



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

**FACULTAD DE INGENIERÍA
COLEGIO DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**

**“ANÁLISIS DE DESMANTELAMIENTO DE
PLATAFORMAS MARINAS FIJAS, INSTALADAS POR
PEMEX COSTA AFUERA EN EL GOLFO DE MÉXICO”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO Y ELÉCTRICO**

PRESENTA:

JORGE LUIS ARIAS MARQUEZ

DIRECTOR DE TESIS:

DR. MARCO ANTONIO CRUZ GÓMEZ

CODIRECTOR DE TESIS:

DR. EDGAR BARONA DÍAZ

PUEBLA, PUEBLA

OCTUBRE 2017



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERÍA COLEGIO DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

En la Ciudad de Puebla, Puebla. El día 06 del mes de Octubre del año 2017. El que suscribe el C. Jorge Luis Arias Marquez, alumno del colegio de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, de la Facultad de Ingeniería de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, con número de matrícula 201200373, manifiesto que es autor intelectual y material del presente trabajo de Tesis, bajo la dirección del Dr. Marco Antonio Cruz Gómez y el Dr. Edgar Barona Díaz, quienes ceden los derechos del trabajo titulado: *“Análisis de desmantelamiento de plataformas marinas fijas, instaladas por PEMEX costa afuera en el Golfo de México.”, a la Benemérita Universidad Autónoma De Puebla para su difusión, con fines académicos y de investigación.*

Los usuarios que utilicen la información de esta investigación están obligados a no reproducir el contenido sin la autorización previa del autor. Esta puede ser obtenida escribiendo a la dirección electrónica jorlui94@hotmail.com. Si el permiso es otorgado, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar como fuente la misma.

INGENIERÍA
FACULTAD

Jorge Luis Arias Marquez



Índice	Pág.
Carta de cesión de derechos.	i
Agradecimientos.	v
Índice de figuras.	vi
Índice de tablas.	vii
Índice de ecuaciones.	vii
Glosario.	viii
Resumen.	ix
Abstract.	x
Introducción.	xi
Antecedentes.	xiv
Hipótesis.	xvi
Justificación.	xvii
Planteamiento del problema.	xvii
Objetivos.	xviii
Objetivos generales.	xviii
Objetivos específicos.	xviii
Capítulo I.	Pág.
1. Generalidades e historia de las plataformas fijas.	1
1.1. Tipos de plataformas y su utilización.	3
1.1.1. Plataformas marinas que destacan por su funcionabilidad.	5
1.1.2. Plataformas marinas que destacan por su posicionamiento o soporte.	8
1.2. Primeras plataformas instaladas en México	10
1.3. Desarrollo de los primeros campos petroleros marinos y la necesidad de instalar infraestructura marina para la explotación del petróleo.	11
Capítulo II.	Pág.
2. Marco legal y normatividad que regulan el desmantelamiento y/o abandono de las plataformas marinas.	13
2.1. Legislación y regulación en México para el desmantelamiento de instalaciones petroleras marinas.	14
2.2. Regulación internacional para el desmantelamiento de instalaciones petroleras marinas en organizaciones donde México es miembro activo.	18
2.3. Normas mexicanas vigentes aplicables.	21
Capítulo III.	Pág.
3. Metodología aplicada para la obtención de datos.	25
3.1. Tipo de investigación.	25
3.2. Enfoque de la investigación.	26
3.3. Criterios de selección para el diseño de la investigación.	26
3.4. Diseño de investigación.	27
3.5. Población y muestra.	28
3.6. Selección de la muestra.	29
3.7. Obtención de datos.	29
3.7.1. Datos primarios.	30
3.7.2. Datos secundarios.	30



3.8.	Recolección de datos.	30
3.9.	Análisis de los datos.	31
Capítulo IV.		Pág.
4.	Estudios ingenieriles necesarios para la implementación del desmantelamiento de plataformas marinas fijas en México.	32
4.1.	Implementación de desmantelamiento en México.	33
4.2.	Estudio de factibilidad.	36
4.3.	Estudio de integridad.	36
4.4.	Alternativas de destino final de las estructuras.	37
Capítulo V.		Pág.
5.	Tecnología y procesos seguros para realizar el desmantelamiento de plataformas marinas.	40
5.1.	Equipos especializados con tecnologías de última generación.	40
5.1.1.	Barco grúas.	41
5.1.2.	Remolcadores.	42
5.1.3.	Chalanes.	43
5.1.4.	Abastecedores.	44
5.2.	Procesos para llevar a cabo el desmantelamiento de plataformas marinas fijas.	45
5.2.1.	Estudios ingenieriles para el desmantelamiento plataformas marinas fijas.	47
5.2.2.	Visitas de inspección física a la plataforma marina fija a desmantelar.	49
5.2.3.	Modelación y elaboración de ingeniería de detalle para reforzamiento de elementos y puntos de izaje.	50
5.2.4.	Preparativos de los equipos previos al inicio de actividades de desmantelamiento.	51
5.3.	Procedimiento de retiro de plataforma fija marina.	52
5.3.1.	Maniobras de posicionamiento del equipo de izaje (barco grúa).	55
5.3.2.	Inspección de lecho marino y determinación de tipo de corte en puntos de conexión pierna-pilote para retiro integral.	55
5.3.3.	Dragado en las áreas de piernas y conductores taponados.	57
5.3.4.	Maniobras para la instalación del arreglo de izaje y estrobado de la plataforma marina fija.	58
5.3.5.	Actividades de corte en pierna-pilote y conductores taponados con equipo especializado.	60
5.3.6.	Maniobras para el izaje y colocación sobre cubierta de chalán y/o puesta en lugar seguro (arrecife artificial).	61
5.4.	Destino final de las plataformas.	63
5.4.1.	Transporte y descarga en patio para chatarrización o rehabilitación.	63
5.4.2.	Transporte y descarga en lugar seguro (arrecife artificial).	65
Capítulo VI.		Pág.
6.	Programa de trabajo para desmantelamiento de las plataformas marinas fijas.	66
6.1.	Análisis de factibilidad del plan de desmantelamiento de plataformas marinas fijas.	67
6.2.	Tiempo de ejecución del programa de trabajo sugerido.	67



6.3.	Fases del programa de trabajo sugerido.	69
6.4.	Programa de trabajo sugerido óptimo para diferentes situaciones.	71
6.5.	Descripción del plan de desmantelamiento.	83
6.6.	Evaluación de ruta crítica.	86
6.7.	Viabilidad del plan de desmantelamiento para un número determinado de plataformas.	91

Capítulo VII		Pág.
7. Evaluación económica y razonamiento costo beneficio.		94
7.1.	Análisis para determinación de costos estimados para el desmantelamiento de una plataforma marina fija basada en la revista Oil & Gas UK'S Decommissioning Insight 2016.	96
7.2.	Análisis para determinación de costos estimados para el desmantelamiento de una plataforma marina fija por el método de precio alzado	99
7.2.1.	Plataformas como opción disposición final a patio	104
7.2.1.1.	Plataforma ligera	104
7.2.1.2.	Plataforma pesada	105
7.2.2.	Plataformas como opción inducción arrecife artificial	105
7.2.2.1.	Plataformas ligera	106
7.2.2.2.	Plataformas pesada	108
7.3.	Comparativa y elección del mejor análisis de costo	109
7.4.	Comparativo del costo beneficio estimado de las disposiciones finales de las plataformas	110
Conclusión.		Pág. 113
Referencias.		116
Anexos.		120
Anexo I.		120
Anexo II.		122
Anexo III.		128
Anexo IV.		129



AGRADECIMIENTOS.

A Dios por darme salud, sabiduría y fortaleza para llegar a este punto de mi vida, afrontando los triunfos y momentos difíciles que me han enseñado a no perder la fe.

A mis padres Susana Marquez Arias y Genaro Arias Sosa, a mi hermano Sami David Arias Marquez, que con sus consejos, sacrificios y todo su apoyo han contribuido a mi formación personal y profesional.

A ti Marlene por tu tiempo, dedicación, tus consejos y por creer en mí.

A mis asesores el Dr. Marco Antonio Cruz Gómez y Dr. Edgar Barona Díaz por su tiempo, paciencia y apoyo en la elaboración de esta tesis.

A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, en especial a la Facultad de Ingeniería por mi formación y desarrollo por su labor de enseñanza.

A mis profesores por compartir sus experiencias y conocimientos.

A mis compañeros y amigos que directa o indirectamente formaron parte del proceso de mi formación como profesional.

Gracias



ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura Núm.	Descripción	Pág.
Figura 1.	Plataformas marinas fijas.	1
Figura 2.	Fortalezas marinas Maunsell.	3
Figura 3.	Tirantes de agua.	4
Figura 4.	A) Deck (superestructura) y B) Jacket (subestructura), ambas en patio de maniobras.	5
Figura 5.	Plataforma de perforación.	5
Figura 6.	Plataforma de producción.	6
Figura 7.	Plataforma de enlace.	6
Figura 8.	Plataforma de compresión.	7
Figura 9.	Plataforma Habitacional.	7
Figura 10.	Plataforma de rebombeo.	8
Figura 11.	Plataforma de inyección.	8
Figura 12.	Plataforma Fija.	9
Figura 13.	Plataforma autoelevable.	9
Figura 14.	Plataforma semisumergible.	10
Figura 15.	Complejo Cantarell.	11
Figura 16.	Diagrama # 4.1 (Hernández, Fernández y Baptista).	31
Figura 17.	Disposición de plataformas recuperadas.	38
Figura 18.	Pioneering Spirit.	42
Figura 19.	Remolcador en maniobras de rescate.	43
Figura 20.	Chalán transportando una superestructura (Deck).	44
Figura 21.	Barco Abastecedor.	45
Figura 22.	Desglose de trabajos de desmantelamiento traducido.	46
Figura 23.	Dragadora de succión.	58
Figura 24.	Arreglo de izaje listo para ser estrobado.	59
Figura 25.	Barco grúa izando una superestructura.	61
Figura 26.	Arreglos en la cubierta del chalán, para superestructura de plataformas de 8 patas (octópodo).	62
Figura 27.	Superestructura colocada sobre chalán y transportada con ayuda de un remolcador.	64
Figura 28.	Ruta crítica proporcionada por MS Project en un Diagrama de Gantt.	76
Figura 29.	Precios de embarcaciones (recursos) en software OPUS 2010 ®.	101
Figura 30.	Captura de subfases para análisis en software OPUS 2010 ®.	101
Figura 31.	Duración del recurso que interviene en la subfase 2.1.1.	102
Figura 32.	Precio estimado para una Plataforma tipo ligera con disposición a patio.	104
Figura 33.	Precio estimado para una Plataforma tipo pesada con disposición a patio.	105
Figura 34.	Precio estimado para una plataforma tipo ligera inducida en el mismo lugar.	107
Figura 35.	Precio estimado para una plataforma ligera con destino final inducción en sitio seguro.	107
Figura 36.	Precio estimado para una plataforma de tipo pesada inducida en el mismo lugar de desmantelamiento.	108
Figura 37.	Precio estimado para una plataforma pesada con destino final inducción en sitio seguro.	109
Figura 38.	Preguntas para encuesta y entrevista.	120
Figura 39.	Respuestas de encuesta y entrevista.	122
Figura 40.	Carta de aceptación de artículo.	128
Figura 41.	Portada de revista ECORFAN.	129
Figura 42.	Artículo aceptado para publicación en revista ECORFAN.	130
Figura 43.	Constancia de participación en 2do. Congreso CIERMMI 2017.	138

ÍNDICE DE TABLAS.



Tabla Núm.	Descripción	Pág.
Tabla 1.	Actividades de instalación por fases.	53
Tabla 2.	Actividades de desmantelamiento por fases.	54
Tabla 3.	Fases implicadas en el desmantelamiento de plataformas marinas fijas.	69
Tabla 4.	Recursos principales considerados en el plan de desmantelamiento.	71
Tabla 5.	Plan de desmantelamiento elaborado en MS Project 2013 para una plataforma pesada.	73
Tabla 6.	Duración de actividades en el plan de desmantelamiento para plataformas ligeras.	79
Tabla 7.	Duración de actividades en el plan de desmantelamiento para plataformas ligeras y pesadas como inducción a arrecife.	79
Tabla 8.	Duración de las fases y subfases de las plataformas con disposición a patio.	79
Tabla 9.	Duración de las fases y subfases de las plataformas con disposición arrecife.	81
Tabla 10.	Actividades críticas.	88
Tabla 11.	Duración del proyecto de desmantelamiento para un número de plataformas.	92
Tabla 12.	Tarifas por toneladas.	97
Tabla 13.	Tarifas o costos por toneladas convertidas a dólares americanos.	97
Tabla 14.	Costo de desmantelamientos por tonelaje con destino final a patio.	99
Tabla 15.	Tarifas estimadas de embarcaciones propuestas en el plan de desmantelamiento.	100
Tabla 16.	Duraciones a utilizar en los recursos que intervienen en cada subfase.	102
Tabla 17.	Costos estimados de diferentes alternativas para las plataformas fijas ligeras y pesadas.	111
Tabla 18.	Costos generalizados de desmantelamiento y días estimados.	114

ÍNDICE DE ECUACIONES.

Ecuación Núm.	Descripción	Pág.
Ecuación 1.	Tiempo estimado de desmantelamiento.	86

GLOSARIO.



Descripción	Definición
PEMEX	Petróleos Mexicanos.
Offshore	Costa afuera.
Trípodes	Plataforma de tres patas.
Tetrápodos	Plataforma de cuatro patas.
Hexápodos	Plataforma de seis patas.
Octópodos	Plataforma de ocho patas.
Lecho marino	Manto de tierra que se encuentra al fondo de los mares y océanos.
Subestructura	También denominada Jacket, es la parte inferior de una plataforma marina fija la cual se encuentra sumergida en el agua.
Superestructura	Conocida como Deck es la parte superior de una plataforma marina fija la cual están montada sobre la subestructura y contiene todos los equipos necesarios para que esta cumpla su función.
Nivel medio del mar	Abreviado m s. n. m (metros sobre el nivel del mar) es la referencia para ubicar la altitud de las localidades y accidentes geográficos, la unidad en que se mide es el metro.
Tirante de agua	Distancia desde el nivel medio del mar hasta el lecho marino.
OSPAR	Convención para la Protección del Medio Ambiente Marino del Atlántico del Nordeste.
Izaje	Operación para mover cargas u objetos grandes y/o pesados que no pueden ser transportados manualmente.
Licitación	Procedimiento en el que se da a conocer una necesidad ya sea públicamente o restringido a determinadas empresas solicitando ofertas y propuestas de trabajo para seleccionar la que mejor convenga a los intereses del licitante.
Pilotes	Elemento en forma de columnas que son hincados a una profundidad de diseño con el fin de soportar las cargas transmitidas por la plataforma marina.
Estrobado	Arreglos necesarios para realizar el izaje de cargas.
TTD	Tiempo total de desmantelamiento.
X	Número de plataformas a desmantelar.
T.P.P.P	Tiempo del proceso previo del proyecto (fases uno a tres).
T.E.F1	Tiempo efectivo fase cinco y seis.
T.E.F2	Tiempo efectivo fase cuatro.
T.E.F3	Tiempo efectivo fase siete.

RESUMEN.



El objetivo de esta investigación es proponer un análisis del desmantelamiento de plataformas marinas fijas instaladas por PEMEX (Petróleos Mexicanos) costa afuera en el Golfo de México, siguiendo los protocolos legales e ingenieriles implementados por países pioneros en desmantelamiento pertenecientes a la región del Mar del Norte, bajo el marco legal internacional obligatorio para que PEMEX cumpla con el desmantelamiento de plataformas marinas instaladas hasta antes de 2014 (antes de la Reforma Energética 2013). Las principales causas del porqué no se han implementado son: ambigüedad en leyes y normas nacionales, falta de desarrollo tecnológico y costos no previstos para estos fines por el gobierno mexicano. Una investigación de campo contempla 258 plataformas marinas instaladas hasta 2014, de las cuales aproximadamente el 45% son candidatas a desmantelamiento representando un impacto ambiental en el medio marino. Un análisis de costo beneficio del desmantelamiento parcial con inducción de arrecife o total para chatarrización y/o rehabilitación determinó que la licitación total del proyecto es rentable debido a que representa aproximadamente un 15% respecto a la compra total de infraestructura propicia para este, ya que no involucra tiempos continuos de operación, además de representar costos de amortización no prioritarios para la empresa petrolera en la siguiente década.

Palabras clave: Desmantelamiento; plataformas marinas; impacto ambiental; medio marino; inducción de arrecife.

ABSTRACT.



The objective of this research is to propose to analyze the decommissioning of fixed platforms installed by PEMEX (Petróleos Mexicanos) offshore in the Gulf of Mexico, following the legal and engineering protocols implemented by Pioneer countries in decommissioning belonging to the north sea zone, under obligatory legal framework in order that PEMEX accomplish the marine platforms decommissioning installed before 2014 (before Energetic Reform). The main causes of why they have not been implemented are: Laws' ambiguity and national norms, lack of technology development and costs for these goals unforeseen by the Mexican government. A field research consider 258 marine platforms installed until 2014, of which approximately 45% are decommissioning candidates representing an ambiental impact on marine environment. A cost-benefit analysis of partial decommissioning with reef induction or total for scrapping and/or rehabilitation determined that project's total bid is profitable due to it represents approximately 15% regard to the total purchase of favorable infrastructure, since it does not involve continuous operation times, in addition to represent non-priority depreciation costs for the petrol company the next decade.

Keywords: Decommissioning; Marine platforms; environmental impact; Marine environment; Reef induction.

INTRODUCCIÓN.



El 7 de junio de 1938, por decreto presidencial fue creada la empresa estatal PEMEX (Petróleos Mexicanos) la cual funge como productora, transportista, refinadora y comercializadora de petróleo y gas natural en México, sin embargo hasta la segunda mitad del siglo XX, esta empresa logró consolidarse gracias al amplio escenario petrolero propiciado por la incursión costa afuera (offshore), dando origen a la instalación de plataformas petroleras para la perforación, extracción y producción de hidrocarburos [1].

Las plataformas instaladas en México son estructuras modulares de acero conformadas por diferentes números de columnas o patas; trípodos (3 patas), tetrápodos (4 patas), hexápodo (6 patas), octópodos (8 patas) y decápodo (12 patas). Las cuales son instaladas y fijadas en el lecho marino mediante pilotes. Estas están conformadas por dos estructuras, una sumergida aproximadamente un 90% denominada subestructura (Jacket), y la otra montada sobre esta denominada superestructura (Deck) [2].

La mayoría de las que se encuentran instaladas en el Golfo de México son de tipo fijas y tienen un tirante de agua de entre 20 a 80 m, clasificándose en estructuras ligeras y pesadas. La primera obedece a plataformas de 3 y 4 patas las cuales tienen un peso promedio de 5, 500 toneladas, donde la superestructura tiene un peso aproximado de 4, 500 toneladas y la subestructura oscila alrededor de 1, 000 toneladas. Las plataformas pesadas se consideran a partir de 6 patas en adelante, con un peso promedio de 8, 000 toneladas, de las cuales la superestructura representa aproximadamente el 75% del peso promedio y la subestructura el peso restante [3].

La industria petrolera a nivel mundial es de las que más contaminan ya sea por la explotación, refinación y/o producción, actualmente hay leyes o normas aprobadas por organismo internacionales que regulan estas prácticas para que el impacto ambiental sea menos y más amigable con el entorno, siendo las Directrices y Normas de la Organización Marítima Internacional (OMI) de 1989, Resolución A.672 (16) [4] una de las más importantes la cual establece de manera obligatoria el desmantelamiento de las plataformas al término de su vida útil o improductividad del pozo.

Algunos países en diferentes partes del mundo y principalmente los que se ubican en las costas del Mar del Norte con actividades petroleras (Reino Unido, Alemania,



Noruega, entre otros) han iniciado el desmantelamiento por diferentes factores, desarrollando leyes, normas para la regulación energética así como métodos ingenieriles comprometidos con el cuidado al medio marino apegado a las resoluciones dictaminadas por el máximo organismos a nivel internacional, la Organización de las Naciones Unidas.

A pesar de existir un marco legal de carácter internacional, PEMEX y el marco jurídico legal mexicano no cuenta con un plan a seguir y mucho menos de carácter obligatorio generando ambigüedad legal, técnica y toma de decisiones, a pesar de que en 2013 se aprobó y publicó en el Diario Oficial de la Federación la Reforma Energética, la cual genera la apertura del sector energético a empresas de capital privado que deseen invertir o competir con PEMEX, a pesar de ello no se ha implementado el desmantelamiento, siendo este una inversión con un costo más bajo que realizar trabajos de remediación y limpieza del sitio así como la recuperación de las estructuras si una plataforma llegase a colapsar, lo cual dejaría daños invaluable al medio marino.

Cabe mencionar que PEMEX desde sus inicios ha arrendado maquinaria y equipos especializados para la fabricación e instalación de plataformas marinas, sin embargo a principios del siglo XXI la economía de esta empresa se ha visto afectada seriamente, debido a la caída de los precios internacionales del crudo. Para solucionar sus problemas económicos vendió parte de sus activos, lo que incrementó las licitaciones de los trabajos que antes tenía capacidad de desarrollar. Sin embargo, cuando PEMEX trataba de realizar trabajos de obra mayor su capacidad estaba limitada a la licitación parcial y/o total.

Actualmente México y empresas privadas nacionales no tienen la capacidad para poder desmantelar plataformas marinas de las actualmente instaladas. Por lo que se requiere para generar el desmantelamiento de las 116 plataformas con término de vida útil (45% de 258 plataformas) [3] arrendar los servicios de empresas transnacionales especializadas en desmantelamientos ubicadas en Italia, Países Bajos, Noruega, Reino Unido y China principalmente.

Por ello, esta investigación propone un plan de desmantelamiento obligatorio de plataformas marinas fijas instaladas por PEMEX hasta antes de 2014, cuya



administración fue regulada por el Gobierno Federal Mexicano, ambos tuvieron que prever en sus planes económicos y de desarrollo, los costos destinados para desmantelamiento al término de la vida útil o improductividad del pozo, bajo un marco legal regulado con procedimientos ingenieriles amigables con el medio marino.

Las ambigüedades en leyes y/o normas nacionales aplicables antes de la Reforma Energética no exime de responsabilidades al Gobierno Federal Mexicano de llevar a cabo el desmantelamiento, y si este no previó los recursos necesarios para estas acciones tendría que generar una partida especial prioritaria durante mínimo dos sexenios para solventar dichos costos con miras de que el 55% restante de plataformas marinas estarán acercándose al término de su vida útil, por otro lado las plataformas instaladas después de la Reforma Energética por PEMEX o empresas privadas tendrán que ser obligadas por el Gobierno a cumplir con las leyes reguladoras nacionales e internacionales del sector petrolero encaminadas al desmantelamiento.

Lo anterior surge de acuerdo a la información recabada mediante encuestas y entrevistas aplicadas en el periodo de febrero a marzo 2017 [5], menciona que una plataforma marina de tipo fija se le asigna una vida útil de 25 años de acuerdo a los “Anexos B Especificaciones Generales Pemex Exploración y Producción”, los cuales se elaboran cuando se realiza una licitación.

La vida útil de las plataformas fue establecida con base a estudios previos de materiales expuestos a condiciones semejantes a los de operación y medio marino preestablecidos por los fabricantes, por ello las plataformas activas instaladas en el Golfo de México son monitoreadas en forma continua por programas de mantenimientos con pruebas no destructivas con la finalidad de realizar mantenimientos preventivos y/o correctivos que mantienen en estado operante alargando la vida prevista en los Anexos "B" operándolas bajo riesgo latente de colapsos que afectaría al medio marino y la navegación.

Las plataformas con las que PEMEX cuenta, fueron reportadas en el Anuario Estadístico 2014 [6], contemplando un total de 258 plataformas instaladas desde el inicio de la década de los 60's hasta 2014, siendo esta la información publicada más reciente



hasta junio de 2017. De acuerdo a la investigación de campo realizada, el 45% aproximadamente de las plataformas petroleras fijas instaladas en México han sobrepasado la vida útil estimada, debido a esto algunas están en estado de abandono (taponamiento y desconexión de equipos) y otras siguen en etapa productiva con capacidad limitada.

Para llevar a cabo el desmantelamiento de plataformas marinas, es necesario contar con infraestructura especializada como: embarcaciones tipo barco grúa con posicionamiento dinámico para maniobras e izaje de las estructuras, embarcaciones tipo chalanes para transporte de estructuras, embarcación tipo remolcadores para movilización de la embarcación chalán. Por último, la embarcación tipo abastecedores para transporte de personal, insumos y herramientas entre otros.

ANTECEDENTES.

En los últimos 75 años, han sido escenario de un vertiginoso desarrollo tecnológico en la perforación costa fuera (offshore) y uno de los objetivos de la industria petrolera en conjuntos con los gobiernos es poder perforar en aguas profundas, sin embargo debe considerarse el retiro y/o desmantelamiento como tema de interés, implementado de forma innovadora por países petroleros ubicados principalmente en la región del Mar del Norte.

Un caso en particular que dio origen a implementar estas medidas a varios gobiernos fue el desmantelamiento de la plataforma Brent Spar, construida en 1976 fue una plataforma petrolera de 14,500 toneladas que había estado operando en el Mar del Norte, la empresa que operaba esta instalación determino en el año de 1991 que no era rentable seguirla operando [7].

Dentro de las opciones propuestas ante las autoridades británicas fueron el desmantelamiento en patio, es decir retirar la estructura del sitio y transportar la estructura a un patio para su destrucción o hundir la plataforma en una zona específica, en aguas profundas del Océano Atlántico Norte



La empresa argumentaba ante el Gobierno Británico que la segunda opción era la mejor ya que el retiro para su desmantelamiento en tierra resultaba complejo por lo que hacer un desmantelamiento en patio elevaba su costo, por ello era más fácil y económico el hundimiento de la plataforma.

Para el año de 1995 se tenía programado el hundimiento, como el sitio seleccionado estaba dentro de las aguas del Reino Unido, el Gobierno emitió una autorización para el retiro de dicha plataforma, el hundimiento implicaba un gran impacto a el medio ambiente, ya que esta sería hundida por medio de detonaciones y esta liberaría contaminantes en el mar, dada la forma de como sería hundida.

Greenpeace organizó una campaña mediática en contra de este plan; por ello abordaron y ocuparon Brent Spar, el 30 de abril de 1995, afirmando que 5.500 toneladas de petróleo estaban en dicha plataforma [7].

Esto fue la pauta para que surgiera lo que hoy se conoce como OSPAR (Convención para la Protección del Medio Ambiente Marino del Atlántico del Nordeste) [8] la cual sustituyó a dos convenios regulatorios anteriores (Convención de Oslo de 1972 [9] sobre vertidos al mar y la Convención de París de 1974 [10] sobre contaminación marina de origen terrestre) que hizo que la operación de hundimiento no procediera.

Para lograr desmantelar la plataforma Brent Spar, se tomó la decisión de remolcar y desmantelar la plataforma en Noruega y utilizar gran parte de sus estructuras para construir un muelle con rampas de carga y descarga del ferry.

Con ello los estados miembros de OSPAR (Alemania, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Islandia, Irlanda, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Portugal, Suecia, Suiza, el Reino Unido y la Unión Europea) anuncian un acuerdo sobre la eliminación en tierra de las instalaciones petroleras en el futuro para evitar impactos en el medio marino y a partir de esto, grandes empresas empiezan a darse cuenta de la importancia y responsabilidad social en sus decisiones empresariales.

En México, el desarrollo de campos costa afuera, ha adoptado la tecnología que se utilizan en otros países, en el año de 1958 se inició la explotación de yacimientos de



hidrocarburos fuera de la costa, en aguas someras del Golfo de México que sigue hasta la fecha.

Actualmente tienen nulos registros por parte de PEMEX de desmantelamientos de algunas plataformas, sin embargo uno de los pocos desmantelamientos que se han realizado en México, fue el de las plataformas marinas fijas ubicadas enfrente de la barra de Santa Ana, en el estado de Tabasco, llamadas Santa Anna A, B y C [3].

La plataforma Santa Anna A fue la primera plataforma instalada por PEMEX en el año de 1958, con un tirante de agua de 14 metros, con una estructura de 25 patas de acero y cubierta de madera, en 1961 se instalaron la Santa Anna B y C de 16 patas con cubierta de madera con un tirante de agua de 23 y 25 metros respectivamente [3].

Estas plataformas fueron desmanteladas rudimentariamente y con métodos muy ambiguos por PEMEX y pobladores de la Villa y Puerto Coronel Andrés Sánchez Magallanes del municipio de Cárdenas Tabasco, debido que afectaba las actividades de pesca y por problemas a la navegación. Actualmente se desconoce si estas estructuras se reutilizaron, se sometieron a un proceso de chatarrización o fueron saqueadas.

Los hechos citados representan un punto de partida en la investigación, ya que en México no se tiene establecido un marco legal que regule a PEMEX a implementar el desmantelamiento de algunas de sus plataformas, lo que permitirá en este trabajo generar propuestas que sean apegadas a la realidad y a leyes establecidas en órganos internacionales donde México es miembro, así como también desarrollar un análisis de costos beneficio involucrando métodos ingenieriles.

HIPÓTESIS.

El desmantelamiento de plataformas marinas fijas instaladas por Petróleos Mexicanos en el Golfo de México ayuda a la conservación y sustentabilidad del medio marino en pro de la ecología. La inexistencia de un plan de desmantelamiento no regulado por el marco legal y la falta de experiencia en el país no permite tener un método ingenieril y una evaluación económica de los costos beneficios que esto implica, además de generar daños ecológicos irreversibles



JUSTIFICACIÓN.

El desmantelamiento de plataformas marinas en la república mexicana será investigado empleando un marco teórico y fundamentado principalmente en leyes y normas nacionales e internacionales, debido a que una de las preocupaciones de muchos gobiernos a nivel internacional es preservar el medio marino, por lo que han propuesto ante la ONU (donde México es miembro activo) y a otras organizaciones que regulan las aguas marítimas como la Organización Marítima Internacional (IMO por sus siglas en inglés), normatividades que regulan las actividades en el mar con alcance a la industria petrolera, las cuales rigen a sus miembros y que son de observancia obligatoria.

Dichas normatividades hacen referencia y contemplan el desmantelamiento de plataformas marinas que han cumplido su vida útil, se encuentran en una escala de baja producción y/o que sufrieron algún daño por condiciones meteorológicas adversas o de otra índole, lo cual representan un peligro a la navegación y riesgos al medio marino por ello y apoyado en los antecedentes que se han implementado en otros países, analizando las tecnologías, maniobras utilizadas y los métodos de análisis, se busca evaluar un criterio normativo y métodos alternativos para llevar a cabo los trabajos de desmantelamiento de plataformas marinas fijas teniendo en cuenta las condiciones del Golfo de México.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Desde el año de 1958 y hasta la actualidad (2017), en México se han explotado yacimientos petroleros en aguas someras del Golfo de México por medio de la instalación de plataformas marinas para la extracción y producción de hidrocarburos, un análisis de campo reporta que hay instaladas plataformas que rebasan su vida útil con más de 30 años de operación con producción activa, a la baja o en estado de abandono, lo que representa un problema grave al medio marino, riesgo a la navegación y a las personas que laboran en dichas plataformas.

Actualmente algunos países han desmantelado algunas plataformas, con base a leyes internacionales. En México hay normas y leyes (nacionales e internacionales) que



contemplan el desmantelamiento de las instalaciones en los nuevos modelos de contratación que regulan el retiro o desmantelamiento de instalaciones existentes bajo riesgo.

La empresa del estado Petróleos Mexicanos (PEMEX) no cuenta con un programa de desmantelamiento y carecen de la visión de contemplación a futuros debido a su inestabilidad financiera, aprovechamiento desmedido de sus activos, rezago tecnológico entre otras, no importando que esto sea un peligro latente al medio marino y al personal que labora en estas.

OBJETIVOS.

OBJETIVOS GENERALES.

Analizar con base a leyes mexicanas e internacionales el finiquito de vida útil de plataformas marinas fijas instaladas por PEMEX en el Golfo de México para su desmantelamiento, debido a que representan un peligro al medio ambiente y/o a la navegación, así como adaptar procedimientos tecnológicos aplicados en los países pioneros del Mar del Norte líderes en el desmantelamiento de plataformas marinas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Identificar el marco legal nacional e internacional que regulan los desmantelamientos de plataformas marinas fijas
- Evaluar los costos beneficios de un desmantelamiento
- Analizar las tecnologías que se pueden emplear en el país para retirar la subestructura (Jacket) y la superestructura (Deck)
- Elaborar un programa maestro de desmantelamiento

Analizar las alternativas de disposición final de las plataformas marinas fijas



CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES E HISTORIA DE LAS PLATAFORMAS FIJAS

Las plataformas marinas petroleras son un conjunto de estructuras e instalaciones ubicadas en los diferentes mares y océanos para explotar petróleo o gas natural del subsuelo marino, entre las tareas que se desarrollan en estas plataformas destacan las operaciones para taladrar el subsuelo hasta alcanzar la profundidad donde se encuentra el yacimiento que los contiene (aproximadamente entre 800 a 6000 metros) , así mismo dichas estructuras ayudan para el control de la producción, procesamiento primario o canalización de los hidrocarburos extraídos y/o sus derivados, en la figura 1 se puede apreciar una plataforma marina de tipo fija [11].



Figura 1. Plataformas marinas fijas.

Montar todos los segmentos de las plataformas petrolíferas puede durar aproximadamente entre 3 a 5 semanas dependiendo su grado de complejidad. Una vez instalada la plataforma se colocan los equipos necesarios para realizar las actividades para la que fue diseñada. Cabe señalar que las instalaciones de las plataformas petrolíferas son sumamente complejas y robustas para poder soportar las peores condiciones climatológicas, los enormes embates del oleaje marino y soportar la maquinaria tan potente que albergan para poder extraer el petróleo y/o gas natural del subsuelo marino o para su procesamiento [3].



Las plataformas marinas pueden ser de tipo fijas, autoelevables y semisumergibles, destacando su importancia en la exploración y producción de gas natural y/o petróleo, aunque han ido surgiendo otras funciones como aprovechamiento de la energía del mar, aeropuertos, soportes de aerogeneradores, base de edificios, etc. Para todas estas funciones se pueden aplicar los mismos principios de diseño y construcción.

En México solamente se tienen instaladas plataformas marinas de tipo fijas, las cuales son objeto de nuestro estudio [3]. En el país no se cuenta con la tecnología para poder diseñar, construir, instalar y operar otro tipo de plataformas, además que por decreto gubernamental hasta antes del 2014 las empresas privadas no podían explotar los hidrocarburos de la nación, siendo exclusivamente PEMEX la única empresa del estado autorizada para la explotación de estos [12].

Sin embargo, a falta de capacitación del personal en la tecnología especializada para la exploración y explotación, así como obtener financiamiento para poder perforar en aguas profundas es necesario la utilización de plataformas tipo semisumergibles, con tecnología de punta para su construcción, instalación y operación. Es por ello que solamente se tienen instaladas plataformas fijas en México.

Un dato relevante es que se considera que las precursoras de las plataformas modernas fueron las fortalezas marinas Maunsell (ver figura 2) que son unas torres fortificadas de pequeño tamaño que fueron construidas en los estuarios de los ríos Támesis y Mersey durante la Segunda Guerra Mundial [13].

Fueron diseñadas por el ingeniero civil británico Guy Maunsell, erigidas en 1942 para complementar las defensas del Reino Unido durante la Segunda Guerra Mundial. Fueron construidas con hormigón y emplazadas en su sitio con la ayuda de barcos, estaban equipadas con cañones antiaéreos y radares. Fue hasta el año de 1950 cuando fueron desmantelados un grupo de torres, sin embargo en 2005 fueron anunciados los planes de conservación por lo que algunas aún siguen en pie [13].



Figura 2. Fortalezas marinas Maunsell.

1.1. TIPOS DE PLATAFORMAS Y SU UTILIZACIÓN

Este apartado, trata de distinguir y describir los tipos de plataformas existentes, para ello se clasificarán en dos bloques. El primero lo distinguiremos por su funcionalidad (ver figuras 5 - 11) y el segundo por su forma de posición y/o soporte (ver figuras 12 - 14), esto no quiere decir que sean diferentes, simplemente es para distinguir que una plataforma puede ser de perforación fija o de perforación autoelevable, por mencionar algunos.

Para conocer el tipo de plataformas que existen, primero se debe conocer los tipos de profundidades a que se encuentra el lecho marino en las aguas de los mares, a estas profundidades también se le conoce como tirante de agua. En nuestro caso de estudio, PEMEX de acuerdo a la norma de referencia vigente NRF-037-PEMEX-2012 [14], en el apartado de definiciones, menciona lo siguiente:

“Aguas someras: Se refiere al tirante de agua menor a los 500 metros.

Aguas profundas: Se refiere al tirante de agua que está en el rango de los 500 a los 1500 metros.

Aguas ultra profundas: Se refiere al tirante de agua mayor a los 1500 metros. “

En la figura 3 se muestra de manera visual los tirantes de agua mencionados en la NRF-037-PEMEX-2012.

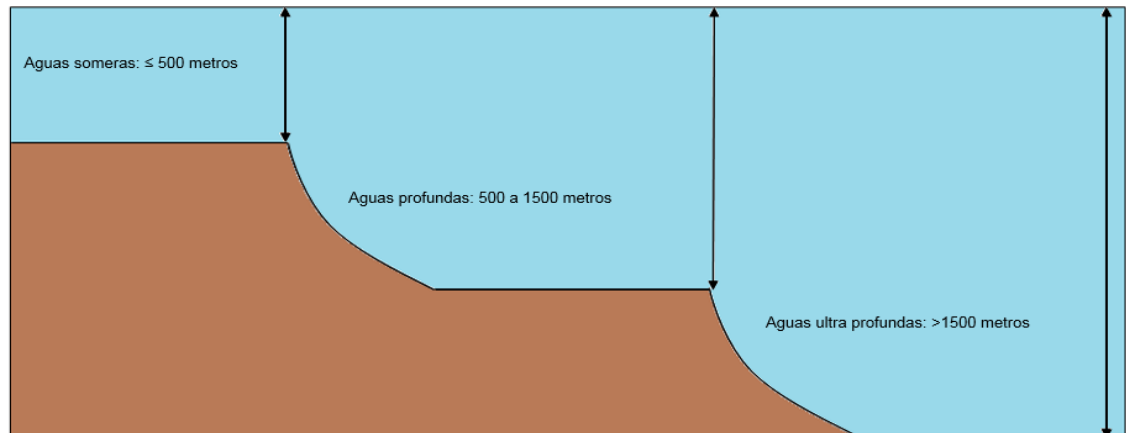


Figura 3. Tirantes de agua.

PEMEX utiliza diferentes tipos de plataformas para la perforación de pozos, por lo que la tecnología depende de la geología en cada una de las zonas petroleras y la profundidad de cada yacimiento, la mayoría de los pozos que se han perforado han sido en aguas someras, mientras que la perforación en aguas profundas apenas está en la etapa de exploración, por ello es que en nuestro país las plataformas instaladas son de tipo fijas, las cuales son conformadas por diferentes números de columnas o patas, clasificándose en diferentes tipos; trípodos (3 patas), tetrápodos (4 patas), hexápodos (6 patas) y octópodos (8 patas).

Están integradas por dos grandes estructuras, una se le denomina subestructura (JACKET) y a la otra Superestructura (DECK), ver figura 4 [15], esta última podrá estar compuesta por una o más cubiertas, según la función a desempeñar y el diseño de su construcción.

La subestructura dependiendo del tirante de agua donde será instalada, será la longitud que tendrán sus piernas y es la que será sumergida hasta el lecho marino, de la cual sobresale de la superficie o espejo de agua del mar aproximadamente 6 metros, para poder interconectar o montar con la estructura conocida como superestructura.

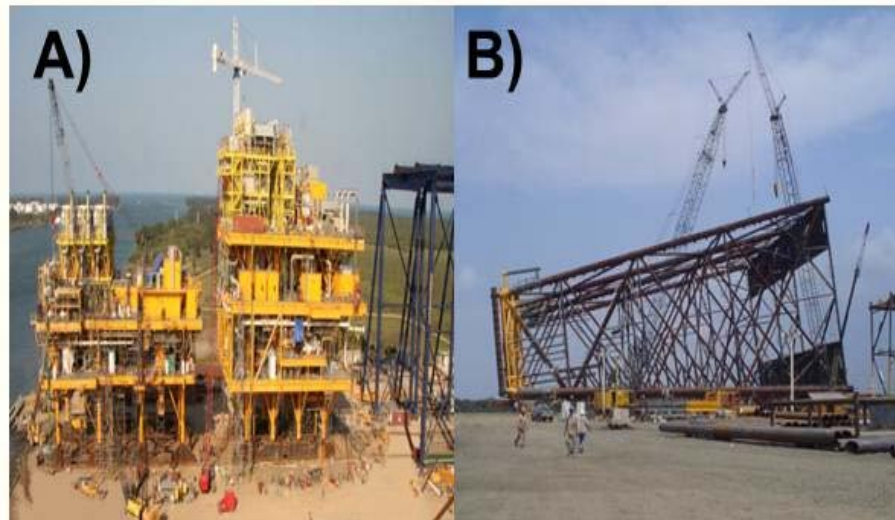


Figura 4. A) Deck (superestructura) y B) Jacket (subestructura), ambas en patio de maniobras.

1.1.1. PLATAFORMAS MARINAS QUE DESTACAN POR SU FUNCIONABILIDAD

Podemos mencionar que las plataformas marinas en base a su función se dividen en [11]:

- Plataforma de perforación: La función principal de esta plataforma es la perforación de los pozos y la distribución del crudo por medio de líneas submarinas, es decir la línea de descarga de los pozos se conecta directamente al cabezal colector general, sin que exista ningún tendido submarino como en las otras, ver figura 5 [16].



Figura 5. Plataforma de perforación.



- Plataforma de producción: En estas se efectúa la separación y medición del gas y aceite mediante equipos de bombeo para enviar el crudo, a los centros de distribución, almacenamiento o refinación. Por lo general en el campo, los complejos de producción contienen de dos a tres plataformas de producción, dependiendo del volumen de aceite que sea necesario manejar, ver figura 6 [17].



Figura 6. Plataforma de producción.

- Plataforma de enlace: En esta plataforma se concentran las llegadas de los oleoductos y gasoductos, los cuales se conectan al cabezal colector general que tiene la función de distribuir el aceite hacía las plataformas de producción. También, salen las tuberías por las que se envía el aceite ya procesado (oleoductos). Adicionalmente, en esta plataforma se encuentran instaladas las trampas para recuperar o enviar los dispositivos mecánicos (diablos), utilizados en la limpieza y/o inspección de los ductos submarinos, ver figura 7 [18].



Figura 7. Plataforma de enlace.



- Plataforma de compresión: Esta plataforma contiene el equipo necesario para manejar y enviar el gas natural obtenido en el proceso de separación del aceite a las plantas de procesamiento de gas y almacenamiento. Cabe señalar que en los complejos de plataformas marinas, se manejan quemadores de gas, en estos se incinera el gas residual o remanente del proceso de separación, ver figura 8 [19].



Figura 8. Plataforma de compresión.

- Plataforma habitacional: Como su nombre lo indica, es una plataforma acondicionada para que los trabajadores permanezcan con la mayor comodidad posible fuera de sus horas de labores, ver figura 9 [20].



Figura 9. Plataforma Habitacional.

- Plataforma de rebombeo: su función es de restablecer la presión necesaria al flujo para que este mantenga la velocidad y presión requerida para que el fluido (aceite crudo), llegue a las terminales de almacenamiento, proceso o punto de venta, ver figura 10 [21].



Figura 10. Plataforma de rebombeo.

- Plataforma de inyección: Su función es el de inyectar agua presurizada, gas o nitrógeno a través de pozos a los estratos productores de crudo cuya producción ha sido disminuida, esto se hace con el fin de que el crudo salga a la superficie con una mayor presión, ver figura 11 [22].



Figura 11. Plataforma de inyección.

1.1.2. PLATAFORMAS MARINAS QUE DESTACAN POR SU POSICIONAMIENTO O SOPORTE

Podemos mencionar que las plataformas marinas en base a posicionamiento o soporte se dividen en [11]:

- Plataformas Fijas: Fueron las primeras unidades utilizadas. Han sido las preferidas en los yacimientos localizados en tirantes de agua de hasta 200 metros de profundidad. Generalmente, se componen de estructuras modulares de acero, instaladas en el lugar de operación con pilotes hincados en el fondo marino, siendo proyectadas para recibir todos los equipos de perforación, almacenaje de



materiales, alojamiento del personal, así como todas las instalaciones necesarias a la producción de los pozos, ver figura 12 [23].



Figura 12. Plataforma Fija.

- Plataformas autoelevables: Se componen básicamente de una balsa equipada con una estructura de apoyo o piernas que, accionadas de forma mecánica o hidráulica, son sumergidas hasta alcanzar el fondo del mar. En seguida, se inicia la elevación de la plataforma sobre el nivel del agua, a una altura segura y fuera de la acción de las olas. Estas plataformas son móviles, pueden ser transportadas por remolcadores o por propulsión propia. Se destinan a la perforación de pozos exploratorios en la plataforma continental, en tirantes de agua con una profundidad que varía de 5 a 130 metros, ver figura 13 [24].



Figura 13. Plataforma autoelevable.

- Plataformas semisumergibles: Las plataformas semisumergibles están compuestas de una estructura con una o varias cubiertas, apoyada en flotadores sumergidos. Los tipos de sistema responsables de la posición de la unidad flotante son dos: el sistema de anclaje y el sistema de posicionamiento dinámico. El sistema de anclaje



se compone de 8 a 12 anclas y cables y/o cadenas que actúan como resortes y producen esfuerzos capaces de restaurar la posición de la plataforma flotante cuando ésta es modificada por la acción de las olas, vientos y corrientes marinas. En el sistema de posicionamiento dinámico no existe una conexión física de la plataforma con el lecho del mar, excepto la de los equipos de perforación, ver figura 14 [25].



Figura 14. Plataforma semisumergible.

1.2. PRIMERAS PLATAFORMAS INSTALADAS EN MÉXICO

PEMEX fue fundado en el año de 1938, para encargarse de manejar todo lo relacionado con hidrocarburos, creando infraestructura para el aprovechamiento y explotación de estos en el país. A partir del año 2014 se convirtió en una empresa productiva del estado (anteriormente era denominada como una entidad paraestatal) [12].

Una de las primeras plataformas fijas instaladas fueron las llamadas Santa Ana “A”, fue instalada en 1958 en las aguas del Golfo de México, frente a la barra de Santa Ana perteneciente al municipio de Cárdenas, en el estado de Tabasco [3], posteriormente a finales de 1960 se perforaron e instalaron varias plataformas en el campo Tiburón, al norte de la barra de Tuxpan, en el estado de Veracruz [26]. En esas fechas también se instalaron varias plataformas frente a la barra del río Cazonas, en el estado de Veracruz, donde se perforaron los pozos Atún, Bagre, Morsa y Escualos (actualmente algunos campos de estos todavía están en producción) y frente a las costas de Tampico, en la desembocadura del río Pánuco, se perforaron e instalaron algunas plataformas en los pozos Arenque y Marsopa [26].



Para el año de 1978 se instalaron varias plataformas fijas de perforación en los campos AKAL, BAKAB y CHAC, después se perforó el campo NOHOCH, los cuales integran el complejo Cantarell (ver figura 15) en la sonda de Campeche [27]. Como la explotación era intensiva en los campos mencionados, se estableció un programa de construcción de diez plataformas fijas de perforación, instalándose la primera en noviembre de 1978 en el campo AKAL-C, en un tirante de 44 metros, marcando el inicio de la edificación de las plataformas instaladas en la Sonda de Campeche [28].



Figura 15. Complejo Cantarell.

La tecnología empleada para la perforación e instalación de esas plataformas era la misma en todas ellas, adquirida por firmas extranjeras y con el apoyo de empresas mexicanas como facilitadoras para desarrollar actividades, ya que para principio de la década de los 60's nuestro país no contaba con los equipos adecuados para poder lograr dichas instalaciones. Es importante destacar que en la explotación de la Sonda de Campeche se realizó en poco tiempo la perforación, explotación y transporte de crudo a tierra mediante la instalación de plataformas de perforación, de producción, de enlace y tendido de tuberías subacuáticas [3].

1.3. DESARROLLO DE LOS PRIMEROS CAMPOS PETROLEROS MARINOS Y LA NECESIDAD DE INSTALAR INFRAESTRUCTURA MARINA PARA LA EXPLOTACIÓN DEL PETRÓLEO

Como se mencionó en el apartado 1.2, desde el año de 1958 se empezó a explorar costa afuera, pero el mayor campo petrolero descubierto hasta la fecha en nuestro país es el Complejo Cantarell y fue considerado uno de los más importantes a nivel mundial,



ubicándose en segundo lugar, tan sólo superado por el Complejo Ghawar, en Arabia Saudita.

Este campo fue descubierto en 1968, cuando el pescador Rudesindo Cantarell descubrió una mancha de aceite que brotaba de las profundidades del mar a 85 km de las costas de Ciudad del Carmen en el estado de Campeche informando a ingenieros de PEMEX sobre el hallazgo, sin embargo hasta el año de 1971 que el campo fue explorado y en 1978 comenzó a operar el primer pozo de producción, el cual fue llamado CHAC [28].

Cantarell fue la pauta para que PEMEX iniciara la exploración y producción costa afuera, siendo esto un gran reto para PEMEX debido a que el país no contaba con la tecnología para fabricar infraestructura marina, por ello es que se utilizó ingeniería extranjera para fabricar las instalaciones que componen Cantarell [3].

Hasta la fecha PEMEX sigue licitando la fabricación e instalación de estas estructuras, en las cuales se establecen las características, memorias de cálculos, normatividades, certificados de seguridad, etc., que el fabricante debe de cumplir para la construcción de cada plataforma solicitada por PEMEX, ya que nuestro país no tiene la tecnología, los equipos y el personal capacitado para fabricar e instalar este tipo de estructuras.

En 60 años PEMEX ha consolidado una gran infraestructura marina para satisfacer la demanda de hidrocarburos, pero hasta hace unos 8 años atrás las reservas que están a tirantes de agua menores a 200 metros su producción ha ido a la baja, por ello PEMEX tiene un reto, el de explorar y perforar en tirantes mayores a 200 metros, sin embargo no debe pasar por alto el desmantelamiento de estas estructuras, por lo que al no contar con la infraestructura necesaria tendrá que generar convenios con otros países aportadores de tecnologías mediante licitaciones o trabajo en conjunto.



CAPÍTULO II

2. MARCO LEGAL Y NORMATIVIDAD QUE REGULAN EL DESMANTELAMIENTO Y/O ABANDONO DE LAS PLATAFORMAS MARINAS

En nuestro país a finales del año 2013 dada la reforma constitucional en materia de energía, abre el sector energético para que empresas privadas puedan realizar las actividades de exploración, explotación, extracción y procesamiento de hidrocarburos, las cuales PEMEX ha realizado durante 80 años, limitándose solamente a adjudicar dichas actividades, mediante procedimientos de licitación pública con participación de empresas nacionales y/o extranjeras, formalizando contratos de prestación de servicios y una vez terminados los trabajos, se encarga de operar, mantener y administrar los proyectos [12].

Con esta reforma se creó la Ley De Hidrocarburo [29], esta deroga la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en el Ramo del Petróleo [30] que fue aprobada en 1958 y durante casi 56 años reguló las actividades petroleras en México, la cual en su artículo 15 Ter, contemplaba que si una instalación petrolera representa un peligro se tienen que tomar acciones de suspensión, clausura u ordenar el desmantelamiento de las instalaciones siendo el Gobierno Federal el encargado de regular esas acciones hasta su derogación. Actualmente se desconoce si se han llevado a cabo desmantelamientos de plataformas debido a que no hay registros que lo corroboren.

Con la aprobación de la Ley del Hidrocarburo, se creó una dependencia del poder ejecutivo federal, la Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH) [31], la cual es la encargada de hacer valer esta ley, para el caso de desmantelamiento se tiene estipulado en los artículos 43 fracción C y 116.

Debido a que PEMEX, es la única empresa petrolera en el país, elabora sus propias normas y reglas, tomando como referencia a las normas internacionales y en apego a las leyes ambientales y gubernamentales vigentes en el país, fueron establecidas las siguientes cláusulas:



“Petróleos Mexicanos, como empresa productiva del estado, está obligada al cumplimiento de la Ley de Petróleos Mexicanos y su Reglamento así como elaborar, actualizar y aplicar sus propias Disposiciones Administrativas de Contratación, sus Lineamientos Generales y sus Políticas y Lineamientos para Procura y Abastecimiento” [32].

Para que Pemex pueda realizar sus normas lo hace bajo la siguiente premisa establecida en sus normas de referencias: *“Con fundamento en el artículo 67 de la Ley Federal Sobre Metrología y normalización, las Normas de Referencia son las que elaboran las entidades de la administración pública federal (PEMEX, CFE etc.), en aquellos casos en que las normas mexicanas o internacionales, no cubran sus requerimientos, o bien las especificaciones que se contengan se consideren inaplicables u obsoletas, cuando dichas entidades requieran adquirir, arrendar o contratar bienes o servicios” [32].*

El marco legal para PEMEX son los siguientes documentos legales, la Ley de Petróleos Mexicanos [33], el Reglamento de la Ley de Petróleos Mexicanos [34] y las Disposiciones Generales de Contratación [35].

Para el caso de estudio, el marco legal serán las leyes ambientales tanto nacionales como internacionales, leyes gubernamentales vigentes a nivel nacional, leyes, normas y/o convenios de organizaciones internacionales en las cuales México es miembro y regulan el desmantelamiento de plataformas marinas de cualquier tipo.

Por ello, la información contiene los argumentos de ley que dan sustento y certidumbre jurídica al caso en estudio, para sustentar con base a ellas la implementación del desmantelamiento de plataformas en México.

2.1. LEGISLACIÓN Y REGULACIÓN EN MÉXICO PARA EL DESMANTELAMIENTO DE INSTALACIONES PETROLERAS MARINAS

Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en el Ramo del Petróleo [30], la cual fue derogada tenía contemplado el desmantelamiento de plataformas, es decir que desde 1958 se debe desmantelar una instalación petrolera costa afuera cuando está



represente un peligro, sin embargo esta ley no tenía contemplado un organismo que regulara y supervisara lo relacionado con el sector petrolero, por lo que esta responsabilidad recaía en el Gobierno Federal.

Sin embargo, en la Ley de Hidrocarburos [29], en su artículo 1 habla de la propiedad de la nación en materia de hidrocarburos y lo dispuesto para el Derecho del Mar, de la Convención de las Naciones Unidas Sobre el Derecho al Mar sobre los yacimientos transfronterizos.

Mientras que el artículo 4, fracción V, define que la “asignación” es un *“acto jurídico administrativo mediante el cual el Ejecutivo Federal otorga exclusivamente a un Asignatario el derecho para realizar actividades de exploración y extracción de hidrocarburos en el área de asignación, por una duración específica.”*

En el mismo artículo pero en la fracción IX, define que un “contrato” es un *“Acto jurídico que suscribe el Estado Mexicano, a través de la Comisión Nacional de Hidrocarburos, por el que se conviene la exploración y extracción de hidrocarburos en un área Contractual y por una duración específica”*

En el término “extracción” plasmado en el artículo 4, fracción XV de la ley mencionada anteriormente, lo define como: *“Actividad o conjunto de actividades destinadas a la producción de hidrocarburos, incluyendo la perforación de pozos de producción, la inyección y la estimulación de yacimientos, la recuperación mejorada, la recolección, el acondicionamiento y separación de hidrocarburos, la eliminación de agua y sedimentos, dentro del área contractual o de asignación, así como la construcción, localización, operación, uso, abandono y desmantelamiento de instalaciones para la producción.”*

En cambio, en el artículo 43 fracción 1C contempla el desmantelamiento en futuras instalaciones petroleras, sean instalas por PEMEX o por empresas privadas.

A partir de la aprobación de la Ley de Hidrocarburos se creó la Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente (ASEA) [36], esta es descentralizada de la Secretaría de



Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) [37] y cuenta con autonomía propia encargándose de regular y supervisar la seguridad en protección del medio ambiente en las actividades del sector hidrocarburos, gozando de amplias facultades e independencia técnica.

El principal objetivo de esta agencia es: *“Regular y supervisar en materia de seguridad industrial, operativa y de protección del medio ambiente, las instalaciones y actividades del sector hidrocarburos, incluyendo las actividades de desmantelamiento y abandono de instalaciones, así como el control de residuos”* [36].

Todas las plataformas instaladas que existen en México, fueron y están siendo explotadas por PEMEX, por ello si desea desmantelarlas, se debe de realizarlo en conjunto con la ASEA, SEMARNAT y CNH, siendo estas tres Instituciones de Gobierno las que pueden obligar a realizar dichas acciones.

La ASEA, también dispone de su propia ley (Ley de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos) [38], así como sus propios lineamientos (Disposiciones Administrativas de Carácter General que Establecen los Lineamientos en Materia de Seguridad Industrial, Seguridad Operativa y Protección al Medio Ambiente para Realizar las Actividades de Reconocimiento y Exploración Superficial, Exploración y Extracción De Hidrocarburos) [39].

De los dos marcos legales anteriores, el que especifica con detalles los motivos de desmantelamientos son los lineamientos. En el capítulo I, artículo 2, fracción XIV de los lineamientos define el desmantelamiento de la siguiente manera; *“Actividad en la que se realiza la remoción total o parcial, el desarmado y desmontaje en el sitio o la reutilización y disposición segura de equipos y accesorios de una instalación.”*

En el artículo 10, menciona que se requieren análisis de riesgos, tanto desde el diseño hasta el desmantelamiento, el artículo 26 hace énfasis en realizar bitácoras en las etapas de instalación, operación y desmantelamiento, el artículo 66 de que se debe



verificar la integridad mecánica de sus instalaciones en las etapas de construcción, operación, mantenimiento, cierre, desmantelamiento y abandono.

Por otro lado en el capítulo X estipulan los requisitos que deben de presentarse previo al inicio y desarrollo del cierre de la instalación (desmantelamiento y abandono), en este apartado menciona los requisitos para el taponamiento y la devolución del área de asignación.

La ley de la ASEA sólo habla de las sanciones y de las facultades que tiene sobre la seguridad industrial y ambiental, sin embargo en los artículos de la Ley de Hidrocarburos mencionados anteriormente muestra los alcances aplicables de forma estricta y rigurosa para monitorear las actividades de desmantelamiento, evitando así el incumplimiento.

Analizando estos artículos de los lineamientos y leyes mencionadas, se estipula que el desmantelamiento de plataformas marinas en futuras instalaciones debe venir contemplado en el contrato que se celebra a la hora de asignación de actividades de exploración y extracción para todas las plataformas que sean instaladas desde la publicación de la Reforma Energética 2013 en el Diario Oficial De La Federación.

Debido a la carencia de especificaciones para el desmantelamiento de instalaciones que fueron puestas en operación antes de dicha reforma, el marco legal enunciado si puede aplicarse para este caso cuando representen riesgo al medio marino, a la navegación y/o que el pozo este declarado improductivo.

A pesar de existir organismo nacionales especializado como la CNH y la ASEA en el área de hidrocarburos, que va desde la instalación de infraestructura para exploración, producción hasta el abandono y desmantelamiento, el Gobierno Federal en conjunto con la SEMARNAT no muestra evidencias de regulación ni supervisan el cumplimiento de los lineamientos enfocados en el desmantelamiento, lo anterior se asume a la falta de registros públicos para corroborar esta información, ya sea por falta de difusión, negligencia corporativa y/o gubernamentales, falta de tecnología, recursos económicos y falta de experiencia de la empresa PEMEX sobre ese tema.



2.2. REGULACIÓN INTERNACIONAL PARA EL DESMANTELAMIENTO DE INSTALACIONES PETROLERAS MARINAS EN ORGANIZACIONES DONDE MÉXICO ES MIEMBRO ACTIVO

En el ámbito internacional, el organismo más importante es la Organización de las Naciones Unidas (ONU) [40], esta se encarga de facilitar la cooperación de los países miembros en asuntos como el derecho internacional, la paz y seguridad internacional, el desarrollo económico y social, los asuntos humanitarios, los derechos humanos, etc. Para nuestro objeto de estudio, la seguridad marítima es el tema a seguir, y por ello la ONU tiene un organismo especializado en este ámbito el cual es la Organización Marítima Internacional (OMI) [41].

México al ser miembro de Naciones Unidas, también es miembro de OMI, ambas organizaciones tienen sus propios convenios y resoluciones, para el caso de desmantelamiento de plataformas marinas estos son aplicados y están mencionados más adelante.

Un principio fundamental de la seguridad marítima es la libertad de navegación en los mares, por ello las estructuras de las plataformas marinas colocadas sobre el lecho marino pueden interferir y crear un peligro a la navegación a esto se le considera como contaminación marina. Esto está regulado con base a lo establecido por la CONVEMAR (Convención De Las Naciones Unidas Sobre El Derecho Al Mar) [42], también conocida como UNCLOS (United Nations Convention on the Law of the Sea) en su artículos 1 fracción 4 y 5.

Sin embargo, en su artículo 60 fracción 3, hace mención al desmantelamiento mencionado lo siguiente:

“Las instalaciones o estructuras abandonadas o en desuso serán retiradas para garantizar la seguridad de la navegación, teniendo en cuenta las normas internacionales generalmente aceptadas que haya establecido a este respecto a la organización internacional competente. A los efectos de la remoción, se tendrán también en cuenta la pesca, la protección del medio marino y los derechos y obligaciones de otros Estados.”



Se dará aviso apropiado de la profundidad, posición y dimensiones de las instalaciones y estructuras que no se hayan retirado completamente.”

Recapitulando la parte que menciona que se debe tener en cuenta las normas internacionales respecto a la organización internacional competente, por lo que esta recae en la OMI, la cual en las Directrices de la Organización Marítima Internacional RESOLUCIÓN A. 672 (16) [4], habla sobre los requisitos y motivos del porque se deben desmantelar las plataformas marinas basadas en sus características y año de instalación, las cuales se estipulan en su apartado 3 y dice lo siguiente:

“Las siguientes normas deben tenerse en cuenta cuando se adopte una decisión sobre la remoción de una instalación o estructura mar adentro:

Todas las instalaciones o estructuras abandonadas o en desuso situadas en menos de 75 metros de agua y Menos de 4000 toneladas en el aire, excluidas la cubierta y la superestructura, Totalmente eliminado.

Todas las instalaciones o estructuras abandonadas o en desuso colocadas en el fondo del mar a partir del 1 Enero de 1998, situándose en menos de 100 m de agua y pesando menos de 4000 toneladas en el aire, Excluyendo la cubierta y la superestructura. Totalmente eliminado

La eliminación debe realizarse de tal manera que no produzca efectos adversos significativos sobre la navegación o el medio marino.

Los detalles de la posición y las dimensiones de las instalaciones que queden después de las operaciones de retirada deberán ser notificados sin demora a las autoridades nacionales competentes y a una de las autoridades hidrográficas internacionales. Los medios de remoción o remoción parcial no deben causar un efecto adverso significativo sobre los recursos vivos del medio marino, especialmente las especies amenazadas y en peligro de extinción.”

Otra regulación internacional es la Convención de Ginebra [43], la cual aprobó que sobre la plataforma continental, se debe abandonar totalmente una instalación petrolera,



haciendo mención a la soberanía que tiene un país sobre sus mares, lo cual está especificado en su artículo 5 fracción 5 y menciona lo siguiente: *“el estado ribereño, (el país donde se encuentra la plataforma continental y que ejerce su soberanía en la exploración y explotación de sus recursos naturales) que si la instalación está en desuso o abandonada debe ser suprimida.”*

Estas regulaciones son claras en el tema de desmantelamiento y funcionan como marco legal para cualquier país del cual sea miembro, ya que están respaldadas por Naciones Unidas.

Este marco legal surge debido a que los océanos cubren las dos terceras partes de la superficie de la tierra, por lo que desde el año de 1960 se ha dado una mayor importancia a su protección, convirtiéndose en una de las preocupaciones de la ONU, la cual es muy estricta con sus miembros específicamente en las actividades que conlleva la industria petrolera siendo esta una de las que más generan contaminación que muchas veces puede llegar a un estado irreversible, aunque es altamente penalizado la contaminación del medio marino por asociaciones en pro del medio ambiente, un recurso monetario no resuelve el daño ecológico ni sus repercusiones a través del tiempo.

A pesar de que existen estas regulaciones, son pocos países que han implementado en sus gobiernos el desmantelamiento de plataformas marinas, siendo los países miembros de la OSPAR [8], los que han desmantelado algunas plataformas.

En esos países el proceso de desmantelamiento suele llevarse a cabo después de que en la plataforma se ha realizado el taponamiento y abandono del pozo productor o ha dejado de ser productivo, por lo que en conjunto con las agencias reguladoras pertinentes y el operador de la plataforma toman la decisión de abandonar el campo y desmantelar la infraestructura.

A diferencia de México, las compañías petroleras en los países miembros de OSPAR están legalmente obligadas a presentar ante el gobierno, un plan de desmantelamiento entre 2 a 5 años antes de cesar las operaciones de la plataforma.



Las OMI en sus Directrices Relativas a la Colocación de Arrecifes Artificiales [44] regula, normaliza y establece las condiciones en las cuales deja a criterio del responsable de dichas estructuras que deben de presentar ante la autoridad competente para inducción como arrecife artificial y una serie de requisitos como; determinación y caracterización del lugar del vertimiento, impactos potenciales sobre el medio ambiente, viabilidades técnicas, estudios de contaminantes entre otros para verificar y evaluar su viabilidad, esto bajo las premisas de la soberanía que un país tiene sobre las 200 millas náuticas estipuladas por la CONVEMAR, esta opción se cree que podría ser viable y con un bajo costo, debido a que no se desmantela la plataforma en su totalidad por lo que tendrá que ser evaluada para verificar sus alcances

Estas legislaciones sólo lo sugieren, sin embargo actuar de una forma consiente con el medio marino tendría que determinar que este proceso debería ser de forma obligatoria con algunas alternativas de utilizar las estructuras bajo el lecho marino como un arrecife artificial, debido a que desde que la plataforma está instalada se empieza a crear vida marina a sus alrededores, desmantelarla en su totalidad propicia un impacto a la fauna y flora marina.

2.3. NORMAS MEXICANAS VIGENTES APLICABLES

A pesar de que existen sustentos legales que permiten el desmantelamiento, en la actualidad en México como tal no se tiene bien definido un marco legal que regule el desmantelamiento de plataformas petrolera costa afuera.

Sin embargo, existen ciertos organismos en México en los cuales las autoridades gubernamentales han legislados normas y leyes para el sector petrolero a partir del marco legal internacional, los cuales indirectamente pueden tener cierto peso en el desmantelamiento de instalaciones marinas.

Actualmente la encargada en nuestro país de todo lo relacionado con el medio ambiente es la SEMARNAT [37], en especial en el ámbito petrolero la encargada de regular impactos ambientales en aguas marinas, por actividades de exploración,



perforación, producción, mantenimiento, abandono y retiro de instalaciones petroleras es la NOM-149-SEMARNAT-2006 [45] , en su apartado 5.4 menciona lo siguiente:

“5.4 Abandono del pozo marino

5.4.1 El proceso de abandono de un pozo petrolero marino debe contemplar el taponamiento del pozo y, en su caso, el retiro de la infraestructura de perforación del sitio.

5.4.2 Las acciones de taponamiento se deben efectuar conforme al Reglamento de Trabajos Petroleros y deben realizarse al término de la vida útil de un pozo, suspensión temporal de actividades del mismo y cuando el pozo no puede ser explotado ni empleado para otros fines.”

La SEMARNAT contempla el abandono y retiro de instalaciones petroleras aplicables para todas las instalaciones marinas existentes en México, mientras que las leyes derivadas de la reforma decretada en el año 2013 contemplan en algunos de sus apartados lo mencionado anteriormente, aplicables para plataformas instaladas un día después de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

Dicha reforma está más enfocada a las actividades de exploración y extracción de hidrocarburos mediante asignaciones a empresas productivas del Estado o a través de contratos con estas o con particulares, es decir no tocan mucho el tema de desmantelamiento.

Sin embargo, PEMEX, cuenta con una norma enfocada en ello, fue aprobada en el año 2013 y es la norma de referencia NRF-294-PEMEX-2013 [2], la cual en su introducción enfatiza lo siguiente:

“La recuperación, desmantelamiento y abandono de plataformas marinas, surge como parte de las necesidades operativas de PEMEX, en cumplimiento con las medidas en materia de seguridad y de protección ambiental que rigen en territorio mexicano, de acuerdo a lo establecido en la normatividad mexicana e internacional vigente, siendo esta la premisa. Esta Norma de Referencia se establece de acuerdo al marco técnico



normativo regulatorio emitido por la Ley Federal de Metrología y Normalización y su Reglamento”.

Algo importante que mencionar es que en el apartado “Campo de Aplicación” dice lo siguiente: *“Esta Norma de Referencia es de aplicación general y observancia obligatoria en la adquisición o contratación de los servicios objeto de la misma, que se lleven a cabo en los centros de trabajo de PEMEX, por lo que debe ser incluida en los procedimientos de contratación, licitación pública, invitación a por lo menos tres personas o adjudicación directa, como parte de los requisitos que debe cumplir el proveedor o contratista o licitante.”*

Con estos lineamientos tanto PEMEX como sus filiales o empresas privadas que instalen plataformas marinas tienen la obligación de desmantelar esas instalaciones de acuerdo con lo que dice el capítulo 8 de esta norma, la cual hace mención de la ingeniería aplicable, permisos, análisis y lineamientos que se debe de entregar a PEMEX y a organismos subsidiarios debido a que este en conjunto con las dependencias competentes son los únicos que pueden autorizar un desmantelamiento.

En el capítulo 10, dicha norma menciona que no tiene concordancia con normas nacionales e internacionales, esto puede deberse a que no se utilizó algunas normas como base para su conformación, debido a que fue elaborada con ayuda de empresas e institutos con experiencia en instalaciones petroleras, las cuales se citan en la introducción de dicha norma.

Actualmente PEMEX, al detectar que sus plataformas no son productivas solamente procede al taponamiento y abandono de los pozos sin llegar a ejecutar el desmantelamiento, limitándose a colocar en algunos casos señales preventivas y dando aviso a las dependencias competentes (SEMARNAT, CNH, Secretaria de Marina, etc.).

A pesar de que se hace mención el desmantelamiento como una opción, dichas normas y leyes simplemente mencionan, especifican o establecen los grados de contaminación permitidos en aguas marinas, clasificación de residuos peligrosos, transporte de residuos contaminantes, taponamiento de pozos, retiro de infraestructuras



de perforación, etc., en nuestro caso de estudio, no está bien claro las causas, procedimientos o eventos que obliguen a que una plataforma sea desmantelada, esto surge por la ambigüedad y/o falta de una norma o ley que enfocada exclusivamente el desmantelamiento de las plataformas marinas.

Esto no exime de responsabilidades al Gobierno Mexicano de exigir a PEMEX el realizar las actividades de desmantelamiento de sus instalaciones que representen un peligro a la navegación y/o al medio marino, por lo que si cuenta con una norma elaborada por PEMEX, el gobierno tiene la facultad de decretar una ley basada en dicha norma y complementarla con el marco legal internacional para que funja como un marco legal obligatorio aplicable para toda empresa que llevo, lleva y llevara a cabo instalaciones de plataformas para que al término de su vida útil sean obligadas a retirar y desmantelar las estructuras petroleras instaladas costa afuera, con el fin de garantizar el bienestar ambiental protegiendo la flora y fauna marina.



CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA APLICADA PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS

En este capítulo se describe la forma en que la información será recabada con el fin de poder cumplir los propósitos planteados en los objetivos de estudio mediante una investigación de campo, justificando el porqué de la investigación y los procedimientos a seguir para la obtención de la información.

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Una investigación se divide en cuatro tipos de estudios, de acuerdo a los autores Hernández, Fernández y Baptista [46], dichos estudios son de tipo:

- Exploratorio: Pretende obtener información sobre un tema o problema poco explorado o estudiado, cuando los recursos para realizar una investigación resultan insuficientes para profundizar más, los resultados obtenidos sirven de apoyo a la investigación.
- Descriptivo: También conocida como la investigación estadística, tiene como finalidad conocer las situaciones o actitudes a través de la descripción exacta de propiedades y características en objetos, personas, poblaciones o procesos para ser sometidas a un análisis mediante la medición y evaluación de diversos aspectos, dimensiones o componentes de las variables del tema o problema a investigar de manera independiente o conjunta sin indicar como se relacionan entre ellas.
- Correlacional: Su objetivo está enfocado a evaluar el grado de relación o asociación de una o más variables para responder la posible causa de eventos, fenómenos físicos o sociales y/o sucesos mediante pruebas de hipótesis correlacionales y la aplicación de técnicas estadísticas.
- Explicativo: Sirve para responder mediante los principios del descubrimiento, creencias, afirmaciones, etc., un conjunto de definiciones y/o suposiciones



relacionados entre sí de manera organizada y sistemática, coherentes con el tema de estudio causadas por eventos, sucesos o fenómenos físicos o sociales.

Dichos casos de estudios pueden ser enfocados en 2 tipos:

- **Cuantitativo:** Su finalidad es obtener información mediante la recolección o análisis de datos, con base a la medición numérica y estadística para probar hipótesis, preguntas de investigación o establecer con exactitud patrones de comportamiento.
- **Cualitativo:** Su objetivo es obtener información con el fin de reconstruir un evento o suceso tal cual y como lo observan los actores a los cuales va dirigido, está basado en métodos de recolección de datos sin medición numérica (descripciones y observaciones) y no necesariamente pueden probar una hipótesis.

3.2. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

Con base a lo mencionado en el apartado anterior y para objeto de estudio de esta investigación el enfoque es de tipo cualitativo debido a que la información recabada proporcione una descripción y/o explicación.

A su vez será considerada de tipo exploratorio y explicativo, esto se debe a que no se cuenta con mucha información y con estos dos tipos de investigaciones se pretende profundizar más sobre el tema y a su vez buscar la explicación del comportamiento de las variables que se presentan (porcentaje de plataformas a desmantelar, características de las plataformas, procedimientos de desmantelamientos, vida útil, entre otros).

3.3. CRITERIOS DE SELECCIÓN PARA EL DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

De acuerdo al enfoque, se llevó a cabo una investigación de campo con el fin de obtener información con el apoyo de la técnica de entrevista y encuesta de tipo online dirigido a personas especialistas en instalaciones de plataformas marinas fijas con una experiencia como mínimo de 15 años, trabajadores y/o ex trabajadores de PEMEX



Exploración y Producción y empresas establecidas en México que prestan sus servicios en instalaciones de plataformas.

3.4. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Los autores Hernández, Fernández y Baptista, definen el diseño de una investigación de la siguiente forma: “*El termino diseño se refiere al plan o estrategia concebida para obtener la información que se desea*” [46].

Esto deja claro que lo que se necesita para alcanzar los objetivos planteados, y de acuerdo a estos autores, el diseño de la investigación se puede clasificar en:

- Investigación experimental: este tipo de clasificación toma una acción y después se observa las consecuencias, realizando un estudio en el que se manipulan intencionalmente una o más variables independientes de la acción para proseguir a la manipulación de una o más variables de las consecuencias, todo esto en una situación de control y se divide en pre experimentos, experimentos puros o verdaderos y cuasi experimentos [46].
- Investigación no experimental: Su objetivo es realizarla sin manipular deliberadamente y sin variar en forma intencional las variables independientes, observando tal y como se da el fenómeno en su contexto natural para ser analizado. De acuerdo con los autores anteriores, se divide en diseños transaccionales o transversales (recolección de datos en un tiempo único y describir las variables en un momento dado) y diseño longitudinales (recolección de datos a través de un periodo para hacer inferencias con respecto al cambio y consecuencias) [46].

Analizando las definiciones anteriores, la investigación fue de enfoque cualitativo, de tipo exploratorio y explicativo, con un diseño no experimental transversal, debido a que sólo estuvo basada en la recolección de información en un determinado tiempo sin que presente variación en la manipulación de los datos.



3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA

La población es un conjunto de individuos, objetos o medidas que comparten características comunes a la cual va dirigida la investigación, sin embargo en algunos casos la población puede ser muy grande lo que dificultaría el análisis, por ello se utiliza una muestra, la cual está compuesta por elementos (cualquier cosa a ser susceptible de ser investigada) que componen la población a estudiar con el fin de concluir algo.

Para fines de esta investigación la población que cumple los criterios para el diseño de la investigación establecidos en el apartado 3.3, para el caso de PEMEX Exploración y Producción, excluyendo al personal administrativo y de apoyo es de aproximadamente de diez personas con cierto grado de conocimiento del tema, objeto de la investigación (un gerente, un subgerente, un coordinador, dos residente de obra, un supervisor de control obra en tierra y cuatro supervisores de obra costa afuera).

Para las empresas establecidas en México con la experiencia para realizar trabajos de proyectos de instalación se conocen cinco (dos dejaron de operar), para efectos de estudio se consideran las cinco, con una población aproximadamente de cuatro personas que cumplen con los requisitos por empresa, (un gerente, un superintendente en tierra, un superintendente a bordo y un ingeniero de proyecto) excluyendo todo el personal administrativo y de apoyo, por lo que se tendrá una población en este sector de aproximadamente veinte personas con cierto grado de conocimiento en el tema objeto de la investigación.

Con base a lo anterior, se determinó que la población que cumple los criterios es de aproximadamente 30 personas, considerando que un especialista empezó a trabajar a la edad de 24 años y que la instalación de plataformas marinas de tipo fijas empezaron a principios de la década de los 60's, hasta el año 2017 se tienen 57 años en la realización de estas actividades, se asume que aproximadamente un 35% de las personas ya han fallecido o no se encuentran en condiciones vitales de aportar datos o información relevante al tema, por lo que la población es de aproximadamente 20 personas especialistas en instalaciones de plataformas marinas, de dicha población de la cual se tomara en cuenta como una muestra representativa 11 personas, debido a que no se



cuenta con una base de datos con acceso al público en general con respecto a procesos de desmantelamiento por lo que estas personas con base a su experiencia nos aportaron los posibles métodos y procedimientos para el montaje de una plataforma lo cual es la base para tomar como punto de partida que la instalación es lo inverso al desmantelamiento.

3.6. SELECCIÓN DE LA MUESTRA

Definido el diseño, enfoque, tipo de la investigación y la muestra, es necesario seleccionar el tipo de muestreo, los cuales se clasifican en:

- Probabilística: todos los elementos de la población tienen la misma probabilidad de ser elegidos para formar parte de la muestra, es muy común cuando se va a generar una nueva teoría [46].
- No probabilística: en esta la probabilidad no influye en la elección de los elementos de la muestra [46].

Debido a que la población es muy dispersa, y que la investigación tiene un enfoque de tipo cualitativo con base a una medición no numérica, se optó por el muestreo no probabilístico, el cual es de 11 personas que servirán como referencias para las entrevistas y/o encuestas.

3.7. OBTENCIÓN DE DATOS

Los datos están basados de acuerdo al diseño de la investigación definida en el apartado 3.4, para ello se requiere la elección del instrumento o método para recolectar los datos, así como su aplicación y finalmente las observaciones obtenidas para su posterior análisis.

El instrumento o método, debe ser confiable y valido, es decir para el primer caso el grado en que la aplicación repetida arroja resultados similares y la validez, se midió con base a las variables que se pretenden medir dividiéndose en datos primarios y secundarios [46].



3.7.1. DATOS PRIMARIOS

Estos datos provienen de entrevistas y encuestas aplicadas con base a los criterios mencionados, cabe mencionar que en ambos casos las preguntas utilizadas fueron las mismas, esto con el fin de evitar variaciones en la obtención de datos.

3.7.2. DATOS SECUNDARIOS

Estos datos fueron obtenidos a partir de fuentes de información externas como leyes y normas nacionales e internacionales, revistas, libros, artículos científicos, documentos técnicos (alcances del proyecto) elaborados por PEMEX cuando licita algún proyecto.

3.8. RECOLECCIÓN DE DATOS

De acuerdo a los autores que se han venido manejando a lo largo de este capítulo, definida la muestra apropiada y el diseño de la investigación, la recolección de datos implicó tres actividades las cuales son:

- Método de recolección de datos: El cual fue mediante el diseño de entrevistas y una encuesta (en ambos casos se utilizaron las mismas preguntas mostradas en el anexo I) [5], con el fin de obtener una opinión y datos confiables, por lo que se optó recurrir a expertos en instalaciones de plataformas marinas debido a que el desmantelamiento es el proceso inverso a la instalación.
- Aplicación para la recolección de datos: se consultó a 11 personas, de las cuales 9 fueron vía encuesta online y 2 mediante entrevistas, en ambos casos las preguntas fueron las mismas (ver anexo I) [5].
- Observaciones, registros y mediciones después de la recolección de datos: después de aplicar las entrevistas y encuestas, en el periodo de febrero a marzo 2017, se realizó un análisis de la información con base en los objetivos propuestos para esta investigación, relacionado con las respuestas de los expertos en instalaciones de plataformas marinas.



Para que las preguntas fueran fiables, se basaron de acuerdo a las sugerencias de los autores mencionados en el libro “Metodología de la Investigación (Quinta ed.)” de acuerdo con el diagrama # 4.1, ver figura 16 [46].

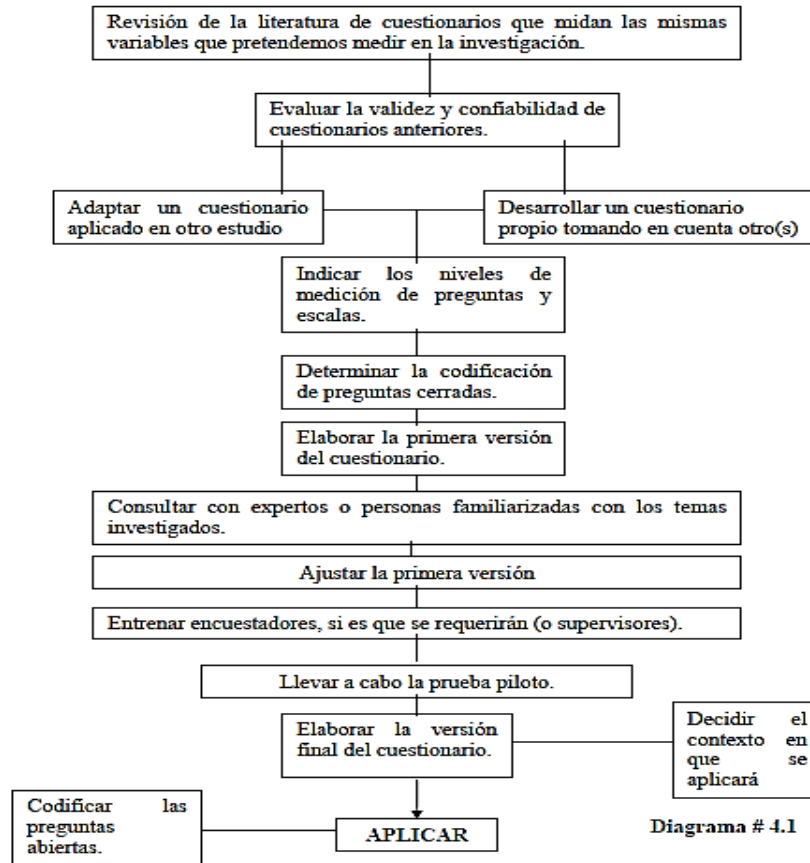


Figura 16. Diagrama # 4.1 (Hernández, Fernández y Baptista).

3.9. ANÁLISIS DE LOS DATOS

El cuestionario final (ver anexo I) [5], fue codificado bajo la sensibilidad teórica de tipo abierto, con el fin de obtener los datos para elaborar conceptos y establecer relaciones entre ellos. Éste es un es un proceso analítico donde los datos se reorganizan para sacar las ideas y significados más importantes que descubren, desarrollan conceptos y obtienen resultados [47].

De acuerdo con la información que la población proporcionó, se capturaron en una base de datos y se muestran en el ANEXO II [3], con el fin de visualizar los resultados que ayudaron a lo largo de la investigación para cumplir con los objetivos de este trabajo.



CAPÍTULO IV

4. ESTUDIOS INGENIERILES NECESARIOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL DESMANTELAMIENTO DE PLATAFORMAS MARINAS FIJAS EN MÉXICO

El desmantelamiento de una plataforma marina fija es un proceso que requiere de algunos años de análisis acorde a su complejidad operativa, como también de una gran ingeniería y avances tecnológicos para evitar accidentes y contingencias ambientales.

Este tipo de proyectos deben ser aprobados por PEMEX y las dependencias gubernamentales pertinentes que en conjunto deben revisar el proyecto para evitar riesgos cuando éste sea ejecutado garantizando que el sitio donde fue instalada reciba el menor impacto ambiental.

Actualmente donde se han hecho estas actividades de desmantelamiento ha sido en algunos países que están situados en la región el Mar del Norte, siendo factores como la antigüedad, la cantidad de las plataformas petroleras así como la duración y costos de este tipo de proyectos [3,49].

Lo anterior son alguno de los motivos para incentivar a las empresas de servicios petroleros a reunir los estudios ingenieriles (condiciones ambientales e integridad mecánica de las estructuras), capital humano y económico necesario para afrontar el desmantelamiento, pero esto no sólo es importante, también es necesario analizar los equipos y las tecnologías necesarias para proponer un análisis ingenieril que pueda garantizar remover, levantar y transportar las estructuras a un sitio seguro, ya que una plataforma promedio sobrepasa las 8,000 toneladas de peso.

En los análisis ingenieriles es importante contemplar la disposición final de las estructuras de acuerdo con un análisis de costo beneficio y de impactos ambientales, bajo el estricto rigor de las normas tanto nacionales como internaciones vigentes. Si esto no se contempla puede repercutir en el tiempo de ejecución y en el costo, por lo que el representante de dicha plataforma debe proponer alternativas y en conjunto con las dependencias competentes aprobarlas o declinarlas.



4.1. IMPLEMENTACIÓN DE DESMANTELAMIENTO EN MÉXICO

En nuestro país no existe documentación alguna de la ejecución de un desmantelamiento de plataformas marinas fijas, por lo tanto no existe un análisis del proceso de desmantelamiento, y por consecuencia PEMEX no lo ha implementado.

De acuerdo al marco legal vigente que aplican en nuestro país y que son mencionadas en el capítulo 2, se puede lograr implementar el desmantelamiento adoptando los análisis que se han empleado en el Mar del Norte.

Algunas normas y/o leyes aplican para plataformas instaladas antes y después de la Reforma Energética 2013 [2, 4, 12, 29, 38, 39, 45] limitándose a que las instaladas antes de la reforma son responsabilidad de PEMEX y deben realizar estas acciones mediante una licitación o por ellos mismos.

Las plataformas instaladas después de 2014 se contemplan en el marco legal derivado de la Reforma Energética, por lo que es aplicables para cualquier empresa con capacidad técnica y económica que puede instalar una plataforma marina, por lo que deben tener contemplado el desmantelamiento a futuro mediante las opciones presentadas en el párrafo anterior.

A pesar de que existe un marco legal que estipula los requisitos que se requiere para que una plataforma sea desmantelada, PEMEX no opta por realizar estas acciones y el gobierno mexicano no ha implementado el desmantelamiento mediante la aprobación de una ley en específica para esta situación.

Algunas plataformas tienen más de 30 años de haber sido instaladas por lo que al finiquito de su producción son destinadas a un estado de abandono, es decir sólo se ha procedido a taponar el pozo, desconectar los equipos y dejarla en sitio sin ningún funcionamiento.

No se sabe con exactitud los motivos por los que PEMEX no ha realizado el desmantelamiento, por lo que se puede asumir que al no contar con los equipos y embarcaciones adecuadas, se tendrá la necesidad de contratar los servicios de

Análisis de desmantelamiento de plataformas marinas fijas,
instaladas por PEMEX costa afuera en el Golfo de México.



empresas especializadas para poder ejecutar dichas acciones, lo cual resulta muy costoso.

Otro de los motivos es que PEMEX o el estado mexicano pudieron haber cometido dos errores: no prever al momento de instalar unas plataformas los costos de desmantelamiento, los cuales debió haber tomado de una parte del costo de la extracción de hidrocarburos, o bien una mala administración de los fondos destinados al desmantelamiento de sus activos.

Para lograr una buena implementación, el Gobierno Federal en conjunto con la secretaria relacionadas con el medio ambiente y dependencias del sector petrolero del país, deben tomar como marco legal las normas vigentes tanto nacionales e internacionales en las que México por ser miembro debe acatarlas. Con base a esas se deben definir los lineamientos ambientales, de operación, funcionabilidad, seguridad, etc., así como los estudios de factibilidad e integridad (de los cuales se hablará más adelante) para que una plataforma marina sea candidata a ser desmantelada, todos esos estudios deben ser realizados por PEMEX, revisados por las dependencias competentes y proporcionarlos al contratista desmantelador en caso de celebrar una licitación.

Una vez que PEMEX proporciona los estudios relacionados para determinar el diseño ingenieril y los procesos para el desmantelamiento (mencionados en el párrafo anterior), deben describir las actividades preliminares hasta la disposición final, sin embargo en los primeros proyectos de desmantelamiento PEMEX sólo se limitara a licitar debido a sus limitaciones tecnológicas por lo que debe recurrir a las empresas especializadas en el ramo para aprovechar las nuevas tecnologías y mejores prácticas para realizar un desmantelamiento de plataformas marinas fijas bajo el marco legal vigente con el fin de evitar conflictos con las dependencias competentes y realizar aportaciones de mejoras a la mismas.

Cabe mencionar que un proceso de desmantelamiento existen diversas actividades involucradas como:

- Remoción de la superestructura (Deck)



- Remoción parcial o total de la subestructura (Jacket)
- Transporte para disposición final de la superestructura y/o subestructura

Los requisitos para dismantlar una plataforma son los casos hipotéticos que pueden suceder ante esta situación como:

- Baja producción del pozo y/o que ya no sea costeable la operación
- Pozo improductivo
- Daños graves en las estructuras
- Ciclo de vida útil excedido
- Daños por accidentes en la plataforma

Actualmente PEMEX ante estas situaciones, sólo procede a la desconexión, remoción de los equipos y taponamiento del pozo, las cuales son consideradas como el estado de abandono lo cual si está regulado por el marco legal mexicano en el sector petrolero.

Sin embargo, el dismantlamiento de plataformas marinas sólo se contempla como una presunción o idea sin que se tenga el compromiso de realizarse, es por ello que PEMEX no se ve en la necesidad de ejecutar dichas actividades, aunque exista una norma creada por ellos y un anexo avalado por la CNH [31] que lo contempla.

Lograr que se implementen las alternativas de dismantlamiento, requieren de un análisis especializado y tiempo de ejecución por parte de PEMEX, el Gobierno Federal y las dependencias competentes, por ello se pueden implementar métodos de dismantlamiento basados en los análisis y/o procesos que han empleado empresas especializadas en el dismantlamiento de plataformas marinas con experiencia en algunos países de la región del Mar del Norte (considerados como los pioneros), motivando a las empresas que se dedican a ese giro, a construir y desarrollar embarcaciones y equipos especializados para efectuar dichas actividades.



Esta alternativa de desmantelamiento puede beneficiar a PEMEX en la negociación de posturas de mejor y menores costos ante diferentes empresas del ramo que deseen participar y ganar la licitación, mitigando los riesgos al medio ambiente y optimizando el tiempo de ejecución.

4.2. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

Este estudio aplicado a plataformas marinas fijas, se encarga de verificar y garantizar el funcionamiento óptimo de los equipos que se encuentran instalados (generadores, turbogeneradores, equipos de bombeo, equipos de inyección, etc.) determinando que acciones de mantenimiento deben realizarse, con el fin de evitar accidentes o paros en las actividades que se realizan dentro de la plataforma marina los cuales PEMEX manda a realizar con empresas nacionales o internacionales mediante una licitación.

Un estudio de factibilidad influye parcialmente en el desmantelamiento de una plataforma marina, debido a que su máximo alcance que tiene es el de reemplazar el equipo dañado o que está próximo a fallar, por lo que con esto se garantiza la integridad de una plataforma en materia de accidentes a equipos y/o sistemas [2].

4.3. ESTUDIO DE INTEGRIDAD

También llamado análisis de integridad mecánica o estructural, es la evaluación del estado en el que se encuentran las estructuras de la plataforma marina fija y se lleva a cabo mediante la determinación del tipo y grado de severidad de los daños que presenta las estructuras de una plataforma, con el fin de determinar el mantenimiento y actuar ante algún desperfecto que pueda provocar accidentes que impacten en los empleados, la instalación y/o el medio ambiente, por lo que este estudio debe ser solicitado por el área de mantenimiento de la plataforma a PEMEX, el cual también somete a un proceso de licitación [48].

Cabe mencionar que los sistemas estructurales de las plataformas son uno de los más regulados en el mundo por lo que se busca que la seguridad sea uno de los puntos



que más cuidan, debido a su prolongada exposición a la intemperie, por el alto costo de diseño, fabricación, dificultad de su instalación y por la operación a la cual será sometida mediante cargas estáticas y/o dinámicas con las que cuenta, por lo que uno de los principales tipos de daño que estas estructuras pueden sufrir son por fatiga.

Esta produce un deterioro de la capacidad estructural que pueden traducirse en fracturas, grietas y/o deformaciones, los factores que los pueden ocasionar se deben al oleaje marino, los fenómenos meteorológicos, corrosión, exceso de carga, envejecimiento por mencionar algunos, incrementando el riesgo de falla potencial en épocas de huracanes y tormentas.

Por ello este estudio recae en la etapa de mantenimiento predictivo y las pruebas que se realizan son las de tipo no destructivas, donde los métodos más comunes son las inspecciones visuales, por líquidos penetrantes, electromagnetismo, termografías, radiografía, ultrasonido industrial y la inspección submarina por medio de vehículos operados remotamente (ROV), proveniente de "*Remote Operated Vehicle*" [3].

También existen análisis que son realizados por métodos matemáticos empleando software especializado, tomando algunos datos de las partes que presentan daños y son sustituidos en formulas preestablecidas, estos análisis se realizan considerando los daños por abolladuras, pandeos, corrosión y/o fatiga, ya sea en las soldaduras, las juntas o una parte específica de la estructura.

Este estudio debe realizarse periódicamente para detectar con tiempo si existe un tipo de daño y con esos resultados tomar acciones de mantenimiento y/o reparación, o en su defecto ser candidata a desmantelamiento.

4.4. ALTERNATIVAS DE DESTINO FINAL DE LAS ESTRUCTURAS

Para una plataforma marina fija, de acuerdo a la NRF-294-PEMEX-2013 [2], en su apartado 12 de ANEXOS en la sección 12.1, nos da las opciones de la disposición de cuando una plataforma es desmantelada y lo muestra en el siguiente diagrama, ver figura 17:

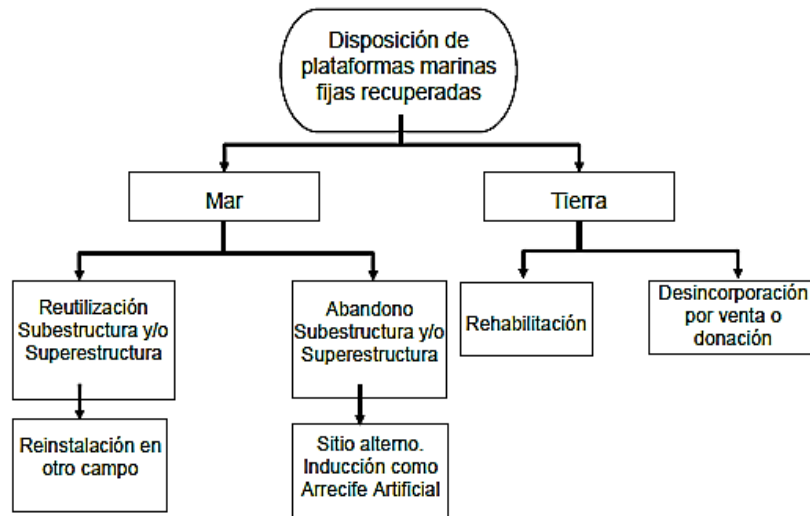


Figura 17. Disposición de plataformas recuperadas.

Como se puede apreciar, PEMEX contempla la disposición de sus plataformas mediante la rehabilitación y/o reutilización de sus estructuras en otro campo, su inducción como un arrecife artificial o desincorporación por venta o donación.

Para determinar la disposición final es necesario realizar los análisis mencionados (integridad y factibilidad), esta decisión recae en el responsable de la plataforma (PEMEX) y se tienen 3 posibles eventos en los cuales intervienen los puntos mencionados en la figura 15. Estos son mencionados en el apartado 8.4 de la norma NRF-294-PEMEX-2013, la cual dice lo siguiente:

- I) *Desmantelar para recuperar la estructura: Cuando se vuelve a poner en servicio la estructura en un lugar distinto a su origen.*
- II) *Desmantelar para disponer la estructura: Cuando la estructura se destine a usarse como arrecife artificial, ya sea en partes o en su totalidad en el mismo sitio de su ubicación actual o en otro diferente.*
- III) *Desmantelar para reciclar el material de la estructura: Cuando no sean viables los escenarios I) o II), y que se clasifique el material de la estructura como chatarra.*



Analizando esos 3 puntos, para el caso de recuperación las estructuras de la plataforma no deben presentar daños graves y deben cumplir con las condiciones óptimas de integridad que garanticen su funcionalidad y seguridad. Para los otros dos casos, las condiciones de las estructuras no importan debido a que no serán reutilizadas.

Cabe mencionar que la única parte que es forzosa a ser llevada a patio es la superestructura debido a que está ha estado expuesta a contaminantes propios de los hidrocarburos, mientras que la subestructura puede aplicársele uno de los tres eventos mencionados ya que esta parte es la menos contaminada.

Un condicionante a la hora de optar por una de las condiciones mencionadas, es analizar los costos beneficios a futuro, así como los impactos ambientales que se pueden presentar si es reutilizada una plataforma.

Por ello es importante definir la reutilización de la plataforma cuando las condiciones lo permitan, si no se tiene en cuenta esas consideraciones los trabajos de desmantelamiento se complicarían e incluso se estaría cometiendo alguna falta, haciéndose acreedor a sanciones, por ello, cualquier alternativa que se escoja debe ser contemplada en los análisis y estudios ingenieriles, para esperar su aprobación por las dependencias competentes y debe manifestarse en el plan de desmantelamiento. Si esto no se define al inicio del proyecto influirá en los costos, tiempo, dificultad y riesgos así como en la toma de decisiones.



CAPÍTULO V

5. TECNOLOGÍA Y PROCESOS SEGUROS PARA REALIZAR EL DESMANTELAMIENTO DE PLATAFORMAS MARINAS.

En los proyectos de desmantelamiento, además de considerar las dimensiones, peso, condiciones ambientales, es importante tomar en cuenta las capacidades y de los equipos a emplear, para definir técnicas y/o métodos con el fin de evitar riesgo en las maniobras que los operarios realizan y optimizar los trabajos.

Debido a que un desmantelamiento es un proceso donde se retira parcial o completamente las estructuras que componen una plataforma, se puede considerar como un proceso inverso al de una instalación, por lo que las embarcaciones, maquinarias y equipos utilizados para la fabricación e instalación también son los mismos utilizados en el desmantelamiento [3].

Por ello es importante conocer estos equipos ya que son primordiales para poder presentar un plan de desmantelamiento de plataformas marinas fijas, esto será la pauta para poder determinar los procesos que se involucran, por lo que en los siguientes apartados se hablará con mayor detalle sobre ello para tener un panorama más amplio y poder tomar decisiones con base a las características de las plataformas.

5.1. EQUIPOS ESPECIALIZADOS CON TECNOLOGÍAS DE ÚLTIMA GENERACIÓN.

El desmantelamiento involucra una serie de embarcaciones las cuales se seleccionan con base a las actividades que realizan y sin el apoyo de estas no sería posible realizar el desmantelamiento, para sustentar esto se toma como base la instalación de una plataforma marina fija.

El proceso de instalación de plataformas marinas fijas, contempla cuatro tipos de embarcaciones necesarias, las cuales se pueden clasificar en embarcaciones principales y secundarias.



En el primer caso se considera el barco grúa, en el segundo se encuentran los remolcadores, chalanes y abastecedores, cumpliendo cada una con características que apoyan a las otras en el proceso de instalación.

Asumiendo esto, se puede afirmar que las embarcaciones que se usan para instalar, son las mismas que necesitan para dismantelar, por lo que a continuación se procederá a hablar de ellas.

5.1.1. BARCO GRÚAS.

Es una embarcación a la cual se le monta una grúa para el izado de cargas pesadas, tiene tres funciones principales que son: operaciones de carga y descarga en puertos y buques, construcción de instalaciones en alta mar (instalaciones petroleras marinas) y como apoyo en labores de salvamento de embarcaciones hundidas y se diseñan de acuerdo a las necesidades para las que será empleada, por ello existen tres tipos de barcos grúas [50].

Uno de ellos son los buques grúa son el tipo más habitual y pueden levantar hasta 5,000 toneladas, estos barcos son los más utilizados en las labores de instalación de plataformas marinas de acuerdo a los requerimientos del cliente, ya que su renta y/o fabricación no son tan costosas en comparación con las embarcaciones tipo semisumergibles.

Estas últimas, su principal características es que se sumergen parcialmente y con ello logra elevar su capacidad de carga hasta 14,000 toneladas, de este tipos de barcos existen muy pocos en el mundo, ya que son fabricados sobre pedido para actividades en las que los barcos grúas comunes no son suficientes.

Por último, están las tipo sheerlegs, este tipo de grúa su principal característica es que no son giratorias y sólo pueden levantar alrededor de 4,000 toneladas, siendo esto una limitante por lo que son más empleados en actividades de carga y descarga en los puertos o como auxiliar en algunas embarcaciones para actividades ligeras en el área petrolera (carga de equipos, grilletes, entre otros).



Actualmente el barco grúa más grande que existe es el *Pioneering Spirit* (ver Figura 18), con un costo total de 2.6 billones de euros (3.1 billones USD) puede levantar hasta 48, 000 toneladas de peso, es de tipo semisumergible y fue fabricado entre los años 2010 a 2015 comenzando operaciones en agosto del año 2016 en Noruega en la región del Mar del Norte [51].



Figura 18. *Pioneering Spirit*.

5.1.2. REMOLCADORES.

Este tipo de embarcaciones son auxiliares de otros buques, su principal función es de remolcar otras embarcaciones sin medio de propulsión y en el transporte de artefactos sin movimiento propio [52].

Una de las características de estas embarcaciones es que a pesar de su tamaño sus motores tienen mucho torque, por ello es que pueden remolcar sin ningún problema pesos mayores a los de la propia embarcación, en mar abierto o a través de ríos y son fiables en maniobras donde los radios de giros son muy cortos (Estos cuentan con un radio de giro de 360° sobre su propio eje debido a las unidades de propulsión con las que cuenta).

Es muy común utilizarla en las instalaciones de plataformas marinas, ya que las partes que las componen son transportadas en una embarcación sin ningún tipo de propulsión, arrastrándola hacia el sitio donde vaya a ser instaladas.



Otras de las funciones que se pueden realizar es la de guiar el destino de grandes embarcaciones generando una reducción de costos de combustible en su traslados, esto es debido a que el remolcador es la única embarcación que va a trabajar realizando él empuje de las embarcaciones a bajas velocidades mediante un torque muy alto.

El remolcador mostrado en la figura 19, también tienen utilidad en el rescate de embarcaciones [53].



Figura 19. Remolcador en maniobras de rescate.

5.1.3. CHALANES.

Los chalanes son embarcaciones de carga y sus principales y de sus principales características sobresale un diseño donde su cubierta es una plataforma plana la cual funciona como un sistema flotante que soporta un determinado peso, por lo que sirve para transportar estructuras de grandes dimensiones siendo una embarcación muy importante en el apoyo de instalaciones de plataformas petroleras, estas embarcaciones no tienen sistemas de propulsión por lo que para poder cumplir su función de transportar se necesita del apoyo de uno o varios remolcadores [54].

En la Figura 20 se puede apreciar una de las principales funciones que tiene un chalán, en este caso se está transportando una superestructura (Deck), con ayuda de un remolcador para su instalación [55].



Figura 20. Chalán transportando una superestructura (Deck).

5.1.4. ABASTECEDORES.

Un abastecedor es una embarcación que se utiliza para el traslado de personal, materiales, suministro y equipos para actividades de instalación de plataformas marinas, con el fin de facilitar la descarga en las instalaciones y evitar retrasos [56].

Estas embarcaciones al no transportar cargas muy pesadas son un poco más rápidas en la navegación lo cual se ve disminuido en tiempos de traslados, evitando el uso de embarcaciones primordiales para el desmantelamiento, ejemplo el remolcador, debido a que si este equipo se ausenta puede atrasar los trabajos.

Para el caso de desmantelamientos los abastecedores representan una ventaja, debido a que se disminuyen los tiempos muertos (tiempos de llegada) de los equipos especializados para las labores de desmantelamiento (barco grúas, chalanes, remolcadores).

Estos son necesarios porque se encargan de facilitar los insumos entre el puerto más cercano y el sitio de trabajo, de ahí su nombre de abastecedor, en la Figura 21 se puede apreciar un barco abastecedor [57].



Figura 21. Barco Abastecedor.

5.2. PROCESOS PARA LLEVAR A CABO EL DESMANTELAMIENTO DE PLATAFORMAS MARINAS FIJAS.

Actualmente, muchas de las plataformas instaladas por PEMEX ya cumplieron su ciclo de vida útil y es necesario que sean desmanteladas, esto no ha podido ser posible por la falta y/o ambigüedad en el marco legal, faltas de procedimientos, planeación y visión a futuro.

Otro factor a considerar es el tipo de la plataforma marina fija (ligera o pesada) el cual determinara el costo, tiempo, equipos necesarios y análisis ingenieril para su adecuado desmantelamiento, lo único que puede cambiar son las embarcaciones a utilizar ya que el peso de la plataforma va directamente relacionado con el tipo de embarcación.

Las plataformas marinas instaladas en México con tirantes de hasta 80 metros fueron fijadas con pilotes hincados entre longitudes entre 15 a 60 metros debajo del lecho marino para soportar la carga de la plataforma entre 30 a 12,000 toneladas.

Para poder conocer un poco sobre los procesos que se involucran en el desmantelamiento se tomara como referencia los antecedentes del Reino Unido, siendo uno de los países pioneros pertenecientes a la región del mar del Norte es caracterizada por ser la zona donde se han realizado la mayoría de los desmantelamientos de plataformas



marinas del mundo desde el año de 1995 a la fecha, lo que ha conllevado a la mejora de sus procesos.

En el Reino Unido, la asociación *Oil & Gas UK's*, la cual realizó una publicación en el año 2016, llamada “*Decommissioning Insight 2016*” [49], la cual en su apartado *Appendices*, menciona la metodología que se sigue en el desmantelamiento de una plataforma marina, ver Figura 22:

Etapas – Nivel 1	
Gestión de proyectos de operadores	Las actividades incluyen el equipo principal de gestión de proyectos, participación de los interesados, estudios para apoyar el programa de desmantelamiento y definición de alcance / desarrollo de métodos, preparación del programa de desmantelamiento, y la notificación / cierre del programa de desmantelamiento (Cartas de almirantazgo, fish safe (información disponible sobre estructuras de petróleo y gas, oleoductos y peligros potenciales de pesca), etc.)
Funcionamiento de la instalación / Costo de los propietarios	Las actividades incluyen logística (aviación y marina), equipo de operaciones, equipo de cubierta, generación de energía, servicios de plataformas, gestión de la integridad (inspección y mantenimientos) y servicios especializados de operaciones, p.e gestión de residuos
Taponado correcto / y abandono	Las actividades incluyen mejoras en las plataformas, estudios para apoyar programas en pozos, suspensión de pozos (tasa de propagación / duración), gestión de proyectos de pozos, apoyo a operaciones, servicios especializados, p.e cableado, recuperación de conductores, limpieza y reciclaje, recipientes.
Instalaciones / tuberías “tratamiento seguro”	Las actividades incluyen operaciones (drenaje, descarga, purga y ventilación), aislamiento físico (desenergización, ventilación y drenaje), limpieza, pigging de tuberías y gestión de residuos.
Preparación de la superestructura	Las actividades incluyen ingeniería de servicios públicos temporales (energía, aire y agua), separación de procesos / utilidades de módulos, levantamientos de objetos abandonados y acciones correctivas subsiguientes.
Eliminación de la superestructura	Las actividades incluyen la preparación de la remoción (refuerzos y separación estructural para el retiro), operaciones de la embarcación, fijación del mar, transporte y carga.
Remoción de la subestructura	Las actividades incluyen preparación de remoción, remoción, embarcación, fijación marítima, transporte y carga.
Reciclaje en tierra de la superestructura y subestructura	Las actividades incluyen la limpieza y manipulación de residuos peligrosos, la deconstrucción, reutilización, reciclaje, eliminación y contabilidad de gestión de residuos (trazabilidad de todos los arroyos).
Infraestructura submarina (tuberías, umbilicales)	Las actividades incluyen la preparación de buques para el estado final submarino (remoción, trinchera, basculación de rocas), fijación y transporte marítimo, carga, gestión de proyectos submarinos y contabilidad de gestión de residuos (rastreadibilidad de todas las corrientes).
Remedio del sitio	Las actividades incluyen la gestión de pilas de esquejes, limpieza de escombros de campo de petróleo (zona de 500 metros y corredor de tubería de 200 metros) y de sobre-arrastré.
Monitoreo	Las actividades incluyen el mantenimiento de la ayuda a la navegación y el programa de monitoreo de las instalaciones que quedan.

Figura 22. Desglose de trabajos de desmantelamiento traducido [49].



Analizando esta metodología, no se describen con certeza los procedimientos que se deben realizar en un desmantelamiento, pero sabiendo que el desmantelamiento es el proceso inverso a una instalación, servirá como base para generar un panorama con acercamiento a lo real que permiten asumir algunas actividades y equipos a utilizar.

Las etapas de desmantelamiento de un plan de trabajo mostrado en la figura 22 podrán llevarse a cabo después de realizar algunos trabajos previos ya programados por PEMEX como un compromiso ecológico, los cuales son la base de un programa denominado “abandono” que consiste en: gestiones, análisis, taponamiento del pozo, desconexión, limpieza de ductos, equipos y recipientes fuera de operación.

Después de los trabajos previos, se debe realizar inspecciones y determinar algunos puntos específicos en los que sea necesario cortar o reforzar algún punto para que al momento de ser izada la plataforma esta no corra el riesgo de colapsar y puede ser colocada en un chalán para ser transportada a patio o sitio seguro de acuerdo con el plan de trabajo programado.

Al realizar estas actividades previas al desmantelamiento se llevaran a cabo dos procesos de trabajo en el siguiente orden; el retiro de la estructuras que incluye maniobras para carga, amarre e izaje y la transportación que consta del aseguramiento y transporte desde el sitio de trabajo a lugar de destino final. El desmantelamiento de una plataforma depende del tipo y su opción de destino final (mencionadas en el capítulo 4).

Por ello en los siguientes puntos se profundizara más y con esta información junto con la metodología que se muestra en la figura 22, se va a proponer un plan de trabajo estimado, el cual se mostrara en el siguiente capítulo de esta tesis.

5.2.1. ESTUDIOS INGENIERILES PARA EL DESMANTELAMIENTO PLATAFORMAS MARINAS FIJAS

Estos estudios fueron mencionados en el capítulo 4 (apartados 4.2 y 4.3), los cuales son responsabilidad de ser realizados por PEMEX y se deben de tener para poder gestionar los permisos ante las dependencias competentes.



Para poder realizarlos es necesario seguir los lineamientos y criterios establecidos por PEMEX en la norma de referencia “INSPECCIÓN DE PLATAFORMAS MARINAS FIJAS DE ACERO, NRF-260-PEMEX-2012” [58]

PEMEX establece en los alcances de los proyectos de fabricación de las plataformas marinas fijas la vida útil de estas la cual ronda entre los 20 a 25 años y están estipulados en los “Anexos B Especificaciones Generales” (establecen los alcances y obligaciones para la ejecución de los trabajos entre PEMEX y el contratista) como resultados de las entrevistas de campo [3].

La vida útil es un factor por el cual se realizan estos estudios, debido a que existen plataformas que han cumplido su vida útil y siguen en óptimas condiciones de funcionamiento o incluso pueden tener menos de 25 años y no ser aptas para seguir en operación.

Estos estudios deben realizarse continuamente, con el fin de llevar un historial y poder mostrar las condiciones en las que se encuentra las plataformas, y con base a esto determinar si las plataformas son susceptibles a ser desmanteladas o recibir mantenimiento.

De acuerdo a la NRF-260-PEMEX-2012, existen dos causas de daños, las de tipo natural o por operación de la estructura. Las primeras son por cargas debido al medio ambiente donde se encuentra instaladas (viento, oleajes, sismos), las segundas son debido a desgastes por operación, termino de vida útil, vibraciones en equipos, errores humanos, incendios, derrames, deficiencia en el control de la calidad de los materiales, falta de mantenimientos, reparaciones, etc.

Basados en estas causas, la norma de referencia NRF-260-PEMEX-2012 establece tres niveles de inspección, siendo los siguientes; Inspección visual general (Nivel I), Inspección visual detallada (Nivel II) y la Inspección empleando pruebas no destructivas (Nivel III).



Pruebas de Nivel I: deben detectar las diferencias estructurales y accesorios respecto al diseño, verificar la protección catódica, daños mecánicos como abolladuras, pandeos, grietas y fugas de forma visual no excediendo una distancia de 2 metros, por esta razón no es necesario realizar limpieza previa ni mediciones con equipos y/o herramientas.

Pruebas de Nivel II: se encargan de detectar los daños en áreas de trabajo, juntas, conexiones y los identificados en el Nivel I, en estas pruebas se tiene que utilizar los equipos y/o herramientas de medición en áreas clasificadas por su tipo de limpieza.

Pruebas de Nivel III: se realizan cuando en las pruebas de Nivel I y II se requiere profundizar el estudio de algún parámetro, estas se realizan con equipo especializado utilizados para pruebas no destructivas, uno de sus principales requisitos para que sean realizadas es efectuar limpieza y remover la corrosión y/o contaminantes hasta lograr la clasificación apropiada de acuerdo al áreas de trabajo.

Estas tres pruebas deben reportar las condiciones en las que se encuentran las estructuras, el estado de las soldaduras y de los equipos, con el fin de determinar si una plataforma cual sea su tipo sea candidata a ser desmantelada.

Por ellos los análisis y estudios deben ser los mismos para cualquier tipo de plataforma, lo único que varía es el tiempo y las áreas de inspección, ya que estos análisis van en función a las dimensiones de las plataformas. Estas pruebas deben ser 100% del tipo no destructivas con el fin de no poner en riesgo la plataforma (colapso y/o explosión).

5.2.2. VISITAS DE INSPECCIÓN FÍSICA A LA PLATAFORMA MARINA FIJA A DESMANTELAR.

Las visitas juegan un papel muy importante en el proceso de desmantelamiento, siendo estas un factor determinante en los análisis de integridad, también sirven para poder identificar físicamente los puntos probables de interferencia e izaje para poder ubicar elementos no definidos en el diseño original de la plataforma.



Deben ser las mínimas necesarias y deben realizarse por personal especializado de PEMEX o en su defecto por contratistas que presten sus servicios tomando en consideración el estado de la plataforma, por lo que estos pueden ser de los tres niveles mencionados en la norma de referencia NRF-260-PEMEX-2012.

5.2.3. MODELACIÓN Y ELABORACIÓN DE INGENIERÍA DE DETALLE PARA REFORZAMIENTO DE ELEMENTOS Y PUNTOS DE IZAJE.

El izaje es un procedimiento para mover objetos grandes y/o pesados mediante grúas, por lo regular siendo una o más coordinadas entre sí por los operarios, por ello es uno de los puntos más importantes que se deben de analizar para la selección de las eslingas (cable de acero diseñado para cargas específicas de diferentes diámetros) y grilletes (anillo con perno que sirve para sujetar las eslingas con orejas de izaje) [59].

Un análisis ingenieril es necesario para llevar a cabo el diseño de izaje para evitar riesgos en las maniobras por un mal cálculo en las propiedades y características de los elementos de la grúa, basados en la norma “NRF-041-PEMEX-2014, CARGA, AMARRE, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE PLATAFORMAS COSTA AFUERA”) avalada por PEMEX [60].

Bajo esta norma se debe realizar un análisis estructural, el cual debe considerar las cargas de tipo ambientales y las gravitacionales (cargas vivas, cargas muertas, carga de equipos instalados), esto para poder cumplir con la memoria de cálculo que las dependencias competentes soliciten.

Otro punto importante y que no se debe dejar pasar es definir la ubicación y cantidad de las orejas de izaje, señalando que desde la fabricación de las plataformas ya existen esos elementos de izaje para su instalación y desmantelamiento, sin embargo se tienen que revisar y determinar la factibilidad de ser utilizadas o reforzadas de ser necesario.

Las orejas de izaje, son de suma importancia, es por ello que el encargado de realizar los cálculos de diseño debe reforzar este elemento, y cumplir con los criterios de



aceptación de la AWS (American Welding Society), D1.1 última edición [61], mediante pruebas físicas, como las de ultrasonido en las soldaduras y juntas de unión para corroborar lo estipulado por la AWS, comparando la información que existe sobre las orejas de izaje en los planos de construcción y lo encontrado físicamente en campo.

Las orejas de izaje sirven para conectar los cables de acero que soportan el peso de una plataforma por los que son expuestos a gran cantidad de esfuerzos, por lo que un mal diseño de estas conlleva a un accidente durante las maniobra del barco grúa.

A pesar de que esta norma (NRF-041-PEMEX-2014) está enfocada para instalaciones es aplicable en los análisis de izaje para el caso de desmantelamiento, ya que es necesario realizar labores de carga, amarre y transportación de las estructuras.

Por lo tanto, el responsable del proyecto con base a esta norma de referencia, debe proponer los puntos donde se deben realizar arreglos (orejas de izaje), con el fin de que la superestructura y subestructura sean izadas de forma que no ocurra ningún percance, todo esto debe ser sustentado con los debidos análisis de cargas estructurales de la plataforma a desmantelar.

5.2.4. PREPARATIVOS DE LOS EQUIPOS PREVIOS AL INICIO DE ACTIVIDADES DE DESMANTELAMIENTO.

Al tener una planeación de desmantelamiento serán gestionados los permisos correspondientes para definir mediante una licitación o adjudicación directa quien realizara el proceso de desmantelamiento (PEMEX o empresa contratista), se debe proceder a realizar los trabajos previos.

Lo más viable es que se licite estas actividades, debido a que la experiencia que se tiene por parte de PEMEX es nula y que en los últimos años en la industria petrolera en México se han licitado la mayoría de los proyectos de instalación de plataformas marinas [3].

Considerando el caso de una licitación, las empresas que participen para la ejecución del proyecto de desmantelamiento de plataformas marinas fijas deben



presentar su plan de trabajo, así como los equipos a utilizar que deben cumplir con una memoria de cálculo y procedimientos estandarizados con los debidos cálculos en las actividades de izaje, así como el tiempo necesario para su correcta ejecución y su costo final.

Todo plan de desmantelamiento de plataformas marinas fijas que las empresas elaboren, debe garantizar seguridad en los trabajos siguiendo las normas nacionales e internacionales para su elaboración incluyendo los procesos, técnicas y la renta o compra de embarcaciones.

Cabe mencionar que las embarcaciones pueden ser arrendadas por empresas nacionales o internacionales (normalmente la renta es por días), por ello es necesario que en los planes de trabajo se deben considerar la cantidad, sus principales características y los días de trabajo efectivos, de movilización y desmovilización desde su origen hasta el sitio de trabajo, con base al tipo de plataformas a desmantelar (peso, dimensiones y destino final).

Por otra parte, si se opta por la adquisición de embarcaciones necesarias para el desmantelamiento de las plataformas, ello representaría para PEMEX un desembolso inicial muy elevado y periodos de fabricación de entre 2 a 6 años, por lo que se debe tener en cuenta estos dos factores para decidir lo más conveniente para la ejecución del proyecto, además de los costos asociados, que en conjunto suman un total aproximado de 6.5 billones de dólares en un periodo de 10 años, lo cual se estimó bajo la premisa que las embarcaciones que intervienen en el desmantelamiento representan aproximadamente un 75% del costo del *Pioneering Spirit*, así mismo a ese 75% del costo de las embarcaciones se le aplica un 18% más de ese costo por año, por conceptos de mantenimiento (3%), seguros (5%), operación (8%) y financiamiento (2%) [3, 51,62].

5.3. PROCEDIMIENTO DE RETIRO DE PLATAFORMA FIJA MARINA.

Antes de realizar los trabajos de desmantelamiento, PEMEX de manera obligatoria debe de realizar en las plataformas las acciones de abandono (taponamiento del pozo y desconexión de los equipos) [3].



Después de realizar el abandono, las embarcaciones que deben estar al arranque del proyecto es el barco grúa el cual es necesario para realizar las maniobras de carga e izaje y el abastecedor el cual se encarga de transportar el combustible y lo necesario al sitio de trabajo, sin estas dos embarcaciones no se pueden empezar a realizar ninguna actividad de desmantelamiento. Sin embargo, el chalán y remolcador puede llegar antes o cuando se esté realizando los arreglos de izaje de la superestructura más no después de que el barco grúa empieza a realizar las maniobras de izaje para el retiro de esta.

Como se ha venido mencionado el proceso de desmantelamiento es lo inverso a una instalación, debido a que se requiere de izar las estructuras para el transporte e instalación de la superestructura y subestructura, por ello con base a la investigación de campo, una instalación consta de las siguientes actividades mostradas en la tabla 1.

Tabla 1. Actividades de instalación por fases.

Fase	Actividad	Descripción
1	Exploración y perforación por parte de PEMEX u otra empresa petrolera	incluye los estudios correspondientes para determinar la existencia de hidrocarburos y su rentabilidad)
2	Licitación del proyecto para perforación:	Esta fase debe presentar toda la documentación y estudios necesarios para construcción del tipo de plataforma a emplear, así como los estudios ingenieriles para su correcta instalación y operación. Hasta antes del 2014, la perforación era actividad exclusiva de PEMEX limitándose únicamente a la subcontratación de los servicios y/o equipos con los que no disponía, con la Reforma Energética 2013, PEMEX pasa a ser una empresa más que debe competir con otras mediante el proceso de licitación para poder ganar el proyecto,
3	Construcción de la plataforma marina	Fabricación de la plataforma en el tiempo que estipulado en la planeación de proyecto.
4	Transporte de patio de fabricación a sitio	Al término de la fabricación de la plataforma es necesario contar con embarcaciones y equipos de izaje (debidamente calculados), para colocar la plataforma en el chalán y ser transportada al sitio donde será instalada.
5	Instalación de la subestructura	Se debe realizar adecuaciones estipuladas sobre lecho marino, usando las embarcaciones y equipos necesarios para que la subestructura sea fijada de acuerdo al plan de instalación.
6	Instalación de la superestructura:	Se debe realizar adecuaciones estipuladas sobre la subestructura, usando las embarcaciones y equipos necesarios para que la superestructura sea fijada e acuerdo al plan de instalación.
7	Instalación de infraestructura marina:	Instalación de tuberías y/o cables eléctricos submarinos para la traspotación de los hidrocarburos a los separadores.
8	Instalación de equipo de perforación y/o producción:	Equipo necesario para la perforación del pozo productor para extracción de hidrocarburos y/o para la separación del gas del crudo.



Definido las fases de instalación, para el caso de desmantelamiento algunas de estas no entran y otras actividades son lo contrario, se propone, con base a algunas actividades mostradas en la tabla 1 que un desmantelamiento debe llevar las siguientes actividades mostradas en la tabla 2.

Tabla 2: Actividades de desmantelamiento por fases.

Fase	Actividad	Descripción
1	Taponamiento del pozo productor	Esta etapa es la pauta para realizar un desmantelamiento correctamente, ya que si el pozo no está debidamente taponado, puede tener repercusiones en las labores de desmantelamiento
2	Determinación de las plataformas a ser desmanteladas	Es necesario los estudios, análisis y/o factores correspondientes, (factibilidad, integridad, vida útil, daños por eventos meteorológicos, improductividad del pozo, etc.) determinen las causas para que la plataforma pueda ser desmantelada, esto lo debe dictaminar las dependencias competentes y exigirle a la empresa petrolera responsable de la plataforma su desmantelamiento en caso de que no cuente con los recursos y tecnologías necesarias puede ser adjudicado mediante una licitación o asignación directa.
3	Adjudicación mediante un proceso licitación y/o asignación directa del proyecto de desmantelamiento	En esta etapa los participantes, deben solicitar la información de las plataformas a ser desmantelada, realizar las visitas correspondientes, así como los estudios, análisis ingenieriles (maniobras, izaje), embarcaciones y equipos necesarios a emplear en el desmantelamiento, estipulados en un plan de desmantelamiento con fechas estimada para la realización, el destino final de la plataforma y si es removida total o parcialmente.
4	Desconexión de infraestructura submarina	Estas actividades son necesarios para evitar daños a estos componentes, (oleoductos, gasoductos, umbilicales, cables eléctricos submarinos, tuberías auxiliares).
5	Preparación de la subestructura y/o superestructura	Realización de las actividades y arreglos necesarias (limpieza, cortes, orejas de izaje, desconexión de equipo de perforación y/o producción, etc.) en puntos específicos para que al arribo de las embarcaciones que llevaran a cabo los trabajos de retiro de la plataforma, lo hagan de forma segura.
6	Remoción de la superestructura	En esta etapa, las embarcaciones procederán a realizar las maniobras necesarias para la puesta en el chalán.
7	Remoción de la subestructura	Esta etapa depende del tirante de agua que la plataforma cuente, puede ser removida total o parcialmente.
8	Destino final de las estructuras	Se procede a transportar las estructuras a donde se estipule en el plan de desmantelamiento.

Estas actividades propuestas son las mínimas que un desmantelamiento debe contener, pero dentro de estas actividades existen otras que son necesarias para poder realizarlas con éxito, por lo que dé acuerdo con lo planteado en el apartado 5.3.1 al 5.3.6 se mencionan algunas actividades que se consideran necesarias realizar a partir de la fase cinco de acuerdo con lo propuesto en la tabla 2.



5.3.1. MANIOBRAS DE POSICIONAMIENTO DEL EQUIPO DE IZAJE (BARCO GRÚA).

Las embarcaciones necesarias para realizar el izaje para el desmantelamiento de las plataformas marinas de tipo fija son los barcos grúas, no existe un número el cual establece cuantas se deben usar por lo que esto lo determina el contratista con base al peso de las plataformas, el radio de giro y la disponibilidad en el mercado de estas embarcaciones.

Sin estas embarcaciones no es posible realizar estas actividades, y a nivel mundial son pocas empresas que tienen a su disposición estas embarcaciones, por lo que el arrendamiento resulta algo elevado en los costos.

Las maniobras de posicionamiento del barco grúa (embarcación principal), deben ser llevadas a cabo por operadores marinos especialistas apoyados por equipos de geo posicionamiento de última generación satelital (GPS) para que la embarcación sea posicionado en las coordenadas que se estipulen en el plan de desmantelamiento [63]. Debido a que estos barcos deben ser posicionados a una distancia óptima de trabajo, que garantiza que al momento de que la pluma de la grúa este realizando las maniobras de izaje correspondientes, no exista contacto entre las estructuras de la plataforma y el casco del barco grúa.

5.3.2. INSPECCIÓN DE LECHO MARINO Y DETERMINACIÓN DE TIPO DE CORTE EN PUNTOS DE CONEXIÓN PIERNA-PILOTE PARA RETIRO INTEGRAL.

Como se mencionó anteriormente, las subestructuras pueden ser removidas total o parcialmente, de acuerdo a Las Directrices de la Organización Marítima Internacional (OMI) de 1989, si esta sobrepasa los límites establecidos por esta norma se necesita cortar una parte de la estructura de la plataforma para permitir que exista un espacio libre de 55 metros del nivel medio del mar con respecto a estructura [4].

Teniendo en cuenta esto, el contratista debe tener contemplado para la elaboración del plan de desmantelamiento, el tirante de agua de plataforma marina, el



peso de esta misma y el año de su instalación para poder determinar si es removida total o parcialmente.

Para realizar la inspección se requiere de un equipo denominado R.O.V (Remote Operated Vehicle) [64], el cual es un equipo especializado en realizar inspecciones en espacios de difícil acceso bajo el agua e incluso para el reconocimiento previo del área de trabajo, también es utilizado para maniobras combinadas con otras para el estudio del medio marino.

Con ello, se define los principales puntos donde se debe efectuar los cortes necesarios, y con ello definir si será un retiro parcial o completo.

La ventaja de estos equipos es mucha, ya que permite ver en tiempo real el área donde se encuentre, facilitando los análisis y estudios a realizarse, sin la necesidad de que un buzo intervenga.

Una vez recabado los datos, es necesario definir el tipo de corte que se utilizaran siendo los más comunes los siguientes tipos de cortes: con explosivos, mecánicos, abrasivos y arco eléctrico con aire/carbón [65].

Al escoger uno o varios tipos de corte, se debe justificar aspectos de seguridad, confiabilidad, frecuencia de aplicación en campos petroleros, flexibilidad, adaptabilidad a las condiciones del campo, sensibilidad al medio ambiente y economía.

Estos métodos de cortes también aplican para una remoción parcial o total, siendo el dragado una condición que aplica solamente en caso de que sea totalmente retirada.

Tratándose de un retiro total, donde los pilotes se encuentran hincados al lecho marino, su extracción debe ser desde unos 4.5 metros por debajo del lecho marino lo cual es mencionado en el apartado 8.4.2.3 de la NRF-294-PEMEX-2013, por lo que en esa distancia se debe dragar la parte donde la plataforma está fijada y realizar los cortes [2].



El contratista debe ser muy cuidadoso en las decisiones que tome en su plan de desmantelamiento de plataforma marina fija, ya que la realización de un dragado, impactaría directamente en el tiempo y el costo final del desmantelamiento.

5.3.3. DRAGADO EN LAS ÁREAS DE PIERNAS Y CONDUCTORES TAPONADOS.

El dragado consiste en realizar la remoción de material donde se encuentra fijada la plataforma, para poder cortar una parte de la cimentación o sea de los pilotes que soportan y fijan la subestructura [66].

Existen diferentes tipos de dragados, para fines de trabajos marinos los más comunes son los siguientes:

- La de cuchara: su función es extraer a través de un brazo móvil los materiales del fondo marino.
- De aguas profundas: es una cuchara suspendida por cables desde el brazo de una grúa para extraer material del fondo marino.
- Cangilones: tiene una cinta transportadora que tiene a su vez otras pequeñas las cuales levantan material del fondo marino y lo elevan por encima del nivel del agua, depositándolo en un contenedor instalado en la embarcación.
- Hidráulica de succión: se usa en terrenos blandos y que posee una tubería flotante a través de la cual transporta los materiales hasta la orilla.
- Disgregadora: se realiza a través de movimientos rotatorios raspando el fondo marino.

Básicamente, la mayoría de los equipos de dragados están montados en embarcación de dimensiones variables, en la figura 23 [67] se puede apreciar una embarcación destinada a trabajos de dragados del tipo de succión.



Figura 23. Dragadora de succión.

La extracción total de los pilotes es muy difícil de hacer, debido a que estos en el momento que la plataforma fue instalada se enterraron a una cierta profundidad de diseño, por ello, la profundidad del dragado para corte en cada pilote es conforme a los requerimientos de la normatividad o su justificación técnica en la ejecución.

La parte que se queda enterrada no representa ningún problema al medio marino debido que los pilotes son fabricados con materiales que no afectan a este.

5.3.4. MANIOBRAS PARA LA INSTALACIÓN DEL ARREGLO DE IZAJE Y ESTROBADO DE LA PLATAFORMA MARINA FIJA.

Un arreglo de izaje es muy importante que sea definido con base a un análisis ingenieril y deben contener por los menos los siguientes puntos para que pueda ser confiable [2,60]:

- Cargas de izaje total a considerar (peso propio, cargas muertas, cargas de equipo, etc.)
- Factor de contingencia
- Esfuerzos permisibles
- Esfuerzos cortantes
- Cortante doble
- Esfuerzos combinados
- Revisión de elementos de izaje



- Accesorios de izaje
- Identificación de nodos o puntos de izaje
- Localización de centro de gravedad
- Análisis estructural
- Revisión de orejas de izaje
- Calculo de factores de seguridad
- Calculo de soldaduras
- Marcos de izaje*

**Es un elemento estructural fabricado en caso de que el diseño así lo requiera para ayuda en el izaje, es muy común en instalaciones y no se limita a usarse en el proceso de desmantelamiento, esté va a depender de tipo de estructura y/o embarcaciones a emplear, siendo a criterio del contratista.*

Con estos datos, se procede a calcular las dimensiones y tensiones de las eslingas, grilletes y orejas de izaje, así como la resistencia que deben tener las uniones de soldadura de los elementos de izaje para poder proceder al estrobado (conexión de los elementos de izaje para transmitir cargas), siendo esta última actividad de suma importancia para la correcta ejecución del izaje de las estructuras, en la figura 24 se puede apreciar un arreglo de izaje.



Figura 24. Arreglo de izaje listo para ser estrobado.

Estos análisis también definen la capacidad de la grúa así como las maniobras que son necesarias, para lograr el izaje de la superestructura y subestructura, en este punto los cortes aún no se han realizado. Por ello estas maniobras van definidas en el plan de



desmantelamiento, variando en algunos aspectos ya que algunos procesos que se realizan en la superestructura no se realizan en la subestructura.

Los cortes se realizan cuando las estructuras están debidamente estrobadas y tensionadas para ser izadas, después se procede a cortar y se coloca sobre el chalán.

5.3.5. ACTIVIDADES DE CORTE EN PIERNA-PILOTE Y CONDUCTORES TAPONADOS CON EQUIPO ESPECIALIZADO.

Estas actividades no se pueden realizar en conjunto con los arreglos de izaje, debido a que se necesita que las estructuras estén tensionadas mediante el barco grúa.

Como se mencionó en el apartado 5.3.2, existen diferentes tipos de cortes para los pilotes, estos métodos también sirve para los conductores que deben de estar debidamente taponados.

Para el caso de la superestructura el métodos de corte deben ser lo menos agresivo posible, así mismo esto también aplica para la subestructura, en caso de que esta última deba ser removida totalmente es necesario realizar el dragado alrededor de los pilotes para poder realizar los cortes necesarios.

Sin embargo, si la plataforma no es necesario que sea removida totalmente se debe respetar la distancia de corte desde el nivel medio del mar hasta la profundidad límite que marca la normatividad internacional lo cual se determina por el año de instalación de la plataforma y el tirante de agua, esto con el fin de ubicar los puntos de corte en la pierna de la plataforma o del pilote [4].

El primer elemento de la plataforma que debe estar debidamente estrobadado y tensado para poder ser cortado es la superestructura, después de que esta sea izada es necesario realizar lo mismo para la subestructura y realizar él corte de acuerdo con lo mencionado en el plan de desmantelamiento con base al marco legal aplicable con el fin de evitar posibles colapso por lo que el tiempo de desmantelamiento depende de la cantidad de patas o pilotes con la que la plataforma cuenta.



5.3.6. MANIOBRAS PARA EL IZAJE Y COLOCACIÓN SOBRE CUBIERTA DE CHALÁN Y/O PUESTA EN LUGAR SEGURO (ARRECIFE ARTIFICIAL).

Una vez que se hayan realizado los cortes y que las estructuras estén tensionadas, el barco grúa debe realizar las maniobras de izaje para la colocación en un lugar seguro, puede ser un arrecife artificial o la cubierta del chalán para su transporte a patio, esto de acuerdo a lo que se establezca en el plan de desmantelamiento.

Para poder realizar las maniobras de izaje es necesario que las embarcaciones estén posicionadas en las coordenadas de trabajo y deben ser analizadas por ingenieros especialistas y ser incluidas en el análisis de desmantelamiento [2, 60].

En el proceso de desmantelamiento, la superestructura es la primera que debe ser izada, para ello deben estar enganchadas todas las eslingas y ligeramente tensionadas al momento de realizar el corte de los puntos de unión entre la subestructura y la superestructura, también el área para las maniobras de izaje debe estar despejada y asegurada para proceder a realizar las actividades, en la figura 25 se puede apreciar una superestructura siendo izada.



Figura 25. Barco grúa izando una superestructura.

La subestructura es la segunda parte que debe ser izada y también aplica lo mencionado anteriormente, sólo que en este caso al ser la parte que se encuentra sumergida se debe tener más precaución en las maniobras de izaje.



Estas maniobras cambian de acuerdo a las dimensiones de la plataforma y de las capacidades del barco grúa que se tenga en disponibilidad, debido a que las variables no se consideran puede ocasionar desde contratiempos hasta accidentes por una mala elaboración en los cálculos.

Cabe mencionar que la superestructura forzosamente debe ser transportada a patio, por lo que el empleo de un chalán es necesario y debe tener los arreglos correspondientes en la cubierta para su colocación (ver figura 26) así como su aseguramiento para evitar percances en el momento que sea transportada (también aplica para la subestructura) [2,60].



Figura 26. Arreglos en la cubierta del chalán, para superestructura de plataformas de 8 patas (octópodo).

En cambio, la subestructura tiene dos destinos finales y puede hacer que las maniobras cambien, si se opta por el traslado a patio el uso del chalán debe ser fundamental cuando la distancia sea muy grande.

Para el caso de que se opte por inducción como arrecife artificial y si la distancia de transporte no es muy grande, no es necesario el uso del chalán, debido a que pueden ser transportadas directamente desde el barco grúa, y al momento que se está en el sitio se realizan las maniobras correspondientes para su correcta colocación en el fondo marino.



5.4. DESTINO FINAL DE LAS PLATAFORMAS.

Esta es la última fase a la cual una plataforma marina es sometida y depende de quién lícito el proyecto ya que el contratista trabaja con base a lo que se estipulan los alcances del proyecto en la licitación de acuerdo con el cliente (PEMEX).

Existen dos opciones de destino final, la rehabilitación o chatarrización en patio o su inducción como arrecife artificial.

Ambas opciones van a hacer que el costo final difiera uno sobre el otro, los factores por los cuales se justifica es por la distancia que el remolcador junto con el chalán deben recorrer, y en su defecto si es necesario el uso del barco grúa o no. Para estos trabajos es necesario solicitar permisos de navegación, carga, descarga y en su defecto los permisos correspondientes por la SEMARNAT [45] la cual tiene la facultad de aceptar o denegar la inducción como arrecife artificial, siguiendo sus propios criterios normativos con base a las Directrices Relativas a la Colocación de Arrecifes Artificiales [44].

5.4.1. TRANSPORTE Y DESCARGA EN PATIO PARA CHATARRIZACIÓN O REHABILITACIÓN.

Una vez que la plataforma es colocada sobre el chalán, se procede a llevar el patio correspondiente indicado por el cliente (PEMEX), pudiendo ser en alguno de estos estados, Tamaulipas, Veracruz, Tabasco o Campeche [3], por lo que es importante que la ubicación del patio se considere en los análisis para proponer el plan de desmantelamiento.

Los patios para que puedan recibir las estructuras desmanteladas deben cumplir con ciertos requisitos mínimos que son los siguientes; que tengan equipos de izaje y carga, área suficiente para la realización de maniobras y un muelle con un gran calado para que los chalanes cargados no se encallen.

En el transporte es necesario que las estructuras estén debidamente colocadas en chalán (ver figura 27) para que con ayuda del remolcador sean transportadas a el patio, la



duración puede variar de acuerdo a la distancia del sitio de desmantelamiento hasta el lugar del patio.



Figura 27. Superestructura colocada en un chalán siendo transportada con ayuda de un remolcador.

Una vez descargado la estructura en patio, el cliente responsable de la plataforma desmantelada debe decidir el destino de esta, ya sea como chatarra para confinamiento final o su rehabilitación para ser instalada en un nuevo campo lo cual puede representar una ventaja con respecto al costo de fabricación de una plataforma nueva, el único inconveniente que puede tener esta opción es que su vida útil se puede reducir, debido a que sólo se rehabilitaran las partes críticas que hayan sufrieron desgaste por las condiciones donde estaba instalada.

Cabe señalar que en los patios de descargas de los puertos en el país, la profundidad de calado no es muy grande por lo que algunos barcos grúas no pueden arribar debido a que los cascos de estas embarcaciones tienden a ser muy grandes por el peso de las cargas para la que fue diseñado, si por alguna razón el barco grúa llegara arribar en algún puerto podría encallarse ocasionando que su operación de rescate sea compleja, por ello, no es viable transportar mediante esta embarcación las estructuras desmanteladas a patio, por lo que el uso del chalán y remolcador para este caso es la opción más viable a considerar.



5.4.2. TRANSPORTE Y DESCARGA EN LUGAR SEGURO (ARRECIFE ARTIFICIAL).

Un arrecife artificial son estructuras colocadas en el fondo del mar deliberadamente, para imitar algunas características de los arrecifes naturales, sus materiales de construcción pueden variar desde hormigón a metales amigables con el medio ambiente [44].

Las estructuras de las plataformas, por el material que están hechas son candidatas a ser inducidas como un arrecife artificial debido a que fueron diseñadas para soportar las condiciones que presenta el medio marino, por lo que desde que se instalan se inicia la formación de flora y fauna marina a su alrededor constituyendo un ecosistema. Esto se contempla en la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar, la cual menciona que se debe de asignar una zona de seguridad mayor de 500 metros alrededor de las plataformas para garantizar la seguridad tanto del medio marino como de las instalaciones [42, 68].

En el caso de la subestructura, con base al párrafo anterior no es necesario removerla completamente, sin embargo si esta parte de la plataformas es considerada como un peligro si deja en el sitio total o parcialmente, se puede retirar completamente argumentando esa decisión, ya que esto se puede considerar como un atentado en contra de la flora y fauna marina.

El proceso para retiro de una subestructura que haya sido autorizada para la formación de un arrecife artificial en otro sitio, se deben realizar estudios e inspección al lecho marino para detección de alguna instalación submarina y ubicar el sitio seguro para el arrecife con base a las Directrices Relativas a la Colocación de Arrecifes Artificiales [44], al garantizar que no existen inconvenientes, se procede a transportar las estructuras al sitio predeterminado y realizar las maniobras para su inducción con el apoyo del barco grúa, remolcador y chalán.



CAPÍTULO VI

6. PROGRAMA DE TRABAJO PARA DESMANTELAMIENTO DE LAS PLATAFORMAS MARINAS FIJAS

Todo proyecto de obra requiere de la planificación de las actividades para su correcto control y ejecución en tiempo y forma, es por ello que como parte de la investigación del presente trabajo se propone un plan o programa de trabajo para el desmantelamiento de plataformas marinas fijas de tipo ligeras (trípodes y tetrápodos) y pesadas (hexápodos y octópodos).

Este plan de desmantelamiento define la secuencia de las actividades y su respectiva duración utilizando un software especializado en planeación de proyectos, el cual puede determinar los avances en un punto específico dentro de la vigencia del proyecto y así evaluar si está siendo ejecutado en tiempo y forma o presenta atrasos.

Deben ser lo más detallado posible, debido a que una mala planeación de este mismo puede incurrir en retrasos en las actividades y accidentes de trabajo por la mala selección de los equipos a utilizar, cada plan elaborado va a diferir en algunos aspectos como el tiempo de ejecución, el costo final, el tipo de equipos a utilizar, etc., debido a que cada empresa especializada los elabora de acuerdo a su experiencia y/o criterio.

Lo mencionado en el apartado 4.1 del capítulo 4, la licitación es una de las opciones más viables de adjudicación de proyectos a ejecutar en territorio nacional, por lo que este debe analizar las propuestas de cada contratista licitante y escoger la mejor opción que sea lógica, congruente, viable de ejecutar y que convenga a sus intereses.

Esto representa una ventaja para PEMEX, debido a que al asignar el contrato toda la ingeniería (AS BUILT) [69] que contempla el contratista en el proyecto de desmantelamiento pasa a ser propiedad de este, esto es de gran importancia ya que con esos procedimientos PEMEX en un futuro puede realizar los desmantelamientos por ellos mismos, sin la necesidad de licitar completamente este tipo de proyectos.



En este capítulo y con base en lo descrito en el capítulo V, se pretende proponer un programa de desmantelamiento sin limitantes, basado en procedimientos descritos en una publicación de una revista del sector petrolero del Reino Unido y lo aportado durante la investigación de campo realizada [3, 49].

6.1. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DEL PLAN DE DESMANTELAMIENTO DE PLATAFORMAS MARINAS FIJAS

La propuesta del plan de desmantelamiento para plataformas marinas de tipo fijas surge como un análisis de factibilidad en función de las respuestas obtenidas en las encuestas y entrevistas basados en experiencia del personal dedicado al área técnica-económica-administrativa en el ramo petrolero, estos datos representan la información más cercana a lo estipulado en contratos y procedimientos bajo normas involucradas en instalaciones, por lo que la propuesta de un plan de desmantelamiento de plataformas marinas de tipo fijas, representa el proceso inverso de una instalación de plataforma marina fija [3].

El plan de desmantelamiento propuesto para una plataforma marina de tipo fija, con tiempos de ejecución de cada actividad estimados con base a la información recabada, contemplando las embarcaciones mínimas requeridas sugeridas por las personas expertas en instalaciones fue realizado mediante el software enfocado a la programación y control de proyectos Microsoft Project 2013 ® [70].

6.2. TIEMPO DE EJECUCIÓN DEL PROGRAMA DE TRABAJO SUGERIDO

Los tiempos de ejecución fueron obtenidos mediante la investigación de campo, la cual se complementó con una publicación del año 2016 denominada “Decommissioning *Insight 2016*”, de una revista muy importante del sector petrolero en el Reino Unido, la Oil & Gas UK’s, menciona que se tiene contemplado que 109 plataformas serán desmanteladas en el periodo de 10 años (3653 días) correspondientes al periodo 2015 – 2025 [49].



Esta información es la base para estimar el tiempo promedio de ejecución de un desmantelamiento, esto bajo el supuesto de que este país es uno de los pioneros y cuenta con experiencia en el desmantelamiento de plataformas marinas y con las condiciones características del Mar del Norte (frío, grandes olas, viento y grandes profundidades) el cual sería de aproximadamente 33.5 días (3653 días / 109 plataformas). Este tipo de trabajos manejan un horario de 24 horas y el paro que debe de hacerse por un cambio de embarcación debe mínimo para evitar contratiempos.

El tiempo de ejecución analizado anteriormente es aplicable para la región del Mar del Norte, por lo que para considerar el tiempo del desmantelamiento de las plataformas marinas instaladas en el Golfo de México se deben tener en cuenta estas dos premisas [3]:

- 1- Se contempla los tiempos promedios de movilización y desmovilización de las embarcaciones en un promedio de 100 días (50 y 50 días respectivamente), esto por las distancias que hay entre México y los países proveedores de la tecnología necesaria (Reino Unido, China, Noruega, etc.), Este tiempo promedio es un valor estimado que no va a variar para un número determinado de plataformas.
- 2- Las especificaciones y tipos de plataformas marinas fijas actualmente instaladas en el Golfo de México y que por su vida útil son candidatas a desmantelar, se encuentran las tetrápodos y octópodos como las más comunes, su peso ronda entre las 8,000 toneladas métricas de peso y tirantes de agua promedio de 80 metros.

Tomando en consideración lo anterior y que las variables tomadas en cuenta por la publicación guardan la secrecía de las empresas especialistas en desmantelamiento de plataformas marinas, se precisa que el uso de la información y datos obtenidos de las proyecciones presentadas por la revista en la zona del Mar del Norte [49] dónde el tiempo promedio efectivo de ejecución calculado aplica sin ningún problema para las plataformas a desmantelar en el Golfo de México.



Se asume que las plataformas instaladas en el Golfo de México son de menor peso en comparación con las instaladas en el Mar del Norte por lo que la única variable a tener en cuenta es la duración de movilización y desmovilización de embarcaciones, la cual se encuentra entre las premisas a considerar.

Como ya se mencionó, esta propuesta está diseñada para cualquier tipo de plataforma marina fija sin importar si es ligera o pesada por lo que este tiempo se toma como un tiempo promedio, sin embargo las plataformas tienen diferentes características como de dimensiones y/o pesos, por lo que su desmantelamiento puede ser en un menor o mayor tiempo, para ello es necesario tener un margen de días con el cual se establezca un tiempo estimado máximo y mínimo por lo que se propone un $\pm 20\%$ ya que este porcentaje de acuerdo a las personas entrevistadas determina el rango de tiempo de ejecución para la instalación de una plataforma marina con diferentes características [3].

Asumiendo ese porcentaje en el tiempo promedio efectivo de ejecución para desmantelar una plataforma (33.5 días), el margen es de ± 7 días, por lo que se puede afirmar que el límite inferior y superior estimado debe ser de 26 y 41 días respectivamente. Esto fue propuesto debido a que las plataformas instaladas en el Golfo de México son de pesos y dimensiones menores a las instaladas en el Mar del Norte.

6.3. FASES DEL PROGRAMA DE TRABAJO SUGERIDO

Este programa se describe de manera enunciativa más no limitativa basado en las actividades descritas en el capítulo V, siendo aplicable para las plataformas marinas tanto ligeras como pesadas cambiando únicamente el tiempo de ejecución de las actividades y consta de siete fases, las cuales se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Fases implicadas en el desmantelamiento de plataformas marinas fijas.

Fase	Nombre
1	Trabajos realizados por el cliente (PEMEX)
2	Análisis y/o estudios y/o requisitos para bases de proyecto y sus alcances por PEMEX
3	Licitación por PEMEX
4	Movilización y Trabajos Previos
5	Trabajos de desmantelamiento y transporte de la Superestructura
6	Trabajos de desmantelamiento y transporte de la Subestructura
7	Desmovilización de embarcaciones



La primera fase corresponde al taponamiento del pozo y los análisis necesarios para que una plataforma sea candidata ser desmantelada, es exclusiva de PEMEX y aplica para plataformas instaladas hasta antes del 2014, sin embargo las que fueron instaladas después de ese año es responsabilidad de la empresa dueña de las instalaciones.

En la segunda fase PEMEX realiza la ingeniería básica y gestiones que determinan el proyecto y sus alcances basados con los análisis de la primera fase para poder realizar la convocatoria de licitación.

La tercera fase, los contratistas participantes así como el cliente deben de analizar las propuestas y una vez concluido las revisiones y observaciones se procede a adjudicar el contrato a la mejor propuesta.

En caso de que PEMEX sea el que realice el proyecto de desmantelamiento, la fase tres cambiaría debido a que no sería necesario licitar completamente el proyecto si no solamente algunas servicios en los cuales no pudiera realizar, como por ejemplo el arrendamiento de las embarcaciones, por mencionar algunas.

La fase cuatro a la siete, describen el plan o programa de trabajo y sus actividades que debe de realizar el contratista que haya resultado ganador en la licitación o en su defecto PEMEX si opta por ejecutar el proyecto por sí mismo.

La sexta fase contempla dos alternativas para el destino final de la subestructura dependiendo de la distancia donde se remueve la plataforma a el lugar designado por las dependencias competentes la cual afecta el transporte, debido a que si se opta por su traslado a patio es necesario el uso del chalán para su transporte, en cambio si se opta por inducción como arrecife artificial puede trasportarse directamente con el barco grúa.

Estas fases pueden dividirse en subfases y/o actividades, (propuestas con base a las actividades mencionadas en el capítulo V y la investigación de campo), por ello en el apartado 6.4 se muestra el plan de desmantelamiento para una plataforma marina fija de



tipo pesada (ver tabla 5), el cual contiene las actividades propuestas que pueden aplicarse para las de tipo ligeras, variando el tiempo de ejecución.

Este plan propuesto muestra en la tabla 4 los recursos mínimos que intervienen en las actividades del plan de desmantelamiento, con los cuales se garantiza la realización del desmantelamiento de forma continua, sin embargo cada contratista de acuerdo a su criterio basado en su experiencia puede estipular la cantidad de embarcaciones a usar, siendo el tiempo de ejecución del proyecto un factor importante para determinarlos.

Tabla 4. Recursos principales considerados en el plan de desmantelamiento.

Cantidad	Recurso
1	Barco grúa con posicionamiento dinámico y/o sistema de anclas debidamente equipado
3	Chalanes adecuados para las cargas
3	Remolcadores (con tiro suficiente al trabajo a realizar)
1	Abastecedor (Spread de apoyo)*
* Se puede arrendar en México, debido a que existen empresas que cuentan con este tipo de embarcaciones, debido a que también son muy utilizados en los mantenimientos de plataformas marinas	

La única embarcación que incluye todo lo necesario para la correcta realización de los trabajos es el barco grúa y por lo regular cuenta con equipos de corte, grilletes, eslingas, inspecciones con ROV, pruebas no destructivas, por mencionar algunas, en caso de que no cuente con algún servicio, estos se subcontratan para el correcto equipamiento y ejecución de los trabajos, las demás embarcaciones se adecuan de acuerdo a las especificaciones y/o necesidades presentes en el proyecto.

Lo anterior se afirma, debido a que en las actividades de instalación de plataformas contratadas por PEMEX, el arrendamiento de las embarcaciones incluye estos servicios, y esto se puede corroborar en libros de proyectos y libros blancos que se elaboran para llevar el registro de las actividades a realizar.

6.4. PROGRAMA DE TRABAJO SUGERIDO ÓPTIMO PARA DIFERENTES SITUACIONES

El plan propuesto se analizó con ayuda del software Microsoft Project Professional 2013 ® esto con el fin de obtener la ruta crítica del trabajo de desmantelamiento, señalando que no es el único software especializado utilizado para este fin.



La planeación de estos tiempos y de las actividades que conforman cada fase de las actividades propuestas en el plan de desmantelamiento ayudan a determinar la ruta crítica la cual será la misma para las situaciones que más adelante se muestran y que fueron explicadas en los apartados 6.1, 6.2 y 6.3 respectivamente.

Este plan de desmantelamiento propuesto (ver tabla 5) fue realizado para una plataforma marina fija de tipo pesada, a su vez en la figura 26 se muestra la ruta crítica calculada con base a la programación realizada en Microsoft Project Professional 2013 ®, cabe recalcar que la programación del plan que elaboren las empresas especialistas en desmantelamiento debe estar basado con el mejor criterio y/o prácticas de acuerdo a su experiencia.

Esta programación se realiza estableciendo las relaciones o vínculos entre las actividades que le preceden, existen cuatro tipos de vínculos a los cuales se les puede asignar a una actividad en el software, los cuales son los siguientes:

- FC (Fin–Comienzo): La actividad 2 no puede comenzar hasta que la actividad 1 termine.
- CC (Comienzo–Comienzo): La actividad 1 y 2 pueden comenzar a la par.
- FF (Fin–Fin): La actividad 2 no puede terminar hasta que termine la actividad 1.
- CF (Comienzo-Fin): La actividad 2 no puede terminar hasta que comience la actividad 1.

Definido los tipos de vínculos que se pueden asignar en el software Microsoft Project Professional 2013 ®, en la tabla 5 se muestra el plan de desmantelamiento para una plataforma marina de tipo pesada con sus respectivas vinculaciones las cuales definen si las actividades son críticas o no.



Tabla 5. Plan de desmantelamiento elaborado en MS Project 2013 para una plataforma pesada.

ID	Nombre de tarea	Duración	Predecesoras	Tarea Crítica
1	PLAN DE DESMANTELAMIENTO DE PLATAFORMAS MARINAS DE TIPO FIJA	230.5 días		Sí
2	Procesos Previos del proyecto	94 días		Sí
3	Fase 1: Trabajos realizados por el cliente (PEMEX)	0 días		Sí
4	Taponamiento del pozo productor	0 días		Sí
5	Análisis de integridad	0 días	4CC	Sí
6	Análisis de factibilidad	0 días	5CC	Sí
7	Análisis de impacto ambiental	0 días	6CC	Sí
8	Permisos correspondientes	0 días	7CC	Sí
9	Fase 2: Análisis y/o estudios y/o requisitos para bases de proyecto y sus alcances por PEMEX	24 días		Sí
10	Recepción de documentación de las plataformas a desmantelar	0 días	8CC	Sí
11	Elaboración de las bases y alcances del proyecto	0 días	10CC+24 días	Sí
12	Recopilación y/o elaboración de la ingeniería básica de las plataformas a desmantelar	0 días	11CC	Sí
13	Fase 3: Licitación por PEMEX	66 días		Sí
14	Convocatoria	0 días	12FC+4 días	Sí
15	Reunión para visita a sitio de la obra	0 días	14FC+4 días	Sí
16	Junta de aclaraciones de precalificación	4 días		Sí
17	Junta 1 Recepción de preguntas	0 días	15FC+3 días	Sí
18	Junta 2 Respuesta de preguntas	0 días	17FC+4 días	Sí
19	Presentación de propuestas de trabajo para precalificar	0 días	18FC+4 días	Sí
20	Evaluación de propuesta de precalificación	0 días	19FC+6 días	Sí
21	Resultados de la precalificación	0 días	20FC+3 días	Sí
22	Junta de aclaración a preguntas a las bases	7 días		Sí
23	Junta 1 Recepción de preguntas	0 días	21FC+4 días	Sí
24	Junta 2 Respuesta de preguntas	0 días	23FC+7 días	Sí
25	Presentación de propuestas Técnica- Económicas	0 días	24FC+7 días	Sí
26	Evaluación de propuestas técnica-económica	0 días	25FC+7 días	Sí
27	Resultados de la evaluación de propuestas técnica-económicas	0 días	26FC+2 días	Sí
28	Fallo de la propuesta que ofrece las mejores condiciones a PEMEX	0 días	27FC+5 días	Sí
29	Firma de contrato	0 días	28FC+10 días	Sí
30	Proceso de ejecución de los trabajos de desmantelamiento de plataformas marinas fijas pesadas (Hexápodos y/o Octópodos)	135.5 días		Sí
31	Proceso de Movilización de embarcaciones	70 días		Sí
32	Fase 4: Movilización y Trabajos Previos	70 días		Sí
33	Movilización de Embarcación Principal Barco Grúa y spread de apoyo (Abastecedor)	53 días		Sí
34	Carga de equipos, herramientas y movilización para ejecución de trabajos	50 días	29FC+1 día	Sí
35	Liberación aduanal para inicio de proyecto, inspección de tipo checklist por control marino del cliente	3 días	34	Sí
36	Movilización de Embarcación Secundaria Pareja #1 Chalán Remolcador para Transporte de superestructura	59 días		No
37	Movilización para ejecución de trabajos	50 días	34CC	No
38	Liberación aduanal para inicio, inspección de tipo checklist por control marino del cliente	3 días	37	No
39	Preparación y adecuación de chalanes para puesta en cubierta de superestructura	5 días	38	No
40	Movilización a sitio del desmantelamiento de plataforma marina	1 día	39	No

Análisis de desmantelamiento de plataformas marinas fijas, instaladas por PEMEX costa afuera en el Golfo de México.

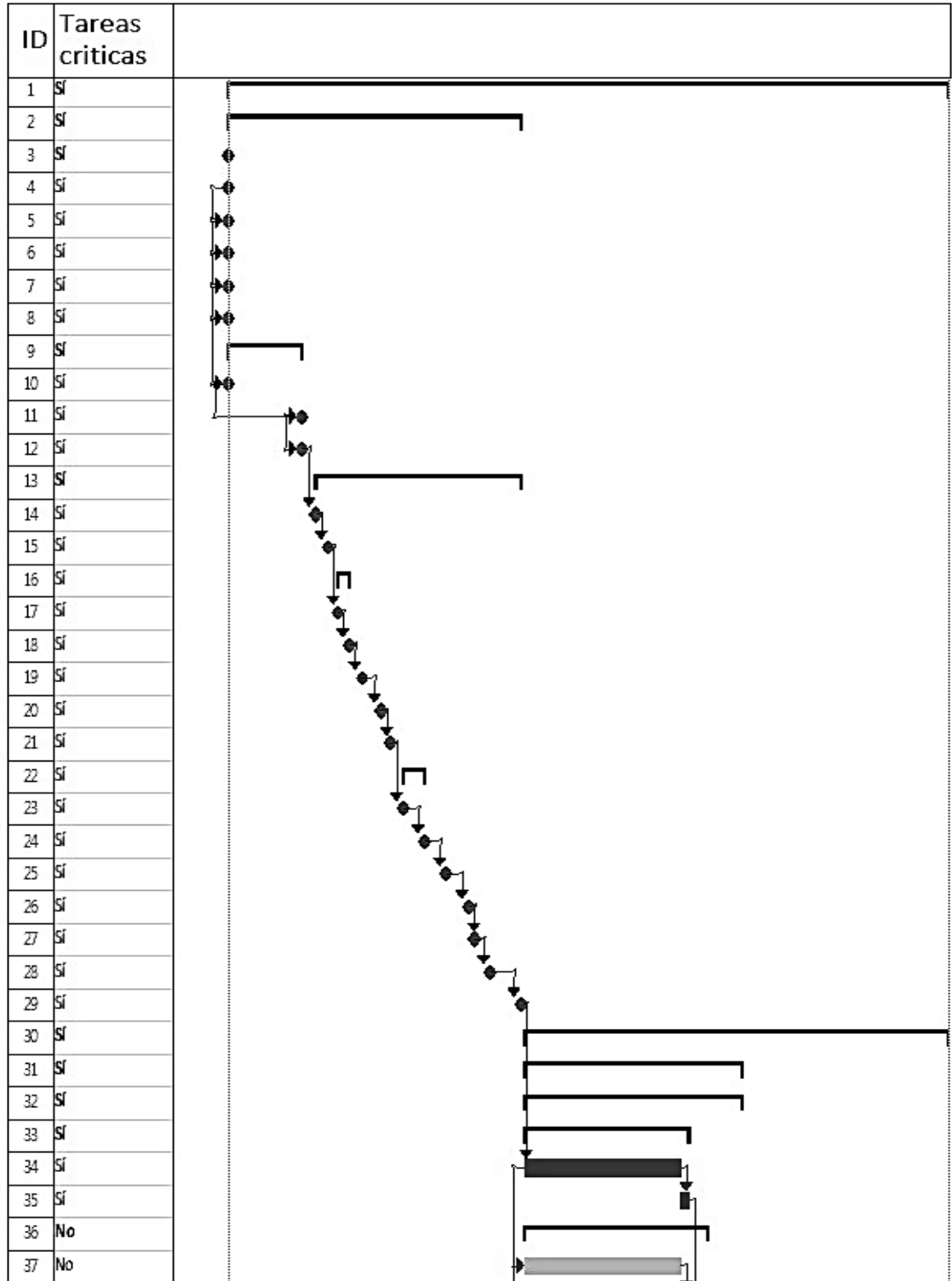


41	Movilización de Embarcación secundaria pareja #2 Chalán Remolcador para transporte de subestructura	70 días		No
42	Movilización para ejecución de trabajos	50 días	34CC	No
43	Liberación aduanal para inicio, inspección de tipo checklist por control marino del cliente	3 días	42	No
44	Preparación y adecuación de chalanes para puesta en cubierta de subestructura	16 días	43	No
45	Movilización a sitio del desmantelamiento de plataforma marina	1 día	44	No
46	Movilización de Embarcación secundaria pareja #3 Chalán Remolcador para apoyo de misceláneos	54 días		No
47	Movilización para ejecución de trabajos	50 días	34CC	No
48	Liberación aduanal para inicio, inspección de tipo checklist por control marino del cliente	2 días	47	No
49	Preparación y adecuación de chalanes para misceláneos	1 día	48	No
50	Movilización a sitio del desmantelamiento de plataforma marina	1 día	49	No
51	Proceso de desmantelamiento y transporte de plataformas marinas	31.5 días		Sí
52	Fase 5: Trabajos de desmantelamiento y transporte de la superestructura	20.5 días		Sí
53	Izaje y retiro de superestructura con apoyo de Barco Grúa con capacidad suficiente, incluye recursos materiales, mano de obra, equipos y herramientas	9 días		Sí
54	Posicionamiento de embarcaciones en el sitio de desmantelamiento	1 día	35	Sí
55	Desconexión y retiro de tuberías ascendentes, umbilicales, etc., que se encuentran sumergidas	2 días	54	Sí
56	Preparación y recuperación de residuos de la superestructura	2 días	55CC	Sí
57	Retiro de equipos y tuberías de procesos	2 días	56	Sí
58	Preparaciones y/o adecuaciones de orejas y/o puntos de izaje	2 días	57CC+1 día	Sí
59	Maniobras de amarre y aseguramiento de elementos de izaje	1 día	58	Sí
60	Corte necesarios en la superestructura	1 día	59	Sí
61	Izaje y remoción de la superestructura en sitio	1 día	60	Sí
62	Puesta de la superestructura sobre chalán	1 día	61CC	Sí
63	Transporte y descarga de superestructura en patio con apoyo de pareja #1 chalán-remolcador	14.5 días		No
64	Esperando en cercanías	1 día	40	No
65	Posicionamiento y tiempo de carga	2 días	60CC	No
66	Aseguramiento de superestructura en chalán de transporte	1 día	65	No
67	Transporte a patio de descarga	3.5 días	66	No
68	Arribo y maniobras de posicionamiento	1 día	67	No
69	Descarga de la superestructura en patio	2.5 días	68	No
70	Siguiente carga o Adecuación y limpieza de chalán	3.5 días	69	No
71	Fase 6: Trabajos de desmantelamiento y transporte de la subestructura	30.5 días		No
72	Izaje y retiro de subestructura con apoyo de Barco Grúa con capacidad suficiente, incluye recursos materiales, mano de obra, equipos y herramientas	11.5 días		Sí
73	Preparación de la subestructura (Inspección submarina y reforzamiento estructural)	2 días	62	Sí
74	Preparaciones y/o adecuaciones de orejas y/o puntos de izaje	2 días	73CC	Sí
75	Preparativos y colocación de elementos de flotación para posicionamiento horizontal de subestructura	2 días	74	Sí
76	Maniobras de amarre y aseguramiento de elementos de izaje	1 día	75	Sí
77	Dragado en área de pilotes y conductores	3 días	76CC	Sí
78	Preparación y remoción del crecimiento marino	3 días	77CC+0.5 días	Sí



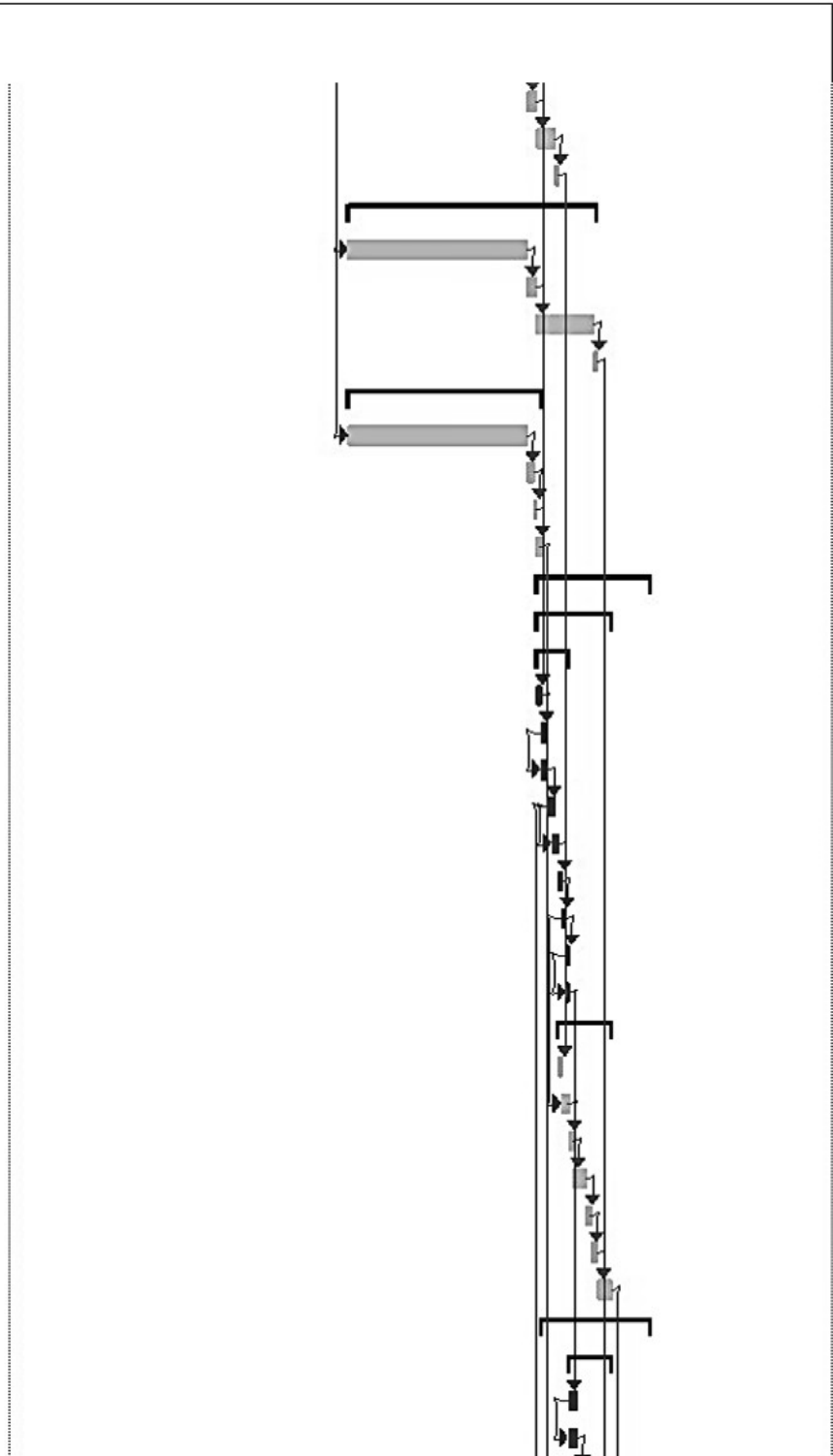
79	Corte de pilotes y conductores del pozo productor de acuerdo a los alcances del cliente	3 días	78CC+0.5 días	Sí
80	Maniobras de posicionamiento horizontal controlada de la subestructura	1 día	79	Sí
81	Izaje y remoción de la subestructura en sitio	1 día	80	No
82	Puesta de la subestructura sobre chalán o transporte a sitio seguro (arrecife)	1 día	81	No
83	Movilización a siguiente sitio de desmantelamiento o área para liberación aduanal por terminación de proyecto	0.5 días	82	No
84	Transporte y descarga de subestructura en patio o lugar seguro con apoyo de pareja #2 chalán-remolcador	14.5 días		No
85	Esperando en cercanías	1 día	45	No
86	Posicionamiento y tiempo de carga	2 días	80	Sí
87	Aseguramiento de subestructura en chalán de transporte	1 día	86	Sí
88	Transporte a patio de descarga o sitio seguro (arrecife)	3.5 días	87	Sí
89	Arribo y maniobras de posicionamiento	1 día	88	Sí
90	Descarga de la subestructura en patio o lugar seguro (arrecife artificial)	2.5 días	89	Sí
91	Siguiente carga o Limpieza de chalán	3.5 días	90	Sí
92	Transporte y descarga de equipos y tuberías (misceláneos) en patio con apoyo de pareja #3 chalán-remolcador	25 días		No
93	Esperando en cercanías	2 días	50	No
94	Posicionamiento, tiempo de carga y espera	14 días	57CC	No
95	Aseguramiento de equipos y tuberías (misceláneos) en chalán de transporte	14 días	94CC	No
96	Transporte a patio de descarga	3.5 días	95	No
97	Arribo y maniobras de posicionamiento	1 día	96	No
98	Descarga de equipos y tuberías (misceláneos) en patio	1 día	97	No
99	Siguiente carga o Limpieza de chalán	3.5 días	98	No
100	Proceso de desmovilización de embarcaciones	62 días		Sí
101	Fase 7: Desmovilización de embarcaciones	62 días		Sí
102	Desmovilización de Embarcación Principal Barco Grúa y spread de apoyo (remolcador)	51 días		No
103	Liberación aduanal por terminación de proyecto	1 día	83	No
104	Desmovilización a puerto de origen	50 días	103	No
105	Desmovilización de Embarcación Secundaria Pareja #1 Chalán Remolcador para Transporte de Superestructura	51 días		No
106	Liberación aduanal por terminación de proyecto	1 día	70	No
107	Desmovilización a puerto de origen	50 días	106	No
108	Desmovilización de Embarcación Secundaria Pareja #2 Chalán Remolcador para Transporte de Subestructura	51 días		Sí
109	Liberación aduanal por terminación de proyecto	1 día	91	Sí
110	Desmovilización a puerto de origen	50 días	109	Sí
111	Desmovilización de Embarcación Secundaria Pareja #3 Chalán Remolcador para apoyo de misceláneos	51 días		No
112	Liberación aduanal por terminación de proyecto	1 día	99	No
113	Desmovilización a puerto de origen	50 días	112	No

Con base a la programación mostrada en la tabla 5, el software Microsoft Project Professional 2013 ® calculó la ruta crítica del plan de desmantelamiento para una plataforma de tipo pesada mediante un diagrama de Gantt mostrada en la figura 28.





ID	Tareas criticas
38	No
39	No
40	No
41	No
42	No
43	No
44	No
45	No
46	No
47	No
48	No
49	No
50	No
51	Sí
52	Sí
53	Sí
54	Sí
55	Sí
56	Sí
57	Sí
58	Sí
59	Sí
60	Sí
61	Sí
62	Sí
63	No
64	No
65	No
66	No
67	No
68	No
69	No
70	No
71	No
72	Sí
73	Sí
74	Sí



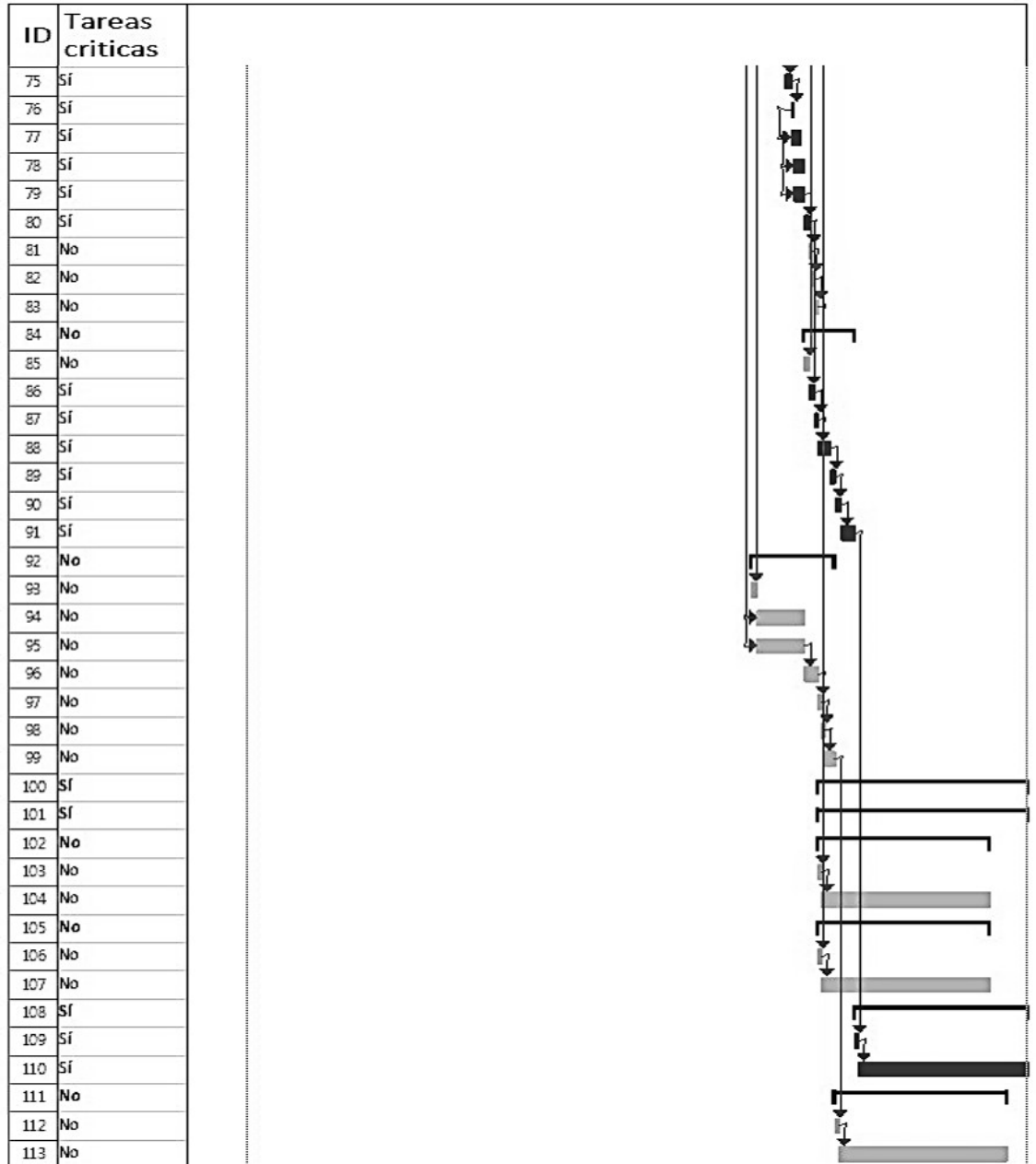


Figura 28. Ruta crítica proporcionada por MS Project en un Diagrama de Gantt.

Este plan de desmantelamiento propuesto es aplicable para una plataforma marina fija de tipo pesada donde resulta una duración de 230.5 días de ejecución como un proyecto único, este mismo plan es aplicable también para plataformas ligeras, sin embargo lo único que cambia es la duración de las actividades, por lo que para una plataformas de tipo ligera el desmantelamiento tiene una duración de 224.5 días, esto es debido a la duración de las actividades que se muestran en la tabla 6 con respecto a la programación que se tiene en el plan mostrado en la tabla 5.



Tabla 6. Duración de actividades en el plan de desmantelamiento para plataformas ligeras.

ID	Duración (Días)	ID	Duración (Días)	ID	Duración (Días)	ID	Duración (Días)	ID	Duración (Días)
39	3	58	1	69	2	77	2	90	2
44	10	59	0.5	73	1.5	78	2	93	1.5
55	1.5	60	0.5	74	1.5	79	2	94	9.5
56	1.5	64	0.5	75	1.5	85	2	95	9.5
57	1	65	1.5	76	0.5	86	1.5	97	0.5

Para la inducción como arrecife artificial en el mismo lugar o a un sitio seguro donde no sea mayor a dos días de navegación el plan de desmantelamiento mostrado en la tabla 5 es aplicable variando el tiempo de las actividades con respecto a la programación las cuales se muestran en la tabla 7, por lo que el tiempo de desmantelamiento para una plataforma de tipo pesada es de 225 días mientras que para una ligera es de 219.5 días.

Tabla 7. Duración de actividades en el plan de desmantelamiento para plataformas ligeras y pesadas como inducción a arrecife.

Ligeras										Pesadas			
ID	Duración (Días)	ID	Duración (Días)	ID	Duración (Días)	ID	Duración (Días)	ID	Duración (Días)	ID	Duración (Días)	ID	Duración (Días)
39	3	58	1	75	1.5	85	0	94	9.5	42	0	86	0
42	0	59	0.5	76	0.5	86	0	95	9.5	43	0	87	0
43	0	60	0.5	77	2	87	0	97	0.5	44	0	88	0
44	0	64	0.5	78	2	88	0	109	0	45	0	89	0
45	0	65	1.5	79	2	89	0	110	0	81	1.5	90	0
55	1.5	69	2	81	1.5	90	0			82	1.5	91	0
56	1.5	73	1.5	82	1.5	91	0			83	1.5	109	0
57	1	74	1.5	83	1.5	93	1.5			85	0	110	0

Para una fácil apreciación de los datos, en la tabla 8 se procederá a poner la duración de las fases y subfases basadas en los cambios de tiempos mostrados en la tablas 6.

Tabla 8. Duración de las fases y subfases de las plataformas con disposición a patio.

Ligera Patio		Pesada Patio	
Nombre de tarea	Duración	Nombre de tarea	Duración
PLAN DE DESMANTELAMIENTO DE PLATAFORMAS MARINAS DE TIPO FIJA	224.5 días	PLAN DE DESMANTELAMIENTO DE PLATAFORMAS MARINAS DE TIPO FIJA	230.5 días
Procesos Previos del proyecto	94 días	Procesos Previos del proyecto	94 días
Fase 1: Trabajos realizados por el cliente (PEMEX)	0 días	Fase 1: Trabajos realizados por el cliente (PEMEX)	0 días



Fase 2: Análisis y/o estudios y/o requisitos para bases de proyecto y sus alcances	24 días	Fase 2: Análisis y/o estudios y/o requisitos para bases de proyecto y sus alcances	24 días
Fase 3: Licitación	66 días	Fase 3: Licitación	66 días
Proceso de ejecución de los trabajos de desmantelamiento de plataformas marinas fijas ligeras (Trípode y/o Tetrápodo)	129.5 días	Proceso de ejecución de los trabajos de desmantelamiento de plataformas marinas fijas pesadas (Hexápodos y/o Octópodos)	135.5 días
Proceso de Movilización de embarcaciones	64 días	Proceso de Movilización de embarcaciones	70 días
Fase 4: Movilización y Trabajos Previos	64 días	Fase 4: Movilización y Trabajos Previos	70 días
Movilización de Embarcación Principal Barco Grúa y spread de apoyo (Abastecedor)	53 días	Movilización de Embarcación Principal Barco Grúa y spread de apoyo (Abastecedor)	53 días
Movilización de Embarcación Secundaria Pareja #1 Chalán Remolcador para Transporte de superestructura	57 días	Movilización de Embarcación Secundaria Pareja #1 Chalán Remolcador para Transporte de superestructura	59 días
Movilización de Embarcación secundaria pareja #2 Chalán Remolcador para transporte de subestructura	64 días	Movilización de Embarcación secundaria pareja #2 Chalán Remolcador para transporte de subestructura	70 días
Movilización de Embarcación secundaria pareja #3 Chalán Remolcador para apoyo de misceláneos	54 días	Movilización de Embarcación secundaria pareja #3 Chalán Remolcador para apoyo de misceláneos	54 días
Proceso de desmantelamiento y transporte de plataformas marinas	25.5 días	Proceso de desmantelamiento y transporte de plataformas marinas	31.5 días
Fase 5: Trabajos de desmantelamiento y transporte de la superestructura	17 días	Fase 5: Trabajos de desmantelamiento y transporte de la superestructura	20.5 días
Izaje y retiro de superestructura con apoyo de Barco Grúa con capacidad suficiente, incluye recursos materiales, mano de obra, equipos y herramientas	6 días	Izaje y retiro de superestructura con apoyo de Barco Grúa con capacidad suficiente, incluye recursos materiales, mano de obra, equipos y herramientas	9 días
Transporte y descarga de superestructura en patio con apoyo de pareja #1 chalán-remolcador	13 días	Transporte y descarga de superestructura en patio con apoyo de pareja #1 chalán-remolcador	14.5 días
Fase 6: Trabajos de desmantelamiento y transporte de la subestructura	24.5 días	Fase 6: Trabajos de desmantelamiento y transporte de la subestructura	30.5 días
Izaje y retiro de subestructura con apoyo de Barco Grúa con capacidad suficiente, incluye recursos materiales, mano de obra, equipos y herramientas	9 días	Izaje y retiro de subestructura con apoyo de Barco Grúa con capacidad suficiente, incluye recursos materiales, mano de obra, equipos y herramientas	11.5 días
Transporte y descarga de subestructura en patio o lugar seguro con apoyo de pareja #2 chalán-remolcador	14.5 días	Transporte y descarga de subestructura en patio o lugar seguro con apoyo de pareja #2 chalán-remolcador	14.5 días
Transporte y descarga de equipos y tuberías (misceláneos) en patio con apoyo de pareja #3 chalán-remolcador	19.5 días	Transporte y descarga de equipos y tuberías (misceláneos) en patio con apoyo de pareja #3 chalán-remolcador	25 días
Proceso de desmovilización de embarcaciones	61.5 días	Proceso de desmovilización de embarcaciones	62 días

Análisis de desmantelamiento de plataformas marinas fijas, instaladas por PEMEX costa afuera en el Golfo de México.



Fase 7: Desmovilización de embarcaciones	61.5 días	Fase 7: Desmovilización de embarcaciones	62 días
Desmovilización de Embarcación Principal Barco Grúa y spread de apoyo (remolcador)	51 días	Desmovilización de Embarcación Principal Barco Grúa y spread de apoyo (remolcador)	51 días
Desmovilización de Embarcación Secundaria Pareja #1 Chalán Remolcador para Transporte de Superestructura	51 días	Desmovilización de Embarcación Secundaria Pareja #1 Chalán Remolcador para Transporte de Superestructura	51 días
Desmovilización de Embarcación Secundaria Pareja #2 Chalán Remolcador para Transporte de Subestructura	51 días	Desmovilización de Embarcación Secundaria Pareja #2 Chalán Remolcador para Transporte de Subestructura	51 días
Desmovilización de Embarcación Secundaria Pareja #3 Chalán Remolcador para apoyo de misceláneos	51 días	Desmovilización de Embarcación Secundaria Pareja #3 Chalán Remolcador para apoyo de misceláneos	51 días

En la tabla 9 se procederá a poner la duración de las fases y subfases basadas en los cambios de tiempos mostrados en la tablas 7.

Tabla 9. Duración de las fases y subfases de las plataformas con disposición arrecife.

Ligera Inducción		Pesada Inducción	
Nombre de tarea	Duración	Nombre de tarea	Duración
PLAN DE DESMANTELAMIENTO DE PLATAFORMAS MARINAS DE TIPO FIJA	219.5 días	PLAN DE DESMANTELAMIENTO DE PLATAFORMAS MARINAS DE TIPO FIJA	225 días
Procesos Previos del proyecto	94 días	Procesos Previos del proyecto	96.67 días
Fase 1: Trabajos realizados por el cliente (PEMEX)	0 días	Fase 1: Trabajos realizados por el cliente (PEMEX)	96.67 días
Fase 2: Análisis y/o estudios y/o requisitos para bases de proyecto y sus alcances	24 días	Fase 2: Análisis y/o estudios y/o requisitos para bases de proyecto y sus alcances	24 días
Fase 3: Licitación	66 días	Fase 3: Licitación	66 días
Proceso de ejecución de los trabajos de desmantelamiento de plataformas marinas fijas ligeras (Trípode y/o Tetrápodo)	124.5 días	Proceso de ejecución de los trabajos de desmantelamiento de plataformas marinas fijas pesadas (Hexápodos y/o Octópodos)	130 días
Proceso de Movilización de embarcaciones	57 días	Proceso de Movilización de embarcaciones	59 días
Fase 4: Movilización y Trabajos Previos	57 días	Fase 4: Movilización y Trabajos Previos	59 días
Movilización de Embarcación Principal Barco Grúa y spread de apoyo (Abastecedor)	53 días	Movilización de Embarcación Principal Barco Grúa y spread de apoyo (Abastecedor)	53 días
Movilización de Embarcación Secundaria Pareja #1 Chalán Remolcador para Transporte de superestructura	57 días	Movilización de Embarcación Secundaria Pareja #1 Chalán Remolcador para Transporte de superestructura	59 días
Movilización de Embarcación secundaria pareja #2 Chalán Remolcador para transporte de subestructura	0 días	Movilización de Embarcación secundaria pareja #2 Chalán Remolcador para transporte de subestructura	0 días
Movilización de Embarcación secundaria pareja #3 Chalán	54 días	Movilización de Embarcación secundaria pareja #3 Chalán	54 días

Análisis de desmantelamiento de plataformas marinas fijas, instaladas por PEMEX costa afuera en el Golfo de México.



Remolcador para apoyo de misceláneos		Remolcador para apoyo de misceláneos	
Proceso de desmantelamiento y transporte de plataformas marinas	20.5 días	Proceso de desmantelamiento y transporte de plataformas marinas	26 días
Fase 5: Trabajos de desmantelamiento y transporte de la superestructura	17 días	Fase 5: Trabajos de desmantelamiento y transporte de la superestructura	20.5 días
Izaje y retiro de superestructura con apoyo de Barco Grúa con capacidad suficiente, incluye recursos materiales, mano de obra, equipos y herramientas	6 días	Izaje y retiro de superestructura con apoyo de Barco Grúa con capacidad suficiente, incluye recursos materiales, mano de obra, equipos y herramientas	9 días
Transporte y descarga de superestructura en patio con apoyo de pareja #1 chalán-remolcador	13 días	Transporte y descarga de superestructura en patio con apoyo de pareja #1 chalán-remolcador	14.5 días
Fase 6: Trabajos de desmantelamiento y transporte de la subestructura	19.5 días	Fase 6: Trabajos de desmantelamiento y transporte de la subestructura	25 días
Izaje y retiro de subestructura con apoyo de Barco Grúa con capacidad suficiente, incluye recursos materiales, mano de obra, equipos y herramientas	11.5 días	Izaje y retiro de subestructura con apoyo de Barco Grúa con capacidad suficiente, incluye recursos materiales, mano de obra, equipos y herramientas	13.5 días
Transporte y descarga de subestructura en patio o lugar seguro con apoyo de pareja #2 chalán-remolcador	0 días	Transporte y descarga de subestructura en patio o lugar seguro con apoyo de pareja #2 chalán-remolcador	0 días
Transporte y descarga de equipos y tuberías (misceláneos) en patio con apoyo de pareja #3 chalán-remolcador	19.5 días	Transporte y descarga de equipos y tuberías (misceláneos) en patio con apoyo de pareja #3 chalán-remolcador	25 días
Proceso de desmovilización de embarcaciones	58.5 días	Proceso de desmovilización de embarcaciones	59 días
Fase 7: Desmovilización de embarcaciones	58.5 días	Fase 7: Desmovilización de embarcaciones	59 días
Desmovilización de Embarcación Principal Barco Grúa y spread de apoyo (remolcador)	51 días	Desmovilización de Embarcación Principal Barco Grúa y spread de apoyo (remolcador)	51 días
Desmovilización de Embarcación Secundaria Pareja #1 Chalán Remolcador para Transporte de Superestructura	51 días	Desmovilización de Embarcación Secundaria Pareja #1 Chalán Remolcador para Transporte de Superestructura	51 días
Desmovilización de Embarcación Secundaria Pareja #2 Chalán Remolcador para Transporte de Subestructura	0 días	Desmovilización de Embarcación Secundaria Pareja #2 Chalán Remolcador para Transporte de Subestructura	0 días
Desmovilización de Embarcación Secundaria Pareja #3 Chalán Remolcador para apoyo de misceláneos	51 días	Desmovilización de Embarcación Secundaria Pareja #3 Chalán Remolcador para apoyo de misceláneos	51 días



6.5. DESCRIPCIÓN DEL PLAN DE DESMANTELAMIENTO

El plan de desmantelamiento propuesto es aplicable para las situaciones mencionadas, se optó por programarlo en el software Microsoft Project 2013 ®, debido a su simplicidad a la hora de planificar y gestionar pequeños y/o grandes proyectos, con un nivel de detalle desde lo más resumido hasta lo más preciso.

Explicando un poco este plan, se pueden apreciar los encabezados, los cuales muestran las descripciones de cada columna las cuales se describen a continuación, cabe mencionar el programador puede insertar las columnas que deseen.

- ID: Es el número que el software MS Project asigna automáticamente a cada fase, subfase y/o actividad que se agregue al proyecto indicando la posición numérica con respecto a las otras actividades.
- Nombre de tarea: Nombre de las fases, subfases y actividades que intervienen en el proyecto para su fácil identificación.
- Duración: Tiempo asignado que dura una actividad mientras que las fases y subfases toman el tiempo de acuerdo a las vinculaciones que se realicen en cada actividad. El programa Microsoft Project Professional 2013 ® solo admite como unidad de tiempo minutos, horas, días, semanas y meses.
- Precedoras: Son las dependencias o vínculos de las actividades para que pueda comenzar o terminar, estos vínculos son los que definirán la ruta crítica.
- Tarea crítica: Como su nombre lo dice, son las actividades que el software considera críticas basadas en la programación.

El plan propuesto consta de siete fases, en la primera fase se tiene una duración cero debido a que estas labores deben de estar realizadas para poder proceder con las siguientes fases.

Las fases uno, dos y tres se manejaron como hitos, los cuales son actividades de duración cero que simboliza un momento en el proyecto que pueden ser reseñas



importantes y/o fechas de eventos relacionados directamente con este, sin embargo las tres primeras fases es responsabilidad de llevarlas a cabo el cliente, en nuestro caso de estudio es PEMEX. No son necesarias plasmarla en el plan, sin embargo para efectos de guía del proceso se indican de manera enunciativa más no limitativa las fases y tiempos estimados del proceso de gestión del proyecto y hasta la fase licitación, así como también las actividades que deben de estar realizadas por PEMEX, cabe recalcar que el desmantelamiento debe iniciar al día siguiente después de que se firma el contrato.

Las fases cuatro a la siete muestran las actividades con base a la investigación de campo realizada y del tiempo promedio obtenido en esta, de acuerdo a lo mencionado en el apartado 6.2 hay un margen de error en ese tiempo promedio debido a que no todas las plataformas marinas fijas tienen las mismas características y su desmantelamiento pueden tener una variación de días de trabajo.

Con base al párrafo anterior, en las tablas 8 y 9 se puede observar las diferentes duraciones de cada fase, si se suman estas duraciones para cada caso no coincidirá con el tiempo total que el software calculo por lo que esto no representa la duración total del trabajo, debido a que el MS Project 2013 ® calcula la duración de las actividades sumando la cantidad de tiempo de trabajo activo entre el comienzo programado junto con las dependencias entre actividades, restricciones, calendarios y otros elementos de programación debido a las vinculaciones de las actividades, las cuales deben llevar una secuencia lógica y que cada planeador en conjunto con el responsable de la ejecución del proyecto del contratista son los que dé acuerdo a su criterio y experiencia deben de analizar y realizar dichos vínculos.

Para el caso de estudio y por mencionar un ejemplo el cual es aplicable para los casos mencionados, la secuencia de desmantelamiento de una plataforma marina fija completa debe obedecer la lógica de que la superestructura tiene que ser removida primero y después la subestructura, por ello el vínculo correcto para estas dos actividades deben ser Fin- Comienzo (FC), debido a que no se puede quitar primero la subestructura y después la superestructura, por lo que estas actividades no pueden ser Comienzo-Comienzo (CC) debido a que no se pueden quitar al mismo tiempo ambas partes



Por ello los vínculos son importantes (mostrados en la tabla 5 en la columna predecesoras), y como se mencionó deben de ser basados en la secuencia lógica de trabajo, si esto se realiza erróneamente afecta directamente a los tiempos de trabajo, lo cual en la ejecución del proyecto este error puede ser motivo de incumplimiento en los tiempos estipulados en el contrato.

Tomando el plan de desmantelamiento con la duración más altas, y omitiendo las fases uno, dos y tres, el tiempo estimado para desmantelar una plataforma marina fija se ejecuta en 135.5 días; la fase cuatro (movilización) será llevada a cabo en 70 días, la fase cinco y seis (actividades de desmantelamiento mostradas en el ID 51 de la tabla 5) en 31.5 días y finalmente la fase siete (desmovilización) en 62 días, sin embargo la suma algebraica del tiempo de duración de estas no es representativa a los 135.5 días debido a que algunas actividades se desarrollan de forma simultánea.

Por lo tanto, el tiempo efectivo de la movilización (fase cuatro) es de 53 días debido a que para empezar el desmantelamiento es necesario tener el barco grúa en sitio para iniciar las labores, esto se puede observar en el ID 33 de la tabla 5.

Las actividades efectivas de desmantelamiento (fase cinco y seis) corresponde al tiempo estimado para desmantelar el cual es de 31.5 días.

El tiempo efectivo de la desmovilización se obtiene a partir de la resta del tiempo estimado de desmantelamiento (135.5 días) con respecto a las sumas del tiempo efectivo de movilización (53 días) y el tiempo efectivo de desmantelamiento (31.5), por lo que se obtiene 51 días efectivos de trabajo de desmovilización, esto se debe a que estas embarcaciones se deben de liberar conforme finalicen sus actividades asignadas.

Para el plan de desmantelamiento propuesto se asume que todas las embarcaciones regresan al mismo puerto de origen, es por ello que la movilización y desmovilización tienen casi los mismos días, las diferencias que se aprecian es por factores de liberación de aduanas y/o el mismo cliente PEMEX y sus revisiones.



Sumando los tiempos efectivos de las fases cuatro y siete tenemos como resultado 104 días, este tiempo estimado no cambia para un número determinado de plataformas a desmantelar, debido a que son actividades bases para el traslado y retiro de embarcaciones.

Es necesario conocer la duración estimada del proceso de desmantelamiento desde la fase uno hasta siete para un determinado número de plataformas marinas, por lo que es necesario tomar en cuenta la ecuación 1, la cual está basada en el análisis anterior y establece el tiempo total de desmantelamiento para un número determinado de plataformas.

$$TTD = (T.P.P.P) + (T.E.F1 * X) + (T.E.F2 + T.E.F3) \quad ; \text{Ecuacion 1}$$

Donde:

TTD: Tiempo total de desmantelamiento

X: Número de plataformas a desmantelar

T.P.P.P: Tiempo del proceso previo del proyecto (fases uno a tres):94 días*

T.E.F1: Tiempo efectivo fase cinco y seis: 31.5 días $\pm 20\%$

T.E.F2: Tiempo efectivo fase cuatro: 53 días**

T.E.F3: Tiempo efectivo fase siete: 51 días**

**Este tiempo puede variar de acuerdo con las fechas que dure el proceso de licitación de acuerdo con los criterios de PEMEX, por lo que el tiempo propuesto fue de acuerdo con base a la investigación de campo.*

***Tiempos estimados pueden fluctuar entre un $\pm 20\%$ de acuerdo con la investigación de campo realizada.*

Si sólo se desea conocer el tiempo de desmantelamiento sin involucrar los procesos previos que van desde la fase uno a la tres (estudios, licitación, etc.), de la ecuación 1 se omite T.P.P.P.

6.6. EVALUACIÓN DE RUTA CRÍTICA

Todo proyecto tiene una ruta crítica la cual está basada en los cálculos de tiempos y plazos en la planificación y se define como la secuencia de las actividades del proyecto con la mayor duración entre ellas, ayudando a determinar el tiempo óptimo en el que se puede completar.



Esta ruta crítica determina la duración del proyecto entero con una mayor efectividad, es afectada por cualquier retraso en una o varias actividades impactando la fecha de término planeada del proyecto, por ello una ruta crítica no debe tener holgura en sus actividades consideradas como críticas, por lo que se asume un buen método que informa que actividades son necesarias e indispensables que no se presenten atrasos para que el proyecto pueda concluir de acuerdo a lo planificado.

También permite tener controladas las actividades que serán claves en el proyecto y poder hacer toma de decisiones e incluso ayuda a detectar donde se deben de asignar más recursos para reducir el tiempo de la actividad y como consecuencia reduce el tiempo de ejecución del proyecto.

Es muy común visualizarla en un diagrama de Gantt, con ella podremos saber cuáles actividades necesitan ser monitoreadas constantemente, por ellos para la correcta realización es necesario definir todas las actividades que conforman el proyecto, y vincularlas de acuerdo con lo descrito en el párrafo cuatro del apartado 6.4.

De acuerdo con la vinculación el software nos arroja una ruta crítica (ver figura 28), por ello el encargado de la elaboración del proyecto debe de vincular correctamente las actividades, ya que una mala vinculación afecta en la secuencia de las actividades y el tiempo de ejecución

El plan de desmantelamiento propuesto (ver tabla 5), fue elaborado a partir de la programación empleada en el software Microsoft Project Professional 2013®, donde una vez estructurado el plan se analizó la ruta crítica determinándose que las actividades en el plan de desmantelamiento son las mismas para las situaciones presentadas, por lo que se asume que esta es la misma para cualquier caso por el simple hecho de que lo único que cambio fueron las duraciones de las actividades siempre y cuando se utiliza el plan propuesto con las vinculaciones mostradas.

Este plan está compuesto por 113 conceptos (ID), divididos entre fases, subfases y actividades de acuerdo a su duración con base a las vinculaciones que se realizaron su ruta crítica se ve reflejada en el Diagrama de Gantt mostrado en la figura 26, cabe



mencionar que las actividades son las únicas que se deben vincular por lo que en la figura 26 en la columna de “tareas críticas” se aprecia si una actividad es crítica o no, por consecuencia, la fase o subfase se tendrá como crítica, su fácil identificación se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. Actividades críticas.

Fase	Subfase	ID	Nombre de la actividad
Fase 4 (ID 32)	Movilización de Embarcación Principal Barco Grúa y spread de apoyo (ID 33)	34	Carga de equipos, herramientas y movilización para ejecución de trabajos
		35	Liberación aduanal para inicio de proyecto, inspección de tipo checklist por control marino del cliente
Fase 5 (ID 52)	Izaje y retiro de superestructura con apoyo de Barco Grúa con capacidad suficiente, incluye recursos materiales, mano de obra, equipos y herramientas (ID 53)	54	Posicionamiento de embarcaciones en el sitio de desmantelamiento
		55	Desconexión y retiro de tuberías ascendentes, umbilicales, etc., que se encuentran sumergidas
		56	Preparación y recuperación de residuos de la superestructura
		57	Retiro de equipos y tuberías de procesos
		58	Preparaciones y/o adecuaciones de orejas y/o puntos de izaje
		59	Maniobras de amarre y aseguramiento de elementos de izaje
		60	Corte necesarios en la superestructura
		61	Izaje y remoción de la superestructura en sitio
Fase 6 (ID 71)	Izaje y retiro de subestructura con apoyo de Barco Grúa con capacidad suficiente, incluye recursos materiales, mano de obra, equipos y herramientas (ID 72)	73	Preparación de la subestructura (Inspección submarina y reforzamiento estructural)
		74	Preparaciones y/o adecuaciones de orejas y/o puntos de izaje
		75	Preparativos y colocación de elementos de flotación para posicionamiento horizontal de subestructura
		76	Maniobras de amarre y aseguramiento de elementos de izaje
		77	Dragado en área de pilotes y conductores
		78	Preparación y remoción del crecimiento marino
		79	Corte de pilotes y conductores del pozo productor de acuerdo a los alcances del cliente
		80	Maniobras de posicionamiento horizontal controladas de la subestructura
	Transporte y descarga de subestructura en patio o lugar seguro con apoyo de pareja #2 chalán-remolcador (ID 84)	86	Posicionamiento y tiempo de carga
		87	Aseguramiento de subestructura en chalán de transporte
		88	Transporte a patio de descarga o sitio seguro (arrecife)
		89	Arribo y maniobras de posicionamiento
		90	Descarga de la subestructura en patio o lugar seguro (arrecife artificial)
91	Siguiente carga o limpieza de chalán		
Fase 7 (ID 101)	Desmovilización de Embarcación Secundaria Pareja #2 Chalán Remolcador para Transporte de Subestructura (ID 108)	109	Liberación aduanal por terminación de proyecto
		110	Desmovilización a puerto de origen



En el plan propuesto, cinco subfases se muestran como críticas, derivado de que dentro de ellas un total de veintisiete actividades son consideradas como críticas (Ver tabla 10), analizando este panorama la primera subfase crítica es la “Movilización de Embarcación Principal Barco Grúa y spread de apoyo” y esto es lógico, derivado de que esta embarcación es la que realizará las actividades más importantes como lo es el izaje para el retiro de estructuras.

Lo anterior se argumenta debido a que esta subfase contempla dos actividades críticas (ID 34 y 35), si una de estas se atrasa las demás van a presentar desfases por lo que el tiempo del proyecto se prolongaría, por ello estas dos actividades se consideran preponderante debido a que en estas interviene el barco grúa, el cual es necesario para realizar el desmantelamiento, si esta se atrasa en el tiempo de movilización o en alguna de las aduanas marítimas del Golfo de México (Altamira, Ciudad del Carmen, Coatzacoalcos, Dos Bocas, Tampico, Tuxpan o Veracruz) [71], inevitablemente afecta todo el proyecto, debido a que esta embarcación es fundamental y sin ella no se puede realizar ningún trabajo de desmantelamiento.

Para la siguiente subfase “Izaje y retiro de superestructura con apoyo de Barco Grúa con capacidad suficiente, incluye recursos materiales, mano de obra, equipos y herramientas”, la cual contempla 9 actividades críticas (ID 54 a 62) y por consiguiente se considera una subfase crítica, por lo que esta dependerá mucho de la subfase anterior.

Esto se debe a que la actividad con ID 35 es predecedora de la actividad con ID 54, ya que su vínculo es de Fin Comienzo (FC), es decir tiene que terminar la anterior para que esta inicie. En estas actividades no debe existir holgura de tiempo por lo que si la movilización y/o liberación aduanal en su duración es mayor a lo contemplado en el plan, inevitablemente presentará una prolongación esta actividad (ID 54), por lo que la primera subfase (ID 33) es fundamental para las 9 actividades que componen la subfase identificada con el ID 53, así mismo las actividades de esta subfase (ID 54 a 62) van afectar a la siguiente subfase del desmantelamiento (ID 72) por el simple hecho de que sólo un barco grúa realizara todas esas actividades, por esa razón no hay y ni debe haber ninguna holgura de tiempo entre la subfase anterior (ID 33) y esta (ID 53).



Para la subfase, “Izaje y retiro de subestructura con apoyo de Barco Grúa con capacidad suficiente, incluye recursos materiales, mano de obra, equipos y herramientas” (ID 72) contempla 8 actividades que son críticas para su realización (ID 73 a 80) por lo que depende de que las actividades de la subfase ID 53 estén terminadas en el tiempo que se propone en el plan de desmantelamiento, debido a que el barco grúa es fundamental y necesario para poder iniciar la subfase ID 72, por lo que si este recurso no termina las actividades previas programadas no se podría iniciar esta subfase (ID 72) por lo que esto hace que las actividades (ID 73 a 80) sean críticas.

Para la siguiente subfase, “Transporte y descarga de subestructura en patio o lugar seguro con apoyo de pareja # 2 chalán-remolcador” (ID 84), con base la programación propuesta del plan de desmantelamiento mostrado en la tabla 5, se puede apreciar que seis de las siete actividades son críticas (ID 86 a 91), esto se debe a que la pareja # 2 de embarcaciones tienen que estar listos para recibir la subestructura y donde la actividad crítica ID 80 es la que determina ese momento.

Asimismo, la subfase “Desmovilización de Embarcación Secundaria Pareja # 2 Chalán Remolcador para Transporte de Subestructura” (ID 108), contiene 2 actividades críticas (ID 109 a 110), cabe mencionar que esta subfase es predecedora de la subfase ID 84 donde sus recursos para que puede ser realizada son la pareja # 2 de embarcaciones conformados por un chalán y un remolcador, si estos recursos no están disponibles para la fecha programada afectara directamente en la realización de las actividades críticas de la subfase identificada por el ID 84, a su vez se tendrá un retraso en las 2 actividades (ID 109 y 110) de la subfase ID 108, lo cual repercutirá en la desmovilización afectando el tiempo de entrega de estas embarcaciones (pareja # 2).

Esto traería como consecuencia un impacto económico debido al que hacer una subfase final (ID 108), un atraso en cualquiera de las actividades de las subfases mencionadas en la tabla 10 van a impactar en el tiempo de entrega a su puerto de origen, lo cual puede ser motivo de penalización por incumplimiento de contrato con el arrendador e incluso por el mismo cliente PEMEX, debido a que no se cumplirían los días que el contratista aseguro terminar el desmantelamiento.



Si los atrasos recaen en el contratista por una mala planeación, los costos que resulten de más por el tiempo de retraso los debes de amortizar con su propio capital, sin embargo si el retraso es atribuible al cliente (PEMEX) el costo por los días de atraso deben ser absorbidos por este.

Como se ha mencionado, esta ruta crítica será la misma para cualquier tipo de plataforma marina fija siempre y cuando se use este plan, sin embargo cada empresa especialista en desmantelamiento de plataformas marinas tiene sus propias secuencias, criterios y estrategias de trabajo.

Por ello una ruta crítica no será la misma en todos los proyectos, eso se deberá a la forma en que el responsable vincule las actividades de acuerdo a un análisis previo por varios expertos que determinen como pueden y debe realizarse el desmantelamiento, por lo que su importancia es fundamental en cualquier proyecto. Este análisis se basa en el principio de prioridades, de ahí su importancia en entender e identificar las actividades que pueden retrasar los trabajos e incluso los factores que pudiesen intervenir y que impactan en el tiempo de ejecución de las actividades.

6.7. VIABILIDAD DEL PLAN DE DESMANTELAMIENTO PARA UN NÚMERO DETERMINADO DE PLATAFORMAS

Este plan de desmantelamiento, está analizado para una plataforma marina fija (de tipo pesada y destino final a patio) desde la fase uno hasta la fase siete, por lo que como proyecto único y asumiendo que la fase uno a la tres están realizadas, no es viable ni beneficia su ejecución, debido a que los tiempos efectivos por movilización y desmovilización (104 días) entre el puerto de origen a alguna aduana marítima en México y viceversa, representan aproximadamente el 77% del costo total del proyecto respecto al 33% que implica el tiempo efectivo de desmantelamiento (31.5 días).

Por esta razón, para que un proyecto con base al plan de desmantelamiento propuesto en la tabla 5 sea viable debe, programarse de acuerdo a un número determinado de plataformas.



Para poder identificar cual sería el mínimo de plataformas a desmantelar por proyecto, se utilizó la ecuación 1 del apartado 6.5 omitiéndose los días por procesos previos (fase uno a tres) y utilizando el tiempo efectivo de las fases cinco y seis con una duración de 31.5 días (proceso de desmantelamiento) y 104 días para el tiempos efectivos de movilización y desmovilización (fase cuatro y siete), por lo que los días efectivos del proyecto de desmantelamiento para un determinado número de plataformas se muestran en la tabla 11.

Tabla 11. Duración del proyecto de desmantelamiento para un número de plataformas.

Numero de plataformas	Días efectivos por número de plataformas	Días de movilización y desmovilización	Duración (Días) del proyecto de desmantelamiento omitiendo las fase uno a la tres.	Porcentaje del costo de la movilización y desmovilización con respecto a la duración del proyecto	Porcentaje del costo de trabajo de desmantelamiento o con respecto a la duración del proyecto
1	31.5	104	135.5	77%	23%
2	63	104	167	62%	38%
3	94.5	104	198.5	52%	48%
4	126	104	230	45%	55%
5	157.5	104	261.5	40%	60%
6	189	104	293	35%	65%
7	220.5	104	324.5	32%	68%
8	252	104	356	29%	71%
9	283.5	104	387.5	27%	73%
10	315	104	419	25%	75%
11	346.5	104	450.5	23%	77%
12	378	104	482	22%	78%
13	409.5	104	513.5	20%	80%
14	441	104	545	19%	81%
15	472.5	104	576.5	18%	82%
16	504	104	608	17%	83%
17	535.5	104	639.5	16%	84%
18	567	104	671	15%	85%
19	598.5	104	702.5	15%	85%
20	630	104	734	14%	86%

Analizando la tabla anterior, si el proyecto se considera de una hasta tres plataformas el costo de navegación derivados por la movilización y desmovilización de las embarcaciones es mayor a los costos de cuando estas estén trabajando, por lo que un proyecto considerando este número de plataformas no es viable.

Considerando desde cuatro hasta siete plataformas, los costos de navegación están situados aproximadamente entre un rango de 18% a 53 % con respecto a los costos



de trabajo, sin embargo para ocho hasta trece plataformas esos costos están situados entre un 59% a 75% (respecto a los costos de trabajo).

Para catorce a veinte plataformas, el porcentaje de los costos de la movilización y desmovilización son menores a los del trabajo de desmantelamiento, por lo que la tendencia de la tabla 11 es que a mayor números de plataformas a desmantelar los costos de la movilización y desmovilización serán menores debido a que se prorratan entre ese número de plataformas.

Para que este tipo de proyectos sea viable, PEMEX debe licitar un número determinados de plataformas, ya que si se asigna todas las plataformas candidatas a ser desmanteladas a un solo contratista se podría considerar como un monopolio ya que no se fomentaría la libre competencia, por lo que el tiempo óptimo para efectuar un desmantelamiento sin contar las fases uno, dos y tres, para no incurrir en errores que pueden generar retrasos de aproximadamente un año de acuerdo con las personas entrevistadas, aunque existe la modalidad de proyectos multianuales en la cual esta propuesta se considera para optimizar el costo-beneficio de la movilización y desmovilización.

Basado en lo anterior, se puede determinar que el número de plataformas que se pueden desmantelar en un periodo de tiempo razonable van desde ocho hasta doce plataformas, sin embargo el número óptimo que hace que este plan sea viable basados con los porcentajes mostrados en la tabla 11 es de once plataformas con el cual se obtiene el mejor costo beneficio en un periodo de tiempo razonable, debido a que el mayor costo no operativo efectivo lo representa la movilización y desmovilización, por lo que a mayor número de plataformas a desmantelar, este costo se prorratea y se vuelve factible el proyecto.



CAPÍTULO VII

7. EVALUACIÓN ECONÓMICA Y RAZONAMIENTO COSTO BENEFICIO.

Todo proyecto antes de ser implementado es necesario someterlo a una evaluación económica con el fin de conocer su viabilidad, el cual identifica las ventajas y desventajas ante las alternativas que están relacionadas al proyecto con el fin de lograr un balance entre costos, calidad y tiempo de ejecución.

Para las actividades de desmantelamiento es necesario realizar esta evaluación para obtener los costos estimados en las diferentes situaciones de disposición presentadas en el capítulo 6, para nuestro caso de estudio se asume que el proyecto de desmantelamiento de plataformas marinas de tipo fija será llevado a cabo mediante un proceso de licitación debido a que éste es más viable y rápido a que PEMEX invierta en la compra de infraestructura.

En el proceso de licitación es fundamental estructurar un análisis de costo específico en el cual con bases a las licitaciones será estipulado el tipo de precio a ofertar utilizando uno de los siguientes métodos;

- Precio alzado (Lump Sum): consiste en asignar un monto específico que incluye todo lo definido en las propuestas de trabajo basadas en las bases la licitación. Su desventaja radica en que debe ser planeado con base a la experiencia y estimando los costos por lo que el contratista debe asumir todos los riesgos y completar la ejecución al 100% salvo que exista retrasos por el cliente [72].
- Precios Unitarios: este método es muy común en los procesos de licitación, consiste en calcular el importe total del proyecto mediante el análisis de los costos de cada actividad que demanda el proyecto, mediante la cotización de los recursos utilizados para su ejecución, tal como materiales, mano de obra, equipo, maquinarias, herramientas, etc. Esto determina la cantidad necesaria por unidad del concepto que guarda congruencia con la metodología de ejecución de los trabajos conforme a lo estipulado en la propuesta [73].



Para el caso de estudio, el estimado de costos se hará bajo dos comparaciones, la primera estimación estará basada en información y datos obtenidos de una publicación de la revista Oil & Gas Uk's "Decommissioning Insight 2016" enfocada en el ramo petrolero del Mar del Norte [49].

La segunda estimación será realizada por el método de precio alzado con base al plan de desmantelamiento, cabe señalar que no se realiza el análisis de precios unitarios debido a que el plan aunque fue propuesto con base a la investigación realizada, no se obtuvieron a detalle los recursos básicos que intervienen (materiales, mano de obra, herramientas, etc.) así como los rendimientos correspondientes de esos recursos con respecto a la actividad.

Esos recursos y rendimientos, cada empresa especialista en desmantelamiento de plataformas los propone, por lo que durante la investigación no fue posible lograr obtener información de estas o de algún contrato de desmantelamiento de plataformas marinas en México, por lo que se asume que esa información no existe o se privilegian los acuerdos de confidencialidad y privacidad de la información entre el contratista y el contratante, siendo entonces de carácter no público [3].

Sin embargo, con los datos investigados se puede dar un estimado del costo de las alternativas de desmantelamiento con base en la investigación y la información de campo obtenida de personal con experiencia en instalaciones de plataformas marinas fijas donde se obtuvieron datos técnicos de las embarcaciones y duraciones de las tareas propuestas en el plan de desmantelamiento realizándose en el software Opus 2010 ® [74].

El método de precio alzado es aplicable bajo la premisa que la instalación de una plataforma es lo inverso al desmantelamiento, por lo que los costos de arrendamiento de estos equipos fueron obtenidos con base a las embarcaciones empleadas en las instalaciones y avaladas por la experiencia de las personas consultadas en la investigación de campo.



También es necesario realizar un análisis del razonamiento costo beneficio, el cual tiene como objetivo proporcionar criterios entre los costos y las alternativas que se incurren en un proyecto evaluando la mejor opción para su realización.

Obtenidos los estimados de costos se procederá a realizar el análisis mencionado anteriormente el cual dará la mejor opción balanceada entre los costos y tiempo de ejecución de las diferentes alternativas las cuales se compararan de acuerdo a las variables que influyen en cada análisis determinándose un rango de precios en los cuales puede fluctuar el desmantelamiento de plataformas marinas fijas en México bajo un proceso de licitación.

7.1. ANÁLISIS PARA DETERMINACIÓN DE COSTOS ESTIMADOS PARA EL DESMANTELAMIENTO DE UNA PLATAFORMA MARINA FIJA BASADA EN LA REVISTA OIL & GAS UK'S DECOMMISSIONING INSIGHT 2016

Para este caso se van a determinar los costos estimados para el desmantelamiento de una plataformas marina fija, basados en la información y datos obtenidos de la publicación "Decommissioning Insight 2016" de la revista Oil & Gas UK's [49]. De acuerdo a esta publicación los autores manejan los costos de desmantelamiento por toneladas, calculados para un periodo de 10 años, (2015 – 2025) en plataformas instaladas en los países de Noruega y Reino Unido considerando un total de 109 plataformas marinas (95 en el Reino Unido y 14 en Noruega), con un peso total de 652,132 toneladas para las superestructuras, mientras que las subestructuras suman 316, 272 toneladas.

Las plataformas utilizadas para este análisis fueron con base a instalaciones pequeñas o ligeras (más baratas de desmantelar y en menor tiempo) e instalaciones grandes o pesadas (más caras de desmantelar y en mayor tiempo), por ello los autores manejan dos tarifas de desmantelamiento.

Su lógica para la obtención de los costos por tonelada con base a los datos del número de plataformas a desmantelar y el tiempo de duración del proyecto está en eliminar múltiples plataformas en un periodo de tiempo, manejando la subestructura como



lotes para su remoción, mientras que para la superestructura las consideran como remociones individuales con el fin de que la movilización y otros costos sean repartidos entre las plataformas a retirar.

Por ello, estos costos de desmantelamiento tienen considerado desde la movilización de las embarcaciones hasta su desmovilización, incluidas las maniobras, arreglos, utilidad de la empresa, costos indirectos, riesgos y todo lo necesario para un correcto desmantelamiento, por lo que en la tabla 12 se indican los costos para las plataformas ligeras (trípodes y tetrápodos) y pesadas (hexápodos y octópodos), estos precios son manejados por los autores en libras esterlinas y consideraron la suma del tonelaje de las 109 plataformas a desmantelar [49].

Tabla 12. Tarifas por toneladas.

Concepto	Plataformas Ligeras	Plataformas Pesadas
Superestructura	£2600 (GBP) por tonelada	£3000 (GBP) por tonelada
Subestructura	£2600 (GBP) por tonelada	£4400 (GBP) por tonelada
Facilities Making safe *	£1200 (GBP) por tonelada	£490 (GBP) por tonelada

** Son todos los trabajos previos antes de desmantelar una plataforma como limpieza, desconexión de equipos, reforzamientos entre otras labores adicionales para garantizar que la plataforma este segura y libre de hidrocarburos en las labores de desmantelamiento.*

Para un análisis estandarizado, serán convertidos a dólares americanos, esto debido a que en México es muy común la cotización en esta moneda, por lo para tener un precio actualizado, se tomará el tipo de cambio promedio del primer trimestre del año 2017 que fue de 1.2503 USD (Dólar americano) por 1.00 GBP [75] (Libra Esterlina), así mismo se le aplicaran un porcentaje de inflación del 4.72% correspondiente al periodo de 1 de enero de 2016 al 1 de enero de 2017 obtenido mediante los porcentajes de inflación históricos del INEGI [76], estos precios se muestran en la tabla 13.

Tabla 13. Tarifas o costos por toneladas convertidas a dólares americanos.

Concepto	Plataformas Ligeras (USD) por tonelada	Plataformas Pesadas (USD) por tonelada	Porcentaje de inflación	Tarifa 2017 (USD) por tonelada	
				Plataformas Ligeras	Plataformas Pesadas
Superestructura	\$3250.78	\$3750.90	4.72 %	\$3,404.22	\$3,927.94
Subestructura	\$3250.78	\$5501.32	4.72 %	\$3,404.22	\$5,760.98
Facilities Making safe	\$1500.36	\$612.65	4.72 %	\$1,571.18	\$641.57

La revista no menciona algún plan de desmantelamiento que hayan utilizado, por lo que con los precios obtenidos mostrados en la tabla 13 se asume que manejan 3 fases,



las cuales son los trabajos previos denominados “Facilities Making safe”, el desmantelamiento de la superestructura y finalmente la subestructura.

Los costos derivados de las tres fases anteriores fueron calculados para los desmantelamientos en el Mar del Norte, los cuales se asume tienen absorbidos los riesgos de trabajo debido a la hostilidad de esa región así como los costos de movilización y desmovilización, los cuales debido a la cercanía de los países donde se ubican algunas de las empresas especialistas en desmantelamiento o arrendadoras de las embarcaciones principales son menores.

Ahora bien, dadas las características de la región del Golfo de México donde las condiciones ambientales, del mar y las profundidades donde se ubican las plataformas marinas instaladas por PEMEX son muchos menos hostiles que las del Mar del Norte, se puede asumir que estos trabajos tengan un menor riesgo lo cual resultaría más económico, sin embargo el mayor costo estaría en las actividades de movilización y desmovilización de las embarcaciones debido a la distancia entre la zona del Mar del Norte y el Golfo de México hace (aproximadamente 104 días) [3].

Haciendo un balance entre los riesgos de trabajo que para el Mar del Norte es alto y para el Golfo de México es bajo, así como las distancias de movilizaciones que para el Mar del norte es reducido y para el Golfo de México es grande, con base que todas las embarcaciones tienen puerto de origen cercana a la región del Mar del Norte, se asume que ambas situaciones se compensan, por lo que se podría optar por utilizar el precio obtenido de desmantelamiento de la tabla 13 para las condiciones del Golfo de México.

Finalmente, se estiman los precios para una plataforma de tipo ligera y pesada utilizando los valores de la tabla 13, cabe mencionar que los costos por “Facilities Making Safe”, en la revista no menciona que porcentaje es utilizado con respecto al tonelaje total de la plataforma [3, 49], por lo que se propone un 20% de ese peso total, debido a que en algunos puntos de la plataforma se necesitarán reforzar, limpiar y desconectar equipos y tuberías.



Las plataformas ligeras tienen un peso promedio de 5,500 toneladas de acuerdo a la investigación de campo, donde la superestructura pesa en promedio 4,500 toneladas y la subestructura 1,000 toneladas, mientras que las de tipo pesadas su peso promedio es de 8,000 toneladas, dividiéndose en 6,000 toneladas aproximadamente para la superestructura mientras que la subestructura ronda las 2,000 toneladas.

En la publicación de la revista analizada no se menciona la disposición final que es aplicable para los costó mostrados en la tabla 12, por lo que podría asumirse que es aplicable para ambos casos (disposición final a patio y/o inducción como arrecife) [49].

Los costos mostrados en la tabla 14, para nuestro caso de estudio se asumen que son para fines de disposición a patio, debido a que la publicación no estipula otra alternativa de destino final.

Tabla 14. Costo de desmantelamientos por tonelaje con destino final a patio.

Concepto	Costos por toneladas (USD) plataformas ligeras	Toneladas a desmantelar (Plataformas Ligeras)	Costos totales (USD) plataformas ligeras	Costos por toneladas (USD) plataformas pesadas	Toneladas a desmantelar (Plataformas Pesadas)	Costos totales (USD) plataformas pesadas
Superestructura	\$3,404.22	4500	\$15,318,990.00	\$3,927.94	6500	\$25,531,626.12
Subestructura	\$3,404.22	1000	\$3,404,220.00	\$5,760.98	2000	\$11,521,964.61
Facilities Making Safe	\$1,571.18	1100	\$1,728,298.00	\$641.57	1700	\$1,090,664.04
Total			\$20,451,508.00	Total		\$38,144,254.76

7.2. ANÁLISIS PARA DETERMINACIÓN DE COSTOS ESTIMADOS PARA EL DESMANTELAMIENTO DE UNA PLATAFORMA MARINA FIJA POR EL MÉTODO DE PRECIO ALZADO

Para determinar el costo por el método de precio alzado, se hará con base al plan de desmantelamiento y las embarcaciones propuestas en el capítulo 6, dicho plan (ver tabla 5) esta desglosado en fases, subfases y actividades, basado en este plan existen dos métodos para el análisis del costo del proyecto, el método de precio alzado y por precios unitarios, los cuales fueron definidos al principio del capítulo.



En éste caso, el método utilizado para el análisis del costo de desmantelamiento de plataformas marinas fijas es el de precio alzado, en el cual se puede estimar el costo del proyecto con base a las duraciones de las subfases y sus actividades y tarifas de embarcaciones a utilizar, por lo que para esto es necesario conocer las tarifas de cada embarcación que se propuso en el plan de desmantelamiento descrito en el capítulo 6.

Con base al párrafo anterior, los precios promedios estimados que se recabaron de las embarcaciones corresponden al año 2013 y fueron obtenidos para una instalación de una plataforma marina, por lo que su implementación para el desmantelamiento no implica ningún inconveniente ya que estas embarcaciones son necesarias para ambos casos.

Sin embargo, para poder analizar correctamente es necesario que estos precios estén actualizados para el año 2017, los cuales se muestran en la tabla 15, para ello fue necesario multiplicar el precio estimado por el porcentaje de inflación desde enero de 2013 a enero de 2017, el cual de acuerdo a la calculadora de inflación de la INEGI [76] es de 15.71%.

Tabla 15. Tarifas estimadas de embarcaciones propuestas en el plan de desmantelamiento.

Embarcación	Unidad	Tarifa 2013 (USD)	porcentaje de inflación	Tarifa 2017 (USD)
Barco Grúa	Día	\$650,000.00	15.71%	\$752,115.00
Chalán	Día	\$10,000.00	15.71%	\$11,571.00
Remolcador	Día	\$25,000.00	15.71%	\$28,927.50
Abastecedor	Día	\$7,500.00	15.71%	\$8,678.25

Con estas tarifas actualizadas se podrá determinar los costos de desmantelamiento para un número determinado de plataformas marinas, para obtener este precio se realizó en el software OPUS 2010 ®, por lo que es necesario dar de alta las embarcaciones en el dicho software con clave EQ-xx, así mismo se crean cuadrillas de trabajo las cuales contienen las embarcaciones necesarias para su correcta operación, las cuales están identificadas con la leyenda CUEQ-xx, los cuales se pueden apreciar en la figura 29.



Presupuesto	C	Clave	Descripción	Unidad	Costo unitario
Catálogos	+	CUEQ-01	Embarcación principal Barco grúa y spread de apoyo (remolcador)	Día	\$ 760,793.25
Materiales	+	CUEQ-02	Embarcación secundaria pareja #1 Chalan Remolcador para transporte de super	Día	\$ 40,498.50
	+	CUEQ-03	Embarcación secundaria pareja #2 Chalan Remolcador para transporte de subes	Día	\$ 40,498.50
	+	CUEQ-04	Embarcación secundaria pareja #3 Chalan Remolcador para apoyo de misceláne	Día	\$ 40,498.50
Mano de Obra		EQ-01	Barco Grua	Día	\$ 752,115.00
		EQ-02	Chalan #1	Día	\$ 11,571.00
		EQ-03	Remolcador #1	Día	\$ 28,927.50
Herramienta		EQ-04	Abastecedor	Día	\$ 8,678.25
		EQ-05	Chalan #2	Día	\$ 11,571.00
		EQ-06	Remolcador #2	Día	\$ 28,927.50
		EQ-07	Chalan #3	Día	\$ 11,571.00
Equipo		EQ-08	Remolcador #3	Día	\$ 28,927.50

Figura 29. Captura de precios de embarcaciones (recursos) en software OPUS 2010 ®.

Después de capturar los costos de estas embarcaciones con su respectiva unidad, en la hoja de presupuesto del software se proceden a capturar las subfases involucradas en las fases cuatro hasta la siete, las cuales se muestran en la figura 30 (es aplicable para los cuatro casos de disposición final que se han venido mencionado). La columna “unidad” se manejaran como evento, debido a que por plataforma solamente se realizar una vez cada subfase mientras que en la columna “cantidad” se ingresa un valor numérico el cual indica el número de plataformas a analizar para obtener el precio alzado.

Presupuesto	Tipo	S	Clave	Descripción	Unidad	Cantidad
Hoja de Presupuesto	Capítulo	-		PLAN DE DESMANTELAMIENTO DE PLATAFORMAS MARINAS DE TIPO FIJA		
	Subcapítulo	-	1	Proceso de movilización de embarcaciones		
	Nivel 3	-	1.1	Fase 4: Movilización y Trabajos Previo		
	Concepto		1.1.1	Movilización de Embarcación Principal Barco Grúa y spread de apoyo (remolcador-abastecedor)	Evento	0.00
	Concepto		1.1.2	Movilización de Embarcación secundaria pareja #1 Chalan Remolcador para transporte de superest	Evento	0.00
	Concepto		1.1.3	Movilización de Embarcación secundaria pareja #2 Chalan Remolcador para transporte de subestru	Evento	0.00
	Concepto		1.1.4	Movilización de Embarcación secundaria pareja #3 Chalan Remolcador para apoyo de misceláneos	Evento	0.00
	Subcapítulo	-	2	Proceso de desmantelamiento y transporte de plataformas marinas		
	Nivel 3	-	2.1	Fase 5: Trabajos de desmantelamiento y transporte de la Superestructura		
	Concepto		2.1.1	Izaje y retiro de superestructura con apoyo de Barco Grúa con capacidad suficiente, incluye recur:	Evento	0.00
	Concepto		2.1.2	Transporte y descarga de superestructura en patio con apoyo de pareja #1 chalán-remolcador	Evento	0.00
	Nivel 3	-	2.2	Fase 6: Trabajos de desmantelamiento y transporte de la Subestructura		
	Concepto		2.2.1	Izaje y retiro de subestructura con apoyo de Barco Grúa con capacidad suficiente, incluye recurso	Evento	0.00
	Concepto		2.2.2	Transporte y descarga de subestructura en patio o lugar seguro con apoyo de pareja #2 chalán-re	Evento	0.00
	Concepto		2.2.3	Transporte y descarga de equipos y tuberías (misceláneos) en patio con apoyo de pareja #3 chala	Evento	0.00
	Subcapítulo	-	3	Proceso de desmovilización de embarcaciones		
	Nivel 3	-	3.1	Fase 7: Desmovilización de embarcaciones		
	Concepto		3.1.1	Desmovilización de Embarcación principal barco grúa y spread de apoyo (remolcador)	Evento	0.00
	Concepto		3.1.2	Desmovilización de Embarcación secundaria pareja #1 Chalan Remolcador para transporte de supe	Evento	0.00
	Concepto		3.1.3	Desmovilización de Embarcación secundaria pareja #2 Chalan Remolcador para transporte de sube	Evento	0.00
	Concepto		3.1.4	Desmovilización de Embarcación secundaria pareja #3 Chalan Remolcador para apoyo de misceláni	Evento	0.00

Figura 30. Captura de subfases para análisis en software OPUS 2010 ®.

Conforme se vayan capturando las subfases, es necesario asignarle a estas los recursos que intervienen ya sea mediante una cuadrilla de trabajo o una sola embarcación. Estos están asignados con base a un análisis de las duraciones de las

Análisis de desmantelamiento de plataformas marinas fijas, instaladas por PEMEX costa afuera en el Golfo de México.



etapas contenidas en el plan de desmantelamiento por lo que en la tabla 16 se muestra las duraciones para cada subfase las cuales se obtuvieron el software MS Project y son mostradas en las tablas 8 y 9,

Se aclara que en las columnas “tipo” y en específico el “concepto” del software Opus (ver figura 30), para nuestro caso se interpreta como “subfase” el cual guarda total congruencia con el plan propuesto en el capítulo 6.

Tabla 16. Duraciones a utilizar en los recursos que intervienen en cada subfase.

Clave	A) Pesada (Patio)	B) Ligera (Patio)	C) Pesada (Inducción)	D) Ligera (Inducción)
1.1.1	53 días	53	53 días	53 días
1.1.2	59 días	57	57 días	59 días
1.1.3	70 días	64	0 días	0 días
1.1.4	54 días	54	54 días	54 días
2.1.1	9 días	6	6 días	9 días
2.1.2	14.5 días	13	13 días	14.5 días
2.2.1	11.5 días	9	11.5 días	13.5 días
2.2.2	14.5 días	14.5	0 días	0 días
2.2.3	25 días	19.5	19.5 días	25 días
3.1.1	51 días	51	51 días	51 días
3.1.2	51 días	51	51 días	51 días
3.1.3	51 días	51	0 días	0 días
3.1.4	51 días	51	51 días	51 días

Con estas duraciones se agregan los recursos dentro de la subfase, por lo que en la figura 31 se aprecia cómo quedaría una cuadrilla de trabajo dentro de la subfase con clave 2.1.1, por lo que todas las demás subfases contienen los recursos con respecto a las duraciones mostradas en la tabla 16.

Subcapítulo	- 2	Proceso de desmantelamiento y transporte de plataformas marinas						
Nivel 3	- 2.1	Fase 5: Trabajos de desmantelamiento y transporte de la Superestructura						
Concepto	2.1.1	Izaje y retiro de superestructura con apoyo de Barco Grúa con capacidad suficiente,						
Concepto	2.1.2	Transporte y descarga de superestructura en patio con apoyo de pareja #1 chalán-re						
'''								
Materiales	Mano de Obra	Herramienta	Equipo	Auxiliares	Conceptos	Todos	Resumen PU	Vincular Documento
0.00	0.00	0.00	6'847,139.25	0.00	0.00	6'847,139.25	6'847,139.25	
Da	Compue	Clave	Descripción	Unidad	Cantidad			
tiento	+	CUEQ-01	Embarcación principal Barco grúa y spread de apoyo (Dia	9.00000	U		

Figura 31. Duración del recurso que interviene en la subfase 2.1.1.



No es un limitante que el software este diseñado para cálculos de costos por análisis de precios unitarios, como se puede observar en este apartado no se tiene inconveniente para calcular los costos por plataformas mediante el método de precio alzado en este software, por lo que para fines de obtención de una estimación fiable bajo este método se puede garantizar su implementación ya que su estimación está basado con respecto a las duraciones de las subfases que intervienen en el plan de desmantelamiento y las tarifas de las embarcaciones.

El estimado de costos se obtendrá mediante un determinado número de plataformas para que la comparación sea correcta. Se hará con base a 11 plataformas, (explicado en el apartado 6.7 del capítulo 6) que es el promedio por año que se tiene contemplado en desmantelar.

De acuerdo a la información de campo que se realizó, el promedio de plataformas probables a desmantelar ronda entre el 45% de 258 reportadas por PEMEX en el anuario estadístico 2014 [3,6], es decir unas 116 plataformas son candidatas a ser desmanteladas por lo que si por año se desmantelan 11, se tendría que contemplar un periodo aproximado de 10 años.

Para obtener el costo por plataforma a desmantelar, fue necesario utilizar el plan de desmantelamiento realizado en el software MS Project 2013 ® y a su vez plasmar las subfases en el software Opus 2010 ® como se muestra en la imagen 27, por lo que para obtener el costo en este software, en la columna “cantidad” para las fases 4 y 7 se colocara el valor de 0.09, esto se obtiene debido a que se prorratea el costo entre las 11 plataformas con las cuales se analizará, por lo que para saber su duración se divide 1/11.

Mientras que para la fase 5 y 6 la cantidad será 1, debido a que cada concepto es necesario realizarlo 1 vez para cada plataforma, por lo que en los siguientes apartados se apreciaran los precios por plataforma a desmantelar utilizando el método de precio alzado para las diferentes plataformas así como su disposición final.



7.2.1. PLATAFORMAS COMO OPCIÓN DISPOSICIÓN FINAL A PATIO

Para este caso, es necesario el uso de todas las embarcaciones, debido a que todas las partes de las plataformas serán trasladadas al patio que PEMEX estipule, por lo que existen dos precios a considerar los cuales son los siguientes.

7.2.1.1. PLATAFORMA LIGERA

En este caso se utilizaron los tiempos de los recursos del inciso “B” de la tabla 16, lo cual en el apartado 7.2 se explicó como son integrados en la subfase correspondiente, por lo que el precio por plataforma para esta situación se muestra en la figura 32.

Tipo	S	Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Total
Capítulo	-		PLAN DE DESMANTELAMIENTO DE PLATAFORMAS MARINAS DE TIPO FIJA				USD\$ 21'554,545.57
Subcapítulo	-	1	Proceso de movilización de embarcaciones				USD\$ 4'227,783.05
Nivel 3	-	1.1	Fase 4: Movilización y Trabajos Previo				USD\$ 4'227,783.05
Concepto		1.1.1	Movilización de Embarcación Principal Barco Grúa y spread de apoyo (abastecedor)	Evento	0.09	USD\$ 39'888,129.75	USD\$ 3'589,931.68
Concepto		1.1.2	Movilización de Embarcación secundaria pareja #1 Chalan Remolcador para transporte de superestructura	Evento	0.09	USD\$ 2'308,414.50	USD\$ 207,757.30
Concepto		1.1.3	Movilización de Embarcación secundaria pareja #2 Chalan Remolcador para transporte de subestructura	Evento	0.09	USD\$ 2'591,904.00	USD\$ 233,271.36
Concepto		1.1.4	Movilización de Embarcación secundaria pareja #3 Chalan Remolcador para apoyo de misceláneos	Evento	0.09	USD\$ 2'186,919.00	USD\$ 196,822.71
Subcapítulo	-	2	Proceso de desmantelamiento y transporte de plataformas marinas				USD\$ 13'315,328.25
Nivel 3	-	2.1	Fase 5: Trabajos de desmantelamiento y transporte de la Superestructura				USD\$ 5'091,240.00
Concepto		2.1.1	Izaje y retiro de superestructura con apoyo de Barco Grúa con capacidad suficiente, incluye recursos materiale	Evento	1.00	USD\$ 4'564,759.50	USD\$ 4'564,759.50
Concepto		2.1.2	Transporte y descarga de superestructura en patio con apoyo de pareja #1 chalán-remolcador	Evento	1.00	USD\$ 526,480.50	USD\$ 526,480.50
Nivel 3	-	2.2	Fase 6: Trabajos de desmantelamiento y transporte de la Subestructura				USD\$ 8'224,088.25
Concepto		2.2.1	Izaje y retiro de subestructura con apoyo de Barco Grúa con capacidad suficiente, incluye recursos materiales,	Evento	1.00	USD\$ 6'847,139.25	USD\$ 6'847,139.25
Concepto		2.2.2	Transporte y descarga de subestructura en patio o lugar seguro con apoyo de pareja #2 chalán-remolcador	Evento	1.00	USD\$ 587,228.25	USD\$ 587,228.25
Concepto		2.2.3	Transporte y descarga de equipos y tuberías (misceláneos) en patio con apoyo de pareja #3 chalán-remolcador	Evento	1.00	USD\$ 789,720.75	USD\$ 789,720.75
Subcapítulo	-	3	Proceso de desmovilización de embarcaciones				USD\$ 4'011,434.27
Nivel 3	-	3.1	Fase 7: Desmovilización de embarcaciones				USD\$ 4'011,434.27
Concepto		3.1.1	Desmovilización de Embarcación principal barco grúa y spread de apoyo (remolcador)	Evento	0.09	USD\$ 38'375,221.50	USD\$ 3'453,769.94
Concepto		3.1.2	Desmovilización de Embarcación secundaria pareja #1 Chalan Remolcador para transporte de superestructura	Evento	0.09	USD\$ 2'065,423.50	USD\$ 185,888.11
Concepto		3.1.3	Desmovilización de Embarcación secundaria pareja #2 Chalan Remolcador para transporte de subestructura	Evento	0.09	USD\$ 2'065,423.50	USD\$ 185,888.11
Concepto		3.1.4	Desmovilización de Embarcación secundaria pareja #3 Chalan Remolcador para apoyo de misceláneos	Evento	0.09	USD\$ 2'065,423.50	USD\$ 185,888.11

Figura 32. Precio estimado para una Plataforma tipo ligera con disposición a patio.

Como se puede observar el precio estimado para el desmantelamiento de una plataforma marina fija tipo ligera es de \$21, 554,545.57 (USD), por lo que de acuerdo al $\pm 20\%$ respecto al costo (basado con lo mencionado en el penúltimo párrafo del apartado 6.2), este puede fluctuar entre \$17, 243,636.46 (USD) a 25, 865,454.68 (USD).



7.2.1.2. PLATAFORMA PESADA

Se utilizaron los tiempos de los recursos del inciso “A” de la tabla 16 y lo mencionado en el apartado 7.2.1.1, por lo que el precio por plataforma para esta situación se muestra en la figura 33.

Tipo	S	Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Total 26'051,556.88
Capítulo	-		PLAN DE DESMANTELAMIENTO DE PLATAFORMAS MARINAS DE TIPO FIJA				USD\$ 26'051,556.88
Subcapítulo	-	1	Proceso de movilización de embarcaciones				USD\$ 4'256,941.98
Nivel 3	-	1.1	Fase 4: Movilización y Trabajos Previo				USD\$ 4'256,941.98
Concepto		1.1.1	Movilización de Embarcación Principal Barco Grúa y spread de apoyo (remolcador-abastecedor)	Evento	0.09	USD\$39'888,129.75	USD\$ 3'589,931.68
Concepto		1.1.2	Movilización de Embarcación secundaria pareja #1 Chalan Remolcador para transporte de superestructu	Evento	0.09	USD\$ 2'389,411.50	USD\$ 215,047.04
Concepto		1.1.3	Movilización de Embarcación secundaria pareja #2 Chalan Remolcador para transporte de subestructura	Evento	0.09	USD\$ 2'834,895.00	USD\$ 255,140.55
Concepto		1.1.4	Movilización de Embarcación secundaria pareja #3 Chalan Remolcador para apoyo de misceláneos	Evento	0.09	USD\$ 2'186,919.00	USD\$ 196,822.71
Subcapítulo	-	2	Proceso de desmantelamiento y transporte de plataformas marinas				USD\$ 17'783,180.63
Nivel 3	-	2.1	Fase 5: Trabajos de desmantelamiento y transporte de la Superestructura				USD\$ 7'434,367.50
Concepto		2.1.1	Izaje y retiro de superestructura con apoyo de Barco Grúa con capacidad suficiente, incluye recursos n	Evento	1.00	USD\$ 6'847,139.25	USD\$ 6'847,139.25
Concepto		2.1.2	Transporte y descarga de superestructura en patio con apoyo de pareja #1 chalán-remolcador	Evento	1.00	USD\$ 587,228.25	USD\$ 587,228.25
Nivel 3	-	2.2	Fase 6: Trabajos de desmantelamiento y transporte de la Subestructura				USD\$ 10'348,813.13
Concepto		2.2.1	Izaje y retiro de subestructura con apoyo de Barco Grúa con capacidad suficiente, incluye recursos mat	Evento	1.00	USD\$ 8'749,122.38	USD\$ 8'749,122.38
Concepto		2.2.2	Transporte y descarga de subestructura en patio o lugar seguro con apoyo de pareja #2 chalán-remolca	Evento	1.00	USD\$ 587,228.25	USD\$ 587,228.25
Concepto		2.2.3	Transporte y descarga de equipos y tuberías (misceláneos) en patio con apoyo de pareja #3 chalán-rem	Evento	1.00	USD\$ 1'012,462.50	USD\$ 1'012,462.50
Subcapítulo	-	3	Proceso de desmovilización de embarcaciones				USD\$ 4'011,434.27
Nivel 3	-	3.1	Fase 7: Desmovilización de embarcaciones				USD\$ 4'011,434.27
Concepto		3.1.1	Desmovilización de Embarcación principal barco grúa y spread de apoyo (remolcador)	Evento	0.09	USD\$38'375,221.50	USD\$ 3'453,769.94
Concepto		3.1.2	Desmovilización de Embarcación secundaria pareja #1 Chalan Remolcador para transporte de superestr	Evento	0.09	USD\$ 2'065,423.50	USD\$ 185,888.11
Concepto		3.1.3	Desmovilización de Embarcación secundaria pareja #2 Chalan Remolcador para transporte de subestruc	Evento	0.09	USD\$ 2'065,423.50	USD\$ 185,888.11
Concepto		3.1.4	Desmovilización de Embarcación secundaria pareja #3 Chalan Remolcador para apoyo de misceláneos	Evento	0.09	USD\$ 2'065,423.50	USD\$ 185,888.11

Figura 33. Precio estimado de para una Plataforma tipo pesada con disposición a patio.

Para este caso el costo estimado para el desmantelamiento de una plataforma marina fija tipo pesada es de \$26, 051,556.88 (USD), por lo que de acuerdo al $\pm 20\%$ sobre el costo, este puede fluctuar entre \$20, 841,245.50 (USD) a \$31, 261,868.26 (USD).

7.2.2. PLATAFORMAS COMO OPCIÓN INDUCCIÓN ARRECIFE ARTIFICIAL

Una alternativa más que se tiene para la disposición final de una plataforma marina de tipo fija a desmantelar es la de inducirla como arrecife artificial en el lecho marino, para ello en este apartado se estimaran los costos que implicaría realizar esta opción.



Por lo general la subestructura es la que se puede inducir como arrecife artificial, sin embargo la superestructura también puede inducirse, pero podría no ser viable derivado que debe garantizarse que esté libre de contaminantes por lo que sería necesario transportarla a patio para su limpieza.

Existen dos opciones para cada tipo, las de inducción;

- A) Inducción en el mismo lugar de desmantelamiento: en este caso el uso de la pareja de chalán remolcador # 2 no será necesario, debido a que solamente la parte a transportar a patio es la superestructura, por lo que el uso de esa pareja de embarcaciones no tiene ninguna finalidad en el desmantelamiento y las subfases relacionadas con estas embarcaciones tendrán duración cero por lo que no tendrán ningún costo.
- B) Inducción en un sitio seguro con transporte exclusivamente barco grúa con una navegación no mayor a dos días: será utilizado solamente el barco grúa para transporta la subestructura, lo que hará que la duración de esta embarcación cambie, así mismo las subfases relacionadas con la pareja chalán remolcador # 2 tendrán duración y costo cero.

Cabe mencionar que en ambos casos la superestructura y los misceláneos (tuberías, equipos, etc.) son los únicos que serán transportados a patio.

7.2.2.1. PLATAFORMA LIGERA

Para este caso se utilizaron los tiempos de los recursos del inciso “D” de la tabla 16, mencionado en el apartado 7.2.1.1, por lo que el precio por plataforma para las situaciones presentadas en el apartado 7.2.2 se muestra en las figuras 34 y 35.



A) Inducción en el mismo lugar de desmantelamiento.

Tipo	S	Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Total 20'548,157.85
Capítulo	-		PLAN DE DESMANTELAMIENTO DE PLATAFORMAS MARINAS DE TIPO FIJA				USD\$ 20'548,157.85
Subcapítulo	-	1	Proceso de movilización de embarcaciones				USD\$ 3'994,511.69
Nivel 3	-	1.1	Fase 4: Movilización y Trabajos Previo				USD\$ 3'994,511.69
Concepto		1.1.1	Movilización de Embarcación Principal Barco Grúa y spread de apoyo (abastecedor)	Evento	0.09	USD\$ 39'888,129.75	USD\$ 3'589,931.68
Concepto		1.1.2	Movilización de Embarcación secundaria pareja #1 Chalan Remolcador para transporte de superestructura	Evento	0.09	USD\$ 2'308,414.50	USD\$ 207,757.30
Concepto		1.1.3	Movilización de Embarcación secundaria pareja #2 Chalan Remolcador para transporte de subestructura	Evento	0.00	USD\$ 0.00	USD\$ 0.00
Concepto		1.1.4	Movilización de Embarcación secundaria pareja #3 Chalan Remolcador para apoyo de misceláneos	Evento	0.09	USD\$ 2'186,919.00	USD\$ 196,822.71
Subcapítulo	-	2	Proceso de desmantelamiento y transporte de plataformas marinas				USD\$ 12'728,100.00
Nivel 3	-	2.1	Fase 5: Trabajos de desmantelamiento y transporte de la Superestructura				USD\$ 5'091,240.00
Concepto		2.1.1	Izaje y retiro de superestructura con apoyo de Barco Grúa con capacidad suficiente, incluye recursos materiale	Evento	1.00	USD\$ 4'564,759.50	USD\$ 4'564,759.50
Concepto		2.1.2	Transporte y descarga de superestructura en patio con apoyo de pareja #1 chalán-remolcador	Evento	1.00	USD\$ 526,480.50	USD\$ 526,480.50
Nivel 3	-	2.2	Fase 6: Trabajos de desmantelamiento y transporte de la Subestructura				USD\$ 7'636,860.00
Concepto		2.2.1	Izaje y retiro de subestructura con apoyo de Barco Grúa con capacidad suficiente, incluye recursos materiales,	Evento	1.00	USD\$ 6'847,139.25	USD\$ 6'847,139.25
Concepto		2.2.2	Transporte y descarga de subestructura en patio o lugar seguro con apoyo de pareja #2 chalán-remolcador	Evento	0.00	USD\$ 0.00	USD\$ 0.00
Concepto		2.2.3	Transporte y descarga de equipos y tuberías (misceláneos) en patio con apoyo de pareja #3 chalán-remolcador	Evento	1.00	USD\$ 789,720.75	USD\$ 789,720.75
Subcapítulo	-	3	Proceso de desmovilización de embarcaciones				USD\$ 3'825,546.16
Nivel 3	-	3.1	Fase 7: Desmovilización de embarcaciones				USD\$ 3'825,546.16
Concepto		3.1.1	Desmovilización de Embarcación principal barco grúa y spread de apoyo (remolcador)	Evento	0.09	USD\$ 38'375,221.50	USD\$ 3'453,769.94
Concepto		3.1.2	Desmovilización de Embarcación secundaria pareja #1 Chalan Remolcador para transporte de superestructura	Evento	0.09	USD\$ 2'065,423.50	USD\$ 185,888.11
Concepto		3.1.3	Desmovilización de Embarcación secundaria pareja #2 Chalan Remolcador para transporte de subestructura	Evento	0.09	USD\$ 0.00	USD\$ 0.00
Concepto		3.1.4	Desmovilización de Embarcación secundaria pareja #3 Chalan Remolcador para apoyo de misceláneos	Evento	0.09	USD\$ 2'065,423.50	USD\$ 185,888.11

Figura 34. Precio estimado para una plataforma tipo ligera inducida en el mismo lugar.

Como se puede observar el precio estimado es de \$20, 548,157.85 (USD), por lo que dé acuerdo al \pm 20% sobre el costo este rondara entre \$16, 438,526.28 (USD) a \$24, 657,789.42 (USD)

B) Inducción en sitio seguro con transporte exclusivamente barco grúa con una navegación no mayor a dos días.

Tipo	S	Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Total 22'450,140.98
Capítulo	-		PLAN DE DESMANTELAMIENTO DE PLATAFORMAS MARINAS DE TIPO FIJA				USD\$ 22'450,140.98
Subcapítulo	-	1	Proceso de movilización de embarcaciones				USD\$ 3'994,511.69
Nivel 3	-	1.1	Fase 4: Movilización y Trabajos Previo				USD\$ 3'994,511.69
Concepto		1.1.1	Movilización de Embarcación Principal Barco Grúa y spread de apoyo (abastecedor)	Evento	0.09	USD\$39'888,129.75	USD\$ 3'589,931.68
Concepto		1.1.2	Movilización de Embarcación secundaria pareja #1 Chalan Remolcador para transporte de superestructura	Evento	0.09	USD\$ 2'308,414.50	USD\$ 207,757.30
Concepto		1.1.3	Movilización de Embarcación secundaria pareja #2 Chalan Remolcador para transporte de subestructura	Evento	0.00	USD\$ 0.00	USD\$ 0.00
Concepto		1.1.4	Movilización de Embarcación secundaria pareja #3 Chalan Remolcador para apoyo de misceláneos	Evento	0.09	USD\$ 2'186,919.00	USD\$ 196,822.71
Subcapítulo	-	2	Proceso de desmantelamiento y transporte de plataformas marinas				USD\$ 14'630,083.13
Nivel 3	-	2.1	Fase 5: Trabajos de desmantelamiento y transporte de la Superestructura				USD\$ 5'091,240.00
Concepto		2.1.1	Izaje y retiro de superestructura con apoyo de Barco Grúa con capacidad suficiente, incluye recursos materiale	Evento	1.00	USD\$ 4'564,759.50	USD\$ 4'564,759.50
Concepto		2.1.2	Transporte y descarga de superestructura en patio con apoyo de pareja #1 chalán-remolcador	Evento	1.00	USD\$ 526,480.50	USD\$ 526,480.50
Nivel 3	-	2.2	Fase 6: Trabajos de desmantelamiento y transporte de la Subestructura				USD\$ 9'538,843.13
Concepto		2.2.1	Izaje y retiro de subestructura con apoyo de Barco Grúa con capacidad suficiente, incluye recursos materiales,	Evento	1.00	USD\$ 8'749,122.38	USD\$ 8'749,122.38
Concepto		2.2.2	Transporte y descarga de subestructura en patio o lugar seguro con apoyo de pareja #2 chalán-remolcador	Evento	0.00	USD\$ 0.00	USD\$ 0.00
Concepto		2.2.3	Transporte y descarga de equipos y tuberías (misceláneos) en patio con apoyo de pareja #3 chalán-remolcador	Evento	1.00	USD\$ 789,720.75	USD\$ 789,720.75
Subcapítulo	-	3	Proceso de desmovilización de embarcaciones				USD\$ 3'825,546.16
Nivel 3	-	3.1	Fase 7: Desmovilización de embarcaciones				USD\$ 3'825,546.16
Concepto		3.1.1	Desmovilización de Embarcación principal barco grúa y spread de apoyo (remolcador)	Evento	0.09	USD\$38'375,221.50	USD\$ 3'453,769.94
Concepto		3.1.2	Desmovilización de Embarcación secundaria pareja #1 Chalan Remolcador para transporte de superestructura	Evento	0.09	USD\$ 2'065,423.50	USD\$ 185,888.11
Concepto		3.1.3	Desmovilización de Embarcación secundaria pareja #2 Chalan Remolcador para transporte de subestructura	Evento	0.00	USD\$ 0.00	USD\$ 0.00
Concepto		3.1.4	Desmovilización de Embarcación secundaria pareja #3 Chalan Remolcador para apoyo de misceláneos	Evento	0.09	USD\$ 2'065,423.50	USD\$ 185,888.11

Figura 35. Precio estimado para una plataforma ligera con destino final inducción en sitio seguro.



Como se puede observar el costo estimado es de \$22, 450,140.98 (USD) por plataforma, el cual fluctuara entre \$17, 960,112.78 (USD) y \$26, 940,169.18 (USD), debido al \pm 20% sobre el costo.

7.2.2.2. PLATAFORMA PESADA

Este caso utiliza los tiempos de los recursos del inciso “C” de la tabla 16 y lo mencionado en el apartado 7.2.1.1, por lo que el precio por plataforma para las situaciones presentadas en el apartado 7.2.2 se muestra en las figuras 36 y 37.

A) Inducción en el mismo lugar de desmantelamiento

Tipo	S	Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Total 25'023,299.97
Capítulo	-		PLAN DE DESMANTELAMIENTO DE PLATAFORMAS MARINAS DE TIPO FIJA				USD\$ 25'023,299.97
Subcapítulo	-	1	Proceso de movilización de embarcaciones				USD\$ 4'001,801.43
Nivel 3	-	1.1	Fase 4: Movilización y Trabajos Previo				USD\$ 4'001,801.43
Concepto		1.1.1	Movilización de Embarcación Principal Barco Grúa y spread de apoyo (remolcador-abastecedor)	Evento	0.09	USD\$ 39'888,129.75	USD\$ 3'589,931.68
Concepto		1.1.2	Movilización de Embarcación secundaria pareja #1 Chalan Remolcador para transporte de superestructu	Evento	0.09	USD\$ 2'389,411.50	USD\$ 215,047.04
Concepto		1.1.3	Movilización de Embarcación secundaria pareja #2 Chalan Remolcador para transporte de subestructura	Evento	0.00	USD\$ 0.00	USD\$ 0.00
Concepto		1.1.4	Movilización de Embarcación secundaria pareja #3 Chalan Remolcador para apoyo de misceláneos	Evento	0.09	USD\$ 2'186,919.00	USD\$ 196,822.71
Subcapítulo	-	2	Proceso de desmantelamiento y transporte de plataformas marinas				USD\$ 17'195,952.38
Nivel 3	-	2.1	Fase 5: Trabajos de desmantelamiento y transporte de la Superestructura				USD\$ 7'434,367.50
Concepto		2.1.1	Izaje y retiro de superestructura con apoyo de Barco Grúa con capacidad suficiente, incluye recursos m	Evento	1.00	USD\$ 6'847,139.25	USD\$ 6'847,139.25
Concepto		2.1.2	Transporte y descarga de superestructura en patio con apoyo de pareja #1 chalán-remolcador	Evento	1.00	USD\$ 587,228.25	USD\$ 587,228.25
Nivel 3	-	2.2	Fase 6: Trabajos de desmantelamiento y transporte de la Subestructura				USD\$ 9'761,584.88
Concepto		2.2.1	Izaje y retiro de subestructura con apoyo de Barco Grúa con capacidad suficiente, incluye recursos mal	Evento	1.00	USD\$ 8'749,122.38	USD\$ 8'749,122.38
Concepto		2.2.2	Transporte y descarga de subestructura en patio o lugar seguro con apoyo de pareja #2 chalán-remolc	Evento	1.00	USD\$ 0.00	USD\$ 0.00
Concepto		2.2.3	Transporte y descarga de equipos y tuberías (misceláneos) en patio con apoyo de pareja #3 chalán-rem	Evento	1.00	USD\$ 1'012,462.50	USD\$ 1'012,462.50
Subcapítulo	-	3	Proceso de desmovilización de embarcaciones				USD\$ 3'825,546.16
Nivel 3	-	3.1	Fase 7: Desmovilización de embarcaciones				USD\$ 3'825,546.16
Concepto		3.1.1	Desmovilización de Embarcación principal barco grúa y spread de apoyo (remolcador)	Evento	0.09	USD\$ 38'375,221.50	USD\$ 3'453,769.94
Concepto		3.1.2	Desmovilización de Embarcación secundaria pareja #1 Chalan Remolcador para transporte de superestr	Evento	0.09	USD\$ 2'065,423.50	USD\$ 185,888.11
Concepto		3.1.3	Desmovilización de Embarcación secundaria pareja #2 Chalan Remolcador para transporte de subestruc	Evento	0.09	USD\$ 0.00	USD\$ 0.00
Concepto		3.1.4	Desmovilización de Embarcación secundaria pareja #3 Chalan Remolcador para apoyo de misceláneos	Evento	0.09	USD\$ 2'065,423.50	USD\$ 185,888.11

Figura 36. Precio estimado para una plataforma de tipo pesada inducida en el mismo lugar de desmantelamiento.

Como se puede observar el precio estimado es de \$25, 023,299.97 (USD), se aplicara un el \pm 20% sobre el costo, esto con el fin de obtener un margen de precios el cual es entre \$20, 018,639.98 (USD) a \$30, 027,959.96 (USD).



B) Inducción en sitio seguro con transporte exclusivamente barco grúa con una navegación no mayor a dos días.

Tipo	S	Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Total
Capítulo	-		PLAN DE DESMANTELAMIENTO DE PLATAFORMAS MARINAS DE TIPO FIJA				USD\$ 26'544,886.47
Subcapítulo	-	1	Proceso de movilización de embarcaciones				USD\$ 4'001,801.43
Nivel 3	-	1.1	Fase 4: Movilización y Trabajos Previo				USD\$ 4'001,801.43
Concepto		1.1.1	Movilización de Embarcación Principal Barco Grúa y spread de apoyo (remolcador-abastecedor)	Evento	0.09	USD\$ 39'888,129.75	USD\$ 3'589,931.68
Concepto		1.1.2	Movilización de Embarcación secundaria pareja #1 Chalan Remolcador para transporte de superestructu	Evento	0.09	USD\$ 2'389,411.50	USD\$ 215,047.04
Concepto		1.1.3	Movilización de Embarcación secundaria pareja #2 Chalan Remolcador para transporte de subestructura	Evento	0.09	USD\$ 0.00	USD\$ 0.00
Concepto		1.1.4	Movilización de Embarcación secundaria pareja #3 Chalan Remolcador para apoyo de misceláneos	Evento	0.09	USD\$ 2'186,919.00	USD\$ 196,822.71
Subcapítulo	-	2	Proceso de desmantelamiento y transporte de plataformas marinas				USD\$ 18'717,538.88
Nivel 3	-	2.1	Fase 5: Trabajos de desmantelamiento y transporte de la Superestructura				USD\$ 7'434,367.50
Concepto		2.1.1	Izaje y retiro de superestructura con apoyo de Barco Grúa con capacidad suficiente, incluye recursos n	Evento	1.00	USD\$ 6'847,139.25	USD\$ 6'847,139.25
Concepto		2.1.2	Transporte y descarga de superestructura en patio con apoyo de pareja #1 chalán-remolcador	Evento	1.00	USD\$ 587,228.25	USD\$ 587,228.25
Nivel 3	-	2.2	Fase 6: Trabajos de desmantelamiento y transporte de la Subestructura				USD\$ 11'283,171.38
Concepto		2.2.1	Izaje y retiro de subestructura con apoyo de Barco Grúa con capacidad suficiente, incluye recursos ma	Evento	1.00	USD\$ 10'270,708.88	USD\$ 10'270,708.88
Concepto		2.2.2	Transporte y descarga de subestructura en patio o lugar seguro con apoyo de pareja #2 chalán-remolca	Evento	1.00	USD\$ 0.00	USD\$ 0.00
Concepto		2.2.3	Transporte y descarga de equipos y tuberías (misceláneos) en patio con apoyo de pareja #3 chalán-rem	Evento	1.00	USD\$ 1'012,462.50	USD\$ 1'012,462.50
Subcapítulo	-	3	Proceso de desmovilización de embarcaciones				USD\$ 3'825,546.16
Nivel 3	-	3.1	Fase 7: Desmovilización de embarcaciones				USD\$ 3'825,546.16
Concepto		3.1.1	Desmovilización de Embarcación principal barco grúa y spread de apoyo (remolcador)	Evento	0.09	USD\$ 38'375,221.50	USD\$ 3'453,769.94
Concepto		3.1.2	Desmovilización de Embarcación secundaria pareja #1 Chalan Remolcador para transporte de superestr	Evento	0.09	USD\$ 2'065,423.50	USD\$ 185,888.11
Concepto		3.1.3	Desmovilización de Embarcación secundaria pareja #2 Chalan Remolcador para transporte de subestruc	Evento	0.09	USD\$ 0.00	USD\$ 0.00
Concepto		3.1.4	Desmovilización de Embarcación secundaria pareja #3 Chalan Remolcador para apoyo de misceláneos	Evento	0.09	USD\$ 2'065,423.50	USD\$ 185,888.11

Figura 37. Precio estimado para una plataforma pesada con destino final inducción en sitio seguro.

Como se puede observar el costo estimado es de \$26, 544,886.47 (USD) por plataforma, el cual fluctuara entre \$21, 235,909.18 (USD) y \$31, 853,863.76 (USD), esto bajo la misma condición del caso B de las plataformas ligeras del \pm 20% del costo estimado.

7.3. COMPARATIVA Y ELECCIÓN DEL MEJOR ANÁLISIS DE COSTO

El método más fiable para poder obtener los costos estimados es por el método de precio alzado, debido a que si se opta por utilizar el costo por toneladas (el que propone la revista), puede resultar excesivamente caro o barato respecto al peso de la plataforma.

Debido que en México no se han realizado este tipo de actividades no se cuenta con registros de las características de las plataformas desmanteladas, caso contrario en el Mar del Norte, por lo que con esos registros se pueden hacer análisis y poder



determinar costos basados en las características de la plataforma, en el caso de la revista lo proponen por tonelada y esto facilita mucho su estimación.

Tomar un costo por tonelaje para aplicarlo en nuestro país no es viable, podría serlo pero se necesitarían de años de realizar esta actividad para poder realizar un análisis estadístico y determinar un costo basado en las características como el peso o el tipo de plataforma con respecto al tiempo de desmantelamiento.

Por ello, la opción de precio alzado resulta viable de implementar ya que el costo estará en función de la duración de la actividad, la embarcación a emplear de acuerdo al tipo de plataforma y por la razonabilidad del plan propuesto basado en la experiencia de especialistas, con ello se sabe que actividades son más caras de realizar por lo que se tiene mejor control del proyecto. Con base a las tarifas mostradas en la tabla 15, se asume que los costos estimados están dentro de los parámetros que maneja el mercado internacional, por lo que para este caso las personas especialistas sugieren tomar un \pm 20% sobre el costo estimado de desmantelamiento por plataforma, esto por la magnitud y complejidad de este tipo de proyectos basado en lo indicado en el apartado 6.2.

7.4. COMPARATIVO DEL COSTO BENEFICIO ESTIMADO DE LAS DISPOSICIONES FINALES DE LAS PLATAFORMAS

Un análisis de costo beneficio es aquel en el que se comparan los datos obtenidos mediante un análisis de costos con el fin de estimar posibles impactos financieros justificando el resultado de la mejor opción, cabe recalcar que este tipo de análisis es muy útil en la toma de decisiones de un proyecto.

Para el proceso de desmantelamiento de plataformas marinas, este análisis nos podrá indicar que opciones de las que se propusieron son las más viables económicamente de acuerdo al costo estimado del proyecto mediante los datos obtenidos.

Como se puede observar, de los dos tipos de análisis que se tomaron para el comparativo, el análisis de precio alzado se considera el más fiable debido a la



metodología utilizada, muy diferente al costo por tonelada propuesto por la publicación de la revista mencionada anteriormente, el cual es muy limitado debido a que no se conocen las variables que lo conforman, comparando el costo de la tabla 14 se observa que fluctúan mucho de una plataforma a otra, es por ello que es recomendable utilizar los datos obtenidos del análisis a precio alzado.

Por ello para una buena apreciación de los datos de precio alzado estimados obtenidos para las diferentes disposiciones finales, y con el fin de poder hacer una comparación entre ellos se procede a mostrarlos en la tabla 17.

Tabla 17. Costos estimados de diferentes alternativas para las plataformas fijas ligeras y pesadas.

Tipo de Plataformas Marina Fija	Disposición Final	Costo por plataforma marina (USD)		
		-20% (Precio de referencia mínimo)	Estimado	+20% (Precio de referencia máximo)
Ligeras	Transporte a Patio	\$17,243,636.46	\$21,554,545.57	\$25,865,454.68
	Inducción en el mismo lugar de desmantelamiento	\$16,438,526.28	\$20,548,157.85	\$24,657,789.42
	Inducción utilizando transporte barco grúa	\$17,960,112.78	\$22,450,140.98	\$26,940,169.18
Pesadas	Patio	\$20,841,245.50	\$26,051,556.88	\$31,261,868.26
	Inducción en el mismo lugar de desmantelamiento	\$20,018,639.98	\$25,023,299.97	\$30,027,959.96
	Inducción utilizando Transporte barco grúa	\$21,235,909.18	\$26,544,886.47	\$31,853,863.76

De la información de la tabla 17, podemos determinar la opción más barata en el desmantelamiento de plataformas marinas fijas ligeras y pesadas es la de inducción en el mismo lugar de desmantelamiento.

A pesar de que esta opción es barata podría no ser viable, debido a que en el sitio de desmantelamiento existen tuberías conocidas como gasoductos y oleoductos las cuales pueden sufrir daños por la forma en que la subestructura sea inducida, además de tener otro factor en contra que es el tirante de agua, por lo tanto esta opción no es segura y no trae beneficios.

Las opciones de destino final a patio es una de las que tienen costos menores, esta opción utiliza las cuatro embarcaciones por lo que el tiempo de transporte aumenta considerablemente, sin embargo, se puede ver compensados estos costos debido a que si la subestructura está en buen estado, se puede rehabilitar para su instalación en otro campo de esta forma los costos se verían compensados.



Mientras que la opción de transporte con barco grúa, aunque es un ligeramente un poco más cara aproximadamente en \$1, 500,000.00 (USD) sigue siendo viable, debido a que evita gastos en chatarrización, por lo que su inducción como arrecife se puede ver compensada en el precio debido a que no se tiene gastos de maniobras para descargar en patio para su confinamiento.

Como se puede observar de las tres opciones dos son viables, cada opción es distinta una de otra por lo que dé acuerdo a todas las variables que se han presentado a lo largo de esta investigación, la opción más viable serían cualquiera de esas dos, las cuales son la inducción como arrecife mediante el transporte con barco grúa y el transporte a patio conllevando cada una su costo beneficio.

Esto es debido a que el costo estimado no está elevado pero tampoco tan bajo en ambos casos, lo que garantiza que el proyecto tendrá un buen precio para una considerable cantidad de plataformas a desmantelar, con un buen tiempo de trabajo para la ejecución de tareas.

Por lo que la disposición final recaería en la subestructura, debido a que si esta es considera a ser rehabilitada o si algunas de sus partes serán reutilizadas para su uso en la fabricación de otras estructuras la disposición a patio es la mejor opción.

Mientras que si no es necesario lo anteriormente dicho la inducción como arrecife mediante el transporte con barco grúa es lo más viables, siendo esta decisión a criterio del cliente en conjunto con el contratista y en apoyo a contribuir a la vida marina.



CONCLUSIÓN

El desmantelamiento de plataformas marinas fijas en México en ambos destinos de disposición final (traslado a patio o inducción como arrecife artificial) es viable y debe ser de carácter obligatorio de acuerdo a las normas y/o leyes vigentes que son aplicables en el país, por lo que la responsabilidad de implementar estas labores recae en el Gobierno Federal, debido a que tiene la facultad legal de implementar leyes que permitan hacer cumplir a empresas petroleras con el proceso de desmantelamiento de plataformas antes y después de la Reforma Energética 2013, con la finalidad de contribuir en la preservación del medio marino.

Debido a que no se tiene documentación por parte de PEMEX que avalen el desmantelamiento de plataformas marinas fijas, en este trabajo de investigación se ha propuesto un plan de desmantelamiento con tiempos y costos estimados de mercado en instalaciones de plataformas marina proporcionados por personas con experiencia en el sector petrolero, por ser el desmantelamiento de plataformas un trabajo con proceso inverso al de su instalación.

De acuerdo con la publicación de PEMEX en el anuario estadístico 2014 (siendo la información más actualizada hasta junio de 2017), se cuenta con 258 plataformas marinas instaladas en el Golfo de México las cuales algunas fueron instaladas desde la década de los 60's. Con base a la información recabada en la investigación de campo un 45% son candidatas a ser desmanteladas (116 plataformas).

Para este porcentaje de plataformas candidatas a desmantelar, apegados al plan propuesto pueden ser retiradas en un periodo aproximado de 10 años. De acuerdo a los datos de la tabla 17, se proceden a promediar los costos estimados de las plataformas ligeras y pesadas para generalizarlos en dos posibles casos que son disposición a patio y como arrecife.

En la tabla 18 se muestran los costos y días requeridos para el desmantelamiento de las plataformas, en sus dos posibles destinos finales así como las diferencias entre precios y días con su respectivo $\pm 20\%$ sobre el costo estimado.



Tabla 18. Costos generalizados de desmantelamiento y días estimados

Destino final	Plataformas candidatas a ser desmanteladas	Costos en USD				Días estimados de trabajo
		Costo promedio estimado por plataforma	Costo promedio estimado para 116 plataformas	-20% del costo promedio estimado para 116 plataformas	+20% del costo promedio estimado para 116 plataformas	
Disposición a patio	116	\$23,803,051.23	\$2,761,153,942.10	\$2,208,923,153.68	\$3,313,384,730.52	3758 (10 años, 3 meses y 18 días)
Inducción arrecife artificial	116	\$23,641,621.32	\$2,742,428,072.83	\$2,193,942,458.26	\$3,290,913,687.40	3120 (8 años, 6 meses y 20 días)
Diferencias entre ambos casos	-	\$161,429.91	\$18,725,869.27	\$14,980,695.42	\$22,471,043.12	638 (1 año, 9 meses y 3 días)

Nota: Convenciones de tiempo 1 año (365 días), 1 mes (30 días).

Analizando el caso de traslado a patio, PEMEX tiene que disponer de la plataforma para chatarrizarla o rehabilitarla, estas actividades no forman parte del alcance del desmantelamiento costa afuera de las plataformas, por lo que se considera que estas actividades en patio pueden incrementar los costos, sin embargo estos podrían ser reducidos debido a que parte de la superestructura podría ser rehabilitada e instalada en otro campo generando un proceso de reciclado reduciendo los costos de fabricación.

En el caso de inducción de arrecife los costos de chatarrización o rehabilitación de la plataforma serán nulos, debido a que subestructura no será trasladada a patio y sólo se depositará en la zona marítima de jurisdicción mexicana.

Por ello, para poder realizar el desmantelamiento de plataformas marinas de tipo fijas en los próximos 10 años sin importar su destino final tomando como datos el costo promedio estimado más alto (ver “Costo promedio estimado para 116 plataformas” de la tabla 18), PEMEX en conjunto con el Gobierno Mexicano debe de contemplar un capital promedio el cual tiene considerado un porcentaje estimado de inflación anual de un 4.8% el cual fue calculado considerando la inflación de los últimos 10 años en México (2007 - 2017) lo que nos permite hacer una estimación idealista del comportamiento de la inflación para el periodo comprendido entre 2017 y 2027, por lo que dicho capital aproximado debe ser de \$4,086,507,834.31 (USD) el cual puede fluctuar entre



\$3,269,206,267.45 (USD) como el costo mínimo a considerar y \$4,903,809,401.17 (USD) como el costo más alto respectivamente, esto se debe a que no todas las plataformas tendrán la misma disposición final por lo que con base a esto algunas tendrán un costo más elevados que otras.

Para lograr el desmantelamiento que contemplan 116 plataformas durante un periodo de una década, la adquisición de las embarcaciones necesarias para la ejecución de los proyectos así como la capacitación del personal que laborará en estas embarcaciones, representa aproximadamente 85% más con respecto a la inversión total si es realizada por medio de una licitación pública, esto debido a los altos costos de las embarcaciones.

Cabe mencionar que ambas opciones de disposición final (patio o inducción como arrecife) son viables por lo que PEMEX debe decidir la opción que más le convenga a sus intereses, cumpliendo con las disposiciones legales en materia de seguridad y protección al medio ambiente, dado que las diferencias entre llevar a patio y la de inducción a arrecife de las plataformas desmanteladas son relativamente pequeñas tanto en costo como en tiempo de ejecución.

Por lo que es recomendable que PEMEX y el Gobierno Federal deben considerar dentro de los próximos 2 sexenios, el capital promedio mencionado, para ello, se tendría que generar una partida especial prioritaria para solventar dichos costos con miras de que el 55% restante de plataformas marinas estarán acercándose al término de su vida útil.



REFERENCIAS

- [1] PEMEX. (s.f.). Pemex.com. Obtenido de Historia de Petróleos Mexicanos
- [2] PEMEX. (2013). NRF-294-PEMEX-2013. Desmantelamiento y abandono de plataformas marinas fijas. México.
- [3] Arias Marquez, J. L. (2017). *Codificación de datos*. Obtenido de Google Docs.: <https://drive.google.com/file/d/0B1Bk5NovRX03dVIHQIRveFlwVWc/view>
- [4] IMO. (1989). Resolution A.672 (16). Obtenido de OMI. (1989) Resolution A.672 (16).
- [5] Arias Marquez, J. L. (2017). *Encuesta para trabajo de tesis*. Obtenido de Google Docs. https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLScM-o0R53m8qNTQM5hGH86DCfARwtIDm4gIXL-TrKON_XF3ng/viewform
- [6] PEMEX. (2014). Anuario Estadístico 2014.
- [7] Shell. (2008). Brent Spar Dossier. Londres.
- [8] Convención OSPAR. (1998). Reino Unido. Obtenido de: <http://www.ospar.org/>
- [9] Convenio de OSLO. (1972). Estocolmo.
- [10] Convenio de Paris. (1972). Paris.
- [11] Plataforma Petrolífera. (s.f.). Es.wikipedia.org. Obtenido de: https://es.wikipedia.org/wiki/Plataforma_petro%C3%ADfera
- [12] Reforma Energética. (2013). Reformas.gob.mx. Obtenido de: <http://reformas.gob.mx/reforma-energetica/que-es>
- [13] Fortalezas Marinas Maunsell. Es.wikipedia.org. Obtenido de: https://es.wikipedia.org/wiki/Fortalezas_Marinas_Maunsell
- [14] PEMEX. (2012). NRF-037-PEMEX-2012. Desmantelamiento y abandono de plataformas marinas fijas. México
- [15] García Vega, R. (2009). Análisis de la implementación de un nuevo procedimiento constructivo de superestructuras de plataformas marinas. Maestría. Universidad nacional autónoma De México. Programa de maestría y doctorado en ingeniería, Facultad de ingeniería.
- [16] Plataforma de Perforación. Footage.framepool.com. Obtenido de: <http://footage.framepool.com/shotimg/qf/692000166-torre-de-perforacion-offshore-petroleo-buque-de-carga.j>
- [17] Plataforma de Producción CHEVRON. Orinoquiaphoto. Obtenido de: <http://orinoquiaphoto.photoshelter.com/image/I0000IxRnfhk5Mi4>
- [18] PB-ZAAP-C Plataforma de Enlace en el Golfo de México PEMEX. Flickr. Obtenido de: <https://www.flickr.com/photos/donatop/8375759468>
- [19] Plataforma de Compresión. Presidenteinfraestructure. Obtenido de: <http://www.presidenteinfraestructure.com/wp-content/uploads/2015/12/master-foto-1.jpg>
- [20] Plataforma Habitacional. Elarsenal.net. Obtenido de: http://www.elarsenal.net/wp-content/uploads/2011/04/PEMEX_SondaCampeche1.jpg



- [21] Plataforma de Rebombéo. Ccicsa.com.mx. Obtenido de: http://www.ccicsa.com.mx/es/hidrocarburos_energia_cicsa/Paginas/galeria.aspx
- [22] Plataforma de Inyección. Lahojadearena.com. Obtenido de: http://www.lahojadearena.com/lahojadeldia/wp-content/uploads/2013/08/plataforma_petrolera-1024x670.jpg?1ff0e2
- [23] Plataforma Fija. Greenpeace.org. Obtenido de: http://www.greenpeace.org/espana/community_images//97/113297/25287_49029.jpg
- [24] Plataforma Autoelevable. Static panoramio.com. Obtenido de: <http://static.panoramio.com/photos/large/60146810.jpg>
- [25] Plataforma Semisumergible. Energiaadebate.com. Obtenido de: <http://energiaadebate.com/Articulos/Noviembre2009/imagenes/Knott3.jpg>
- [26] Historia de la Exploración Petrolera en México. Ref.pemex.com. Obtenido de: <http://www.ref.pemex.com/octanaje/23explo.htm>
- [27] Instalaciones del Complejo Cantarell. Theyucatantimes.com. Obtenido de: <http://www.theyucatantimes.com/wp-content/uploads/2016/04/plataforma.jpg>
- [28] Romo, D. (2015). El Campo Petrolero Cantarell y la Economía Mexicana. Problemas Del Desarrollo, 46(183), 141-164. doi:10.1016/j.rpd.2015.10.007
- [29] Ley de Hidrocarburos. (2014). Honorable Congreso de la Unión. Ciudad de México, México.
- [30] Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en el Ramo del Petróleo. (1958). H. Congreso de la Unión. México D.F.
- [31] Comisión Nacional de Hidrocarburos. (2014). Gobierno. gob.mx.
- [32] Normas de Referencia. (s.f.). Pemex.com. Obtenido de: <http://www.pemex.com/procura/procedimientos-de-contratacion/normas-referencia/paginas/default.aspx>
- [33] Ley de petróleos mexicanos. (2014). Pemex.com.
- [34] Reglamento de la ley de petróleos mexicanos (2014). Pemex.com.
- [35] Disposiciones Generales de Contratación. (2016). Pemex.COM.
- [36] Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente. ASEA. Obtenido de: <http://www.gob.mx/asea>
- [37] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Gobierno. gob.mx. Obtenido de: <https://www.gob.mx/semarnat>
- [38] Ley de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos. (2014). Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. México, D.F.
- [39] Disposiciones Administrativas de Carácter General que Establecen los Lineamientos en Materia de Seguridad Industrial, Seguridad Operativa y Protección al Medio Ambiente para Realizar las Actividades de Reconocimiento y Exploración Superficial, Exploración y Extracción de Hidrocarburos. (2016). Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos. Ciudad de México
- [40] Naciones Unidas. Un.org. Obtenido de: <http://www.un.org/es/index.html>



- [41] Organización Marítima Internacional. Imo.org. Obtenido de: <http://www.imo.org/es/Paginas/Default.aspx>
- [42] ONU, (1982). Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar. Nueva York, USA.
- [43] Convención Sobre la Plataforma Continental. (1958). Ginebra, Suiza.
- [44] IMO, & UNEP. (s.f.). Directrices Relativas a la Colocación de Arrecifes Artificiales. Obtenido de: http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=28462&filename=FINALArtificialReefs-Spanish_webversion.pdf
- [45] SEMARNAT. (2006). NOM-149-SEMARNAT-2006
- [46] Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. d. (2000). Metodología de la Investigación (Quinta ed.). McGraw-Hill Interamericana.
- [47] Schettini, P. and Cortazzo, I. (2015). Análisis de datos cualitativos en la investigación social. Buenos Aires: D - Editorial de la Universidad de La Plata.
- [48] Comisión Nacional de Hidrocarburos, (2016). ANEXO V. Guía Para Realizar Actividades de Seguimiento de la Integridad de Pozos. Ciudad De México, CDMX: Unidad Técnica de Exploración, Unidad Técnica de Extracción, Dirección General de Regulación y Consulta.
- [49] Decommissioning Insight 2016. (2016). Oil & Gas UK'S. Obtenido de: <https://cld.bz/bookdata/jb05Hxr/basic-html/page-1.html>; ISBN 1903004780
- [50] Buque grúa. Es.wikipedia.org. Obtenido de: https://es.wikipedia.org/wiki/Buque_gr%C3%BAa
- [51] Pioneering Spirit (ship).wikipedia.org. [https://en.wikipedia.org/wiki/Pioneering_Spirit_\(ship\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Pioneering_Spirit_(ship))
- [52] Marino, I. REMOLCADORES - Ingeniero Marino. Ingeniero Marino. Obtenido de: <http://ingenieromarinero.com/9-remolcadores/>
- [53] Remolcador. Static.deia.com. Obtenido de: http://static.deia.com/images/2016/02/01/modernexpress_28705_11.jpg
- [54] NOM-002-SCT4-2013, Terminología Marítima-Portuaria. (2014). Dof.gob.mx.
- [55] Chalán. Costaveracruz.files.wordpress.com. Obtenido de: <https://costaveracruz.files.wordpress.com/2014/11/b3osogqceaaopv.jpg>
- [56] Buque de aprovisionamiento logístico. Es.wikipedia.org. Obtenido de: https://es.wikipedia.org/wiki/Buque_de_aprovisionamiento_log%C3%ADstico
- [57] Abastecedor Sábalo. Bourbonoffshore.com. Obtenido de: http://www.bourbonoffshore.com/sites/default/files/diaporama/mega-gabarit/visuel/foto_sabalo.jpg
- [58] PEMEX. (2012). NRF-260-PEMEX-2012. Inspección de Plataformas Marinas Fijas de Acero. México.
- [59] Qué Es El Izaje. Gruasyequiposgarcia.com. Obtenido de: <http://www.gruasyequiposgarcia.com/tag/que-es-el-izaje/>
- [60] PEMEX. (2014). NRF-041-PEMEX-2014. Carga, Amarre, Transporte e Instalación de Plataformas Costa Afuera. México.
- [61] Structural Welding Code Steel AWS D1.1/D1.1M:2010. (2010) (22nd ed.). Miami, FL.



- [62] July 2016 Solstad & Rem Offshore Merge as Consolidation Begins. (2016). Seabrokers Group. Obtenido de: <https://www.seabrokers.no/wp-content/uploads/Seabreeze-July-1.pdf>
- [63] Maniobra de buques - Posicionamiento dinámico. Maniobradebuques.com. Obtenido de: http://www.maniobradebuques.com/listaAT_03/posicionamientodinamico.html
- [64] Que es un ROV. Qstar ROV Training Center - Cursos de Piloto Técnico de ROV. Obtenido de: <http://www.rovs.es/que-es-un-rov>
- [65] Medina, J. (s.f.). Corte y Soldadura Subacuática.
- [66] Bosquede Carranque, J. (2012). Cálculo del Equipo de Dragado Necesario Para una Draga de Succión de 1000 m3 de Capacidad Cántara (licenciatura). Universidad de Cantabria, Escuela Técnica Superior de Náutica.
- [67] Dragadora de succión. Victoryepes.blogs.upv.es. Obtenido de: <http://victoryepes.blogs.upv.es/files/2012/11/draga-succion-en-marcha001.jpg>
- [68] H. Pickering, D. Whitmarsh and A. Jensen, 'Artificial Reefs as a Tool to Aid Rehabilitation of Coastal Ecosystems: Investigating the Potential', (1998) Marine Pollution Bulletin vol. 37, (8-12), pp. 505-514
- [69] As-Built Despacho Ingeniería Proyectos. Dipingenieria.com. Obtenido de <http://dipingenieria.com/proyecto-ingenieria/as-built/>
- [70] Microsoft Project 2013 (Versión 2013).
- [71] Directorio de Aduanas. Sat.gob.mx. Obtenido de: http://www.sat.gob.mx/contacto/contactenos/Paginas/dir_adu.aspx
- [72] Oca, S., & Oca, S. Precio Alzado Enciclopedia Jurídica Online. México.leyderecho.org. Obtenido de: <http://mexico.leyderecho.org/precio-alzado/>
- [73] García, J., & García, J. Precio Unitario Enciclopedia Jurídica Online. Mexico.leyderecho.org. Obtenido de: <http://mexico.leyderecho.org/precio-unitario/>
- [74] Opus 2010 (Versión 11.1.0.0). (2010).
- [75] Histórico GBP/USD. investing.com México. Obtenido de: <https://mx.investing.com/currencies/gbp-usd-historical-data>
- [76] Calculadora de Inflación. (s.f.). INEGI.org. Obtenido de: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/indiceprecios/CalculadoraInflacion.aspx>



ANEXOS

ANEXO I

Encuesta vía online aplicada a 9 personas, mismas preguntas aplicadas en entrevista a 2 personas [5].

Encuesta para trabajo de tesis

Mi nombre es Jorge Arias, soy pasante de la carrera de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, actualmente me encuentro realizando mi trabajo de tesis, que se relaciona con la investigación de plataformas marinas fijas instaladas en el Golfo de México, por ello la presente encuesta surgió por la falta de información en el trabajo de investigación que estoy realizando en el ámbito petrolero, esta encuesta va dirigida a personas con amplia experiencia en el área petrolera, al contestar usted está aportando información y conocimiento que ayudara al presente trabajo de investigación en un tema de interés en el sector petrolero y las instalaciones costa afuera, con el fin de proteger la identidad de quienes apoyen con la presente encuesta, no se piden datos personales, ya que estoy consciente de que alguna información sensible que nos puede proporcionar puede ocasionarle algún conflicto de interés, por ello se conserva el anonimato, si desea más información o desea que su nombre sea citado en los agradecimientos, puede solicitarlo con mucho gusto al siguiente correo, jortui94@hotmail.com.

***Obligatorio**

1 - ¿Sabes en que año y lugar inició PEMEX la instalación de las primeras plataformas marinas fijas en el Golfo de México? *

Tu respuesta

2 - ¿ Recuerda las plataformas de la barra de Santa Anna en el estado de Tabasco? *

Si

No

3 - Si tu respuesta fue SI, Podría hablarnos un poco sobre ellas

Tu respuesta

4 - De acuerdo al anuario estadístico 2014 de Pemex, se tienen instaladas 258 plataformas marinas fijas, de acuerdo a su experiencia y como experto en plataformas marinas, ¿Qué porcentaje considera usted que sean de tipo Trípode? *
Indique el numero del % que considere

Tu respuesta

5 - ¿Qué porcentaje considera usted que sean de tipo Tetrápodo? *
Indique el numero del % que considere

Tu respuesta

Figura 38. Preguntas para encuesta y entrevista.



6 - Cuantas considera usted que sean de tipo Octápodo *
Indique el numero del % que considere

Tu respuesta

7 - Que tiempo de vital útil define Pemex para una plataforma marina *

15 años

20 años

25 años

30 años

Otros: _____

8 - Cual es el peso promedio que estima que tienen las plataformas marinas instaladas por Pemex *
Indique el numero de toneladas que por su experiencia cree que tengan

Tu respuesta

9 - Que porcentaje de plataformas marinas instaladas considera que ya cumplieron su vida util *
Indique el numero del % que considere

Tu respuesta

10 - Qué medidas toma PEMEX para sus plataformas marinas cuando el pozo productor ha declinado su producción por agotamiento del yacimiento yacimiento *

Tu respuesta

11 - Qué estudios son necesarios para definir si una plataforma marina que ha sobrepasado su vida util está en óptimas condiciones *

Tu respuesta

12 - ¿Pemex ha desmantelado alguna plataforma marina fija completa (Subestructura y/o Superestructura) *

Sí

No

Figura 38. Continuación de preguntas para encuesta y entrevista.

13 - Si su respuesta fue SI, podria hablarnos al respecto

Tu respuesta

14 - Si tu respuesta fue NO, y considerando las primeras plataformas instaladas, podría entenderse que aún están operando, es correcto o sabes del motivo por el cual aún no se llevan a cabo los planes de desmantelamiento de plataformas marinas fijas que ha vencido su vida útil o se encuentra fuera de operación

Tu respuesta

15 - Hasta antes de la reforma energética (2014) que ha hecho Pemex con las plataformas que ya no le son productivas o que representa un riesgo *

Tu respuesta

15 - Hasta antes de la reforma energética (2014) que ha hecho Pemex con las plataformas que ya no le son productivas o que representa un riesgo *

Tu respuesta

16 - Con base a tu experiencia y conocimiento de las plataformas marinas, podrías proponer un procedimiento de desmantelamiento de plataformas marinas fijas considerando los aspectos más relevantes o enviarlo al siguiente correo: jorlui94@hotmail.com *
Escriba su respuesta si no desea enviarlo al correo, si gusta mandarlos solo escriba SI, en caso de que no acepte solo ponga NO

Tu respuesta

ENVIAR

Figura 38. Continuación de preguntas para encuesta y entrevista.



ANEXO II

Datos obtenidos mediante las encuestas y entrevistas codificados con base a la metodología de la investigación [3].

Respuestas Encuestados										Respuestas Entrevistados		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	
Pregunta 1	De acuerdo a datos estadísticos e históricos, en 1958 se llevó a cabo la instalación de la primera plataforma marina de perforación, y fue en la zona norte de Tabasco, frente a la barra de Santa Ana municipio de Cárdenas, en un tirante de agua que oscilaba entre los 15 a 20 metros. Según estudios, esta zona formaría parte de la faja de oro, y que estaba ubicado a lo largo de las costas de Tabasco, Veracruz y Tamaulipas.	Aproximadamente entre los años de 1958 a 1964, el año exacto lo desconozco, fueron instaladas en las costas de Tabasco ubicada en el municipio de Cárdenas, eran las plataformas denominadas Santa Anna y actualmente ya no existen.	A principio de los años 60's	A finales de los 50's, en las costas de Tabasco	Las primeras plataformas marinas fueron instaladas a finales de los años 50's.	A inicios de 1960	En el año 1960 aproximadamente	Los registros indican que fue entre 1959 y 1960	En 1959 con plataformas en aguas muy someras de la zona norte de Tabasco	En 1959 con plataformas en aguas muy someras de la zona norte de Tabasco	Las primeras plataformas fueron instaladas en a principio del año de 1960 denominadas Santa Anna A frente a las costas del Estado de Tabasco, actualmente ya no existen	Fueron instaladas aproximadamente a finales del año de 1958.
Análisis de las respuestas												
Las personas consultadas concordaron en que las primeras plataformas instaladas por PEMEX se instalaron a principio de los años 60's												

Figura 39. Respuestas de encuesta y entrevista.

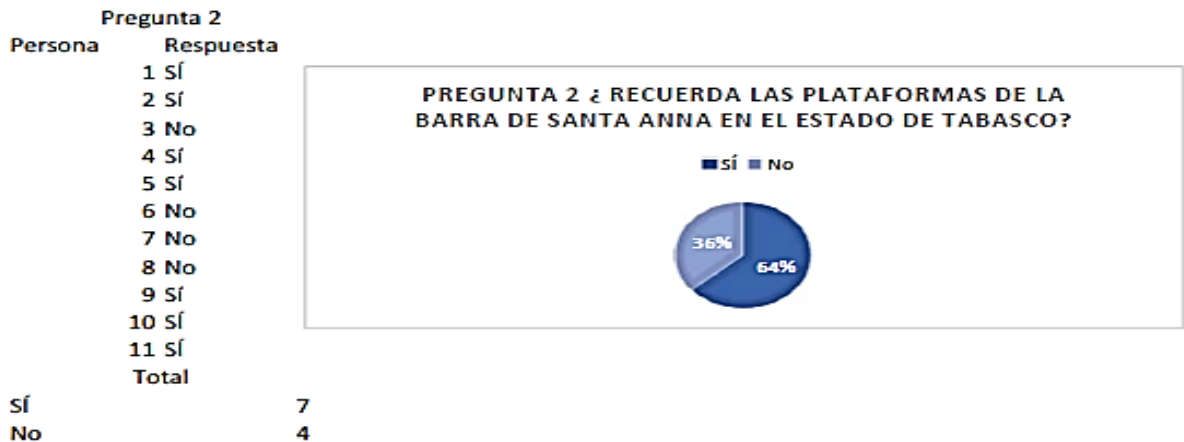


Figura 39. Continuación de respuestas de encuesta y entrevista.



	Respuestas Encuestados								Respuestas Entrevistados			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	
Pregunta 3	Como bien se describió en el apartado 1, Las primeras plataformas marinas instaladas se llevaron a cabo en Tabasco, particularmente en la Barra de Santa Ana, perteneciente al municipio de Cárdenas. El método de instalación de dichas plataformas la desarrollaron personal extranjero los cuales tenían que garantizar que el equipo de perforación y las actividades a desarrollar sobre la plataforma serían seguras, por ello, estas plataformas tenían 16 patas de estructura tubular ancladas en el lecho marino como fijas y un tirante de agua que oscilaba entre los 15 a 20 metros, la cubierta donde se instalaron los equipos y las áreas de maniobras fue a base de madera tratada, este modelo de plataformas, estaban siendo desarrolladas y utilizadas en Estados Unidos.	Esta plataforma eran de tirantes de agua de entre 10 a 25 metros, su instalación fue realizada por empresas extranjeras en el gobierno de el presidente Adolfo López Mateos, estas plataformas aproximadamente eran dos la Santa Anna A y la B, eran a base de madera con un debido tratamiento para evitar que la madera se pudriera por el salitre	Fueron una de las primeras en instalarse, su diseño era muy sencillo a base de maderas estaban en tirantes de agua de entre 15 a 20 metros, actualmente estas plataformas ya no existen	Estas plataformas fueron para perforación, el tirante de agua no era mayor a 17 mts. algunas tenían cubiertas de madera en donde se colocaron los equipos para perforar, no se tiene mucho registro de estas estructuras ya que al ser poco productivos los pozos perforados se taponaron y se dejaron al abandono, hasta hace unos años atrás, PEMEX retiró lo que quedó de dichas estructuras que representaban un peligro a la navegación de actividades pesqueras de la zona.						Es esta zona de tabasco, implementaron las primeras plataformas de perforación a base de estructura metálica y madera, la profundidad no era mayor a 18 metros, por lo que la empresa perforadora fue la que diseño y colocó esas estructuras acorde a sus necesidades, una vez que declinó la producción, dichas plataformas fueron abandonadas.	Estas plataformas se utilizaron para perforación, su tirante de agua era entre 14 a 20 metros, por lo que estas podían ser vistas fácilmente desde las playas de la Villa y Puerto Sánchez Magallanes del municipio de Cárdenas Tabasco. Fueron fabricadas e instaladas por empresas extranjeras y operadas por PEMEX	Estas plataformas su diseño era muy rustico a base de metal y madera, en profundidades que no sobrepasaban los 20 metros, cuando estas se consideraban improductivas se abandonaron y se quedaron por varios años, no se cuando fueron quitadas del sitio, ya que los pobladores saquearon partes de estas por lo que PEMEX decidió quitarlas sin dar detalles de su proceso.
Análisis de las respuestas												
Eran plataformas relativamente sencillas con tirantes de agua cortos no mayores a 25 metros, las cuales fueron fabricadas e instaladas por empresas extranjeras.												

Figura 39. Continuación de respuestas de encuesta y entrevista.

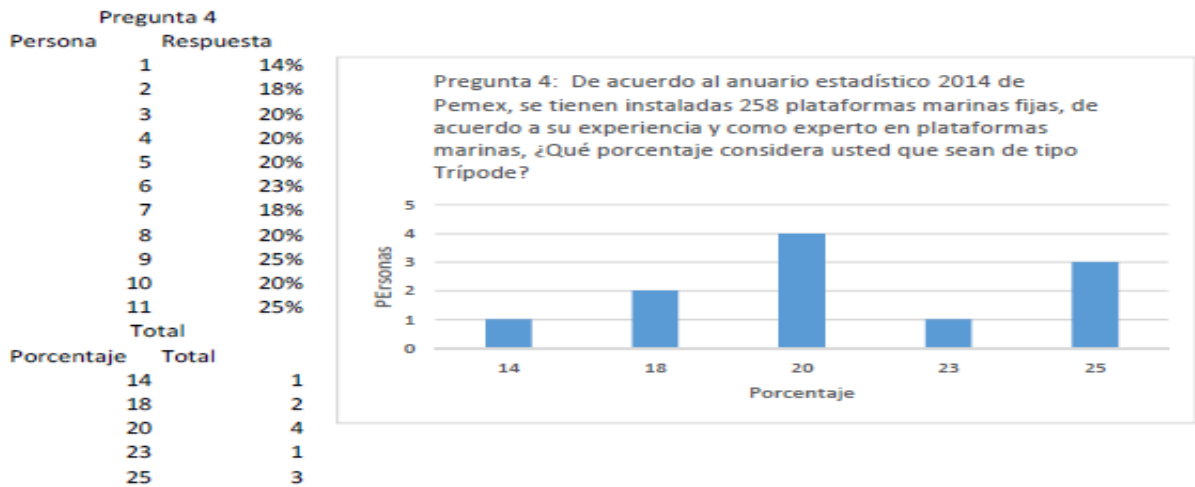


Figura 39. Continuación de respuestas de encuesta y entrevista.

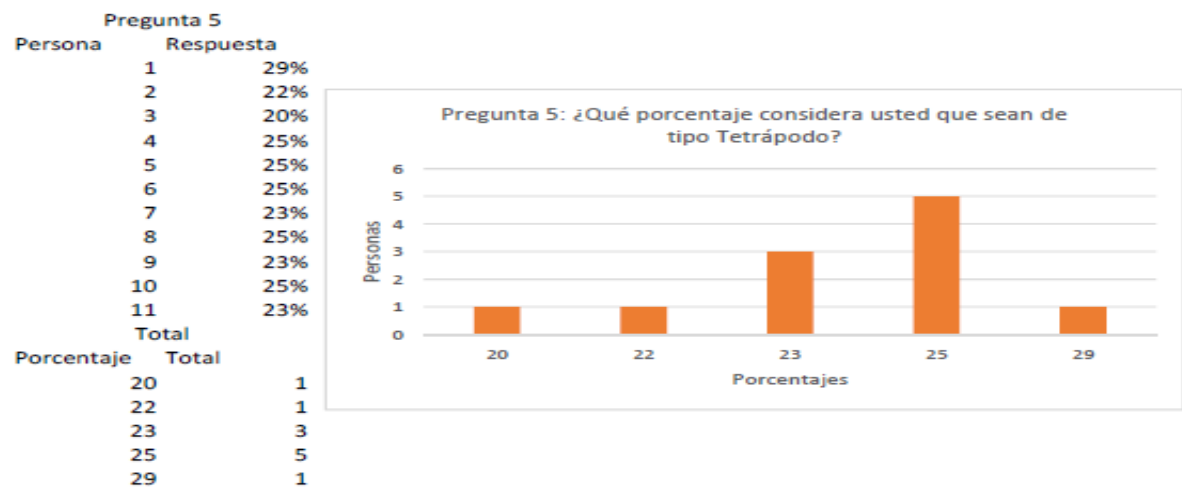


Figura 39. Continuación de respuestas de encuesta y entrevista.



Pregunta 6

Persona	Respuesta	Porcentaje
1	57%	
2	60%	
3	60%	
4	55%	
5	55%	
6	52%	
7	59%	
8	55%	
9	52%	
10	55%	
11	52%	
Total		
Porcentaje	Total	
52	3	
55	4	
57	1	
59	1	
60	2	

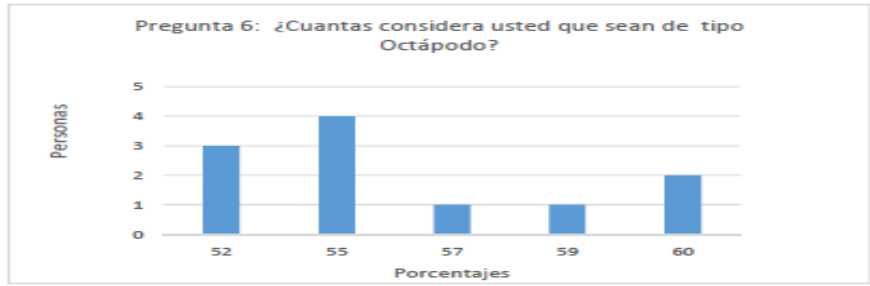


Figura 39. Continuación de respuestas de encuesta y entrevista.

Pregunta 7

Persona	Respuesta	Años	Personas
1	25 años	15	0
2	25 años	20	2
3	20 años	25	9
4	25 años	30	0
5	25 años	otros	0
6	25 años		
7	25 años		
8	25 años		
9	25 años		
10	20 años		
11	25 años		
Total			
Años	Personas		
15	0		
20	2		
25	9		
30	0		
otros	0		

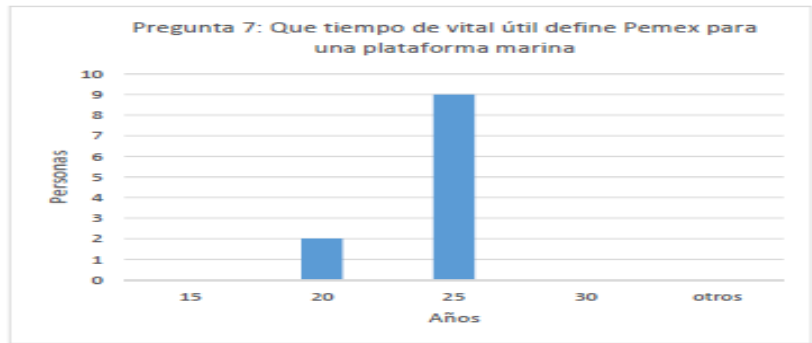


Figura 39. Continuación de respuestas de encuesta y entrevista.

	Respuestas Encuestados									Respuestas Entrevistados	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2
Pregunta 8	Oscilan entre 1500 a 8000 toneladas, dependiendo si son tripodes, hexápodos u octápodos, y en algunos casos se instalaron por módulos	EL peso promedio de estas plataformas rondan entre los 8000 toneladas (6000 ton el deck y 2000 ton el jacket), las mas antiguas están alrededor de las 2000 toneladas (1200 ton el deck y 800 ton el jacket)	Varia dependiendo el tipo de plataforma, una Tetrápodo podría tener un peso promedio de 5,000 ton. para una octópoda podría oscilar el peso promedio en 8,500 ton.	Para tipos ligeros ronda entre 5000 toneladas (1000 toneladas el jacket y 4000 toneladas el deck), para las tipos pesadas 8000 toneladas aproximadamente (2000 toneladas el jacket y 6000 toneladas el deck)	Para las plataformas de hasta 4 piernas, tienen un peso promedio de 5,500 ton., para las plataformas de hasta 8 piernas, tienen un peso promedio 8,500 ton. (Incluye Jacket y Deck), en un tirante de agua promedio de 50 m.	Si hablamos de tripodes, su peso promedio es de 1,000 ton., para un Tetrápodo su peso promedio es de aproximadamente 6,000 ton. y para un octópodo de 8,000 ton.	Varia en función del tirante de agua y de los equipos que soportara, pero en general puedo decir que en ligeras (hasta tetrápodos) su peso medio anda entre 2500 a 6000 ton, en las pesadas (octópodos) promedian un peso de 8200 ton.	Es variable y depende de muchos factores, tal como el tirante de agua, tipo de plataforma, tipo de servicio que va a operar, pero un dato de peso promedio mínimo y máximo sería 5,000 y 9000 ton. respectivamente.	Cada plataforma tiene diferente peso, básicamente por tipo de plataforma, el tirante de agua donde se instala y trabajo a desempeñar, es por ello que los pesos promedios deben de ser reservados, en donde mas experiencia tengo es las plataformas de 8 piernas y pesan alrededor de 8700 toneladas métricas promedio.	El peso promedio de las plataformas que PEMEX tiene instaladas, rondan entre las 4500 ton a 6000 ton para las ligeras, para las pesadas su peso ronda entre los 7500 a 9000 toneladas., donde el jacket oscila entre un 25% a 30% del peso total y el deck entre un 70% a 75% del peso restante.	PEMEX tiene instaladas de los siguientes tipos de plataformas con su respectivo peso promedio: tripodes, con un peso promedio de 2,000 ton., las tetrápodos un peso aproximado de 6,500 ton. y finalmente las octópodos 8,500 ton.
Análisis de las respuestas											
El peso varía dependiendo el tipo de plataforma, una tripode tiene un peso promedio de 2000 ton, una Tetrápodo podría tener un peso promedio de 5,000 ton y la Octópodo podría oscilar el peso promedio en 8,500 ton donde el 25% al 30% de ese peso corresponde al jacket y el 70% a 75% al deck.											

Figura 39. Continuación de respuestas de encuesta y entrevista.



Respuestas Encuestados										Respuestas Entrevistados	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	
Pregunta 9	Alrededor del 45% de las instalaciones marinas rebasan su ciclo de vida útil y aun las continúan operando, o simplemente son improductivas.	Aproximadamente un 48%, debido a que entre los años de 1960 a 2000, fue el lapso de tiempo en donde se instalaron la mayoría de las plataformas, algunas de estas aun están en operación y otras han sido abandonadas.	Si estamos hablando que iniciaron operaciones marinas desde los años 60's, hoy podríamos tener cerca del 45% de las plataformas que ya hayan vencido su vida útil	entre el 40 a 45 %, ya que se tienen plataformas instaladas desde 1960 las cuales algunas están abandonadas y otras en su mínima operación.	Considerando el Boom petrolero de los años 70's y mediados de los 80's, en donde se dio la mayor cantidad de instalación de plataformas marinas, al día de hoy podríamos estar hablando de un mínimo de 48% que ya venció su vida útil	50%	Desde el inicio hasta la fecha se considera un 48% aproximadamente	Hasta la fecha puedo decir que si estamos hablando que iniciaron operaciones marinas desde los años 60's, hoy podríamos tener cerca del 55% de las plataformas que ya hayan vencido su vida útil	Hasta la fecha puedo decir que un 48%	A mi parecer un 55%	Si asumimos una vida útil de 25 años y que las plataformas candidatas a ser desmanteladas son las que se han sido instaladas desde principios de 1960 hasta 1992, considerando que las instaladas a partir de 1993 hasta el 2017 aun no cumplen los 25 años, el porcentaje de plataformas a desmantelar ronda entre los 45% a 55%
Análisis de las respuestas											
El promedio de las plataformas marinas que ya cumplieron su vida útil según los encuestados oscila en un 45%											

Figura 39. Continuación de respuestas de encuesta y entrevista.

Respuestas Encuestados										Respuestas Entrevistados	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	
Pregunta 10	Realiza un taponamiento al pozo productor, sin embargo, no retira las instalaciones o plataformas ya que las ocupa para otros fines o de apoyo.	Lo que realizamos es realizar el taponamiento del pozo productor, y avisar a las dependencias competentes de su situación, en algunos casos se ha recuperado la superestructura total o parcialmente para reinstalarla en otro pozo.	Hasta ahora no tiene un plan estratégico para eliminar plataformas que ya no le son rentables, debido que no hay proyectos de reutilización o eliminación de plataformas, considero que esta encuesta va enfocada a	Se procede a ser abandonadas, lo que implica a taponar el pozo y la desconexión de los equipos.	Hasta ahora no se tiene registros de que se retiren para reutilizarlas, quizá solo se le da mantenimiento, el pozo si es taponado por PEMEX para evitar incidentes.	Hasta ahora solo ha taponado los pozos, dejando las plataformas para usos auxiliares afines	Primero realiza el taponamiento del pozo o los pozos, luego si es útil la plataforma para otro servicio la rehabilita en sitio, en caso contrario la abandona	Lo que realizamos es realizar el taponamiento del pozo productor, y avisar a las dependencias competentes de su situación, en algunos casos se ha recuperado la superestructura total o parcialmente para reinstalarla en otro pozo.	Una vez taponado el pozo, Pemex ocupa la plataforma para otros usos y/o las abandona	Solamente PEMEX realiza las labores de abandono (retiro de equipos y taponamiento del pozo) sin retirar las estructuras, dando avisos a las autoridades competentes,	Se abandonada, y si el deck aun esta en optimas condiciones se reutiliza en otro o en su defecto no se retira nada si las estructuras no están en buenas condiciones.
Análisis de las respuestas											
La mayoría de las personas consultadas comentan que se taponaa el pozo, aunque dicen que no hay proyectos de reutilización o eliminación de estas plataformas.											

Figura 39. Continuación de respuestas de encuesta y entrevista.

Respuestas Encuestados										Respuestas Entrevistados	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	
Pregunta 11	Se realizan inspecciones visuales, inspecciones con pruebas destructivas y los estudios de factibilidad y confiabilidad de las instalaciones	Las pruebas que marcan las normas de Pemex, que son las inspecciones visuales, pruebas destructivas, análisis de confiabilidad estructural, entre otras.	Primeramente, debe existir la cultura en las personas que toman decisiones de que algo que ha caducado debe ser retirado, por el hecho de que algo que ha vencido puede ocasionar incidentes o accidentes. Los estudios son secundarios cuando ya existe la caducidad, pero en México trabajan las plantas, equipos, maquinas e instalaciones hasta que colapsan, esa cultura y mentalidad pone en riesgo a personas e incluso las mata. Para un servidor los estudios que determinan las condiciones operativas de una estructura como las plataformas, es un estudio de integridad mecánica y estructural, apoyados en pruebas de inspección visual, pruebas destructivas entre otras relacionadas.	Los análisis de integridad, factibilidad y las pruebas de tipo no destructivas, con el fin de corroborar en uniones de soldaduras y partes que son sometidas a grandes esfuerzos	Estudios de integridad mecánica y estructural, inspecciones visuales y pruebas no destructivas, entre otros.	Integridad estructural y PND	Una vez que una instalación ha vencido, ya no se puede decir que esté en optimas condiciones, quizá rehabilitándole puede continuar operando por un periodo no mayor al que fue diseñada, en este caso, los análisis de integridad de las estructuras determinan su operatividad.	Los análisis de integridad, factibilidad y las pruebas de tipo no destructivas, con el fin de corroborar en uniones de soldaduras y partes que son sometidas a grandes esfuerzos	El estudio mas reconocido para evaluar instalaciones operativas, es el de integridad estructural y todas las formas de pruebas no destructivas	Los estudios mas comunes son las pruebas destructivas en las estructuras metálicas, juntas, y/o soldaduras, en algunos casos utilizan las inspecciones con ROV, estos caen dentro de los análisis de integridad. Sin embargo los de factibilidad, solamente se hacen a los equipos que operan en la plataforma.	Análisis de integridad y factibilidad
Análisis de las respuestas											
Se deben de realizar diversos tipos de inspecciones visuales, pruebas no destructivas, análisis estructurales y de soldadura que garanticen la factibilidad y confiabilidad de las instalaciones.											

Figura 39. Continuación de respuestas de encuesta y entrevista.



Pregunta 12

Persona	Respuesta
1	Sí
2	No
3	No
4	No
5	No
6	No
7	No
8	No
9	No
10	No
11	Sí
Total	

Sí	2
No	9

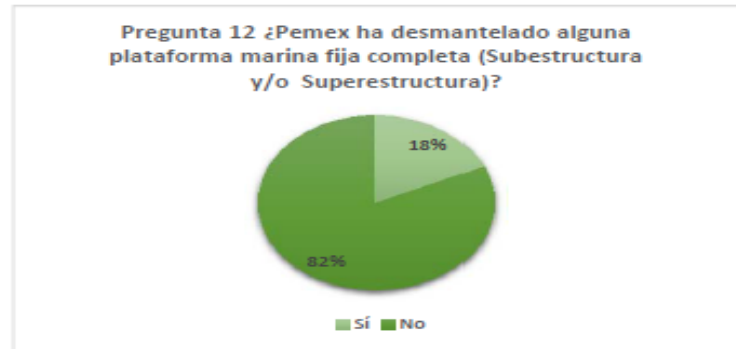


Figura 39. Continuación de respuestas de encuesta y entrevista.

		Respuestas Encuestados							Respuestas Entrevistados			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2
Pregunta 13	Cabe señalar que PEMEX ha desmantelado algunas plataformas parcialmente, solo superestructuras (Casos de habitacionales) o solo subestructuras (utilizadas para formar otras subestructuras menores), al parecer ha realizado desmantelamientos completos pero de tripodes y algún tetrapodos, esta información no se puede confirmar			Pemex, como empresa del estado, está obligada a licitar los proyectos, sin embargo, hasta ahora no se ha dado a conocer proyectos en donde PEMEX haya realizado este tipo de trabajos o los haya licitados.		No hay registros de retiro de plataformas completas, parciales quizá si se hayan realizado						No se han dado contratos para este tipo de trabajos, sin embargo solamente se conocen algunos pero fue la reubicación del deck a otro campo, por lo que el proceso a emplear se considero como una instalación, lo anterior es lo mas cercano a un desmantelamiento
Análisis de las respuestas												
PEMEX aún no tiene registros concretos de el desmantelamiento de plataformas marinas.												

Figura 39. Continuación de respuestas de encuesta y entrevista.

		Respuestas Encuestados									Respuestas Entrevistados	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2
Pregunta 14	como los desmantelamientos de plataformas marinas fijas completas no se tiene antecedentes de que hayan sido por vencimiento de la vida útil o baja producción, lo que me lleva a asumir que PEMEX no tiene un plan de desmantelamiento de plataformas marinas fijas que hayan llegado a su fin en la vida útil o declaradas improductivas, además, de que su marco legal le impide a las autoridades en turno tomar las decisiones y compromisos ante los organismos internacionales que tienen que ver con la protección de los mares y el medio ambiente.	Pemex solo ha licitado el retiro parcial de algunas plataformas, limitándose al deck, estas decisiones PEMEX las ha tomado para poder reutilizarlas en otro pozo o para poder construir otro deck con alguna de sus partes, desconozco si se cuenta con algún manual para el desmantelamiento de plataformas e incluso desconozco los motivos por los cuales no se han realizado estos proyectos debido a que hasta la fecha no se ha realizado ninguna licitación de este tipo de proyectos.	Creo que el problema principal es que como PEMEX es una empresa del estado, a nadie le importa lo que es administrar un patrimonio nacional, es claro que faltan las regulaciones y obligatoriedad para llevar a cabo una actividad como el desmantelamiento de plataformas marinas, y que el estado y sus leyes deben ser claros para obligar u obligarse a su cumplimiento. Desde el inicio de las operaciones de PEMEX se promulgaron leyes para su regulación, derechos y obligaciones, hoy deben seguir existiendo y si no las hay, como es que existe PEMEX y continúa operando, peor aún, las reformas abren las puertas a nuevas empresas petroleras con derechos y obligaciones. Creo que el motivo principal es la falta de claridad en las leyes, sus regulaciones y quien las aplique podría ser juez y parte.	De acuerdo a los años trabajando en PEP, no se tienen contemplando o la realización de estas actividades, puede ser debido a que el gobierno federal no exige a PEMEX desmantelar sus plataformas, desconozco los motivos legales pero en los técnicos no se cuenta con los equipos necesarios así como carecer de las bases de lo que implica un desmantelamiento.	Ya existen plataformas que no cumplen la normatividad para seguir operando, sin embargo, algunas continúan a pesar del riesgo que representa, creo que lo que falta es una cultura para inhibir el riesgo, además, de una ley y normatividad de aplicación obligatoria para que una vez que se tenga la condición de retiro, se lleve a cabo sin pretextos, de no cumplir, que cause fuertes sanciones al infractor.	No es tan correcto que aun sigan operando, quizá uno de los motivos sea la falta de interés de los encargados de tomar decisiones para desmantelar plataformas fuera de operación, ya que se pensaría que es un costo no recuperable, pero no es así, la plataforma ya sirvió hasta su vida útil y se ha depreciado, por lo que debería ser retirada sin ningún impedimento, otro motivo que podría ser impedimento es la falta de leyes claras y normas de aplicación obligatoria para el caso de desmantelamiento o retiro de plataformas marinas fijas que ha venido su vida útil y/o están fuera de operación por baja producción.	Pemex ha desmantelado solo algunos decks, utilizando recursos propios de una instalación, de ahí en fuera no hay antecedentes sobre desmantelamiento de plataforma completa (jacket y deck), creo que algunas plataformas ya no operan y otras se encuentran operando a un alto costo y con riesgo potencial, la falta de planeación y regulación serían los motivos por el cual Pemex no ha iniciado el desmantelamiento de plataformas marinas	Podría entenderse que siguen operando, pero no es del todo correcto, ya que podrían estar abandonadas, el motivo por el cual no se desmantelan estas plataformas es porque no hay directrices que lo promuevan, otro es la falta de legislación clara del tema y por último, una normatividad basada en normas internacionales.	Tengo antecedentes de retiro de superestructura o plataforma completa, creo que hay algunas plataformas que ya no operan o están próximas a dejar de operar, hay motivos por el cual no se han desmantelado plataformas que han llegado a su límite para dejar de operar, entre esos motivos creo es la falta de claridad en las leyes y por consiguiente se evade la responsabilidad de quien toma las decisiones al respecto.	En los años que llevo trabajando o PEMEX no ha tocado el tema del desmantelamiento, desconozco si sea por falta de jurisdicción por parte del gobierno mexicano o no contar con los recursos económicos para estas labores contemplando las leyes mexicanas, por lo que PEMEX solo se limita a abandonarlas.		
Análisis de las respuestas												
Las personas consultadas concuerdan en que aún faltan regulaciones y obligatoriedad para que se lleve a cabo una actividad como el desmantelamiento de plataformas marinas.												

Figura 39. Continuación de respuestas de encuesta y entrevista.



Respuestas Encuestados										Respuestas Entrevistados	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	
Pregunta 15	PEMEX aun mantiene sus instalaciones en su sitio de instalación aun cuando estas ya han vencido en su vida útil y/o declaradas improductivas. Creo que la falta de un plan de desmantelamiento de infraestructura marina como lo tienen las grandes petroleras de otros países, ha mantenido a PEMEX al margen de asumir sus propias obligaciones, además de la falta de un marco legal que le de certidumbre a sus derechos y obligaciones con respecto al tema del desmantelamiento de plataformas marinas fijas (en otros países se denomina "Decommissioning")	Como mencione, solo se procede a abandonar las plataformas con el debido taponamiento del pozo productor y se notifica a las dependencias competentes, las causas por las que son abandonadas es por la improductividad del pozo, en casos muy extremos solo se abandonan si estas sufrieron un accidente.	Como se menciono antes, no se tiene antecedentes de que PEMEX haya realizado o cuando menos tenido un plan de desmantelamiento de plataformas fuera de operación por ser improductivas o inoperables.	Simplemente se abandonan	No se tiene registro de condiciones actuales de plataformas en etapa improductiva o de riesgo, ni tampoco, se tienen proyecciones de que hacer con ellas si existieran en tal condición (que las hay en la actualidad pero no son dadas a conocer)	Nada, ni se sabe si tienen un plan piloto para su retiro o reutilización.	No ha hecho absolutamente nada, asi como tú, también a muchos nos gustaría saber el plan de Pemex para los desmantelamientos de plataformas	Creo que a la fecha no se tiene indicios de que Pemex esté haciendo algo al respecto.	Después de 3 años, no se ha hecho nada con respecto al tema	Absolutamente nada, algunas plataformas siguen operando a su mas baja capacidad o ya han sido abandonadas. as pero no desmanteladas.	Hasta antes de que entrara en vigor la reforma energética, las plataformas no han sido desmanteladas, por lo que se puede asumir que PEMEX no ha cumplido con las leyes mexicanas si es que estas contemplan el desmantelamiento por termino de vida útil u otros factores.
Análisis de las respuestas											
Las personas consultadas mencionaron que PEMEX sigue manteniendo sus instalaciones en su lugar de sitio aún cuando estas cumplen con su vida útil.											

Figura 39. Continuación de respuestas de encuesta y entrevista.

Respuestas Encuestados										Respuestas Entrevistados	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	
Pregunta 16	Si, este podría la forma inversa a la instalación, con sus precisiones y cálculos a detalle para el izaje de retiro de los módulos.	Si, el plan podría basarse en algunos desmantelamientos realizados en el mar del norte, desconozco los procedimientos, pero puedo decir que se necesitan las mismas embarcaciones que se utilizan para una instalación, lo cual implica que el precio y tiempos de trabajos no pueden ser menor a los de una instalación, esto debido a que se necesitan equipos especializados para cortar las uniones soldadas realizadas en la instalación y algunas otras actividades que en las instalaciones no se utilizan.	Tengo experiencia en instalaciones de plataformas marinas fijas que se han instalado en la zona de Campeche del Golfo de México, te puedo apoyar con algo de instalaciones, pero no debes tomarlo como un hecho el que te pueda servir para un proceso de desmantelamiento. Aquí en México hay mucha capacidad técnica en fabricación e instalación de plataformas marinas, creo que hay profesionales que te van a apoyar. Suerte	Las opciones mas viables por la situación en que PEMEX se encuentra, es licitar este tipo de proyectos y apegarse de acuerdo a los lineamientos que proponen los contratistas, respondiendo la pregunta con base a que un desmantelamiento es lo inverso a una instalación, por lo que es necesario usar las embarcaciones que intervienen en una instalación (Barcos grúas, remolcadores, chalanes y abastecedores), la primera parte que debe ser desmantelada es la superestructura empezando a realizar las labores de limpieza y recuperación de hidrocarburos, después reforzar los puntos u orejas de izaje, realizar el estrobo y cortes, después izar, maniobrar y colocar en la cubierta de chalan, y finalmente transportar a patio para su descarga, estos mismos pasos aplicarían en la subestructura. en palabras generales esto es lo que implica un desmantelamiento.	Claro, puedo apoyar con información de interés público y de lo que tengo de mi experiencia en los trabajos que he realizado como supervisor de campo en instalaciones costa afuera por más de 10 años, te pueden ser útiles.	Te voy hacer llegar con base a la experiencia que he acumulado o trabajando en empresas privadas, me pondré en contacto vía correo.	Si, te puedo ayudar con base a la experiencia que he acumulado o trabajando en empresas privadas, me pondré en contacto vía correo.	Si, te puedo ayudar con base a la experiencia que he acumulado o trabajando en empresas privadas, me pondré en contacto vía correo.	Para explicar aquí un proceso, no lo veo adecuado, ya que se tienen que hacer muchas consideraciones, pero te puedo decir que el tiempo mínimo y máximo para una instalación va entre 18 a 35 días promedio, este dato lo puedes utilizar ya que el desmantelamiento lo puedo considerar como un proceso inverso al de la instalación. Los demás datos te los voy hacer llegar a tu correo. Buen tema, mucho éxitos	A mi parecer el desmantelamiento es el proceso inverso de una instalación, por lo que los tiempos promediados que se pueden hacer es de 30 días con mas menos 20% de este ya que algunas necesitan mas tiempo que otras, normalmente en los proyectos de instalación tomamos ese margen para realizar la planeación del proyecto en una instalación, por lo que no habría inconveniente en aplicar en tu investigación. También utilizamos ese porcentaje para los costos finales debido a que muchas veces las cotizaciones de algunas partidas tienen una vigencia y cuando el proyecto es ejecutado su costo cambio, con esto evitamos tener pérdidas económicas, también es necesario cuatro embarcaciones en una instalación las cuales son el barco grúa, abastecedor, chalanes y remolcadores.	Por mi experiencia puedo asumir que el desmantelamiento es el proceso inverso de una instalación por lo para desmantelar cualquier tipo de plataforma de tipo fija es necesario realizar 4 fases, las cuales son la movilización de las embarcaciones, el desmantelamiento del jacket y finalmente la desmovilización de las embarcaciones. en general esto sería un desmantelamiento, para que tengas mas información con respecto a las instalaciones para que las puedas adaptar al desmantelamiento y también algunas tarifas de estas embarcaciones, te hare llegar dicha información a tu correo electrónico.
Análisis de las respuestas											
Las personas consultadas accedieron a proporcionar su ayuda, aunque todos se calificaron como inexpertos en el área de desmantelamiento, dieron diversas opiniones de como sugerirían ellos que se llevara acabo este proceso.											

Figura 39. Continuación de respuestas de encuesta y entrevista.



ANEXO III

Carta de aceptación de artículo CIER-047 “Análisis de desmantelamiento de plataformas marinas instaladas por PEMEX costa afuera en el Golfo de México” para ser presentado en el 2do. Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables, Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática CIERMMI 2017, a celebrarse del 27 al 29 de septiembre de 2017, en el Centro de Convenciones del Hotel Holiday Inn Express en la ciudad de San Juan del Río, Qro.



**Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables,
Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática**



27 al 29 de septiembre del 2017.

San Juan del Río, Qro., 08 de Agosto del 2017.

**ARIAS MARQUEZ Jorge Luis †, CRUZ GÓMEZ Marco Antonio, VILLAGRÁN ARROYO Edgar Iram,
MEJIA PÉREZ José Alfredo**
Benemérita Universidad Autónoma De Puebla

Distinguido. **JORGE LUIS ARIAS MARQUEZ**
Por este medio me es grato informar a usted que su artículo en extenso, titulado:

Código	Título
CIER-047	“Análisis de desmantelamiento de plataformas marinas instaladas por pemex costa afuera en el golfo de méxico”

Ha sido **ACEPTADO**, para ser presentado en el 2do. Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables, Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática CIERMMI 2017, a celebrarse del 27 al 29 de septiembre, en el Centro de Convenciones del Hotel Holiday Inn Express de esta ciudad de San Juan del Río, Qro.

Formato Sugerido: Presentación Oral.

Atentamente



Ing. Héctor Alejandro Corres Ayala
Coordinador de revisores
CIERMMI 2017

COLEGIO DE INGENIEROS EN ENERGÍAS RENOVABLES DE QUERÉTARO A.C.
cierqro@gmail.com Tel. 01 (427) 27 2 29 91 www.cierqueretaro.org.mx

Figura 40. Carta de aceptación de artículo



ANEXO IV

Artículo CIER-047 “Análisis de desmantelamiento de plataformas marinas instaladas por PEMEX costa afuera en el Golfo de México”, para su publicación en la revista ECORFAN “Aplicación Científica y Técnica ISSN 2444-4928”.

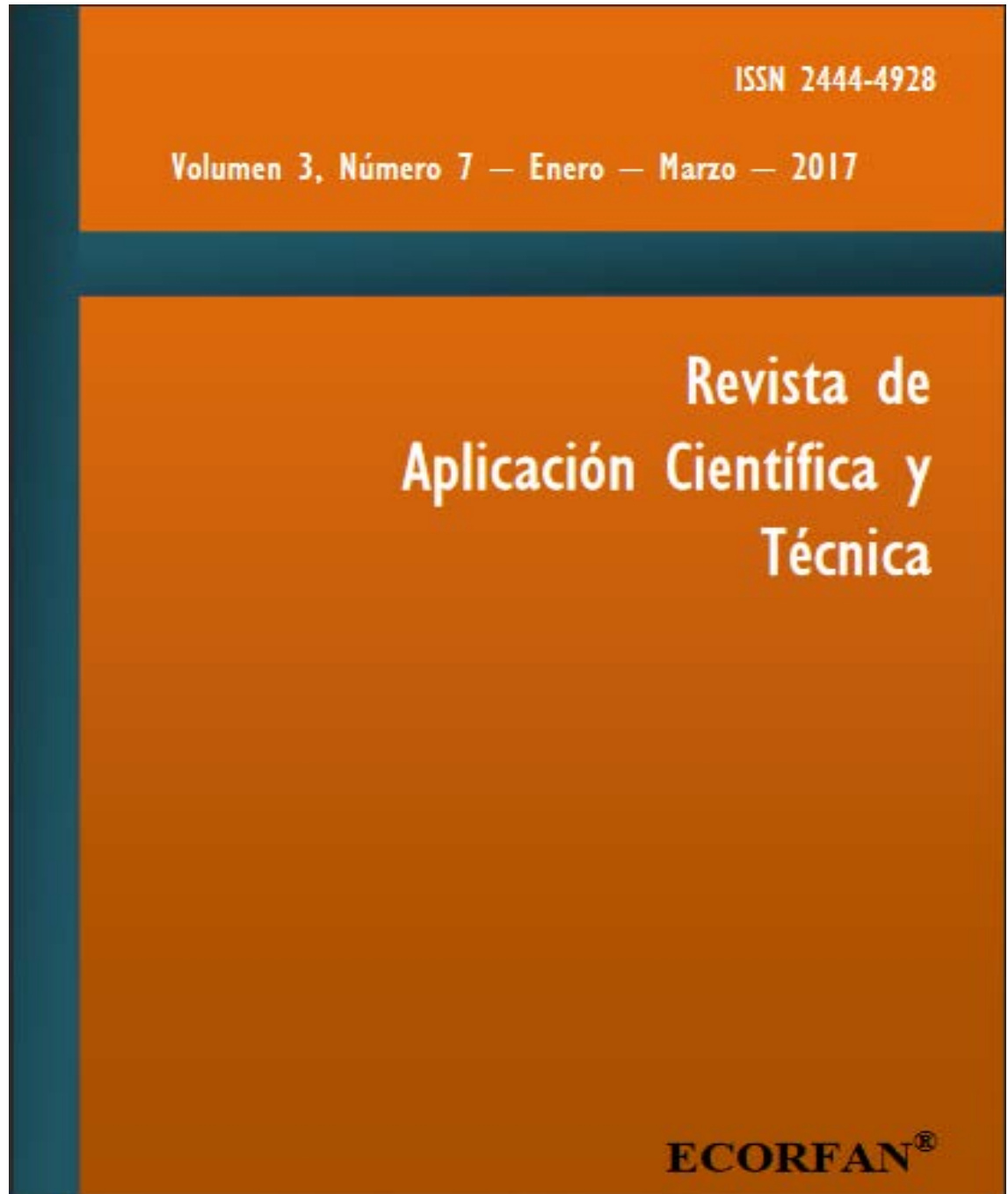


Figura 41. Portada de revista ECORFAN.



Análisis de desmantelamiento de plataformas marinas instaladas por PEMEX costa afuera en el Golfo de México

ARIAS MARQUEZ, Jorge Luis†, CRUZ GÓMEZ, Marco Antonio*, VILLAGRÁN ARROYO, Edgar Iram, MEJIA PÉREZ, José Alfredo, RAMÍREZ GARCÍA, Alejandro Javier.

* Benemérita Universidad Autónoma de Puebla; Facultad de Ingeniería, Grupo de Tribología y Transporte, Cuerpo Académico 189 (Prevención de Desastres y Desarrollo Sustentable, Tribología, BUAP), Edificio de Posgrado, Primer nivel, Cubículo Núm. 16, Blvd. Valsequillo esq. Av. San Claudio, Ciudad Universitaria, Col. San Manuel, CP. 72570, Puebla México. Tel. (222) 229 55 00, Ext. 7610, mangacruz@live.com

(Report Submission Date: July, 07, 2017); Accepted (Insert date of Acceptance: Use Only ECORFAN)

Resumen

El objetivo de esta investigación propone un análisis del desmantelamiento de plataformas marinas fijas instaladas por PEMEX (Petróleos Mexicanos) costa afuera en el Golfo de México, siguiendo los protocolos legales e ingenieriles implementados por países pioneros en desmantelamiento pertenecientes a la región del Mar del Norte, bajo el marco legal internacional obligatorio para que PEMEX cumpla con el desmantelamiento de plataformas marinas instaladas hasta antes de 2014 (antes de la Reforma Energética). Las principales causas del porqué no se han implementado son: ambigüedad en leyes y normas nacionales, falta de desarrollo tecnológico y costos no previstos para estos fines por el Gobierno Mexicano. Una investigación de campo contempla 258 plataformas marinas instaladas hasta 2014, de las cuales aproximadamente el 45% son candidatas a desmantelamiento representando un impacto ambiental en el medio marino. Un análisis de costo beneficio del desmantelamiento parcial con inducción de arrecife o total para chatarrización y/o rehabilitación determinó que la licitación total del proyecto es rentable debido a que representa aproximadamente un 15% respecto a la compra total de infraestructura propicia para este, ya que no involucra tiempos continuos de operación, además de representar costos de amortización no prioritarios para la empresa petrolera en la siguiente década.

Palabras clave: Desmantelamiento; plataformas marinas; impacto ambiental; medio marino; inducción de arrecife.

Abstract

The aim on this research propose an analysis of the decommissioning of fixed platforms installed by PEMEX (Petróleos Mexicanos) offshore in the Gulf of Mexico, following the legal and engineering protocols implemented by Pioneer countries in decommissioning belonging to the north sea zone, under obligatory legal framework in order that PEMEX accomplish the marine platforms decommissioning installed before 2014 (before Energetic Reform). The main causes of why they have not been implemented are: Laws' ambiguity and national norms, lack of technology development and costs for these goals unforeseen by the Mexican government. A field research consider 258 marine platforms installed until 2014, of which approximately 45% are decommissioning candidates representing an ambiental impact on marine environment. A cost-benefit analysis of partial decommissioning with reed induction or total for scrapping and/or rehabilitation determined that project's total bid is profitable due to it represents approximately 15% regard to the total purchase of favorable infrastructure, since it does not involve continuous operation times, in addition to represent non-priority depreciation costs for the petrol company the next decade.

Keywords: Decommissioning; Marine platforms; environmental impact; Marine environment; Reef induction.

Cita: ARIAS MARQUEZ, Jorge Luis, CRUZ GÓMEZ, Marco Antonio, VILLAGRÁN ARROYO, Edgar Iram, MEJIA PÉREZ, José Alfredo, RAMÍREZ GARCÍA, Alejandro Javier. Análisis de desmantelamiento de plataformas marinas instaladas por Pemex costa afuera en el Golfo de México. Revista de Aplicación Científica y Técnica 2017, 1-1: 1-11

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: mangacruz@live.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

**Introducción**

El 7 de junio de 1938, por decreto presidencial fue creada la empresa estatal PEMEX (Petróleos Mexicanos) la cual funge como productora, transportista, refinadora y comercializadora de petróleo y gas natural en México. Fue hasta la segunda mitad del siglo XX que se caracterizó por ser un escenario de amplio desarrollo en la industria petrolera costa afuera (offshore), dando origen a la instalación de plataformas petroleras, para la perforación, extracción y producción de hidrocarburos (PEMEX, PEMEX.com, s.f.).

Estas plataformas son estructuras modulares de acero conformadas por diferentes números de columnas o patas (tripodes (3 patas), tetrápodos (4 patas), hexápodos (6 patas), octápoda (8 patas) y decápodos (12 patas)), son instaladas y fijadas en el lecho marino mediante pilotes. Están conformadas por dos estructuras, una sumergida aproximadamente un 90% denominada Subestructura (jacket), y la otra montada sobre esta denominada Superestructura (deck), (PEMEX, NRF-294-2013, 2013).

Las instaladas en Mexico tienen un tirante de agua de 20 a 80 m., son clasificadas en estructuras ligeras y pesadas; la primera obedece a plataformas de 3 y 4 patas las cuales tienen un peso promedio de 5, 500 t, donde la superestructura tiene un peso aproximado de 4, 500 t y la subestructura oscila alrededor de 1, 000 t. Las de tipo pesadas se consideran a partir de 6 patas en adelante, con un peso promedio de 8, 000 t, de las cuales la superestructura representa aproximadamente el 75% del peso promedio y la subestructura el peso restante (Arias Marquez, Codificación de datos, 2017).

La vida útil de las plataformas instaladas en México, de acuerdo a la información recabada en la encuesta aplicada de febrero a marzo 2017 (Arias Marquez, Codificación de datos, 2017) se establece en 25 años los cuales son sustentados mediante estudios previos de materiales y

preestablecidos por los fabricantes en los contratos de obra.

Las plataformas activas son monitoreadas en forma continua por programas de mantenimientos con pruebas no destructivas con la finalidad de realizar mantenimientos preventivos y/o correctivos que mantienen en estado operante alargando la vida prevista, operándolas bajo riesgo latente de colapsos afectando al medio marino y la navegación.

Sin embargo y con base al marco legal internacional, el cual establece de manera obligatoria el desmantelamiento de la plataforma al término de su vida útil o improductividad del pozo, PEMEX y el marco jurídico legal mexicano no cuenta con un plan a seguir y mucho menos de carácter obligatorio generando ambigüedad legal, técnica y toma de decisiones.

La investigación realizada, estimo que 45% de las plataformas petroleras fijas instaladas en México han sobrepasado la vida útil estimada, debido a esto algunas están en estado de abandono (taponamiento y desconexión de equipos) y otras siguen en etapa productiva con capacidad limitada (Arias Marquez, Codificación de datos, 2017).

Para llevar a cabo el desmantelamiento de plataformas marinas, es necesario contar con infraestructura especializada como: embarcaciones tipo Barco Grúa con posicionamiento dinámico para maniobras e izaje de las estructuras, embarcaciones tipo chalancas para transporte de material de desecho, embarcación tipo remolcadores para movilización de la embarcación chalan y por último la embarcación tipo abastecedores para transporte de personal, insumos, herramientas.

1. Marco Legal

La industria petrolera en México está regida por leyes y normas de carácter nacional con base a extractos del marco legal internacional, en estas se estipulan características para las diferentes

ARIAS MARQUEZ, Jorge Luis*†, CRUZ GÓMEZ, Marco Antonio*, VILLAGRÁN ARROYO, Edgar Iram, MEJÍA PÉREZ, José Alfredo, RAMÍREZ GARCÍA, Alejandro Javier. Análisis de desmantelamiento de plataformas marinas instaladas por PEMEX costa afuera en el Golfo de México. Revista de Aplicación Científica y Técnica. 2017.

ISSN2444-4928

ECORFAN® Todos los derechos reservados

Figura 42. Continuación del artículo aceptado para publicación en revista ECORFAN.



Artículo

actividades que engloba el sector petrolero. La ambigüedad en el marco legal nacional es una posible limitación del porque el desmantelamiento aún no se ha implementado.

Las normas y leyes de carácter nacional que contemplan el desmantelamiento son: la “Ley del Hidrocarburo” en sus artículos 4 fracción XV, 43 y 116 (LEY DE HIDROCARBUROS, 2014), las “Disposiciones Administrativas de Carácter General que Establecen los Lineamientos en Materia de Seguridad Industrial, Seguridad Operativa y Protección al Medio Ambiente para Realizar las Actividades de Reconocimiento y Exploración Superficial, Exploración y Extracción de Hidrocarburos” en sus artículos 1, 2 fracción XIV, 26 y 146 (Disposiciones Administrativas de Carácter General, 2013) siendo estas aplicables para las plataformas instaladas a partir de la publicación de la Reforma Energética 2014 en el Diario Oficial de la Federación.

Para las plataformas instaladas antes de la Reforma Energética 2014, aplican las normas oficiales de la “SEMARNAT” (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), específicamente la “NOM-149-SEMARNAT-2006” en el apartado 5.4 (SEMARNAT, 2006), PEMEX también cuenta con sus propias normatividades, la cual para fines de desmantelamiento es aplicable la NRF-294-PEMEX-2013 “Desmantelamiento y Abandono de Plataformas Marinas Fijas” (PEMEX, NRF-294-2013, 2013).

A nivel internacional México pertenece a uno de los máximos organismos, la ONU (Organización de las Naciones Unidas), donde uno de los objetivos que fomenta es la preservación de los mares, para ello tiene sus propias normas y un organismo especializado denominado OMI (Organización Marítima Internacional), enfocados en hacer valer la seguridad y prevención de contaminación marítima.

Bajo este panorama el desmantelamiento de plataformas marinas es un tema de interés prioritario como se establece en la “Convención

ISSN2444-4928
ECORFAN® Todos los derechos reservados

[Revista de Aplicación Científica y Técnica]

Mes, 2017 Vol.1 No.1 1-15-[Uso de ECORFAN] de las Naciones Unidas Sobre el Derecho al Mar (CONVEMAR) en el artículo 60 fracción 3, así también en las “Directrices de la Organización Marítima Internacional RESOLUCIÓN A. 672 (16)” (IMO, 1989) y en las “Directrices Relativas a la Colocación de Arrecifes Artificiales”, creada por la OMI en conjunto con el UNEP (IMO & UNEP, s.f.).

2. Análisis de desmantelamiento de plataformas marinas fijas.

2.1 Metodología aplicada para la obtención de datos

La necesidad de realizar encuestas y entrevistas para recolectar información que permitan hacer un análisis con base a experiencias surge debido a la carencia de información publicada por PEMEX y/o dependencias gubernamentales. Esta información servirá como bases para elaborar un plan de desmantelamiento en función de las condiciones operativas y de infraestructuras de las plataformas marinas existentes.

Para obtener los datos de la población se hará bajo un enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo), de tipo exploratorio y explicativo, con un diseño no experimental transversal, debido a que solo estará basado en recolectar información en un determinado tiempo sin que presente variación en la manipulación de los datos por medio de un análisis de muestreo no probabilístico de tipo discrecional, esto debido al enfoque de la investigación que no implica una medición numérica, para finalmente codificar la información obtenida con base a las premisas de la metodología de la investigación (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2000).

La población encuestada y/o entrevistada fue de 11 personas especialistas en instalaciones de plataformas marinas fijas con una experiencia ininterrumpida mínima de 15 años, ya sea como trabajadores de PEMEX Exploración y Producción (PEP) y/o empresas establecidas en

ARIAS MARQUEZ, Jorge Luis*†, CRUZ GÓMEZ, Marco Antonio*, VILLAGRÁN ARROYO, Edgar Iram, MEJÍA PÉREZ, José Alfredo, RAMÍREZ GARCÍA, Alejandro Javier. Análisis de desmantelamiento de plataformas marinas instaladas por PEMEX costa afuera en el Golfo de México. Revista de Aplicación Científica y Técnica. 2017.

Figura 42. Continuación del artículo aceptado para publicación en revista ECORFAN.



Artículo

México que prestan sus servicios en instalaciones de plataformas. De acuerdo a su criterio de percepción, hasta el primer semestre del año 2017, en México solo se cuenta con una población máxima de 20 personas que cumplen con los requisitos establecidos en el presente estudio. Sin embargo, una parte de ellos se encuentran indispuestos para proporcionar información por diversas circunstancias

El muestreo fue de acuerdo a los criterios de selección mediante las técnicas de aplicación de encuestas (9 personas) y entrevistas (2 personas). Para que las respuestas de las técnicas seleccionadas no difieran entre sí, las preguntas fueron diseñadas bajo los mismos criterios y forma de presentación para ambos casos.

2.2 Procesamiento de los resultados de la encuesta

Definida la técnica de muestreo, la población objetivo y el instrumento de obtención de datos, se procedió a realizar las entrevistas presenciales de 15 minutos cada una. Las encuestas fueron aplicadas utilizando un formulario electrónico online "Formulario de Google" (Arias Marquez, Encuesta para trabajo de tesis., 2017) y codificadas en Excel (Arias Marquez, Encuesta para trabajo de tesis., 2017). Por ello los criterios de selección (inclusión, exclusión y eliminación) se pueden observar en la Tabla 1.

Tabla 1. Criterio de selección de la encuesta

Table with 2 columns: Criterio (Inclusión, Exclusión, Eliminación) and Descripción (Todos los trabajadores activos y jubilados de PEP y empresas prestadoras de servicio, con experiencia en instalaciones de plataformas marinas fijas, que empezaron a laborar en el periodo 1960-2000. No se incluyen los trabajadores con problemas de localización, y una edad mayor de 75 años. Los trabajadores activos y jubilados por programas especiales que empezaron a laborar desde el año 2001.)

La modalidad de preguntas fue mixta. Algunas respuestas fueron de tipo abiertas, recabando información sin limitar al encuestado y entrevistado, otras fueron de tipo cerradas con una serie de respuestas (cualitativas y/o cuantitativas).

ISSN2444-4928
ECORFAN® Todos los derechos reservados

[Revista de Aplicación Científica y Técnica]
Mes, 2017 Vol.1 No.1 1-15-[Uso de ECORFAN]

2.3 Análisis de factibilidad del plan de desmantelamiento de plataformas marinas fijas basado en investigación de campo.

La propuesta del plan de desmantelamiento para plataformas marinas de tipo fijas surge como un análisis de factibilidad función de las respuestas obtenidas en las encuestas y entrevistas en función de la experiencia del personal dedicado al área técnica-económica-administrativa en el ramo petrolero. Estos datos representan la información más cercana a lo estipulado en contratos y procedimientos bajo normas involucradas en instalaciones, lo cual representa el proceso inverso de una instalación ofreciendo costos semejantes. Debido a la carencia de este tipo de trabajos en México, estos representan una estimación factible acorde a los costos del mercado global 2017.

El plan de desmantelamiento promedio para una plataforma marina de tipo fija, con tiempos de ejecución de cada actividad estimados con base a la información recabada, contemplando las embarcaciones mínimas requeridas sugeridas por las personas expertas en instalaciones, las cuales son; 1 barco grua con posicionamiento dinámico, 3 chalanes, 3 remolcadores y 1 abastecedor, fue realizado en mediante software enfocado a la programación y control de proyectos y es mostrado en la tabla 2 mientras que en la figura 1 se muestra la ruta crítica plasma en un diagrama de gant. Cabe mencionar que el tiempo de movilización y desmovilización de estas embarcaciones es de 100 días aproximadamente, esto por las distancias que hay entre México y los países proveedores de la tecnología necesaria.

Tabla 2. Plan de desmantelamiento

Table with 2 columns: Nombre de tarea, Duración. Rows include: PLAN DE DESMANTELAMIENTO DE PLATAFORMAS MARINAS DE TIPO FIJA (135.5 días), Fase I: Proceso de movilización de embarcaciones (70 días), Movilización y trabajos previos (70 días), Movilización de embarcación principal Barco Grúa y Spread de apoyo (Abastecedor) (53 días), Movilización de Embarcación Secundaria Pareja #1 Chalan Remolcador para Transporte de superestructura (59 días)

ARIAS MARQUEZ, Jorge Luis*†, CRUZ GÓMEZ, Marco Antonio*, VILLAGRÁN ARROYO, Edgar Iram, MEJIA PÉREZ, José Alfredo, RAMÍREZ GARCÍA, Alejandro Javier. Análisis de desmantelamiento de plataformas marinas instaladas por PEMEX costa afuera en el Golfo de México. Revista de Aplicación Científica y Técnica. 2017.

Figura 42. Continuación del artículo aceptado para publicación en revista ECORFAN.

Mes, 2017 Vol.1 No.1 1-15-[Uso de ECORFAN] contaminantes propios de los hidrocarburos a los cuales estuvo expuesta durante su operación. Por otro lado la subestructura tiene dos posibles destinos finales; el transporte a patio para su confinamiento final y la inducción como arrecife artificial en sitio o dentro de la zona marítima de jurisdicción mexicana.

Movilización de Embarcación secundaria pareja #2 Chalán Remolcador para transporte de subestructura	70 días
Movilización de Embarcación secundaria pareja #3 Chalán Remolcador para apoyo de misceláneos	54 días
Fase 2: Proceso de desmantelamiento y transporte de plataformas marinas	31.5 días
Trabajos de desmantelamiento y transporte de la superestructura	20.5 días
Izaje y retiro de superestructura con apoyo de Barco Grúa con capacidad suficiente, incluye recursos materiales, mano de obra, equipos y herramientas	9 días
Transporte y descarga de superestructura en patio con apoyo de pareja #1 chalán-remolcador	14.5 días
Trabajos de desmantelamiento y transporte de la subestructura	30.5 días
Izaje y retiro de subestructura con apoyo de Barco Grúa con capacidad suficiente, incluye recursos materiales, mano de obra, equipos y herramientas	11.5 días
Transporte y descarga de subestructura en patio o lugar seguro con apoyo de pareja #2 chalán-remolcador	14.5 días
Transporte y descarga de equipos y tuberías (misceláneos) en patio con apoyo de pareja #3 chalán-remolcador	25 días
Fase 3: Proceso de desmovilización de embarcaciones	62 días
Desmovilización de embarcaciones	62 días
Desmovilización de Embarcación Principal Barco Grúa y spread de apoyo (Abastecedor)	51 días
Desmovilización de Embarcación Secundaria Pareja #1 Chalán Remolcador para Transporte de Superestructura	51 días
Desmovilización de Embarcación Secundaria Pareja #2 Chalán Remolcador para Transporte de Subestructura	51 días
Desmovilización de Embarcación Secundaria Pareja #3 Chalán Remolcador para apoyo de misceláneos	51 días

2.4 Descripción del plan de desmantelamiento propuesto

Este plan está fue programado y diseñado con datos de entrada, rutas establecidas de acuerdo a las condiciones de tiempos y movimientos, especificaciones técnicas, tiempo de traslados, de acuerdo a la forma en que las actividades se relacionan, (FC (Fin Comienzo), CC (Comienzo Comienzo), FF (Fin Fin) y CF (Comienzo Fin)).

Esta conformado por 3 fases de trabajo y se ejecuta en un tiempo total estimado de 135.5 días; la primera (movilización) será llevada a cabo en 70 días, la segunda (actividades de desmantelamiento) en 31.5 días y finalmente la tercera (desmovilización) en 62 días, sin embargo la suma algebraica del tiempo de duración de las 3 fases no es representativa a los 135.5 días, debido a que algunas tareas se desarrollan de forma simultánea.

El tiempo efectivo de desmantelamiento de la segunda fase es de 31.5 días, iniciando 53 días después de la primera fase, lo cual es el tiempo efectivo de la movilización, esto se argumenta debido a que para empezar el desmantelamiento es necesario tener el barco grúa en sitio para iniciar las labores

La tercera fase empieza 11 días antes de que termine la segunda fase, (73.5 días después de haber iniciado la primera fase), pasado esos días ya no habrá labores de desmantelamiento, por lo que las embarcaciones deben de estar lista para su entrega, es decir que 51 días son efectivos para la desmovilización de las embarcaciones (resulta de restar 11 días a los 62 días de la tercera fase). Sumando los tiempos efectivos de la primera y tercera fase tenemos como resultado

ARIAS MARQUEZ, Jorge Luis*, CRUZ GÓMEZ, Marco Antonio*, VILLAGRÁN ARROYO, Edgar Iram, MEJÍA PÉREZ, José Alfredo, RAMÍREZ GARCÍA, Alejandro Javier. Análisis de desmantelamiento de plataformas marinas instaladas por PEMEX costa afuera en el Golfo de México. Revista de Aplicación Científica y Técnica. 2017.

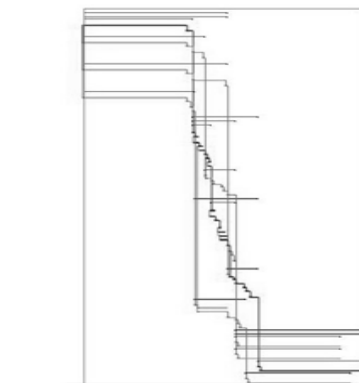


Figura 1. Ruta crítica del plan de desmantelamiento.

La disposición final de los materiales que conforman una plataforma marina, para el caso de la superestructura, forzosamente debe ser trasladada a patio para su confinamiento final (chatarrización y/o rehabilitación) debido a los



Artículo

104 días, este tiempo estimado no cambia para un número indeterminado de plataformas a desmantelar, debido a que son tareas bases para el traslado y retiro de embarcaciones.

La ecuación 1 establece el tiempo total de desmantelamiento para un número determinado de plataformas.

TTD = (T.E.F2 * x) + (T.E.F1 + T.E.F3) (1)

Donde; TTD: Tiempo total de desmantelamiento, x: Numero de plataformas a desmantelar, T.E.F1: Tiempo efectivo fase 1 (53), T.E.F2: Tiempo efectivo fase 2 (31.5 días), y T.E.F3: Tiempo efectivo fase 3 (51 días).

3. Costos Estimados para las plataformas marinas fijas

Para determinar los costos de desmantelamiento, es necesario hacerlos con base a un determinado número de plataformas que garanticen la viabilidad del proyecto. En este análisis se propuso estimar la fase 1 y 3 con base a 11 plataformas, donde se considera que un evento entre el número de plataformas (1/11= 0.09), el cual esta en función de los costos por día de las embarcaciones, estimados con base al criterio de los especialistas basados en el mercado global.

Es necesario determinar los costos de servicio por día de las embarcaciones los cuales se muestran en la Tabla 3, los cuales fueron obtenidos por medio de la investigación de campo y corresponden a una tarifa del año 2013, por ello se le aplicara un porcentaje de inflación del 15.71 % calculados apartir del histórico de inflación del 1º de enero de 2013 a el 1º de enero de 2017, en datos estadísticos del INEGI (Calculadora de Inflación, s.f.).

Tabla 3. Costos Estimados de embarcaciones

Table with 4 columns: Embarcación, Unidad, Costo 2013 (USD), Costo 2017 (USD). Rows include Barco Grúa, Chulan, Remolcador, and Abastecedor.

ISSN2444-1928
ECORFAN® Todos los derechos reservados

[Revista de Aplicación Científica y Técnica]

Mes, 2017 Vol.1 No.1 1-15-[Uso de ECORFAN]

Los costos totales presentados en la Tabla 3, inclucyn costos directos e indirectos, donde los costos indirectos son considerados como el 15 % de los directos y la utilidad es del 10% con respecto al costo total.

3.1 Costos estimados para confinamiento en patio (chatarrización o rehabilitación)

Debido a que no se tienen los costos desglosados que componen cada tarea (materiales, mano de obra, maquinarias, equipos e insumos) que son necesarios en un análisis de precio unitario, el costo final de desmantelamiento, fue calculado utilizando el método de precio alzado con base a las actividades del plan de desmantelamiento mediante un software de ingeniería de costos.

Para el caso de destino final a patio, el costo calculado por plataforma a desmantentar es de \$ 26, 051,566.88 (USD) y esta está relacionado con los días de trabajo de cada embarcación por actividad.

3.2 Costos estimados para inducción como arrecife artificial

Para este caso, la duración de las actividades para una plataforma se redujo a 130 días esto debido a que no es necesario utilizar un chalan y un remolcador, esta condición aplica siempre y cuando el traslado de la subestructura no sea a distancias muy lejana del sitio de desmantelamiento (2 días de navegación máximos), debido a que si se opta por utilizar dichas embarcaciones el costo seria similar al caso de traslado a patio.

Para obtener este estimado de precios, se uso el mismo método que el caso anterior, solamente se omitieron actividades que involucran el transporte a patio de la subestructura en el Software de ingeniería de costo. El resultado del análisis de costo obtenido es de \$ 26, 544,886.47 (USD).

Resultados Obtenidos

ARIAS MARQUEZ, Jorge Luis*, CRUZ GÓMEZ, Marco Antonio*, VILLAGRÁN ARROYO, Edgar Iram, MEJIA PÉREZ, José Alfredo, RAMÍREZ GARCÍA, Alejandro Javier. Análisis de desmantelamiento de plataformas marinas instaladas por PEMEX costa afuera en el Golfo de México. Revista de Aplicación Científica y Técnica. 2017.

Figura 42. Continuación del artículo aceptado para publicación en revista ECORFAN.



De acuerdo con la publicación de PEMEX en el anuario estadístico 2014 (siendo la información más actualizada hasta junio de 2017), se cuenta con 258 plataformas marinas instaladas en el Golfo de México las cuales algunas fueron instaladas desde la década de los 60's (PEMEX, Anuario Estadístico 2014, 2014). Con base a la información recabada un 45% son candidatas a ser desmanteladas (116 plataformas).

Para este porcentaje de plataformas candidatas a desmantelar, apegados al plan propuesto pueden ser retiradas en un periodo aproximado de 10 años. En la tabla 4, se muestran los costos y días requeridos para el desmantelamiento de las plataformas, en sus dos posibles destinos finales así como las diferencias entre precios y días.

Tabla 4. Costos y días estimados para 116 plataformas

Confinamiento	Plataformas a desmantelar	Costo total estimado (USD)	Días estimados de trabajo
Disposición a patio	116	\$3,021,981,758.08	3758 (10 años, 3 meses y 18 días)
Inducción arrecife artificial	116	\$3,079,206,830.52	3120 (8 años, 6 meses y 20 días)
Diferencias entre ambos casos	-	\$57,225,072.44	638 (1 año, 9 meses y 3 días)

Nota: Convenciones de tiempo 1 año (365 días), 1 mes (30 días).

Discusión de resultados

Analizando el caso de traslado a patio, PEMEX tiene que disponer de la plataforma para chatarrizarla o rehabilitarla, estas actividades ya no forman parte del alcance del desmantelamiento costa afuera de las plataformas, por lo que se considera que estas actividades en patio pueden incrementar los costos. Sin embargo estos podrían ser reducidos, debido a que parte de la superestructura podría ser rehabilitada e instalada en otro campo generando un proceso de reciclado reduciendo los costos de fabricación.

En el caso de inducción de arrecife los costos de chatarrización o rehabilitación de la plataforma serán nulos, debido a que subestructura no será

Mes, 2017 Vol.1 No.1 1-15-[Uso de ECORFAN] trasladada a patio y solo se depositará en la zona marítima de jurisdicción mexicana.

Para poder realizar el desmantelamiento de plataformas en los próximos 10 años PEMEX en conjunto con el Gobierno Mexicano debe de contemplar un capital aproximado \$ 4, 557, 226, 109.17 (USD) para los próximos 2 sexenios, este precio tiene considerado un porcentaje estimado de inflación anual de un 4.8% el cual fue calculado considerando la inflación de los últimos 10 años en México (2007 - 2017) (Calculadora de Inflación, s.f.), lo que nos permite hacer una estimación idealista del comportamiento de la inflación para el periodo comprendido entre 2017 y 2027.

Conclusiones

El desmantelamiento de plataformas marinas fijas en el país en ambos destinos de disposición final es viable y debe ser de carácter obligatorio de acuerdo a las normas y/o leyes vigentes que son aplicables en el país, por lo que la responsabilidad de implementar estas labores recae en el Gobierno Federal, debido a que tiene la facultad legal de implementar leyes que permitan hacer cumplir a empresas petroleras con el proceso de desmantelamiento de plataformas antes y después de la Reforma Energética 2014, con la finalidad de contribuir en la preservación del medio marino.

Debido a que no se tiene documentación por parte de PEMEX que avalen el desmantelamiento de plataformas marinas fijas, en este trabajo de investigación, se ha propuesto un plan de desmantelamiento con tiempos y costos estimados de mercado en instalaciones de plataformas marina proporcionados por personas con experiencia en el sector petrolero, por ser el desmantelamiento de plataformas un trabajo con proceso inverso al de su instalación.

Para lograr el desmantelamiento que contemplan 116 plataformas durante un periodo de una década, la compra de las embarcaciones necesarias para la ejecución de los proyectos así

ARIAS MARQUEZ, Jorge Luis*|, CRUZ GÓMEZ, Marco Antonio*, VILLAGRÁN ARROYO, Edgar Iram, MEJIA PÉREZ, José Alfredo, RAMÍREZ GARCÍA, Alejandro Javier. Análisis de desmantelamiento de plataformas marinas instaladas por PEMEX costa afuera en el Golfo de México. Revista de Aplicación Científica y Técnica. 2017.

ISSN2444-4928
ECORFAN® Todos los derechos reservados

Figura 42. Continuación del artículo aceptado para publicación en revista ECORFAN.



Artículo

como la capacitación del personal que laborará en estas embarcaciones, representa aproximadamente 85% más con respecto a la inversión total si es realizada por medio de una licitación pública.

Debido a esto, la licitación con opción para inducción de arrecife representa aproximadamente un 15% del costo con respecto a la compra total de infraestructura propicia para el desmantelamiento y por último, la licitación con disposición a patio representa 14.7% respectivamente volviendo esta última la opción más factible económicamente aunque su tiempo de ejecución es 17% más tardada con respecto a la de inducción como arrecife.

Agradecimientos

- A trabajadores de PEMEX Exploración y Producción de la Región Marina Noreste y empresas privadas prestadoras de servicios a la industria petrolera mexicana por la facilitación, acceso a la información técnica, administrativa y experiencias personales.
- Al Ing. Genaro Arias Sosa Gerente de administración y control de proyectos costa afuera Heerema Shipping 3 B.V. / Heerema Marine Contractors México, B.V. por su apoyo en el análisis y desarrollo de la presente investigación.
- A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla; Facultad de Ingeniería, por el apoyo en la utilización de su infraestructura.
- Al Grupo de Tribología y Transporte perteneciente al Cuerpo Académico 189 Prevención de Desastres y Desarrollo Sustentable, Tribología, BUAP, por su colaboración en la ejecución y desarrollo de esta investigación.

Referencias

Arias Marquez, J. L. (2017). *Codificación de datos*. Obtenido de Google Docs: <https://drive.google.com/file/d/0B1Bk5NovRX03dVIHQIRveFIwVWc/view>

ISSN2444-4928
ECORFAN® Todos los derechos reservados

[Revista de Aplicación Científica y Técnica]

Mcs, 2017 Vol.1 No.1 1-15-[Uso de ECORFAN]
Arias Marquez, J. L. (2017). *Encuesta para trabajo de tesis*. Obtenido de Google Docs: https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLScM-o0R53m8qNTQM5hGH86DCfARwtIDm4gIXL-TrKON_XF3ng/viewform

Calculadora de Inflación. (s.f.). Obtenido de INEGI.org: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/indiceprecios/CalculadoraInflacion.aspx>

Disposiciones Administrativas de Carácter General. (2013). Ciudad De México, México.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. d. (2000). *Metodología de la Investigación* (Quinta ed.). McGraw-Hill Interamericana.

IMO. (1989). Resolution A.672 (16). Obtenido de OMI.(1989) Resolution A.672 (16).

IMO, & UNEP. (s.f.). *Directrices Relativas a la Colocación de Arrecifes Artificiales*.

LEY DE HIDROCARBUROS. (2014). *Honorable Congreso de la Unión*. Ciudad de México, México.

PEMEX. (2013). NRF-294-2013. *DESMANTELAMIENTO Y ABANDONO DE PLATAFORMAS MARINAS FIJAS*. MÉXICO.

PEMEX. (2014). *Anuario Estadístico 2014*.

PEMEX. (s.f.). *PEMEX.com*. Obtenido de Historia de Petróleos Mexicanos.

SEMARNAT. (2006). *NOM-149-SEMARNAT-2006*

ARIAS MARQUEZ, Jorge Luis*†, CRUZ GÓMEZ, Marco Antonio*, VILLAGRÁN ARROYO, Edgar Iram, MEJÍA PÉREZ, José Alfredo, RAMÍREZ GARCÍA, Alejandro Javier. Análisis de desmantelamiento de plataformas marinas instaladas por PEMEX costa afuera en el Golfo de México. *Revista de Aplicación Científica y Técnica*. 2017.

Figura 42. Continuación del artículo aceptado para publicación en revista ECORFAN.



2017
**Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables,
 Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática**

Otorga la presente

CONSTANCIA

A
Jorge Luis ARIAS MARQUEZ

Por su participación con la ponencia:

Análisis De Desmantelamiento De Plataformas Marinas Instaladas Por Pemex Costa Afuera En El Golfo De México

*Durante el 2do. Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables,
 Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática, llevado a cabo
 del 27 al 29 de septiembre del 2017, en San Juan del Río, Qro.*

Ángel Marroquín- de Jesús. PhD
 COORDINADOR CIERMMI

María Ramos-Escamilla. PhD
 CEO ECORFAN MEXICO



Figura 42. Constancia de participación en 2do. Congreso CIERMMI 2017.