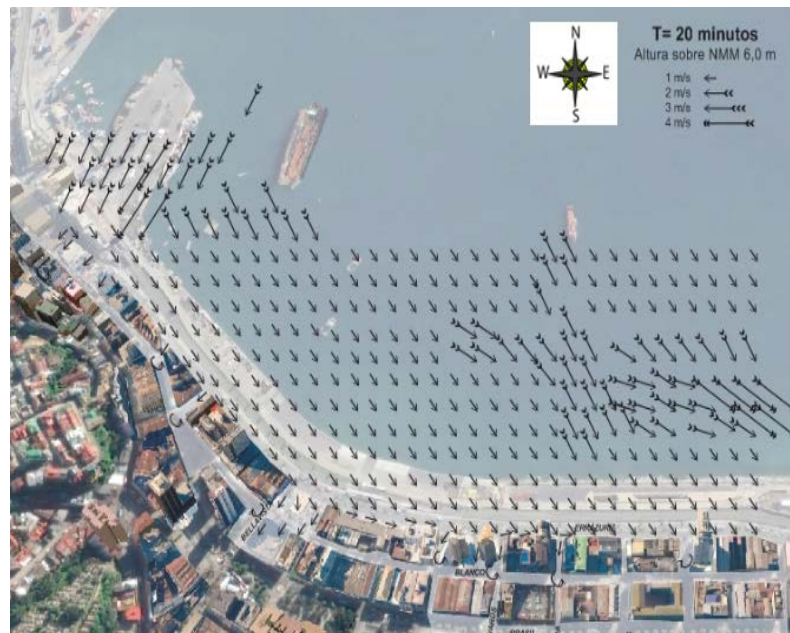
5. Conclusiones



Pablo Andrés Pedraza Cabrera
Ingeniero Civil Oceánico / Ingeniero de Proyectos GHD

Caso de Estudio – Amenaza

- Valparaíso , 1730



✓ Tsunami 6 mNRS



✓ Sismo 8.8° ≈ 10 – 11 MMI

1. Introducción y Motivación

2. Caso de Estudio

3. Metodología

4. Resultados

5. Conclusiones

Elaboración de Curvas de Fragilidad – Caso Sísmico (Anagnos, 1995)

1. Introducción y Motivación

2. Caso de Estudio

3. Metodología

4. Resultados

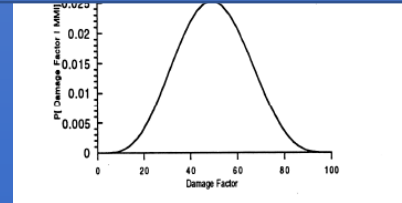
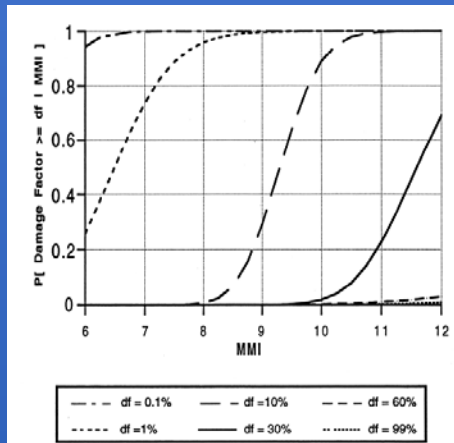
5. Conclusiones

Central Damage Factor	Modified Mercalli Intensity						
	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0.00	3.7	***	***	***	***	***	***
0.50	68.5	26.8	1.6	***	***	***	***
5.00	27.8	73.2	94.9	62.4	11.5	1.8	***
20.00	***	***	3.5	37.6	76.0	75.1	24.8
45.00	***	***	***	***	12.5	23.1	73.5
80.00	***	***	***	***	***	***	1.7
100.00	***	***	***	***	***	***	***

ATC-13 “Earthquake Damage Evaluation Data for California”

- Antecedentes de daños por sismos en USA y el mundo
- Caracterización del sismo (MMI)
- Evaluación del comportamiento y el daño, sometido a opinión de expertos (Método Delphi)

$$P[\text{damage factor} \geq df | \text{MMI}] = \int_0^{\text{MMI}} \frac{1}{\text{MMI} * \sigma_x * \sqrt{2\pi}} * e^{\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(\text{MMI}) - m_x}{\sigma_x}\right)^2\right]} d\text{MMI}$$



Central Damage Factor	Modified Mercalli Intensity					
	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0.00	***	***	***	***	***	***
0.50	***	1.6	***	***	***	***
5.00	***	94.9	62.4	11.5	1.8	***
20.00	***	***	37.6	76.0	75.1	24.8
45.00	***	***	***	12.5	23.1	73.5
80.00	***	***	***	***	***	1.7
100.00	***	***	***	***	***	***

Elaboración de Curvas de Fragilidad – Caso Tsunami (Koshimura, 2009)

1. Introducción y Motivación

2. Caso de Estudio

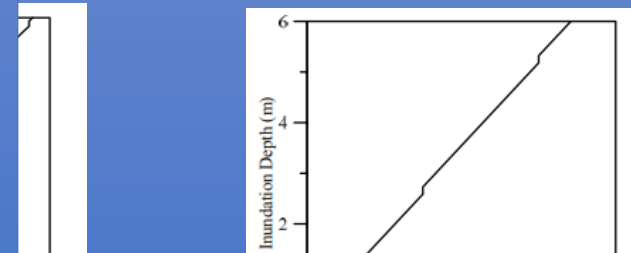
3. Metodología

4. Resultados

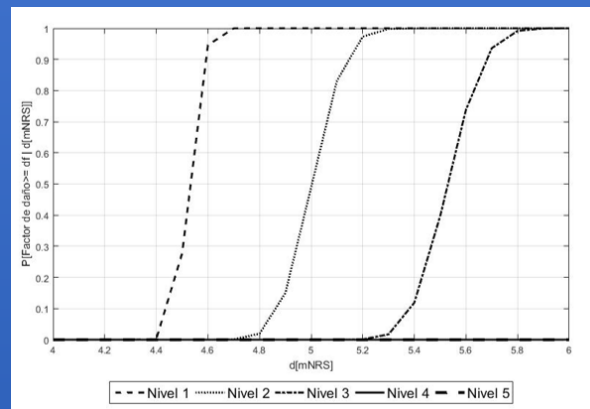
5. Conclusiones

Contenedor 40'
Pila Individual - Vacía

Damage Level	Profundidad[mNRS]				
	4,2	4,5	5	5,5	6
1	1	0,6	0	0	0
2	0	0,4	0,6	0	0
3	0	0	0,4	0,8	0
4	0	0	0	0,2	1
5	0	0	0	0	0



$$P_D(x) = \Phi \left[\frac{x - \mu}{\sigma} \right] = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{(2\sigma)^2}} dt$$



Contenedor 40'
Pila Individual - Vacía

Damage Level	Profundidad[mNRS]				
	4,2	4,5	5	5,5	6
1	1	0,6	0	0	0
2	0	0,4	0,6	0	0
3	0	0	0,4	0,8	0
4	0	0	0	0,2	1
5	0	0	0	0	0

Oficinas
Zona de Ingreso

Damage Level	Profundidad[mNRS]				
	4,2	4,5	5	5,5	6
1	0,9	0,5	0,3	0	0
2	0,1	0,4	0,5	0,6	0
3	0	0	0,1	0,2	0,3
4	0	0	0	0	0,1
5	0	0	0	0	0

$$B = (n_i - 4n_{i-1}) \cdot L \cdot \sigma \cdot g$$

Resultados – Caso Sismo

Clasificación de Instalaciones

1. Introducción y Motivación

2. Caso de Estudio

3. Metodología

4. Resultados

5. Conclusiones

Instalación	Clasificación ATC	Definición	Descripción
Sitios de Atraque	63	Estructuras de frente marino	Estructura masiva de frente marino
Grúa Gottwald	53	Grúas	Elemento/estructura móvil de acero con capacidad de levantar grandes toneladas
Edificio Centro Espigón	4	Muro de hormigón armado con marco momento-resistente de mediana altura	Estructura de hormigón armado con uniones empotradas en sus marcos.
Oficina de Control y Seguridad	4	Muro de hormigón armado con marco momento-resistente de mediana altura	Estructura de hormigón armado con uniones empotradas en sus marcos.
Equipo de oficina	65	Equipo de oficina	Instalación de oficina
Equipo eléctrico	66	Equipo eléctrico	Instalación eléctrica

Resultados – Caso Sismo

Matrices de Probabilidad de daño

1. Introducción y Motivación

2. Caso de Estudio

3. Metodología

4. Resultados

5. Conclusiones

Factor Central de Daño	Clasificación ATC = 53 Escala Intensidad de Mercalli Modificada						
	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0	39,8	1,7	***	***	***	***	***
0,5	47	43,4	0,5	***	***	***	***
5	13,2	54,9	93,5	42,5	1,6	***	***
20	***	***	6	58,2	71	8,3	0,3
45	***	***	***	0,3	27,4	91	76,6
80	***	***	***	***	***	0,7	23,1
100	***	***	***	***	***	***	***

Factor Central de Daño	Clasificación ATC = 4 Escala Intensidad de Mercalli Modificada						
	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0	20,4	***	***	***	***	***	***
0,5	70,3	15,5	***	***	***	***	***
5	9,3	84,5	88,4	28,9	1,4	***	***
20	***	***	11,6	71,1	81,6	38,7	3,8
45	***	***	***	***	17	61,3	88,7
80	***	***	***	***	***	***	7,5
100	***	***	***	***	***	***	***

Factor Central de Daño	Clasificación ATC = 63 Escala Intensidad de Mercalli Modificada						
	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0	38,0	4,6	***	***	***	***	***
0,5	61,2	37,8	***	***	***	***	***
5	0,8	57,4	83,6	31,4	1,0	***	***
20	***	0,2	16,4	68,5	73,9	8,0	***
45	***	***	***	0,1	25,1	83,5	13,0
80	***	***	***	***	***	8,5	86,8
100	***	***	***	***	***	***	0,2

Factor Central de Daño	Clasificación ATC = 66 Escala Intensidad de Mercalli Modificada						
	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0	39,8	1,7	***	***	***	***	***
0,5	47	43,4	0,5	***	***	***	***
5	13,2	54,9	93,5	42,5	1,6	***	***
20	***	***	6	58,2	71	8,3	0,3
45	***	***	***	0,3	27,4	91	76,6
80	***	***	***	***	***	0,7	23,1
100	***	***	***	***	***	***	***

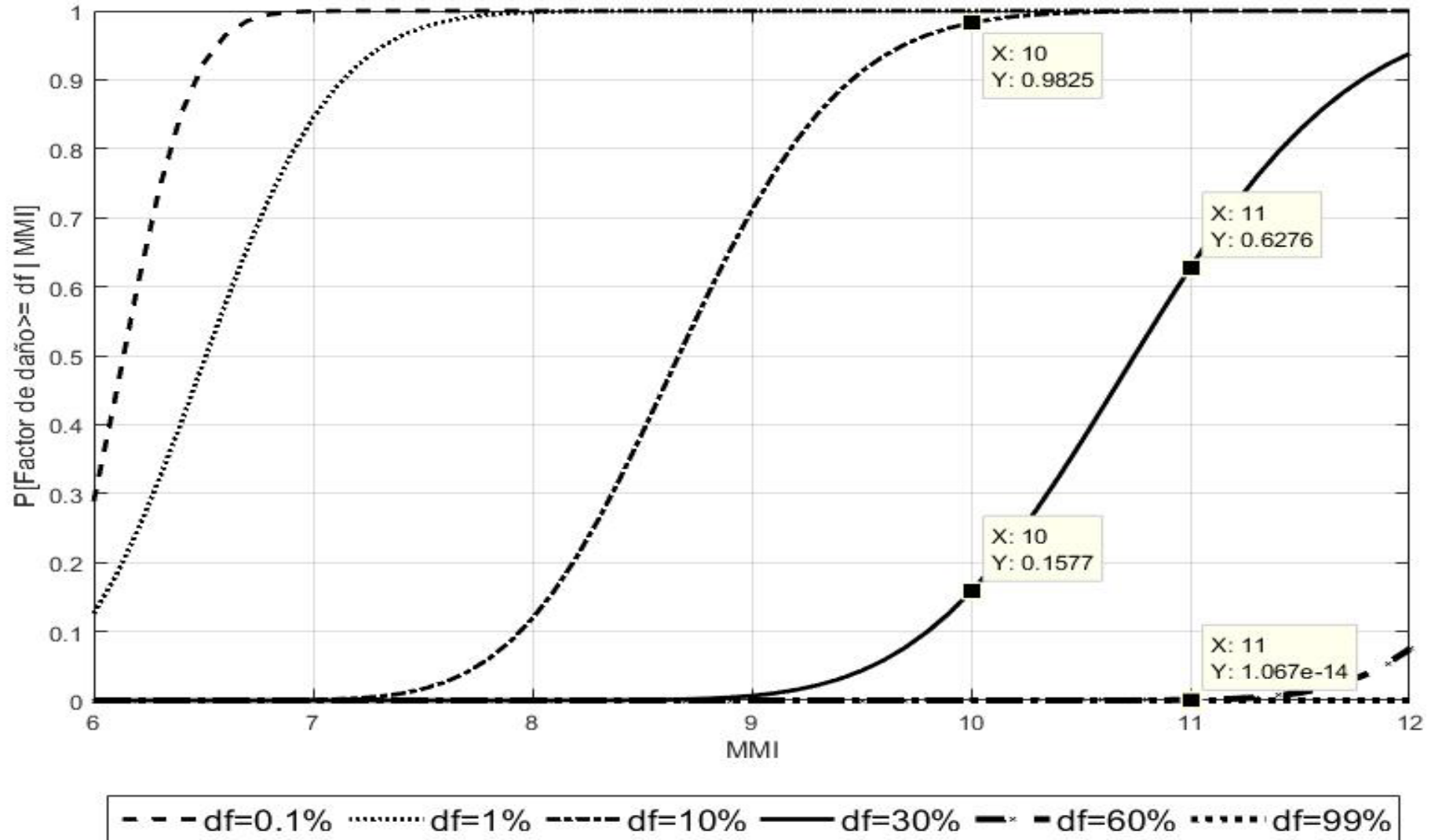
Factor Central de Daño	Clasificación ATC = 65 Escala Intensidad de Mercalli Modificada						
	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0	39,8	1,7	***	***	***	***	***
0,5	47	43,4	0,5	***	***	***	***
5	13,2	54,9	93,5	42,5	1,6	***	***
20	***	***	6	58,2	71	8,3	0,3
45	***	***	***	0,3	27,4	91	76,6
80	***	***	***	***	***	0,7	23,1
100	***	***	***	***	***	***	***

Pablo Andrés Pedraza Cabrera

Ingeniero Civil Oceánico / Ingeniero de Proyectos GHD

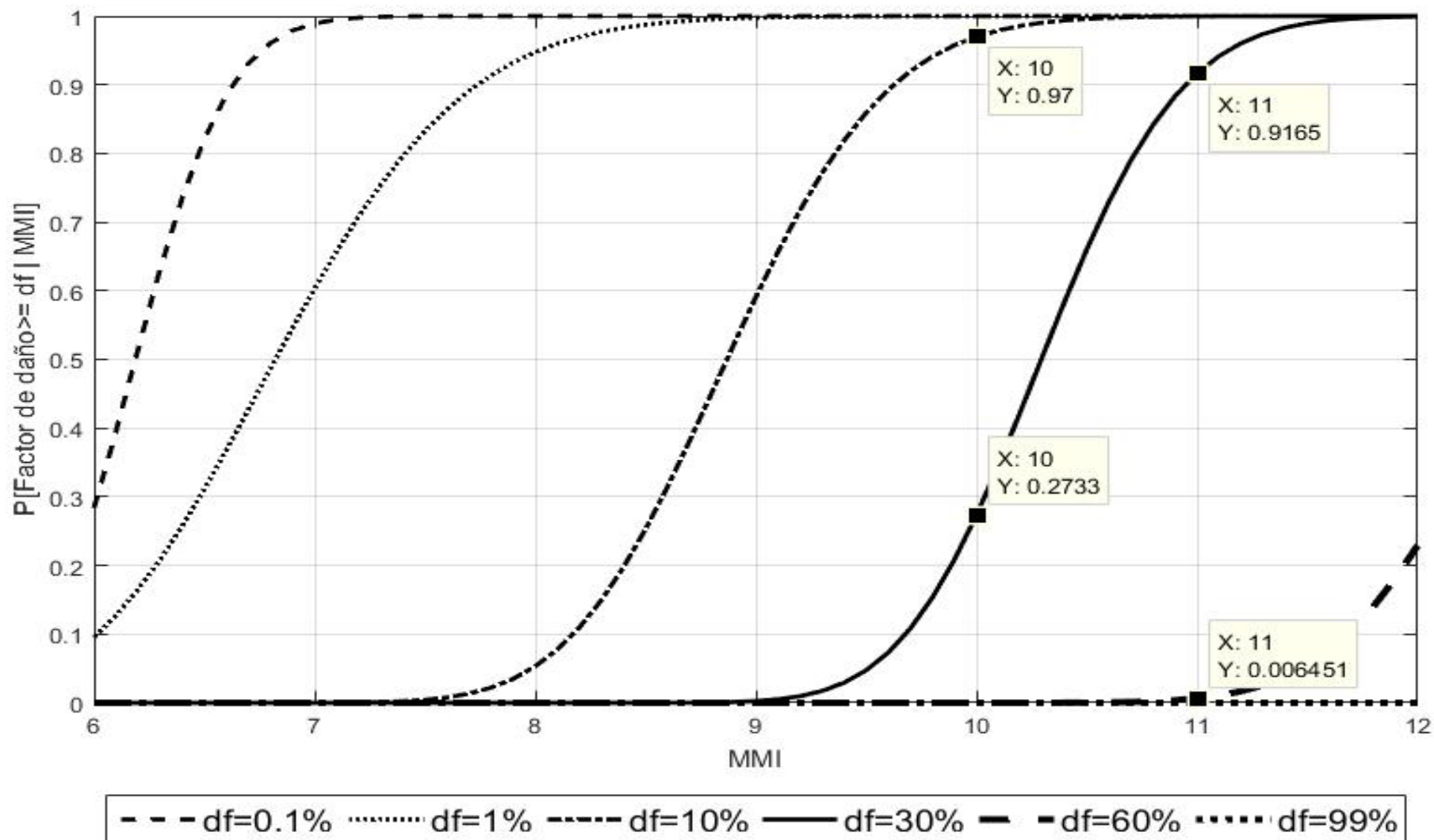
Resultados – Caso Sismo – Curva de Fragilidad

Clasificación ATC = 4 - Muro de hormigón armado con marco momento-resistente de mediana altura



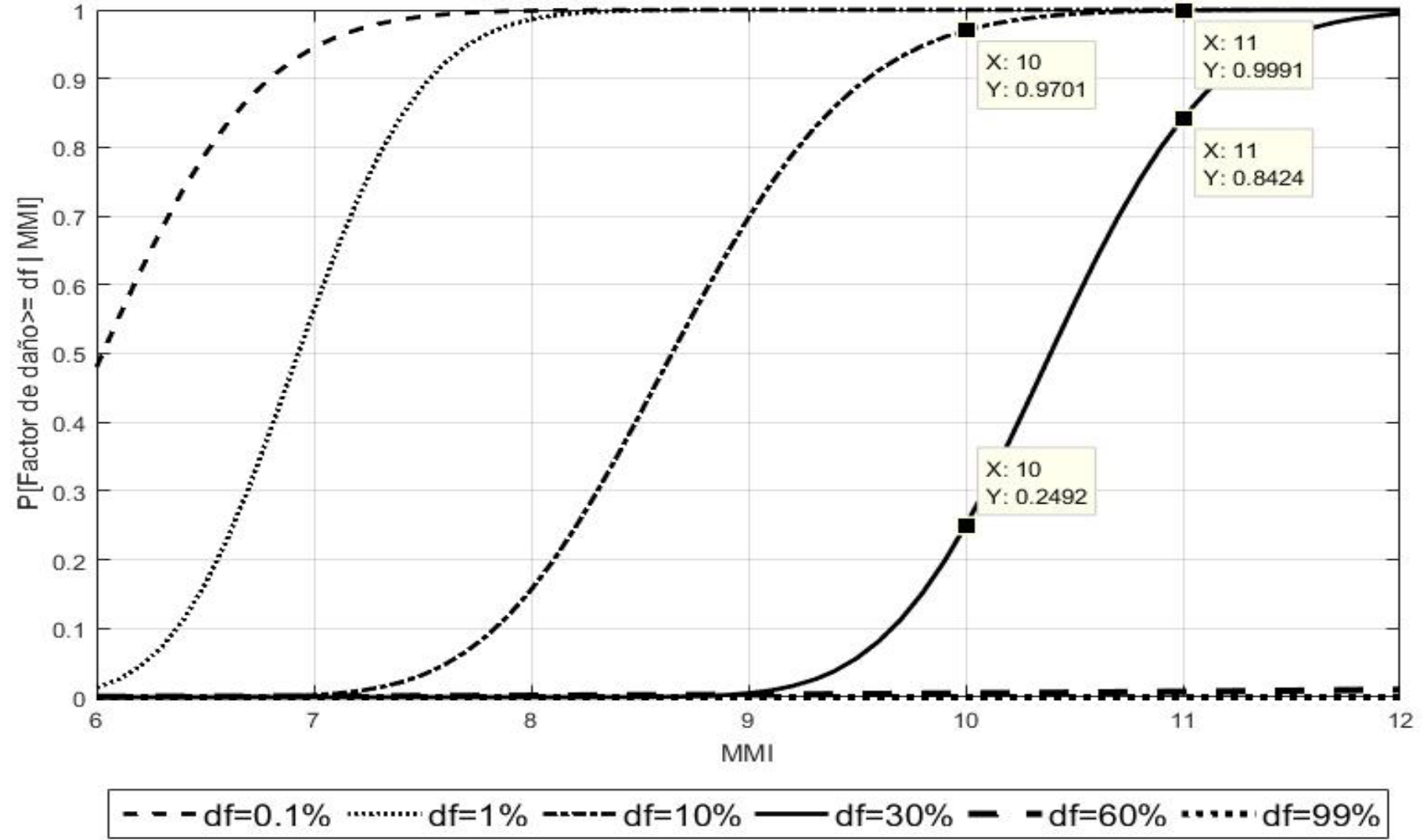
Resultados – Caso Sismo – Curva de Fragilidad

Clasificación ATC = 53 - Grúas



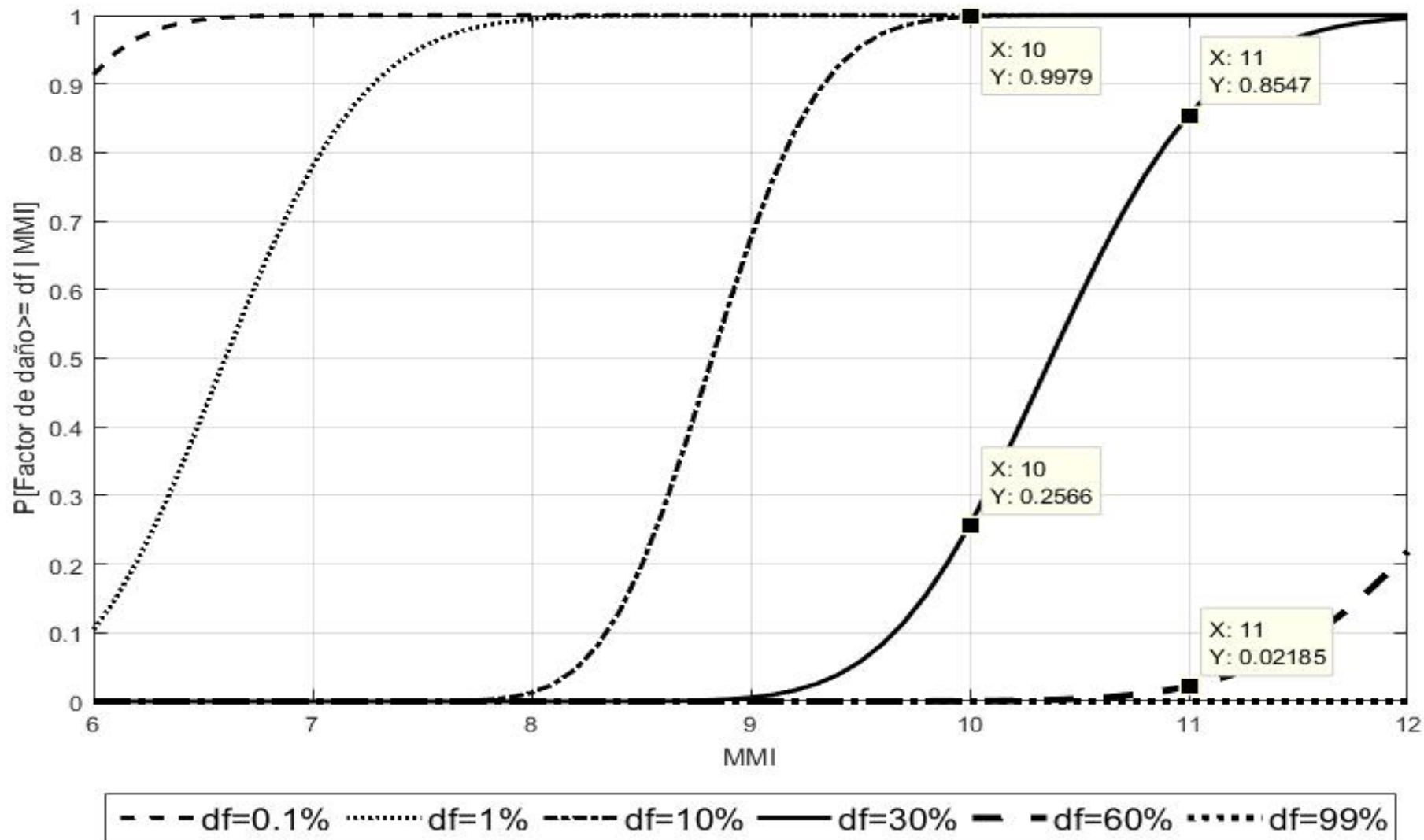
Resultados – Caso Sismo – Curva de Fragilidad

Clasificación ATC = 63 – Estructuras de Frente Marino



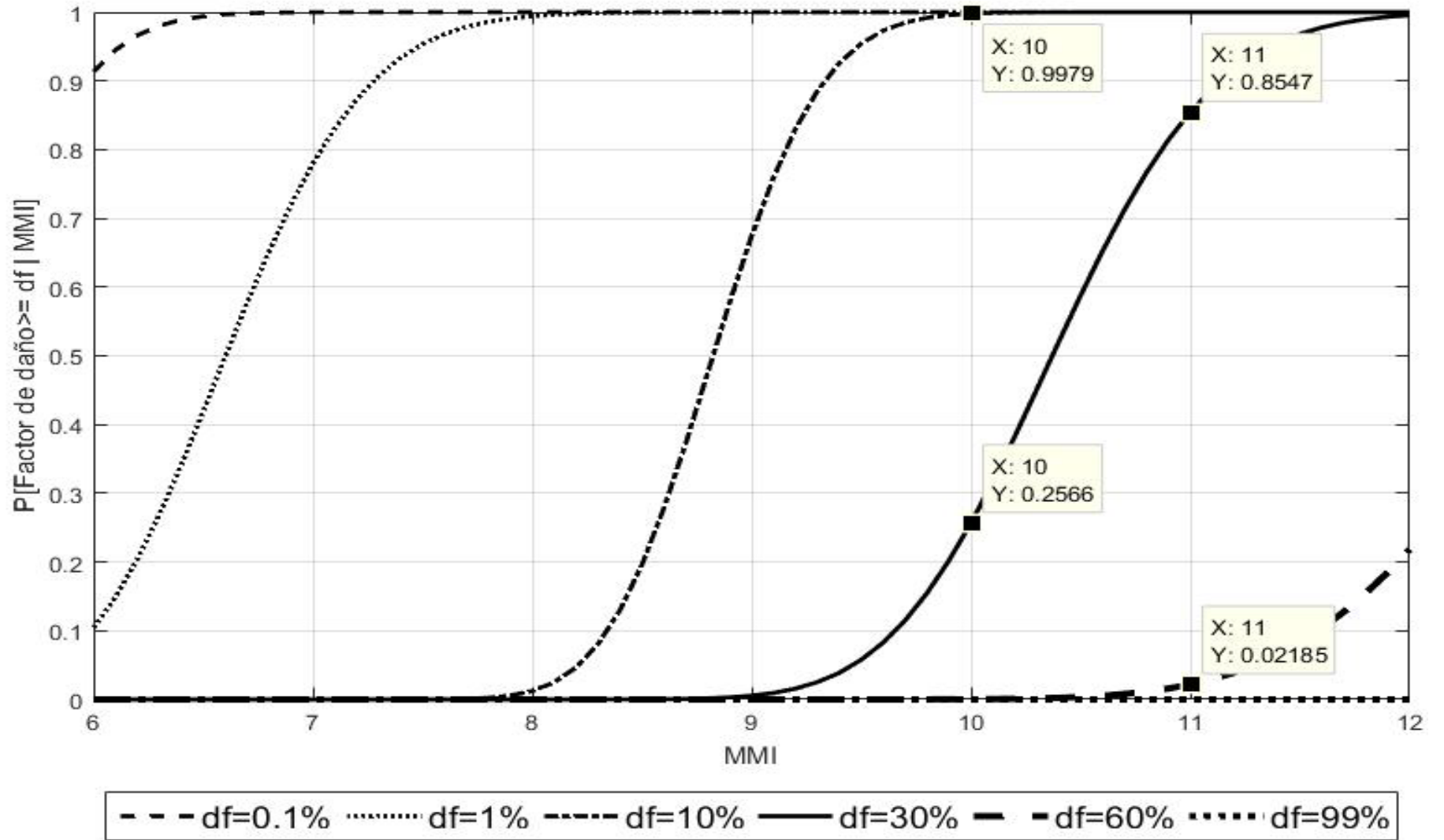
Resultados – Caso Sismo – Curva de Fragilidad

Clasificación ATC = 65 – Equipo de Oficina



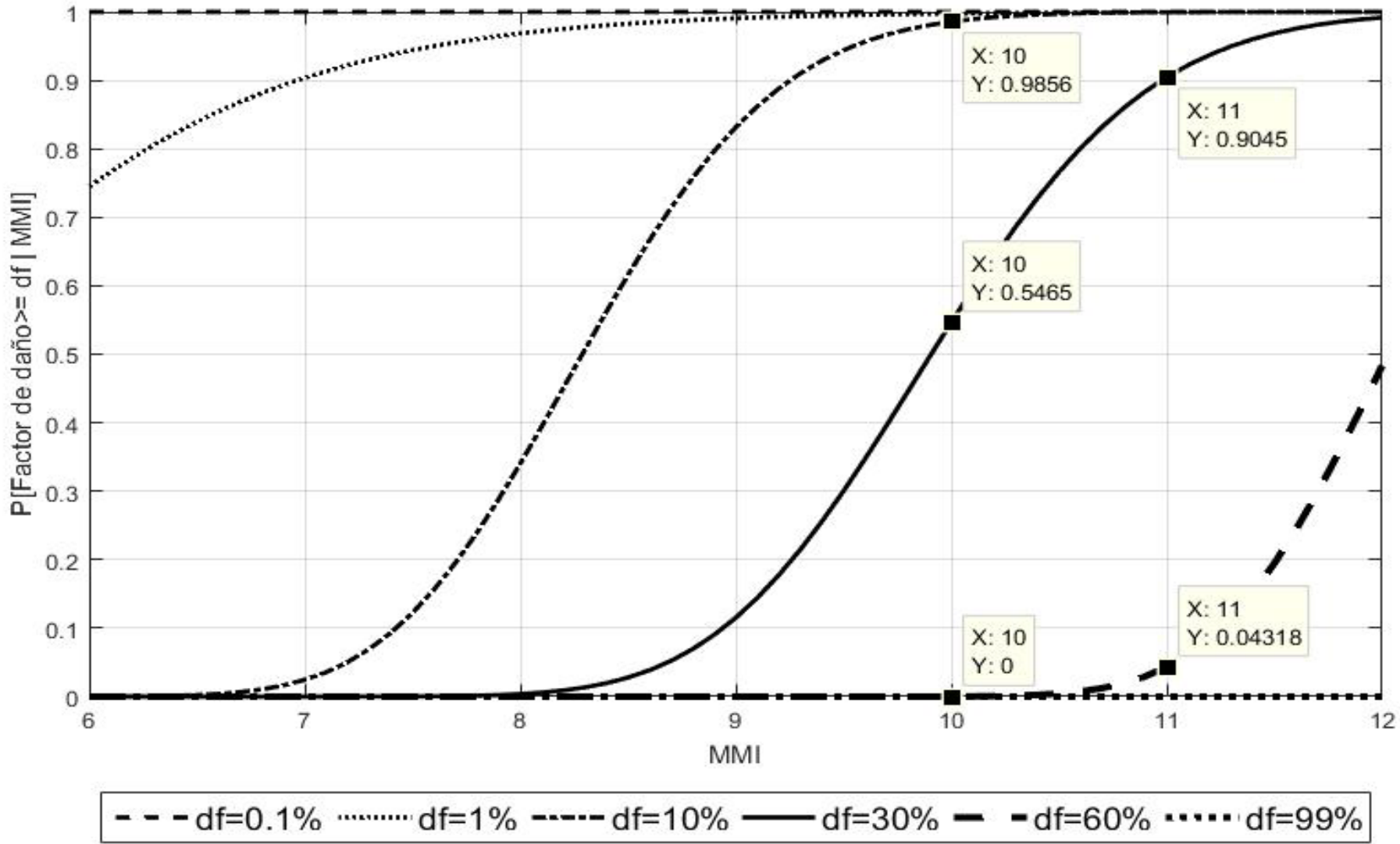
Resultados – Caso Sismo – Curva de Fragilidad

Clasificación ATC = 65 – Equipo de Oficina



Resultados – Caso Sismo – Curva de Fragilidad

Clasificación ATC = 66 – Equipo Eléctrico



Pablo Andrés Pedraza Cabrera

Ingeniero Civil Oceánico / Ingeniero de Proyectos GHD

Fuente: Elaboración propia

Resultados – Caso Sismo – Curva de Fragilidad

Tabla Resumen - Probabilidad de daño (%)

Instalación	Magnitud	Nivel de daño				
		leve	ligero	moderado	grave	significativo
Estructuras de hormigón	X	100	98,25	15,77	0	0
	XI	100	100	62,76	0	0
Grúas	X	100	100	27,33	0	0
	XI	100	97	91,65	0,01	0
Estructuras de frente marino	X	100	97	24,92	0	0
	XI	100	99	84,24	0	0
Equipo de Oficina	X	100	99	25,66	0	0
	XI	100	100	85,47	2	0
Equipo Eléctrico	X	100	98	54,65	0	0
	XI	100	100	90,45	4	0

Resultados – Caso Tsunami

Matrices de Probabilidad de Daño

2. Objetivo General

3. Caso de Estudio

4. Metodología

5. Resultados

6. Conclusiones

Grúa Gottwald
GHMK-6407

Damage Level	Profundidad[mNRS]				
	4,2	4,5	5	5,5	6
1	1	0,9	0,6	0,3	0
2	0	0,1	0,3	0,5	0,5
3	0	0	0,1	0,2	0,3
4	0	0	0	0	0,2
5	0	0	0	0	0

Oficinas Contenedor 20'
Pila Individual - Carga Ligera

Damage Level	Profundidad[mNRS]				
	4,2	4,5	5	5,5	6
1	0,9	0,3	0	0	0
2	0,1	0,6	0,2	0	0
3	0	0,1	0,6	0,2	0
4	0	0	0,2	0,8	1
5	0	0	0	0	0

Contenedor 40'
Pila Individual - Vacía

Damage Level	Profundidad[mNRS]				
	4,2	4,5	5	5,5	6
1	1	0,6	0	0	0
2	0	0,4	0,6	0	0
3	0	0	0,4	0,8	0
4	0	0	0	0,2	1
5	0	0	0	0	0

Contenedor 40'
Pila Individual - Con Carga

Damage Level	Profundidad[mNRS]				
	4,2	4,5	5	5,5	6
1	1	0,9	0	0	0
2	0	0,1	0,8	0	0
3	0	0	0,1	0,8	0
4	0	0	0,1	0,2	1
5	0	0	0	0	0

Contenedor 40'
Pila Doble - Vacío

Damage Level	Profundidad[mNRS]				
	4,2	4,5	5	5,5	6
1	1	0,7	0	0	0
2	0	0,3	0,5	0	0
3	0	0	0,5	0,6	0
4	0	0	0	0,4	1
5	0	0	0	0	0

Resultados – Caso Tsunami

Matrices de Probabilidad de Daño

2. Objetivo General

3. Caso de Estudio

4. Metodología

5. Resultados

6. Conclusiones

Contenedor 40'
Pila Doble - Con Carga

Damage Level	Profundidad[mNRS]				
	4,2	4,5	5	5,5	6
1	1	1	0,8	0	0
2	0	0	0,2	0,6	0
3	0	0	0	0,3	0,5
4	0	0	0	0,1	0,5
5	0	0	0	0	0

Cafetería
Panel Electrico

Damage Level	Profundidad[mNRS]				
	4,2	4,5	5	5,5	6
1	0,8	0,2	0	0	0
2	0,2	0,7	0,8	0,1	0
3	0	0,1	0,2	0,8	0,6
4	0	0	0	0,1	0,4
5	0	0	0	0	0

Panel Eléctrico
Sitio 8

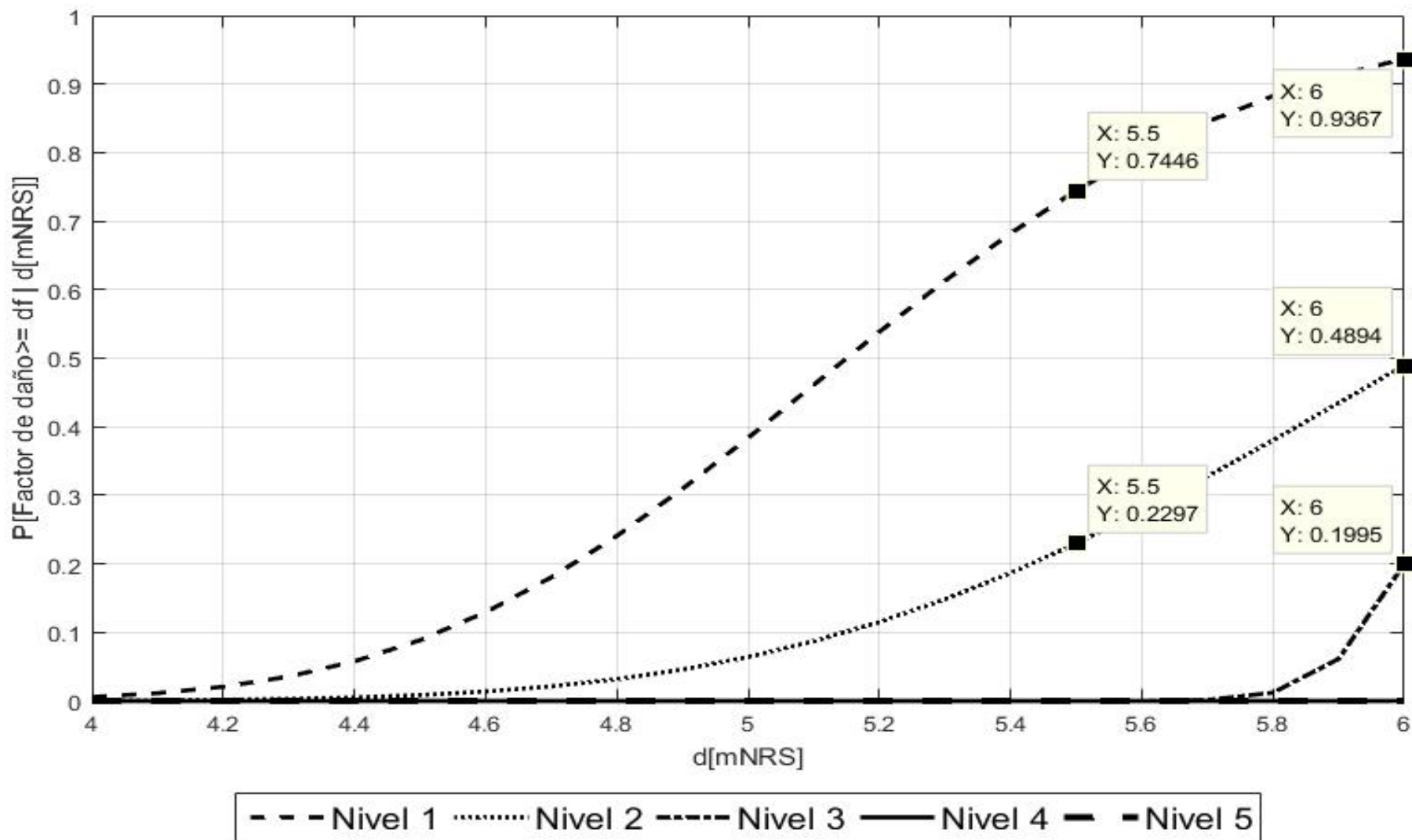
Damage Level	Profundidad[mNRS]				
	4,2	4,5	5	5,5	6
1	0,8	0,2	0	0	0
2	0,2	0,7	0,5	0	0
3	0	0,1	0,3	0,7	0,5
4	0	0	0,2	0,3	0,5
5	0	0	0	0	0

Oficinas
Zona de Ingreso

Damage Level	Profundidad[mNRS]				
	4,2	4,5	5	5,5	6
1	1	0,9	0,5	0,3	0
2	0	0,1	0,4	0,5	0,6
3	0	0	0,1	0,2	0,3
4	0	0	0	0	0,1
5	0	0	0	0	0

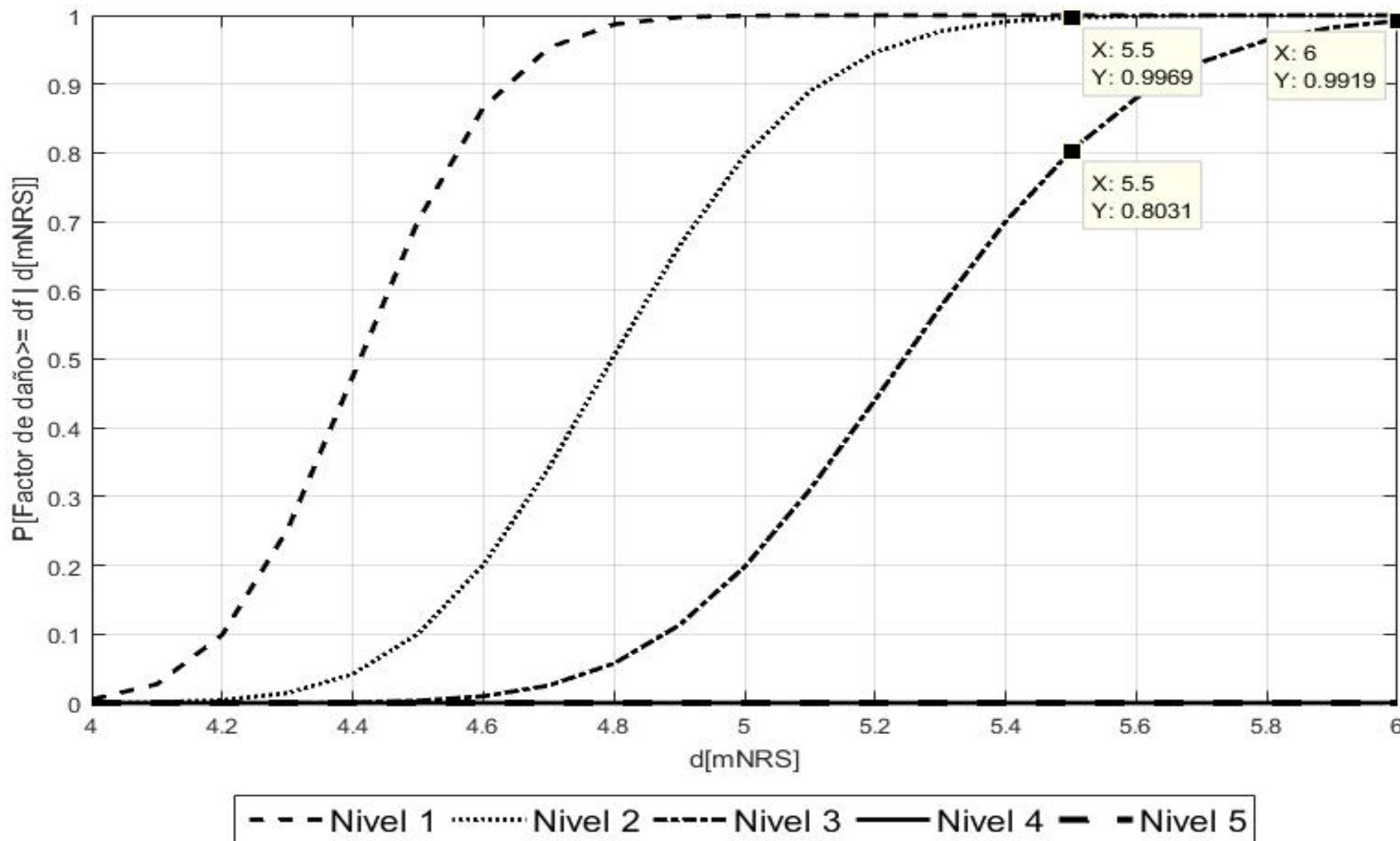
Resultados – Caso Tsunami – Curva de Fragilidad

Grúa Gottwald



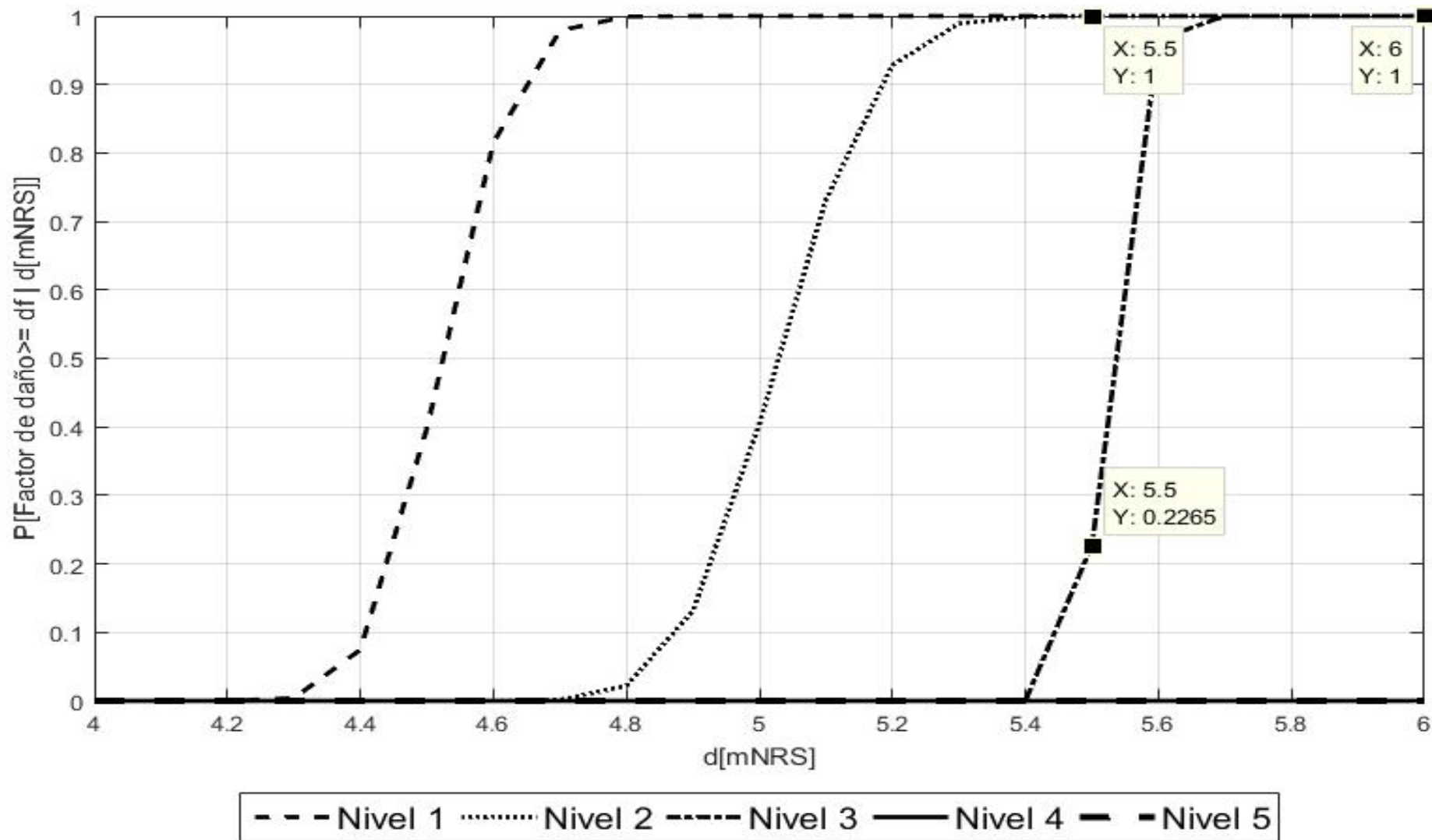
Resultados – Caso Tsunami – Curva de Fragilidad

Oficina Contenedor – Carga Ligera



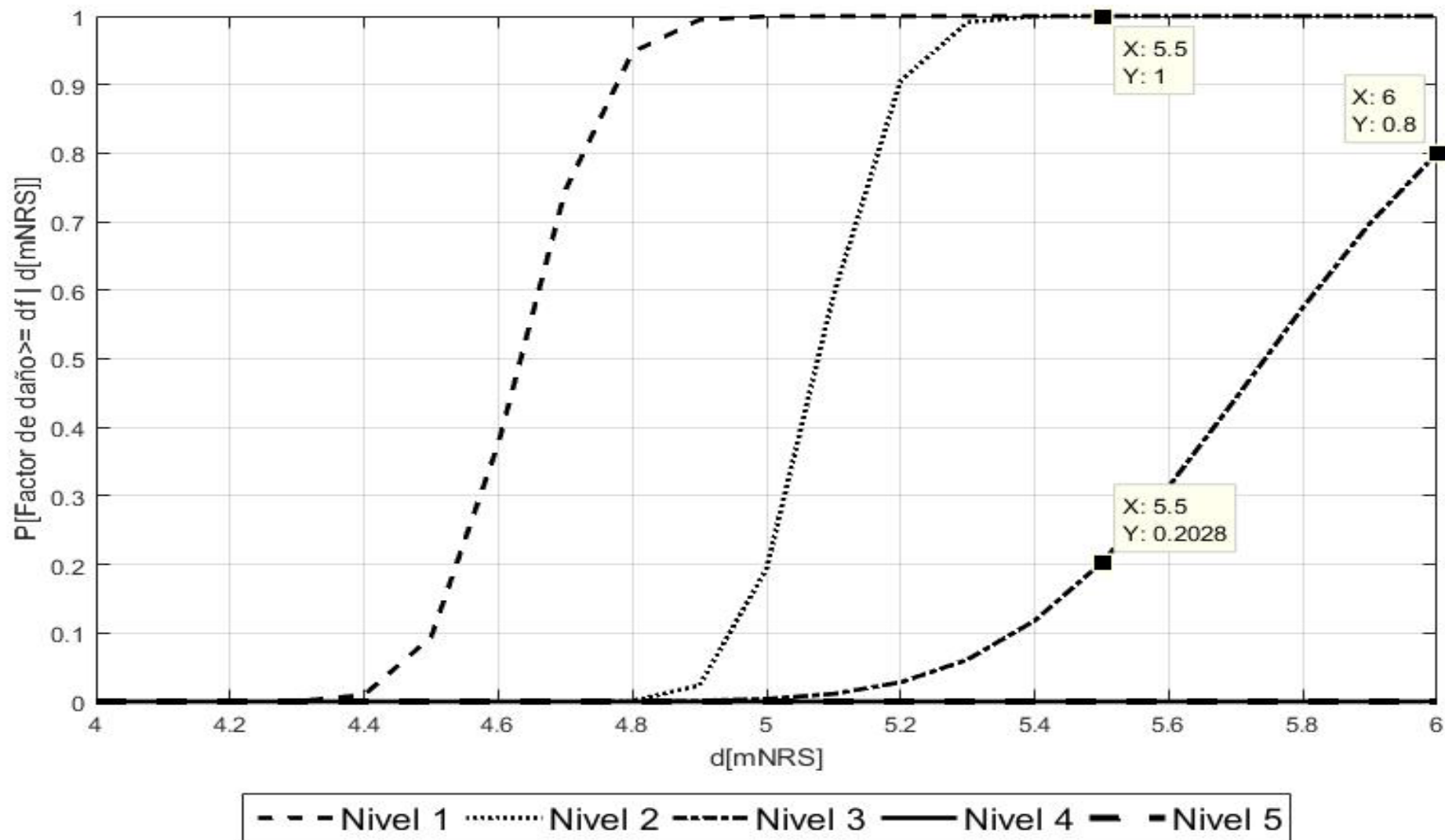
Resultados – Caso Tsunami – Curva de Fragilidad

Contenedor 40' – Pila Individual – Vacía



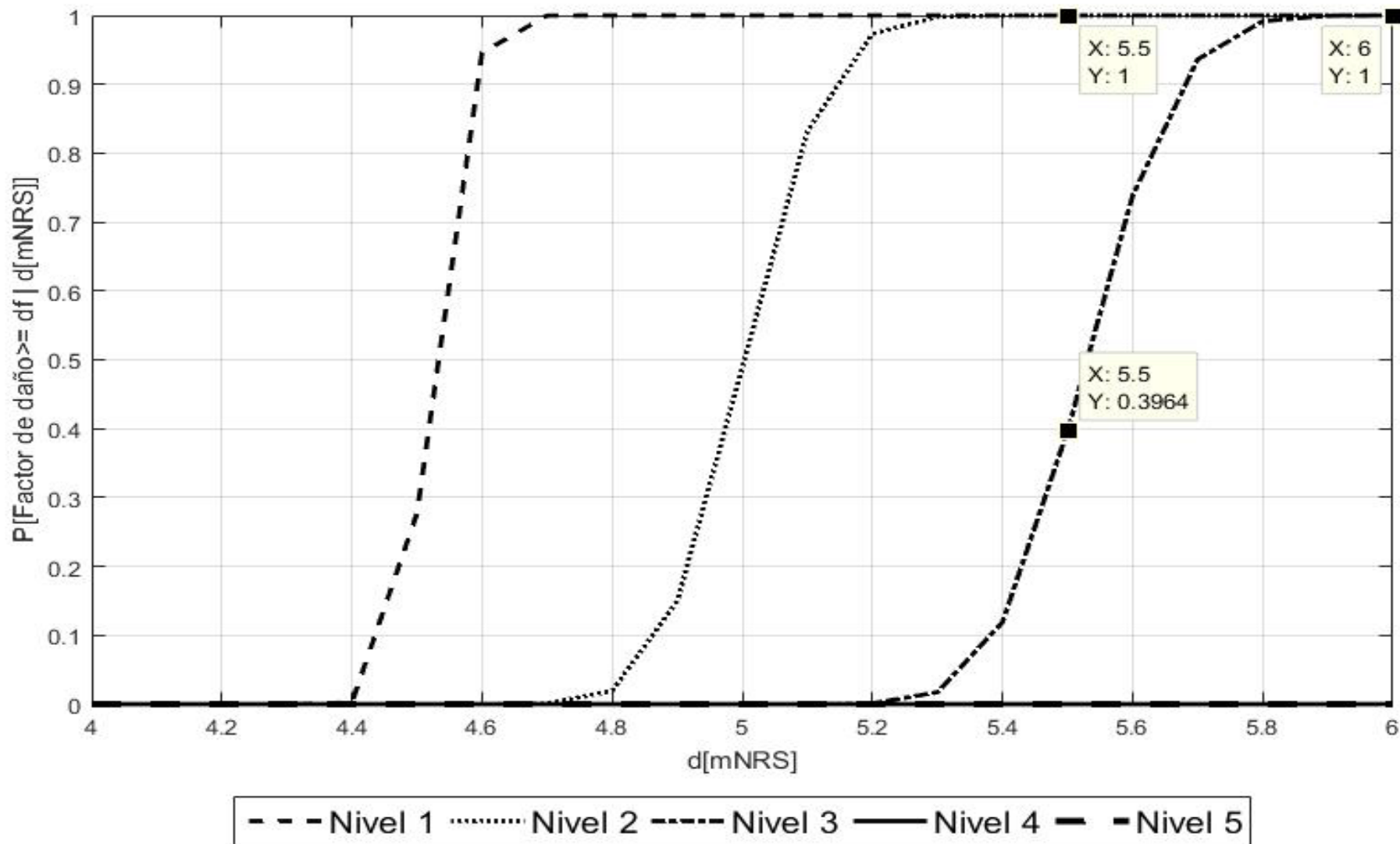
Resultados – Caso Tsunami – Curva de Fragilidad

Contenedor 40' – Pila Individual – Con Carga



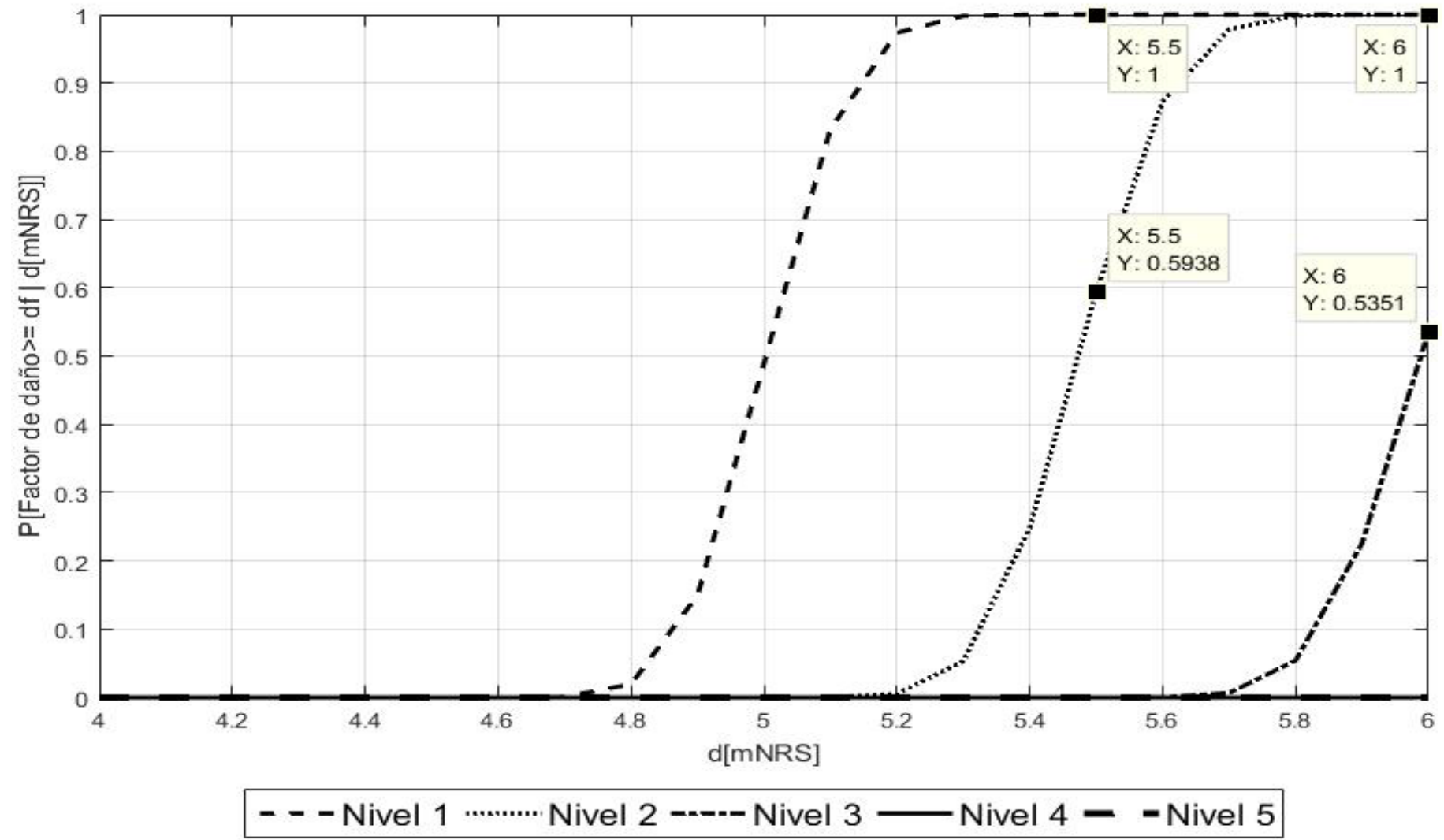
Resultados – Caso Tsunami – Curva de Fragilidad

Contenedor 40' – Pila Doble – Vacía



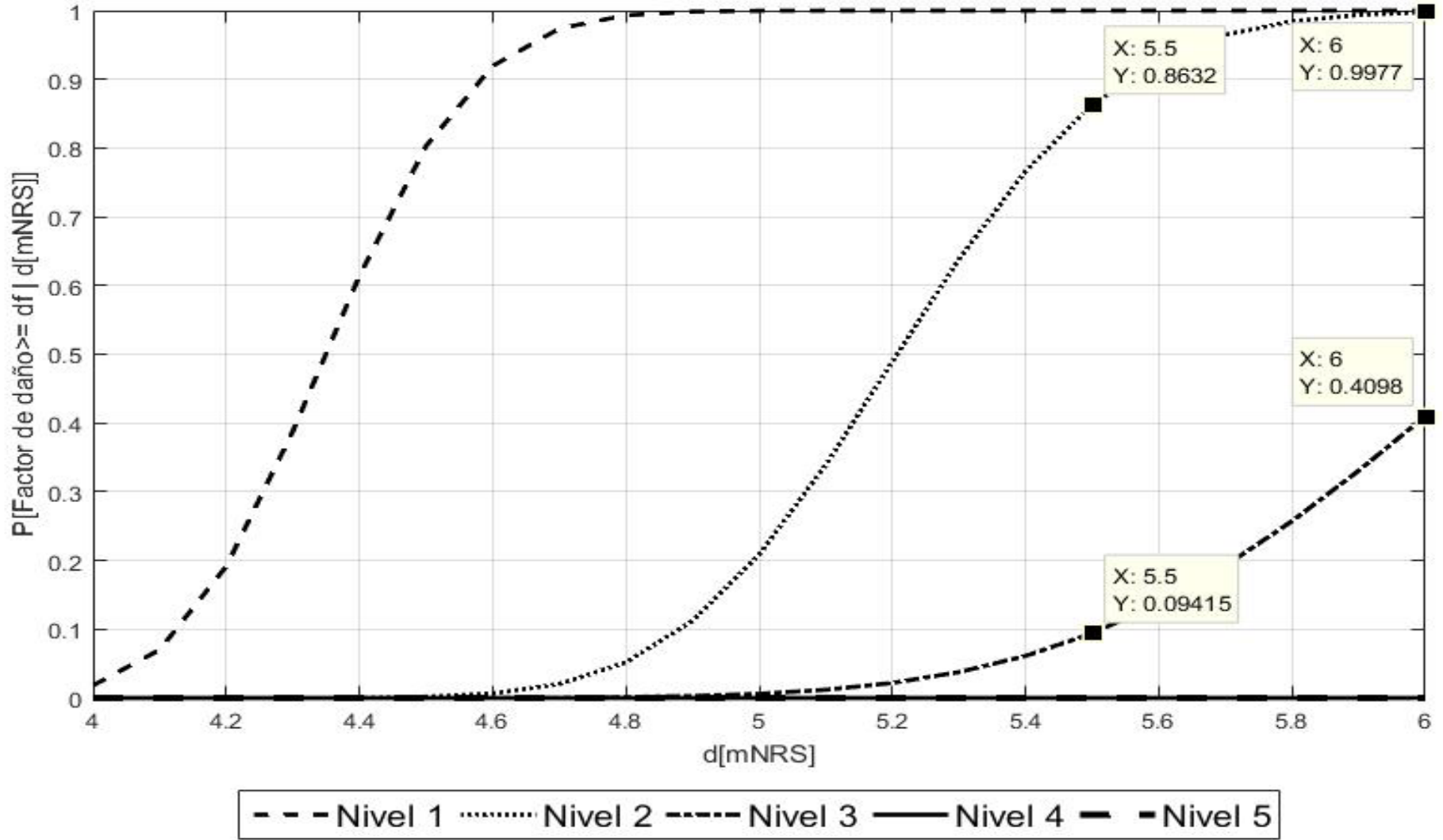
Resultados – Caso Tsunami – Curva de Fragilidad

Contenedor 40' – Pila Doble – Con Carga



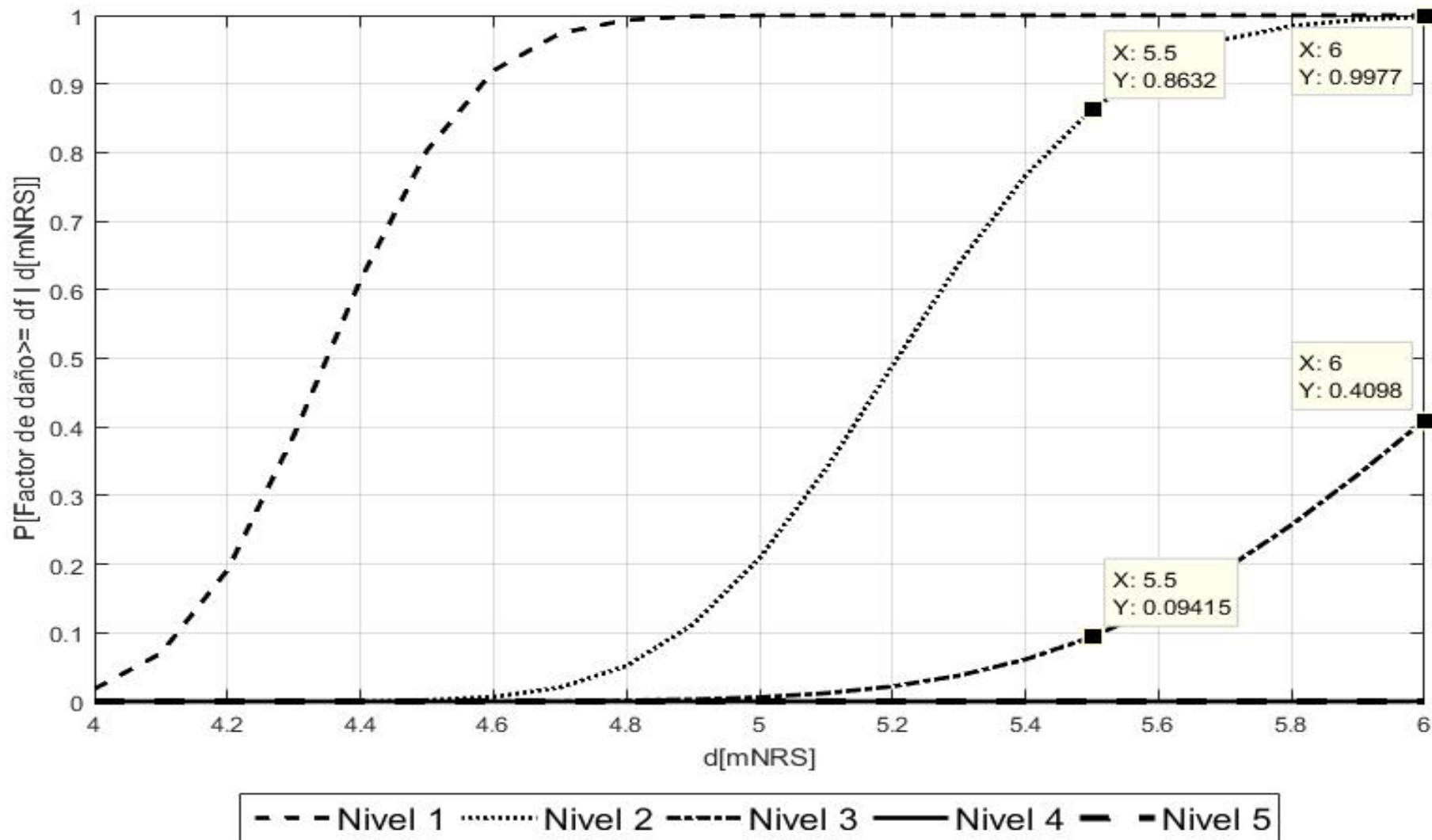
Resultados – Caso Tsunami – Curva de Fragilidad

Cafetería – Panel Eléctrico



Resultados – Caso Tsunami – Curva de Fragilidad

Sitio 8 – Panel Eléctrico



Resultados – Caso Tsunami – Curva de Fragilidad

Tabla Resumen – Probabilidad de daño (%)

Instalación	Prof. mNRS	Nivel de daño				
		Mínimo	moderado	Significativo	Completo	Colapso
Grúas	5,5	74,46	22,97	0	0	0
	6	93,67	48,94	19,95	0	0
Oficina Contenedor	5,5	100	99	80,31	0	0
	6	100	100	99,1	0	0
Contenedor 40' Pila Individual Sin carga	5,5	100	100	22,65	0	0
	6	100	100	100	0	0
Contenedor 40' Pila Individual Con Carga	5,5	100	100	20,28	0	0
	6	100	100	80	0	0
Contenedor 40' Pila Doble Sin Carga	5,5	100	98	54,65	0	0
	6	100	100	90,45	4	0

Conclusiones

- Sobre información histórica de daños y estructuras
 - ✓ Falta información pública sobre daños en infraestructura portuaria
 - ✓ No se cuenta con información de las estructuras más longevas
- Sobre la metodología
 - ✓ No considera el fenómeno de licuefacción
 - ✓ Tiende a subestimar el daño sobre instalaciones de mayor antigüedad o de los que no se conoce el diseño
 - ✓ Requiere de antecedentes de daños para validar y/o comparar los resultados para cada puerto
 - ✓ Las matrices de probabilidad pueden ser apoyadas por modelos u otras metodologías
 - ✓ Trabajo puede ser optimizado con juicio de equipo de expertos

1. Introducción y Motivación

2. Objetivo General

3. Caso de Estudio

4. Metodología

5. Resultados

6. Conclusiones

Conclusiones

- Utilidades del método propuesto
 - ✓ Criterio de selección de instalaciones críticas
 - ✓ Sectorización del riesgo
 - ✓ Estimación del daño ante distintos escenarios y vulnerabilidades
 - ✓ Complementa antecedentes de daños registrados a nivel local/global

Motivación

- Replicar el ATC-13 para antecedentes y escenarios chilenos (Método Delphi)
- Fema – P695 / Curva de Fragilidad – Método numérico
- Modelo de licuefacción / Modelo de elementos finitos - FLIP
- Estudios de socavación y erosión para escenario de 1730

2. Objetivo General

3. Caso de Estudio

4. Metodología

5. Resultados

6. Conclusiones



Pablo Andrés Pedraza Cabrera

Ingeniero Civil Oceánico

Ingeniero de Proyectos - GHD

Gracias por su atención

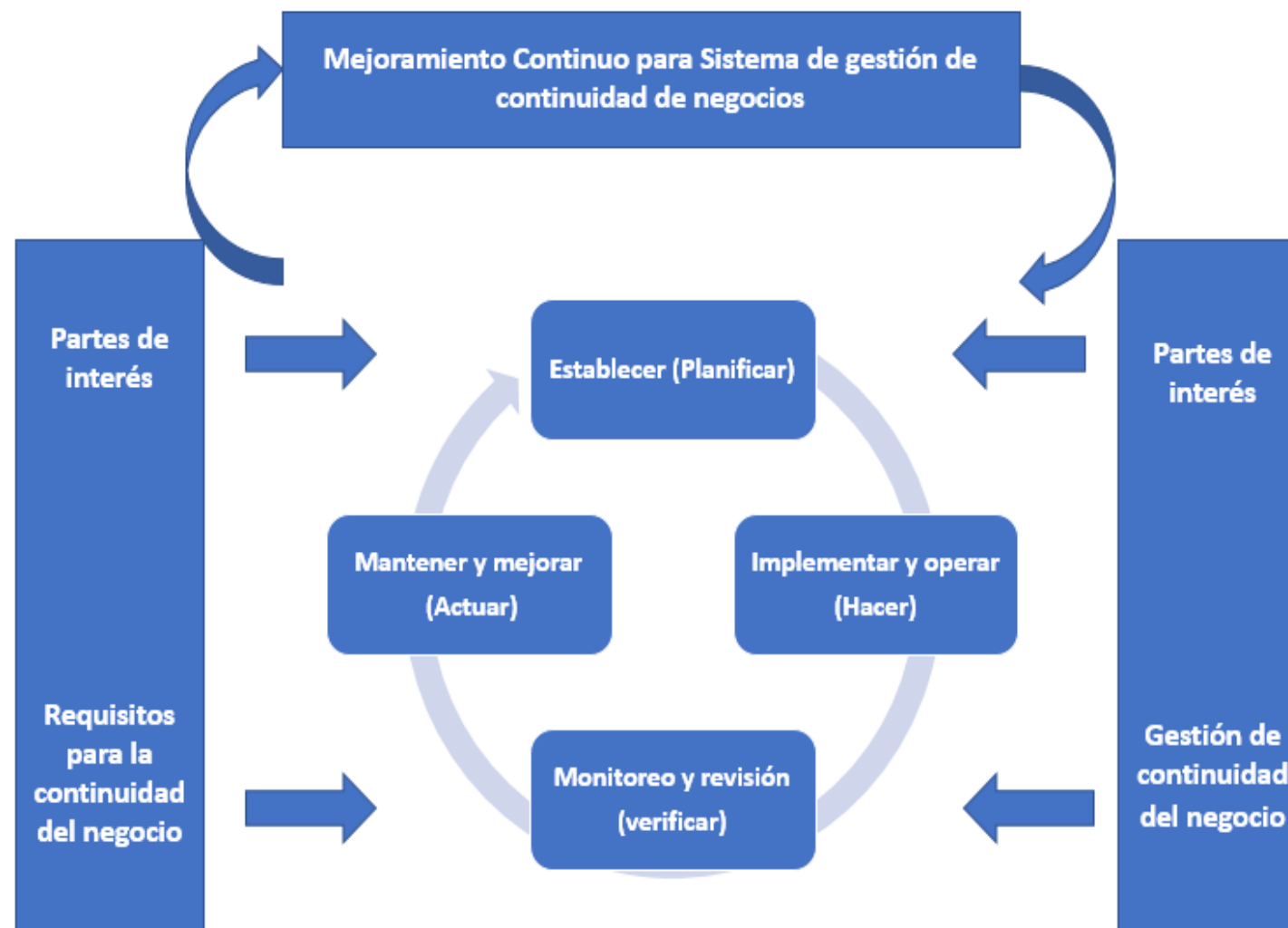
“Propuesta Metodológica: Análisis de Riesgo en los puertos de Chile
para la elaboración de estrategias de continuidad de negocios”

Pablo.Pedrazac@Outlook.es / Pablo.Pedraza@ghd.com
+56 9 890 246 18

Extracto de investigación:
“Propuesta Metodológica: Análisis de Riesgo en el Terminal 2 de
Puerto de Valparaíso ante el escenario de 1730, para la
elaboración de estrategias de continuidad”

Gráficos de Apoyo

Modelo PDCA aplicado al proceso de BCMS



Gráficos de Apoyo

Escala de MMI-PGA

Grado	Nombre	Descripción	PGA [cm/s ²] ó GAL
I	Muy débil	Imperceptible y de efectos marginales	Menos de 1
II	Débil	Perceptible solo por algunas personas en reposo y/o aquellas que se encuentren ubicadas en pisos superiores.	1 - 2
III	Leve	Perceptible en interiores, observando leves movimientos en objetos y vibraciones similares a la que genera un vehículo ligero al pasar	2 - 5
IV	Moderado	Se observa mayores movimientos de objetos en interiores y vibraciones similares a la que genera un vehículo pesado al pasar	5 - 10
V	Poco Fuerte	Se percibe en el exterior, casi a una escala regional/nacional. Piezas de vasijas o cristales de ventanas se rompen y caen objetos inestables.	10 - 25
VI	Fuerte	Gran Terremoto. Destrucción total a comunidades Cercanas	25 - 50
VII	Muy Fuerte	Percibida a escala Nacional. Muebles pesados cambian de sitio y se observan daños leves en construcciones de material ligero	50 - 100
VIII	Destructivo	Daños leves en estructuras especializadas y de mayor consideración en estructuras ordinarias. Posibilidad de derrumbes	100 - 250
IX	Muy Destructivo	Daño estructural en instalaciones especializadas, edificios desplazados fuera de las bases	250 - 500
X	Desastroso	Daños en muros, vigas y fundaciones. Algunas estructuras de madera, puentes, vías ferroviarias, diques y taludes presentan signos de destrucción.	500 - 1000
XI	Muy Desastroso	Daños en carreteras y vías de conexión. Tuberías y alcantarillado con problemas graves	**
XII	Catastrófico	Desplazamiento de Rocas de gran tamaño, objetos saltan al aire, las personas no logran ponerse en pie y alta probabilidad de fatalidad	**

Magnitud Richter V/s Efectos

Magnitud Escala Richter	Efecto del Sismo
Menos de 3.5	Generalmente no se siente, pero es registrado
3.5 a 5.4	A menudo se siente, pero sólo causa daños menores
5.5 a 6.0	Ocasiona daños ligeros a edificio
6.1 a 6.9	Puede ocasionar daños severos en área donde vive mucha gente
7.0 a 7.9	Terremoto mayor. Causa Graves Daños
8.0 o superior	Gran Terremoto. Destrucción total a comunidades Cercanas

Gráficos de Apoyo

Matriz de Riesgo

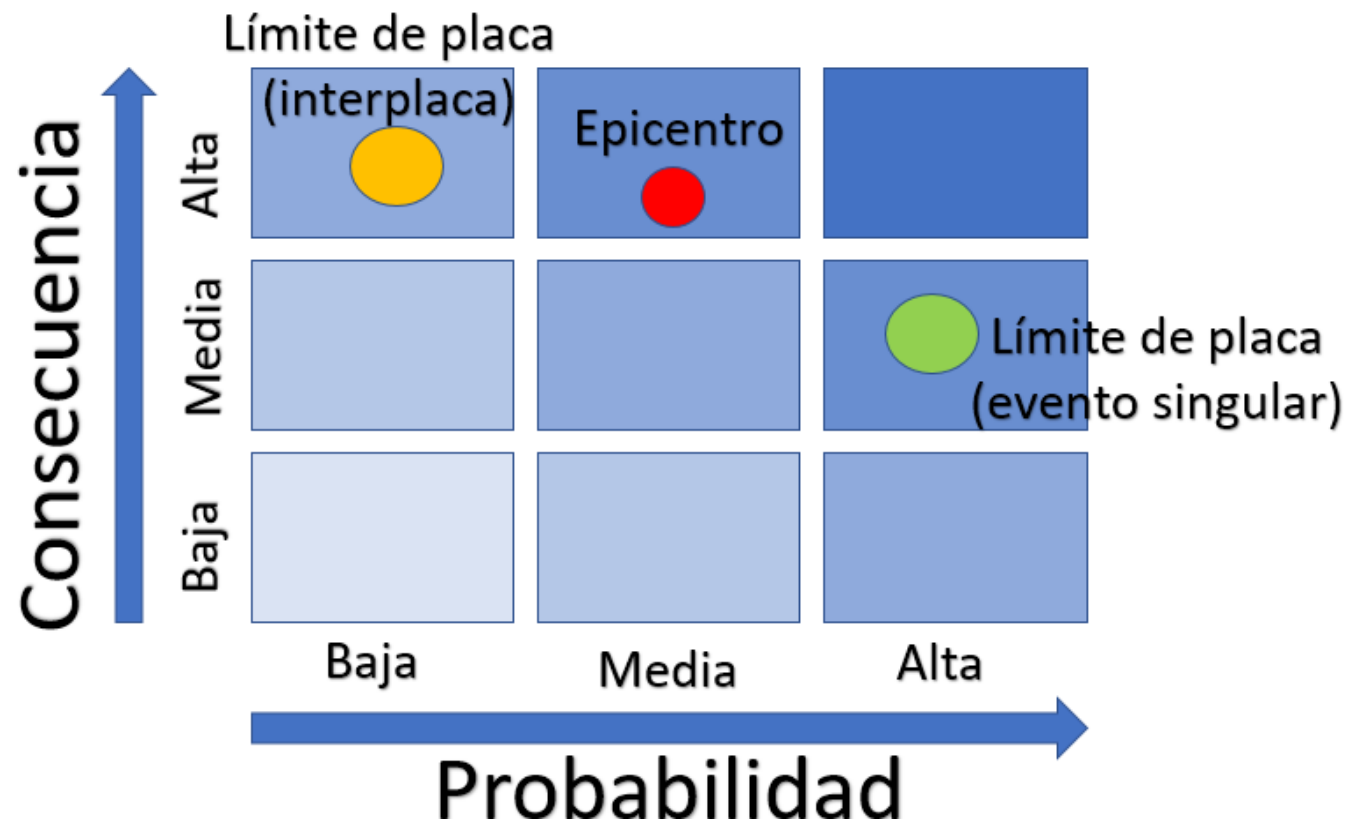
2. Objetivo General

3. Caso de Estudio

4. Metodología

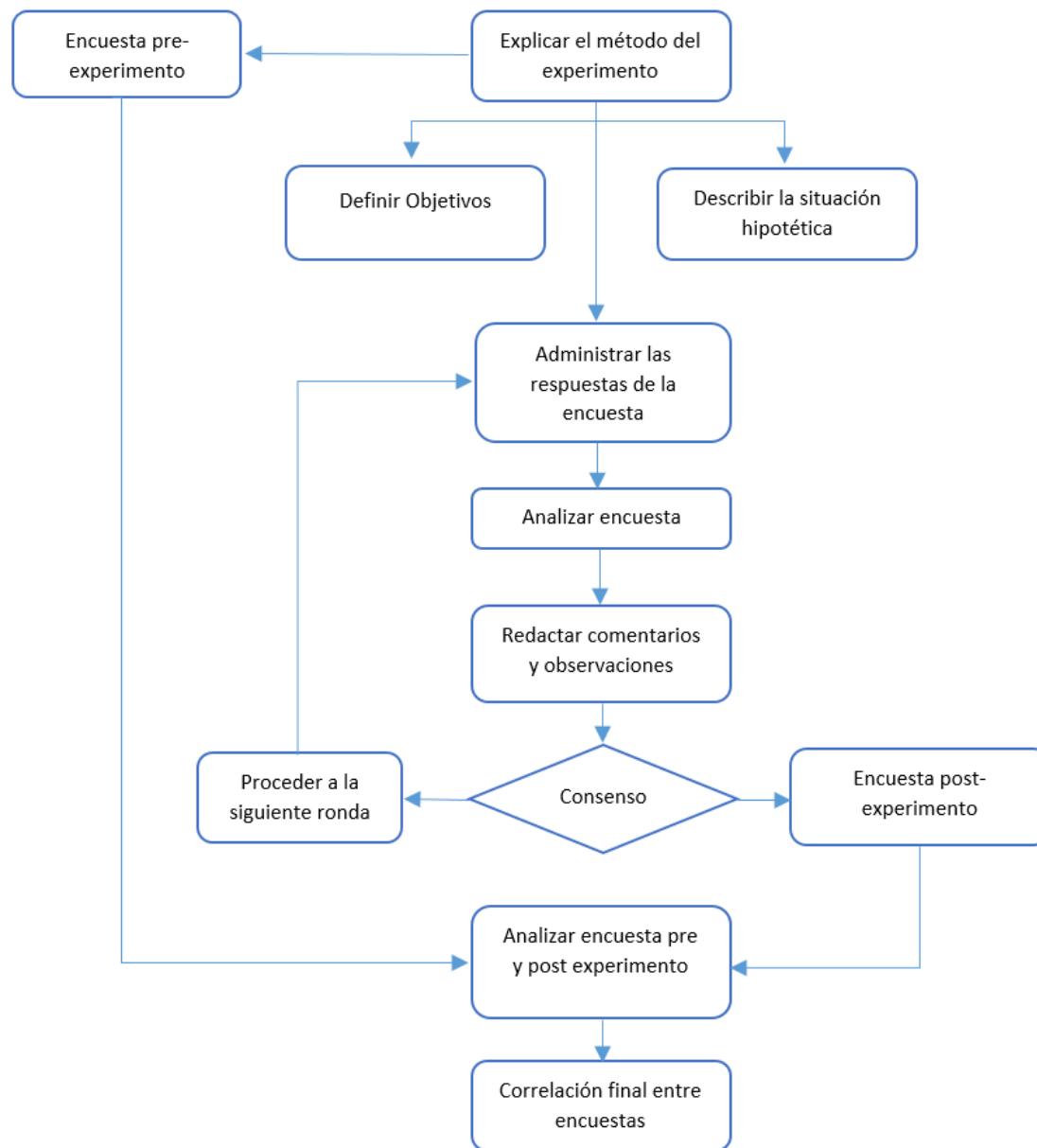
5. Resultados

6. Conclusiones



Gráficos de Apoyo

Algoritmo proceso de opinión de Expertos



Motivación

2. Objetivo General

3. Caso de Estudio

4. Metodología

5. Resultados

6. Conclusiones

Gráficos de Apoyo

Kumagai

$B = const. = 0$	$0 < h_i \leq h_b$
$B = (h_i - h_b)WL\sigma \cdot g$	$h_b < h_i \leq h_c$
$B = const.$	$h_c < h_i \leq h_c + h_b$
$B = (h_i - 2h_b)WL\sigma \cdot g$	$h_c + h_b < h_i \leq 2h_c$
$B = const.$	$2h_c < h_i \leq 2h_c + h_b$
$B = (h_i - 3h_b)WL\sigma \cdot g$	$2h_c + h_b < h_i \leq 3h_c$
$B = const.$	$3h_c < h_i \leq 3h_c + h_b$
$B = (h_i - 4h_b)WL\sigma \cdot g$	$3h_c + h_b < h_i \leq 4h_c$

