

Coordinacion Academica del Posgrado

Direccion de Desarrollo de Talento

EVALUACION DE DESEMPEÑO

Trabajo de Investigacion de Doctorado

8vo Semestre

Desarrollo de una metodologia para la detección de daño en
plataformas marinas fijas por medio de análisis de vibraciones

M. I. Francisco Cisneros

Ingeniero Civil

Directores: Dr. Ivan Felix Gonzalez y Dr. Rolando Salgado Estrada

Tipos de componentes en plataformas

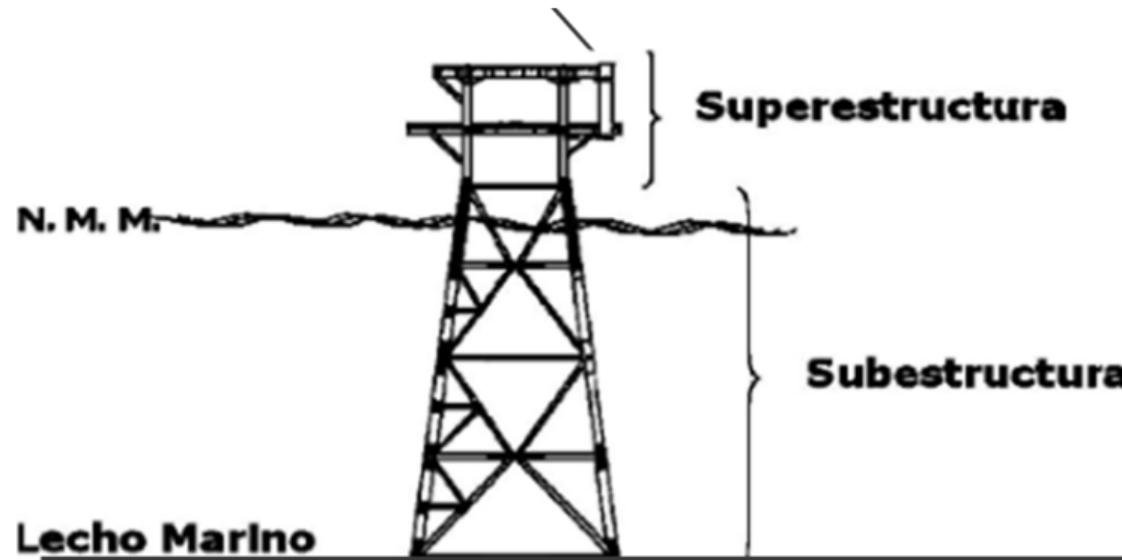
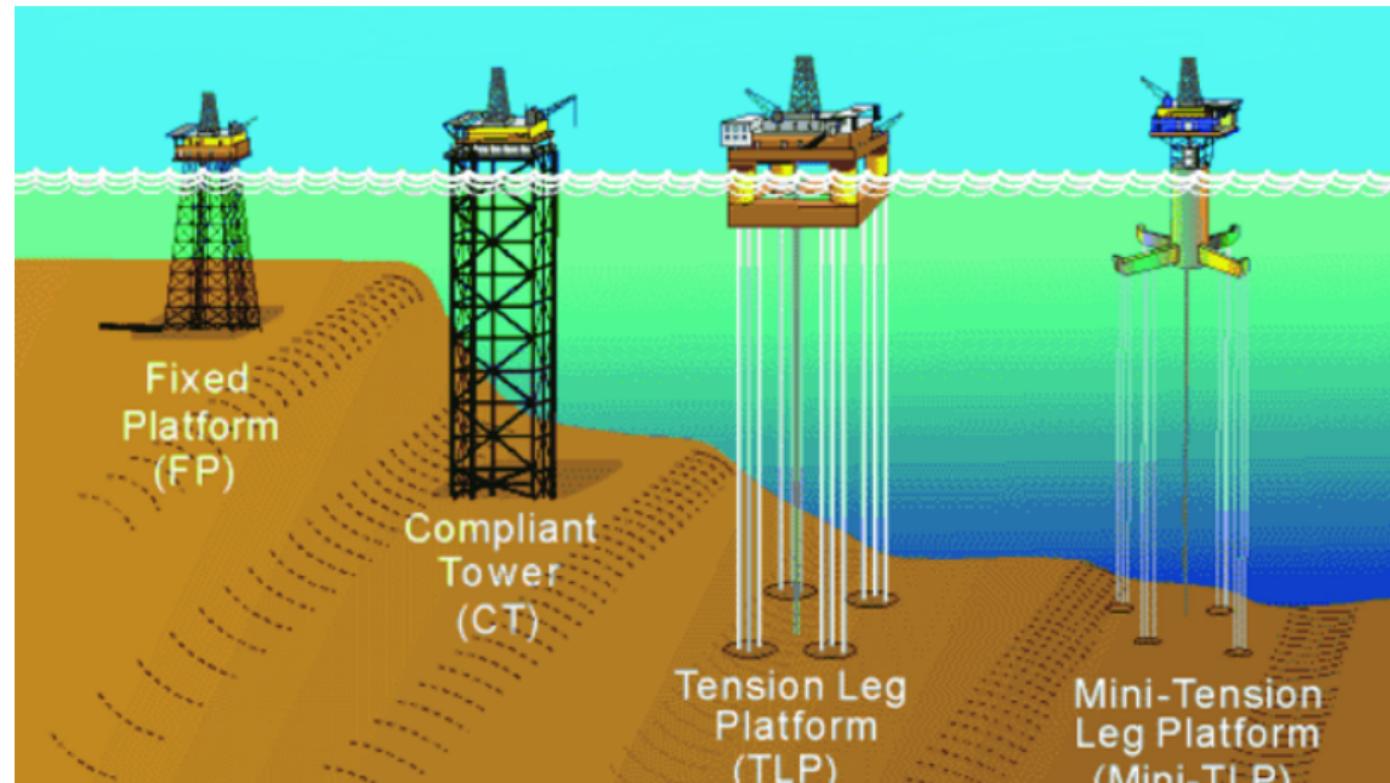


Figura: Subestructura y Superestructura.

Tipos de plataformas



Justificacion del Problema

- **Infraestructura Envejecida:** Gran parte de las plataformas en el Golfo de Mexico han superado su vida util de diseño.
- **Costos y Riesgos:** Las inspecciones tradicionales (buzos, ROV) son costosas y peligrosas.
- **Limitaciones Actuales:** Dificultad para detectar daños internos o en etapas tempranas mediante inspeccion visual.
- **Necesidad:** Estrategias de mantenimiento basadas en datos (SHM).



Figura: Deterioro en plataformas marinas.

Colapso y Daño Estructural Severo



Figura: Ejemplos de falla global y colapso de plataformas.

Detalle de Corrosion en Elementos Tubulares



Figura: Corrosion severa y perdida de material en zonas de marea.

Perdida de Espesor y Perforacion



Figura: Fractura de elemento diagonal por perdida critica de espesor.

Proceso de Inspeccion Submarina

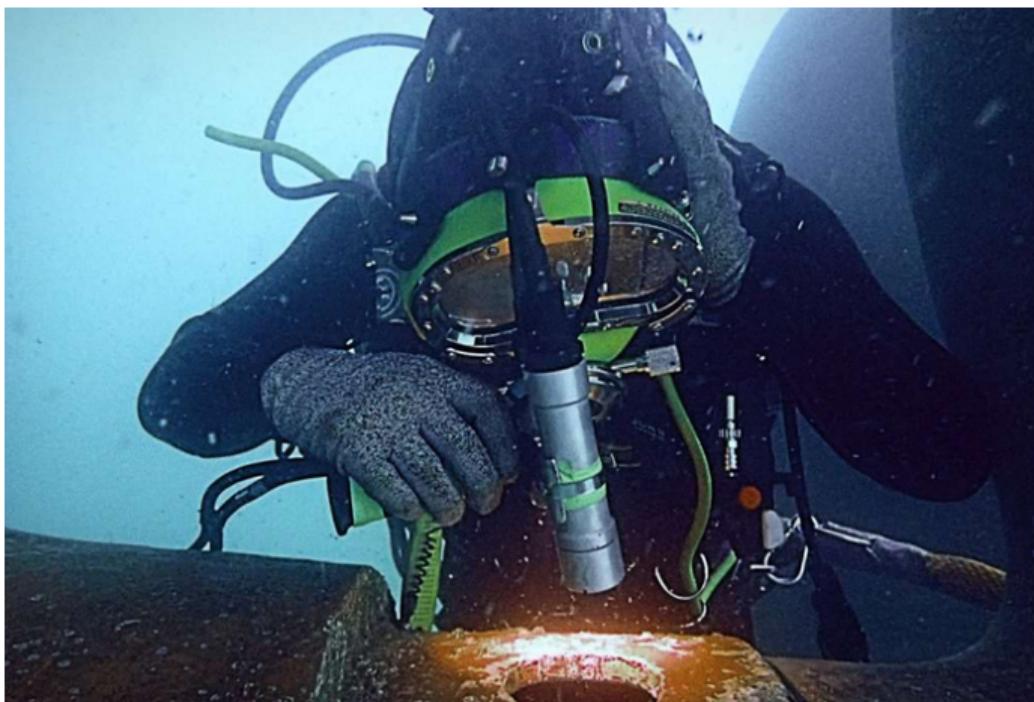


Figura: Inspección visual detallada realizada por buzos.

Interaccion Humana en Entorno Submarino



Figura: Desafios logísticos y operativos de la inspección in-situ.

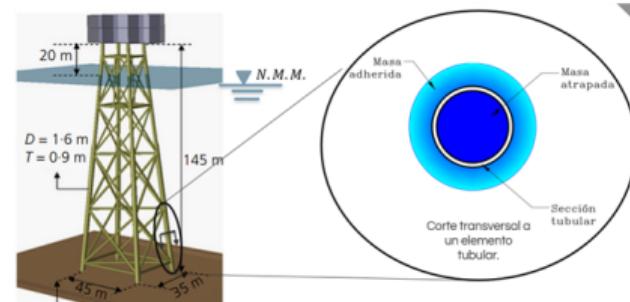
Objetivos de la Investigacion

- **Objetivo General:** Desarrollar y validar una metodologia SHM basada en optimizacion inversa con AG para identificar daño en plataformas Jacket.
- **Objetivos Especificos:**
 - Formular el **Indice de Calidad de Deteccion (ICD)** para fusionar indicadores vibratorios.
 - Validar la metodologia mediante modelos de elemento finito calibrados.
 - Evaluar la sensibilidad ante escenarios de corrosión y abolladura.
 - Determinar el comportamiento de elementos "fusibles" vs "principales".

Marco Teorico: Elementos de Masa

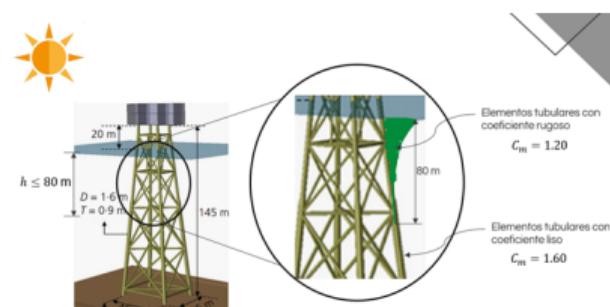
La matriz de masa global incluye:

- **Masa Estructural (M_s):** Acero de la plataforma.
- **Masa Adherida (M_a):** Volumen de agua que se acelera con la estructura ($C_m = 1.2$ a 1.6).
- **Masa Atrapada (M_t):** Agua contenida en elementos inundados (pilotes/piernas).



Impacto del **Crecimiento Marino:**

- Crecimiento de organismos en la superficie.
- Aumenta diámetro efectivo y coeficientes hidrodinámicos.



Mecanica del Daño: Corrosion Uniforme

- Reducción del espesor de pared (t).
- Impacta área (A) e inercia (I).
- Módulo de elasticidad (E) constante.

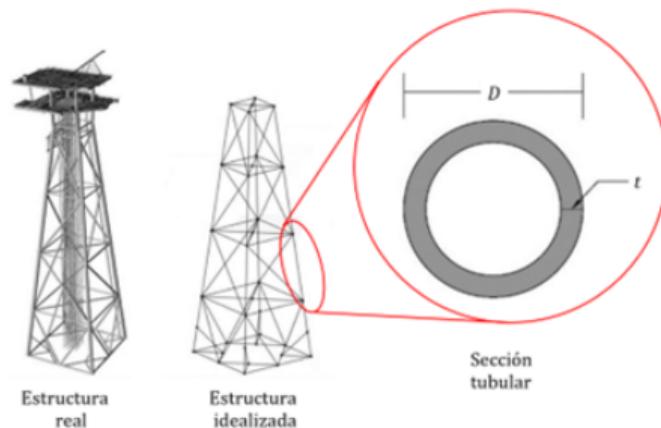


Figura: Reducción de espesor por corrosión.

Mecanica del Dano: Abolladuras

- Distorsion de la seccion transversal (aplanamiento).
- Reduccion drastica del momento de inercia local (I_{red}).
- Suavizado numerico con interpolacion polinomica.

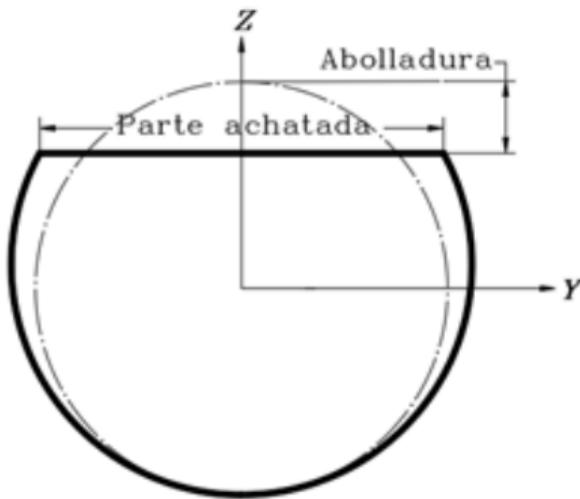


Figura: Seccion abollada.

Aportación Novedosa: Formulación Matemática del ICD

Contribución Metodológica: Índice de Calidad de Detección

Se propone una **métrica inédita** que integra tres factores normalizados para evaluar la calidad de la solución:

$$\text{ICD} = D \times C_{\text{norm}}(\delta) \times P_{\text{FP}}(N_{\text{FP}}) \quad (1)$$

Interpretación: $\text{ICD} \in [0, 1]$ (Donde 1.0 = Detección perfecta).

1. Éxito (D)

- **1.0:** Exacta.
- **0.5:** Adyacente.
- **0.0:** Fallo.

2. Confianza (C_{norm})

- Escalamiento logarítmico ($\alpha = 0.1$).

$$\frac{\ln(1 + \alpha\delta)}{\ln(1 + \alpha\delta_{\max})}$$

3. Penalización (P_{FP})

- Decaimiento exp. ($\beta = 0.15$).

$$e^{-\beta N_{\text{FP}}}$$

Hipotesis de Trabajo

"Los elementos secundarios (diagonales o braces) actuan como fusibles estructurales, manifestando cambios modales detectables a traves del ICD antes de que se comprometa la integridad global de las piernas principales."

Implicacion Operativa:

- Monitoreo automatico continuo para elementos secundarios.
- Inspeccion visual enfocada en nodos criticos y componentes principales.

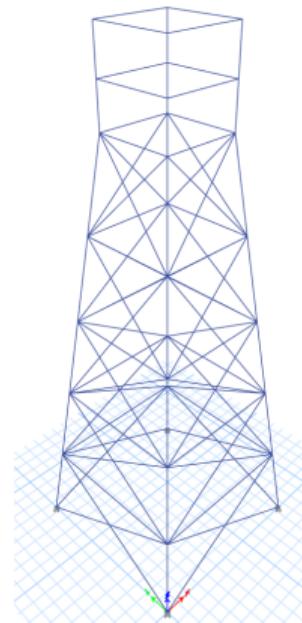


Figura: Modelo de referencia.

Metodología Propuesta

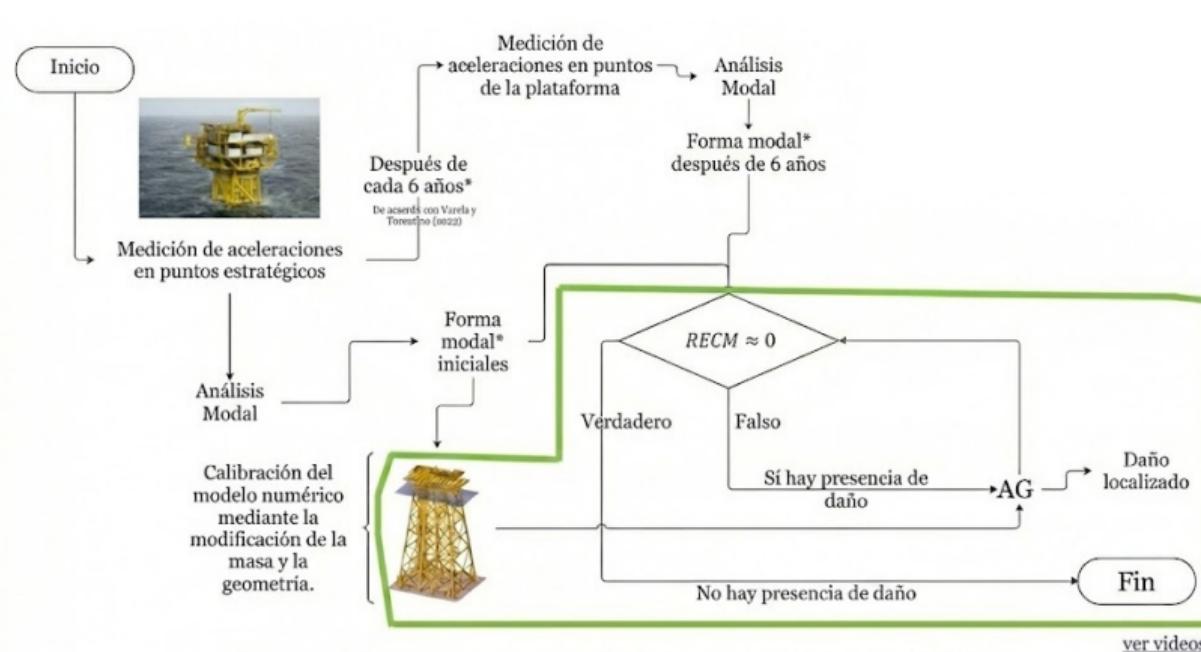


Figura: Esquema general de la metodología SHM.

Optimizacion con Algoritmos Geneticos

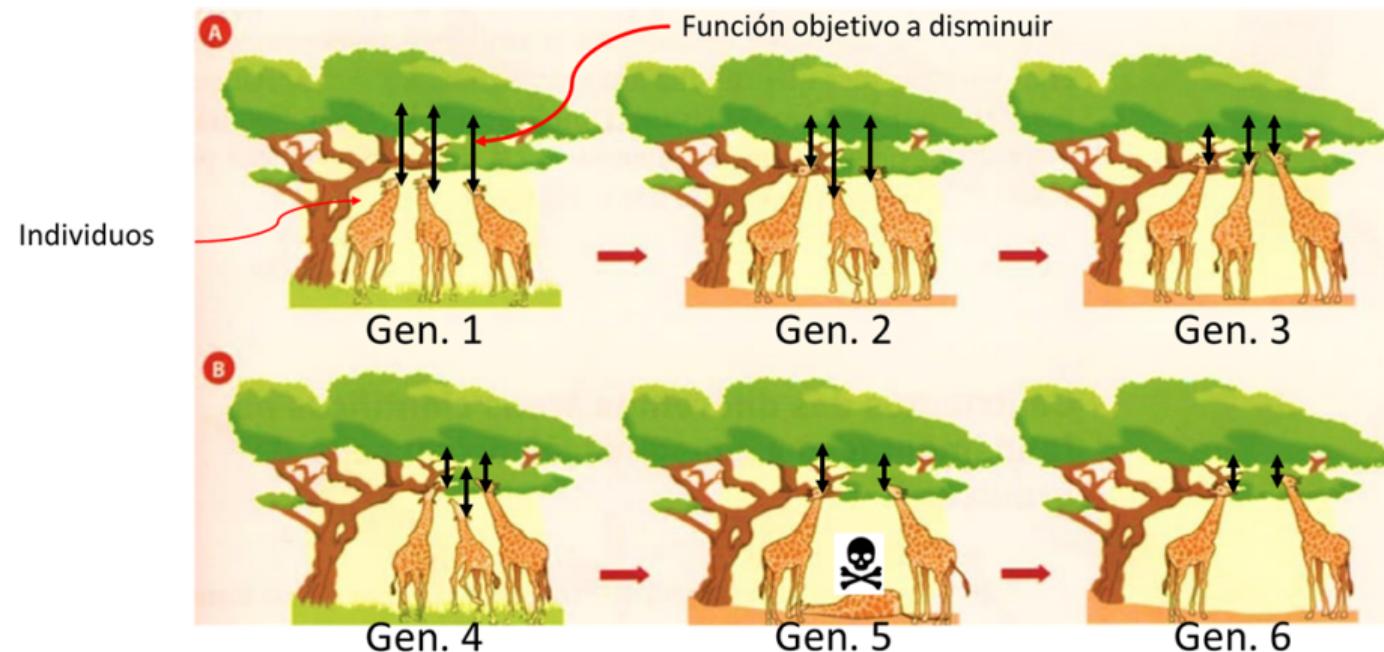


Figura: Analogia evolutiva del AG.

Evolucion del AG

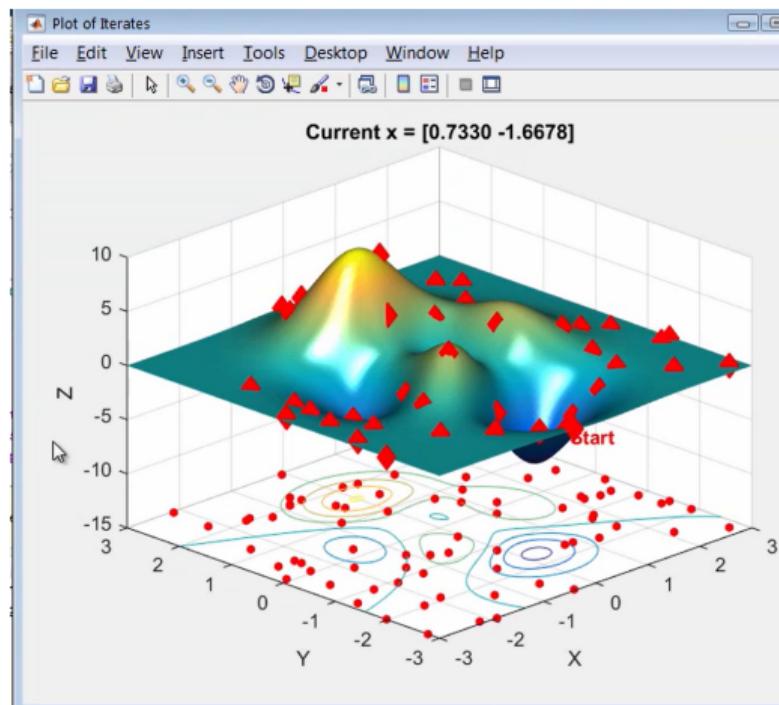


Figura: Evolucion de AG para la busqueda de un minimo global en una superficie multivariable

Evolucion del AG

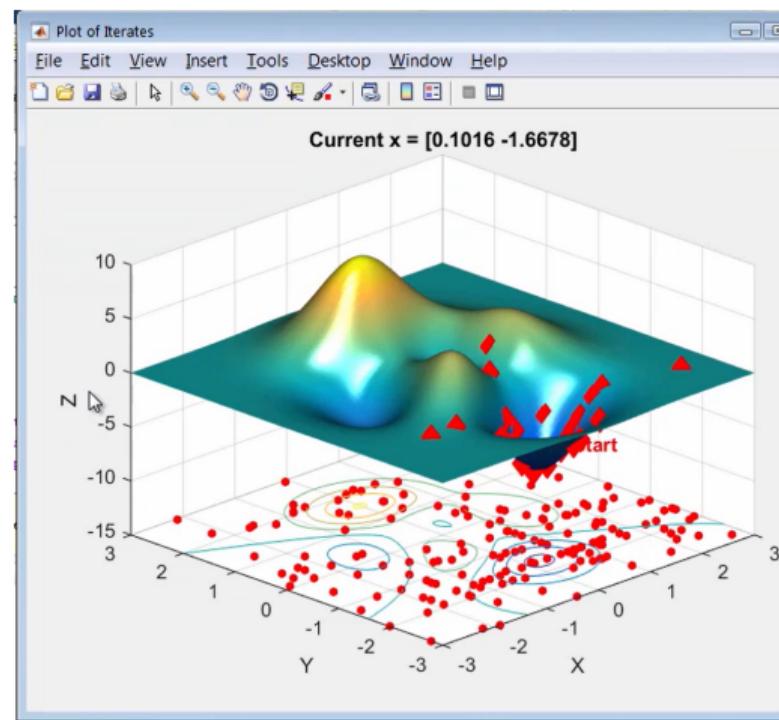


Figura: Evolucion de AG para la busqueda de un minimo global en una superficie multivariante



Evolucion del AG

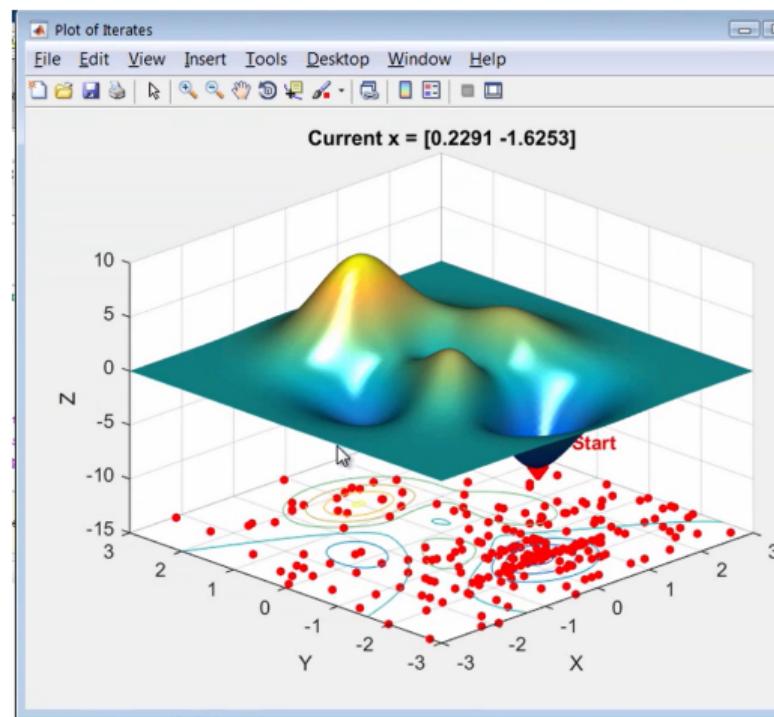


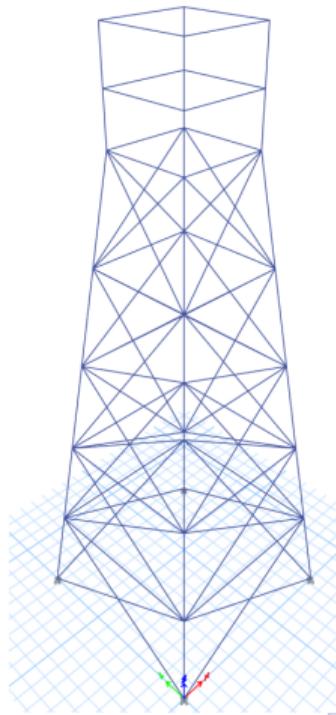
Figura: Evolucion de AG para la busqueda de un minimo global en una superficie multivariante



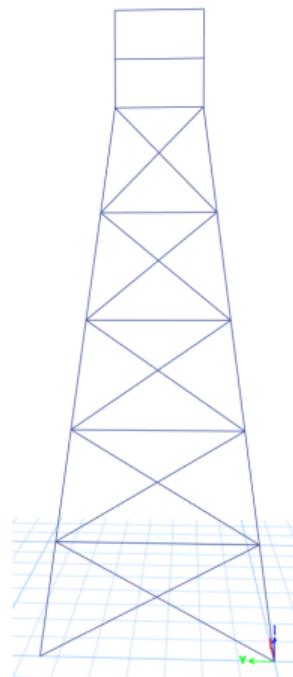
Modelo de Plataforma Jacket

Caracteristicas:

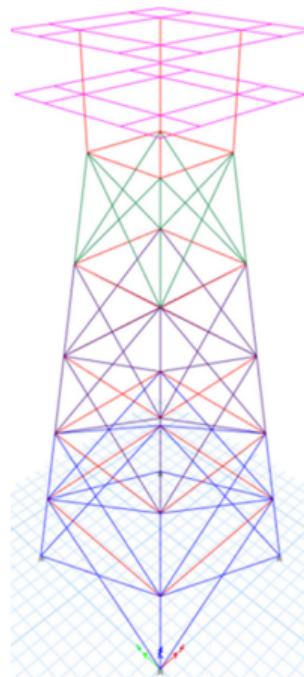
- Estructura tipo Jacket de 4 patas.
- Sistema MDOF discretizado.
- Inclusion de masa hidrodinamica e interaccion suelo-estructura.



Detalle del Modelo



(a) Vista Frontal.

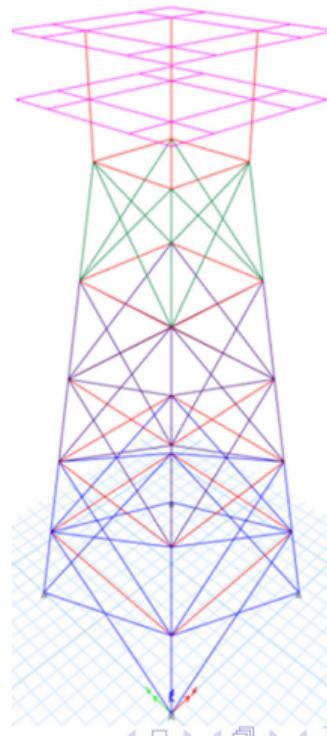


(b) Identificacion de Secciones.

Caso de Estudio: Propiedades Geométricas

Identificación de secciones:

Diámetro	Espesor	Identificador
Ext. (m)	(mm)	Color
2.18	38.1	
1.98	38.1	
1.57	25.4	
1.57	25.4	



Desglose de Ejecuciones del AG

Desglose del número total de ejecuciones del Algoritmo Genético (AG):

Total de ejecuciones = 120 elementos × 18 niveles de daño = 2160

Donde los niveles de daño corresponden a:

Niveles de daño = {5 %, 10 %, 15 %, ..., 90 %}

⇒ 18 niveles en incrementos de 5 %

Definición de Niveles de Profundidad

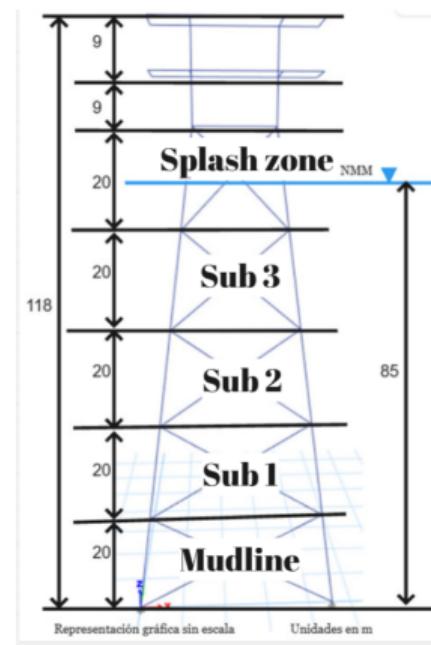


Figura: Identificación de zonas: Mudline, Sub 1, Sub 2 y Sub 3.

0.32 1. Éxito (D)

- **1.0:** Exacta.
- **0.5:** Adyacente.
- **0.0:** Fallo.

2. Confianza (C_{norm})

- Escalamiento logarítmico
($\alpha = 0.1$).

$$\frac{\ln(1 + \alpha\delta)}{\ln(1 + \alpha\delta_{\max})}$$

3. Penalización (P_{FP})

- Decaimiento exp. ($\beta = 0.15$).

$$e^{-\beta N_{\text{FP}}}$$

Recordatorio: Formulación Matemática del ICD

(Recordatorio de la métrica utilizada)

Se propone una **métrica inédita** que integra tres factores normalizados para evaluar la calidad de la solución:

$$\text{ICD} = D \times C_{\text{norm}}(\delta) \times P_{\text{FP}}(N_{\text{FP}}) \quad (2)$$

Interpretación: $\text{ICD} \in [0, 1]$ (Donde 1.0 = Detección perfecta).

Resultados: Escenario de Abolladura

Introduccion al analisis de sensibilidad del ICD ante abolladuras en diferentes elementos.

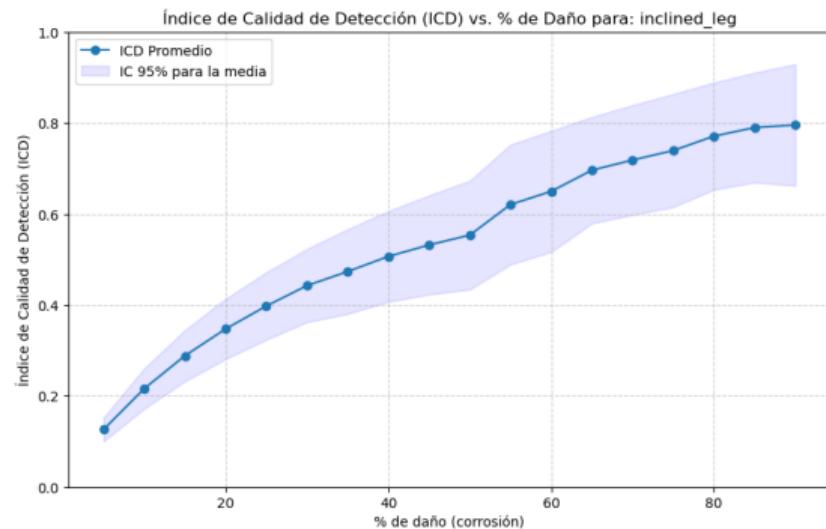
b[width=]figs/resultados/abolladura/001_abolladura_vigas_CD_vs_porcentaje_de_anio.png

figs/resultados/abolladura/005_abolladura_comparativa_global_de_CD_vs_diaño_por_zona_mudline_medio_y_sp
bComparativa global de ICD por zonas (Abolladura).

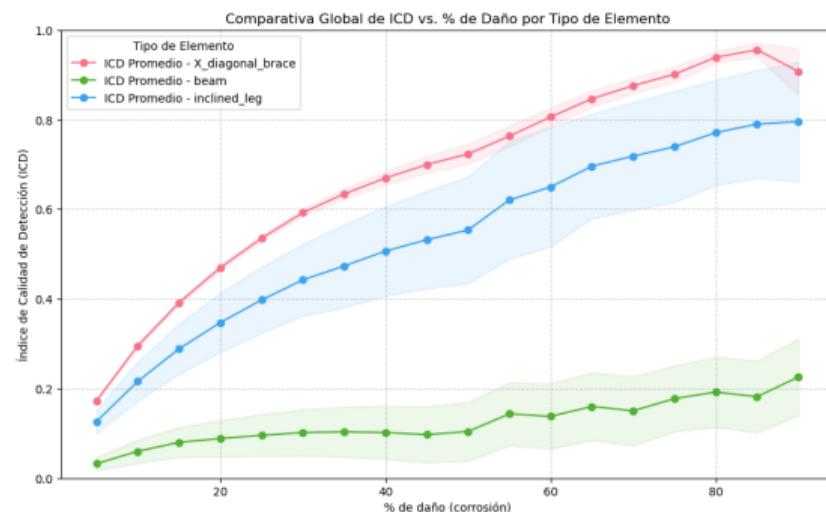
Resultados: Escenario de Corrosion

Evaluacion de la metodologia ante perdida de espesor generalizada.

Corrosion: Elementos Inclinados y Resumen



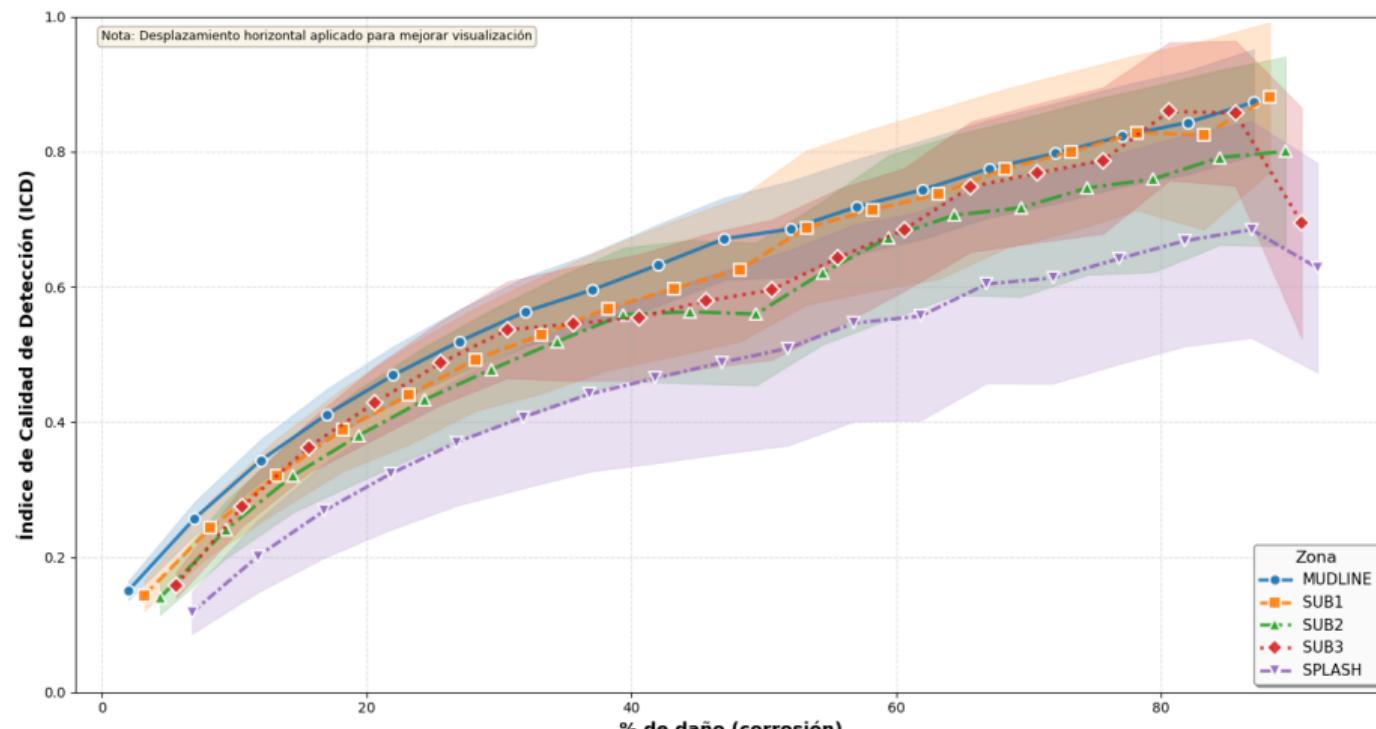
(a) Elementos Inclinados



(b) Comparativa por Tipo

Corrosion: Comparativa Global

Comparativa Global de ICD vs. % de Daño por Zona (Corrosión)



Discusion de Resultados

- **Comportamiento Diferenciado:**

- Elementos Secundarios (Diagonales): Detectables con ICD a partir del **30 % de daño**.
- Elementos Principales (Piernas): Requieren severidad $> 50\%$ para identificacion fiable.

- **Fusibles Estructurales:** Las diagonales advierten del deterioro antes de fallos criticos globales.

- **Eficacia del ICD:** Penaliza falsos positivos, mejorando la confianza en la deteccion respecto a metodos tradicionales.

- **Alcance del estudio:** La validacion se realizo mediante modelos numericos de alta fidelidad. La experimentacion in-situ no fue factible en esta etapa por limitaciones logisticas y de recursos.

Conclusiones Generales

- ① La metodología basada en AG y el índice ICD permite identificar daño estructural en entornos con incertidumbre.
- ② La modelación física (masa adherida, crecimiento marino) es crucial para representar la dinámica real.
- ③ Se valida la hipótesis de monitoreo híbrido:
 - **SHM Automatico:** Para vigilancia continua de elementos secundarios.
 - **Inspección Focalizada:** Para nodos y piernas principales, optimizando recursos.

Perspectivas Futuras

- Implementacion en tiempo real con datos de sensores in-situ.
- Validacion experimental en tanque de olas.
- Extension a estructuras eolicas offshore.
- Integracion de algoritmos de Machine Learning hibridos para acelerar la convergencia del AG.
- Aplicacion de la metodologia a modelos de plataformas reales.
- Validacion en campo: Aunque la metodologia es aplicable, las pruebas en una plataforma real estan pendientes debido a restricciones presupuestarias y de logistica de acceso.

Referencias I

-  Aghaeidoost, V., y Seyedpoor, S. M. (2023). Damage detection in jacket-type offshore platforms via generalized flexibility matrix and optimal genetic algorithm. *Ocean Engineering*, 270, 113568.
-  American Petroleum Institute. (2014). Planning, designing, and constructing fixed offshore platforms - working stress design [Manual de software informatico]. Washington, Estados Unidos. Descargado de <https://www.api.org/products-and-services/standards/purchase> (IHS bajo licencia de API. Recuperado el 1 de diciembre de 2023).
-  Cardenas-Arias, C. G. (2019). Elasticity modulus variation of the AISI SAE 1045 steel subjected to corrosion process by chloride using tension test destructive. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 844(1), 012059. doi: 10.1088/1757-899X/844/1/012059.
-  Doebling, S. W. (1996). *Damage identification and health monitoring of structural and mechanical systems from changes in their vibration characteristics: A literature review* (Inf. Tec.). Los Alamos, Nuevo Mexico, Estados Unidos: Los Alamos National Laboratory. Descargado 2022-12-16, de <https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc663932/m1/25/>.

Referencias II

-  Ghsoub, M. B. (2018). *Structural health monitoring of offshore jacket platforms* (Tesis Doctoral, Politecnico di Torino, Torino, Italia). Descargado 2023-07-11, de https://webthesis.biblio.polito.it/view/creators/Ghsoub=3AMarie_Belle=3A=3A.html.
-  Goldberg, D. E. (1989). *Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning*. Reading, MA: Addison-Wesley.
-  Instituto de buceo comercial tech diving. (2020). *Tech diving*. Descargado 2023-07-11, de <http://institutodebuceocomercial.lat/>.
-  Malekzadeh, H. (2013). Damage detection in an offshore jacket platform using genetic algorithm-based finite element model updating with noisy modal. *Procedia Engineering*, 54, 480-490. doi: 10.1016/j.proeng.2013.03.044.
-  Mohamed Mubarak Abdul Wahab, V. J. (2020, 24 de September). Condition assessment techniques for aged fixed-type offshore platforms considering decommissioning: a historical review. *Journal of Marine Science and Application*, 2. doi: 10.1007/s11804-020-00181-z.

Referencias III



Sinergia. (2024). A pesar de record en accidentes, pemex recorta 50 % el gasto en mantenimiento. *Sinergia Energetica*. Descargado de <https://secmexico.com/a-pesar-de-record-en-accidentes-pemex-recorta-50-el-gasto-en-mantenimiento/>.