



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
VICERRECTORADO ACADEMICO
DIRECCIÓN GENERAL DE LOS ESTUDIOS DE POSTGRADO
AREA DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS Y DE GESTIÓN
POSTGRADO EN GERENCIA DE PROYECTOS

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO
INNOVACIÓN TECNOLÓGICA: DESARROLLO DE GELES
ESPUMADOS PARA EL CONTROL DE AGUA EN YACIMIENTOS DE
CRUDOS PESADOS Y EXTRAPESADOS

presentado por
Reyes Campos, Yamila Rosa

para optar al título de
Especialista en Gerencia de Proyectos

Asesor
Roa Eugenio, Gustavo Henrique

Caracas, Diciembre de 2009

Universidad Católica Andrés Bello
Vicerrectorado Académico
Dirección General de los Estudios de Postgrado
Área de Ciencias Administrativas y de Gestión
Postgrado en Gerencia de Proyectos

Innovación Tecnológica: Desarrollo de Geles Espumados para el Control de Agua en
Yacimientos de Crudos Pesados y Extrapesados

Autor: Reyes Campos, Yamila Rosa

Asesor: Roa, Gustavo

Resumen

El objetivo principal de este estudio fue el desarrollo de la conceptualización de un Proyecto de Innovación Tecnológica, realizado por Petróleos de Venezuela Sociedad Anónima (PDVSA), a través de su filial el Instituto de Tecnología Venezolana para el Petróleo (Intevep). La misma se llevó a cabo mediante la aplicación de una combinación entre la metodología de PDVSA-Intevep y la metodología del *Construction Industry Institute* (CII) para evaluar Proyectos de Innovación Tecnológica. Para la investigación se compararon los aspectos contemplados en las fases de visualización y conceptualización de ambas metodologías, con el objetivo de incluir en la evaluación de proyectos experimentales, aspectos contemplados en el ámbito de la Gerencia de Proyectos. Como resultado de esta comparación se tiene que la metodología de PDVSA-Intevep abarca los aspectos indicados por el CII en la fase de visualización e inclusive considera otros adicionales de gran relevancia. Sin embargo, la fase de conceptualización en dicha metodología no está definida de manera explícita, por lo que en esta fase se utilizó la metodología del CII.

Palabras Clave: Innovación Tecnológica, Gel Espumado, metodología para Proyectos de Innovación Tecnológica: CII & PDVSA Intevep.

Índice de Abreviaturas, Acrónimos, Siglas y Símbolos

API – *American Petroleum Institute* [Instituto Americano de Petróleo]¹

ATE – Proyecto de Asistencia Técnica Especializada (Tipo de Proyecto Tecnológico, según clasificación Intevep)

BPPD – Barriles de Petróleo por Día

CII– *Construction Industry Institute* [Instituto de la Industria de la Construcción]²

CIT- Centro de Información Técnica de PDVSA

CO₂ - Dióxido de Carbono

CP – Costos de Producción

Cr3 – Cromo valencia 3

CUPET – Cuba Petróleo, Empresa Cubana de Petróleo

DPR – *Disproportionate Permeability Reduction* [Reducción Desproporcionada de Permeabilidad]³

EDT – Estructura Desagregada de Trabajo

EIP – Experiencia en la Industria Petrolera

EPEE – PDVSA Gerencia Técnica de Exploración y Producción, Esquemas de Explotación

°F – grados Fahrenheit

FO – Fuentes de Obtención

GGPIC – PDVSA Guías de Gerencia para Proyectos de Inversión de Capital

¹ Traducción Libre del Autor

² Traducción Libre del Autor

³ Traducción Libre del Autor

HDSM – Hoja de Datos de Seguridad de los Materiales

I – Elemento inerte

IA – Impacto Ambiental

IE – Proyecto de de Investigación Estratégica (Tipo de Proyecto Tecnológico, según clasificación Intevep)

ING – Proyecto de Ingeniería (Tipo de Proyecto Tecnológico, según clasificación Intevep)

Intevep – Instituto de Tecnología Venezolana para el Petróleo (Filial de PDVSA)

IyD – Proyecto de Investigación y Desarrollo (Tipo de Proyecto Tecnológico, según clasificación Intevep)

MENPET – Ministerio del Poder Popular para la Energía y Petróleo

MMMBLS – Miles de Millones de Barriles de petróleo

MP – Medio Poroso

PDVSA – Petróleos de Venezuela, Sociedad Anónima; Empresa Estatal venezolana dedicada a la exploración, explotación, refinación, mercadeo y transporte de los hidrocarburos (petróleo y sus derivados) del subsuelo de Venezuela

PO – Procesos de Obtención

PMI – *Project Management Institute* [Instituto de Gerencia de Proyectos]⁴

RRF – *Residual Resistance Factor* [Factor de Resistencia Residual]⁵

SIAHO – Seguridad Industrial Ambiente e Higiene Ocupacional, Gerencia de PDVSA

⁴ Traducción Libre del Autor

⁵ Traducción Libre del Autor

SICOP- Sistema de Gestión de Proyectos de PDVSA-Intevep

TIR – Tasa Interna de Retorno

UCAB-Universidad Católica Andrés Bello

VPN – Valor Presente Neto

Índice

Lista de Tablas.....	vii
Lista de Figuras.....	ix
Introducción.....	xi
Capítulo I. Planteamiento del Problema.....	1
Contexto y Delimitación del Problema	1
Interrogante de la Investigación	6
Objetivo General	7
Objetivos Específicos	7
Justificación del Proyecto.....	8
Factores o Variables a considerar.....	9
Capítulo II. Marco Organizacional.....	11
Capítulo III. Marco Teórico	14
Los Proyectos. Generalidades	14
Gerencia de Proyectos de Innovación Tecnológica.....	16
Metodología para ejecutar y documentar proyectos de investigación y desarrollo en PDVSA Intevep.....	21
Fundamentos Teóricos Básicos de la Aplicación de Geles Espumados para el Control de Agua en Pozos de Petróleo	26
Capítulo IV. Marco Metodológico	34
Tipo y Diseño de la Investigación	34
Unidad de Análisis	35
Técnicas e Instrumentos de Recolección de la Información	36

Procedimientos	37
Capítulo V Análisis de Resultados	39
Revisión y completación de la fase de visualización del proyecto	39
Desarrollo de la fase de Conceptualización del proyecto.....	60
Capítulo 6. Conclusiones y Recomendaciones.....	89
<i>Conclusiones</i>	89
<i>Recomendaciones</i>	91
Referencias	93

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Operacionalización de la variable.</i>	10
Tabla 2. <i>Metodología de Evaluación de Proyectos de IyD de PDVSA Intevep.</i>	24
Tabla 3. <i>Comparación de la Fase de Visualización entre la metodología del CII y la implementada por PDVSA Intevep para proyectos de IyD.</i>	40
Tabla 4. <i>Costos del Gel Convencional y del Gas a Inyectar</i>	50
Tabla 5. <i>Costos de Gel Convencional y Gel Espumado para la inyección de 800 barriles de tratamiento.</i>	50
Tabla 6. <i>Comparación de la Fase de Conceptualización entre la metodología del CII y la implementada por PDVSA Intevep para proyectos de IyD en sus etapas II, III y IV.</i>	61
Tabla 7. <i>Matriz de Responsabilidades para el Proyecto</i>	64
Tabla 8. <i>Matriz de Ponderación de Criterios</i>	66
Tabla 9. <i>Rango de Valores para Impacto Ambiental (IA)</i>	67
Tabla 10. <i>Rango de Valores para Experiencia en la Industria Petrolera (EIP)</i>	67
Tabla 11. <i>Rango de Valores para Costos de Producción (CP)</i>	68
Tabla 12. <i>Rango de Valores para Procesos de Obtención (PO)</i>	68
Tabla 13. <i>Matriz de ponderación de criterios para la selección de los entrecruzadores.</i>	69
Tabla 14. <i>Pesos de cada Criterio para la selección de los entrecruzadores</i>	69
Tabla 15. <i>Evaluación de las Opciones Tecnología A y Cr3</i>	70
Tabla 16. <i>Rango de Valores para Fuente de Obtención (FO)</i>	71
Tabla 17. <i>Rango de Valores para Elemento Inerte (I)</i>	71
Tabla 18. <i>Rango de Valores para Costos de Producción (CP)</i>	72

Tabla 19. <i>Rango de Valores para Impacto Ambiental (IA)</i>	72
Tabla 20. <i>Rango de Valores para Experiencia en la Industria Petrolera (EIP)</i>	73
Tabla 21. <i>Matriz de ponderación de criterios para selección del Gas</i>	73
Tabla 22. <i>Pesos de cada Criterio para selección del Gas</i>	74
Tabla 23. <i>Evaluación de las Opciones de las Tecnologías B y CO₂</i>	74
Tabla 24. <i>Características del yacimiento seleccionado</i>	77
Tabla 25. <i>Arenas completadas y Reservas remanentes en cada pozo</i>	79
Tabla 26. <i>Costos de los componentes de los geles espumados</i>	82
Tabla 27. <i>Volumen a inyectar en el Pozo 1</i>	82
Tabla 28. <i>Costos operacionales</i>	83

Lista de Figuras

<i>Figura 1. Fases de un Proyecto.</i>	15
<i>Figura 2. Estructura del documento de visualización</i>	18
<i>Figura 3. Organigrama tipo de un equipo de Proyectos de Innovación Tecnológica</i>	19
<i>Figura 4. Estructura del documento de conceptualización</i>	20
<i>Figura 5. Pasos en el entrecruzamiento de polímeros previamente formados.</i>	28
<i>Figura 6. Volumen ocupado por un gel espumado y por un gel convencional, utilizando la misma cantidad de fase líquida.</i>	31
<i>Figura 7. Desagregación de la actividad conceptualización de la formulación.</i>	45
<i>Figura 8. Desagregación de la actividad pruebas fuera del medio poroso.</i>	45
<i>Figura 9. Desagregación de la actividad pruebas en el medio poroso</i>	46
<i>Figura 10. Desagregación de la actividad prueba piloto en campo.</i>	46
<i>Figura 11. Duraciones, fechas de Inicio y Fin de las actividades del Proyecto.</i>	55
<i>Figura 12. Diagrama de Gantt para el proyecto.</i>	56
<i>Figura 13. Equipo del proyecto</i>	57
<i>Figura 14. Diagrama de Gantt esperado</i>	58
<i>Figura 15. Diagrama de Gantt optimista</i>	59
<i>Figura 16. Diagrama de Gantt pesimista</i>	59
<i>Figura 17. Ubicación geográfica del Campo Jobo.</i>	76
<i>Figura 18. Ubicación de los pozos 1,2, 3 y 4 en el mapa isópaco estructural</i>	77
<i>Figura 19. Registro típico de los pozos a evaluar, Arenas X y Y</i>	78
<i>Figura 20. Comportamiento histórico de producción Pozo 1</i>	80

<i>Figura 21.</i> Comportamiento histórico de producción Pozo 2	80
<i>Figura 22.</i> Datos básicos del proyecto	84
<i>Figura 23.</i> Flujo de Caja del proyecto	85
<i>Figura 24.</i> Indicadores económicos de la prueba.....	86
<i>Figura 25.</i> Análisis de sensibilidades del VPN.....	87
<i>Figura 26.</i> Resultados gráficos de la simulación de Monte Carlo para VPN y TIR.....	88

Introducción

La tecnología de inyección de geles espumados para el control de agua en yacimientos de crudos pesados y extrapesados, representa una alternativa viable en la industria petrolera venezolana en la actualidad, ya que el incremento de los problemas asociados a la alta producción de agua, tales como poca capacidad de manejo en superficie, explotación de manera ineficiente de los yacimientos, entre otros, continúan cobrando gran importancia desde el punto de vista económico.

Es por ello que en PDVSA-Intevep junto con Cuba Petróleo (CUPET), se inicia el desarrollo de esta tecnología para la aplicación en yacimientos de crudos pesados y extrapesados. Este proyecto considerado de innovación tecnológica por la formulación propia a ser desarrollada, debe ser gerenciado bajo una metodología que permita reducir al máximo la incertidumbre, cuantificar los riesgos asociados, así como determinar el valor esperado para las opciones seleccionadas. En el Capítulo 1 de este estudio se presenta de manera detallada la problemática planteada.

El *Marco Organizacional* de la empresa se puntualiza en el *Capítulo 2*, mientras que para comprender mejor el escenario donde se desarrolla el proyecto, los fundamentos teóricos básicos sobre los Proyectos de Innovación Tecnológica y geles espumados se detallan en el *Capítulo 3 – Marco teórico y Conceptual*.

Velazco (2007) explica que la Gerencia de Proyectos de Innovación Tecnológica ofrece herramientas metodológicas de la Gerencia de Proyectos en general, las cuales permiten el manejo determinístico de este tipo de proyectos caracterizados por un alto riesgo e incertidumbre. En general, se buscó incluir aspectos de las fases de *visualización* y *conceptualización* únicamente, correspondientes a la Gerencia de Proyectos en los Proyectos de Investigación y Desarrollo de la Empresa, no solo para establecer buenos sistemas de control de calidad, sino también para ofrecer un enfoque de comercialización para el nuevo producto y lograr también la integración de las distintas disciplinas dentro de la misma empresa.

La problemática planteada condujo a la necesidad de complementar y ajustar la metodología empleada en PDVSA-Intevep para evaluar proyectos de Investigación y Desarrollo, comparando con otra metodología existente en el ámbito de la gerencia de Proyectos de Innovación Tecnológica desarrollada por el CII.

El *Capítulo 4* clasifica esta investigación y la ubica en el *Marco Metodológico* correspondiente. Seguidamente, en el *Capítulo 5, Análisis de Resultados*, se realizó la comparación de las fases de visualización y conceptualización de las metodologías pertenecientes a PDVSA-Intevep y al CII – objeto de la presente investigación – obteniendo una combinación con las fortalezas de ambas, que fue aplicada al proyecto objeto de este estudio para mejorar la conceptualización del mismo. Finalmente, en el *Capítulo 6* se presentan las *Conclusiones y Recomendaciones*, seguidas de las *Referencias Bibliográficas* consultadas para el presente trabajo.

Capítulo I. Planteamiento del Problema

Contexto y Delimitación del Problema

La alta demanda de energía a nivel mundial, continúa posicionando a los hidrocarburos como la principal fuente energética, teniendo importancia casi vital para la mayoría de los países desarrollados, cuya necesidad de mantener los altos niveles de consumo energético, los hace cada vez más dependientes del petróleo. Si bien es cierto que existen grandes logros en el campo del desarrollo de fuentes alternativas de energía, todavía no se vislumbra un panorama de cambio en la industria de los hidrocarburos.

Sin embargo, la declinación de la energía natural de los yacimientos petrolíferos, así como el interés en la explotación de crudos pesados, ha hecho de la extracción del petróleo un proceso más difícil cada día, requiriendo de técnicas más especializadas, con el fin de mantener los niveles de producción.

Venezuela, con reservas de crudo cuantificadas en 80,5 miles de millones de Barriles (MMMBLS), de los cuales 55,6 MMMBLS están representados por crudo pesado y extrapesado, continúa siendo un potencial suplidor a nivel mundial ¹.

Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA) constituida en 1975, (Gaceta Oficial de la República de Venezuela No. 1170), atendiendo a la Ley que reserva al Estado la industria y el comercio, conocida como Ley de Nacionalización, se encarga de la

¹ Recuperado en Abril 27, 2009 de:
http://intranet.pdvsa.com/portal_corporacion/negocios/exploracion-produccion/planes/planes-produccion.

exploración, producción, manejo y transporte de los hidrocarburos, de manera eficiente, segura, transparente y comprometida con la protección ambiental y el desarrollo endógeno del país.

Intevep, constituida como empresa mercantil filial de PDVSA el 31 de Mayo de 1979, regida por los estatutos del Registro Mercantil, tiene como orientación estratégica generar soluciones tecnológicas integrales, con especial énfasis en las actividades de Exploración, Producción, Refinación e Industrialización, para dar respuesta a las necesidades de la Corporación y afianzar así, el ejercicio de la soberanía nacional sobre los hidrocarburos. Intevep focaliza su esfuerzo en tres áreas medulares: crudos pesados y extrapesados de la Faja Petrolífera del Orinoco, gas costa afuera y nuevos desarrollos cercanos a los campos de las Áreas Tradicionales. De igual manera, concentra gran parte de sus recursos en mejorar el factor de recobro y en actividades de recuperación mejorada ².

En cada una de estas áreas se realizan actividades de Investigación Estratégica, Investigación y Desarrollo, Ingeniería y Asistencia Técnica Especializada, las cuales están integradas a los negocios de PDVSA referentes a transferencia y a aplicación de tecnologías que permiten cubrir integralmente las diferentes fases del negocio petrolero y del gas. Intevep organiza y ejecuta su actividad a través de una Cartera de Proyectos Tecnológicos, los cuales en función de sus objetivos y naturaleza, se clasifican en: Proyectos de Investigación Estratégica (IE), de Investigación y Desarrollo (IyD), de Ingeniería (ING) y de Asistencia Técnica Especializada (ATE).

² Recuperado en Junio 05, 2009 de:
http://intranet.pdvsa.com/portal_corporacion/filiales/intevep/quienes-somos.

En el cumplimiento de las expectativas de incrementar el factor de recobro de los yacimientos, especialmente en crudos pesados y extrapesados, PDVSA Intevep a través de la Gerencia Técnica de Exploración y Producción, Esquemas de Explotación (EPEE) contempla dentro de su cartera de proyectos de Investigación y Desarrollo, el proyecto denominado Evaluación de Tecnologías para el Control de Agua y/o Gas Indeseados. En el año 2008 surgió la idea de incluir dentro de este proyecto la actividad denominada: “Desarrollo de geles espumados para el control de agua en yacimientos de crudos pesados y extrapesados”, dada la importancia de esta actividad, será evaluada como un proyecto por sí solo, mediante un análisis comparativo de dos metodologías: PDVSA Intevep y CII, siendo éste el objetivo de este trabajo.

La alta producción de agua en los pozos de petróleo afecta la producción de crudo, acelerando la declinación de la misma e incrementando los costos operacionales para el manejo y tratamiento de altos volúmenes de agua en superficie, por lo que cada vez resulta menos rentable la explotación de dichos pozos. De acuerdo a Hernández, *et al* (2000), las tecnologías de geles convencionales y geles espumados para control de agua son alternativas tecnológicas para este problema. Con este proyecto se pretende desarrollar las formulaciones para geles espumados capaces de disminuir o evitar la producción de agua en pozos, mejorando el perfil de producción del mismo.

En Venezuela, hasta la fecha, sólo se han realizado aplicaciones de geles convencionales en el control de agua; por lo que la aplicación de geles espumados para control de agua en yacimientos de crudos pesados y extrapesados, se considera una Innovación Tecnológica capaz de competir con los geles convencionales. Se estima que

la aplicación de geles espumados permitirá reemplazar hasta un 80% del material polimérico por un gas compatible con la formación, como lo es el Nitrógeno, lo cuál haría la aplicación mucho más rentable.

El *Project Management Institute. PMI* (2008) define como proyecto: "un esfuerzo temporal que se lleva a cabo, para crear un producto, servicio o resultado único." (p.5), y según el CII su ciclo de vida comprende las etapas Visualización, Conceptualización, Definición, Ejecución y Operación.

En las empresas es necesario promover permanentemente la creatividad tanto en las mejoras de los procesos como en la resolución de problemas, lo cual implica la introducción de proyectos de innovación tecnológica. Velazco (2007) señala que: "aquellas empresas u organizaciones que utilicen técnicas de creatividad, podrán sistemáticamente ir mejorando progresivamente la ejecución de los mismos" (p.15).

Por lo anteriormente expuesto, se considera necesaria la aplicación de las mejores prácticas de la Gerencia de Proyectos a los proyectos de innovación tecnológica. Velazco (2007) indica lo siguiente:

Durante las fases tempranas de la investigación, la Gerencia de Proyectos de Innovación Tecnológica busca, más que todo, ofrecer y usar herramientas metodológicas de gerencia de proyectos, de manera de colaborar al máximo en el manejo más determinístico posible de un particular tipo de proyecto caracterizado por una importante entropía inicial y alto riesgo, hasta el momento cuando se alcanza la concreción de la solución o producto tecnológico, caracterizado por mayor determinismo y riesgo reducido (p.6)

PDVSA (2007) señala que:

Los proyectos de IyD permiten iniciar el ciclo de validación de conceptos e ideas de manera formal y sistemática; ya que, típicamente, un proyecto de IyD abarca desde la investigación previa del Estado del Arte del tema a investigar, la prueba o validación del concepto a nivel de simulación ó modelaje, ensayos de laboratorio, hasta las pruebas a escala piloto y/o de campo y puede resultar en un prototipo, el cual es entregado con todo el soporte para la fase de desarrollo comercial. Según la naturaleza de la tecnología o método desarrollado, el proyecto de IyD podría evolucionar hacia un proyecto de Ingeniería en todas sus fases, hasta el arranque operacional y puesta a punto comercial o hacia el desarrollo comercial de un producto y su implantación comercial (p.7).

La metodología para la ejecución de proyectos de investigación y desarrollo de una nueva tecnología en PDVSA Intevep se encuentra establecida en el Procedimiento General denominado:”*Metodología para ejecutar y documentar proyectos de investigación y desarrollo en Intevep*” código Nro. INT-PG-201, ante lo señalado por PDVSA (2007) en este documento, se requiere la implementación de un proceso estructurado en etapas, con actividades bien definidas que permitan respaldar el desarrollo de la nueva tecnología o la adaptación de una tecnología existente. Las etapas indicadas en el documento son:

- 1.- Generación del concepto y planificación
2. -Validación teórica y experimental del concepto
3. -Validación del concepto a escala banco
4. -Validación del concepto a escala piloto
5. -Transferencia de tecnología y cierre del proyecto

Por otra parte, existe la aplicación de la metodología de evaluar Proyectos de Innovación Tecnológica enmarcados en la Gerencia de Proyectos, con base en la metodología del Instituto de la Industria de la Construcción (*Construction Industry Institute*, CII). Esta metodología fundamenta su evaluación en las fases de visualización, conceptualización, definición, implantación y operación, al igual que la Gerencia Disciplinaria de Proyectos; sin embargo, se aplican consideraciones adicionales, adecuando los conocimientos a gerenciar las especificidades que implican los Proyectos de Innovación Tecnológica.

Interrogante de la Investigación

Con la finalidad de determinar el valor esperado para las opciones seleccionadas, del proyecto: Desarrollo de geles espumados para control de agua en yacimientos de crudos pesados y extrapesados, se considera necesario el desarrollo de la planificación conceptual del mismo. De esta manera, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son las fases o etapas que debe cumplir el proyecto de innovación tecnológica: “Desarrollo de Geles Espumados para control de agua en yacimientos de crudos pesados y extrapesados” de PDVSA Intevep y la documentación que debe ser completada para lograr la selección de la mejor opción para el proyecto, comparando las metodologías PDVSA Intevep y CII?

Objetivo General

Realizar la conceptualización del Proyecto de Innovación Tecnológica: “Desarrollo de geles espumados para control de agua en yacimientos de crudos pesados y extrapesados”, considerando tanto el enfoque del CII como el del procedimiento de PDVSA Intevep.

Objetivos Específicos

Para alcanzar el objetivo general propuesto, se deben completar los siguientes objetivos específicos:

1. Identificar los aspectos metodológicos de la *visualización y conceptualización* de proyectos de Innovación Tecnológica según el CII.
2. Identificar los elementos del procedimiento de Evaluación de Proyectos de IyD de PDVSA Intevep que correspondan a las fases de *visualización y conceptualización*.
3. Comparar los elementos de las metodologías del CII y de PDVSA Intevep para la conceptualización de Proyectos de Innovación Tecnológica y seleccionar

aspectos comunes y no comunes considerados de vital importancia para este tipo de proyectos, fusionando ambas metodologías en una nueva.

4. Aplicar la combinación de las metodologías del CII y PDVSA Intevep al proyecto Desarrollo de geles espumados para control de agua en yacimientos de crudos pesados y extrapesados.

Justificación del Proyecto

El desarrollo de esta investigación contribuirá a la *conceptualización del proyecto* de desarrollo de formulaciones para geles espumados utilizados en la industria petrolera, como método de control de agua en pozos de petróleo. Desde el punto de vista económico, los geles espumados generan alto impacto ya que representan un ahorro importante respecto a los convencionales, debido a la sustitución de gran cantidad de material polimérico por un gas de más bajo costo. La no realización de este trabajo implicaría llevar a cabo un proyecto de gran envergadura, sin seguir una metodología enmarcada en el ámbito de la Gerencia de Proyectos, lo cual incrementaría mucho más los niveles de riesgos ya presentes en un Proyecto de Investigación y Desarrollo.

En este trabajo se aplicaron los conocimientos adquiridos durante la especialización en Gerencia de Proyectos, en cuanto a las fases de *visualización y conceptualización* de Proyectos Tecnológicos, así como herramientas de planificación y definición de proyectos.

Factores o Variables a considerar

Identificación y definición de variables

Hernández, *et al* (2006) define una variable como “una propiedad que puede fluctuar y cuya variación es susceptible de medirse u observarse” (p. 123).

En una definición operacional se debe especificar las actividades a realizarse para medir una variable. Para este estudio, la variable dependiente a medir es la *conceptualización* del Proyecto de Innovación Tecnológica desarrollo de geles espumados para control de agua en yacimientos de crudos pesados y extrapesados de PDVSA Intevep, la cual se puede definir operacionalmente con la selección de la mejor opción para el desarrollo del proyecto, cubriendo la selección de la tecnología y el sitio, así como las mejoras en el estimado de costos.

Las variables independientes corresponden a los aspectos involucrados en la fase de *visualización* y de *conceptualización per se* de las metodologías del CII y PDVSA-Intevep, para evaluar los proyectos de innovación tecnológica y los mismos serán definidos y desarrollados en el presente trabajo.

Operacionalización de la variable

La operacionalización de la variable conceptualización del proyecto de desarrollo de geles espumados para control de agua en yacimientos de crudos pesados y extrapesados

se llevó a cabo a través de su dimensionamiento y la definición de ciertos indicadores que permitieron la medición de la dimensión del concepto. Ver tabla 1.

Tabla 1. *Operacionalización de la variable.*

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES
Conceptualización del Proyecto de Desarrollo de Geles Espumados para control de agua en yacimientos de crudos pesados y extrapesados	Revisión y completación de la fase de visualización del proyecto	Elementos del CII
		Elementos del Procedimiento de PDVSA-Intevep
	Organización para Planificación del Proyecto	Configuración de equipo de trabajo
		Formalización de Objetivos, roles y responsabilidades
		Preparación de Plan Conceptual
		Evaluación de tecnología
		Evaluación del sitio
		Preparación de estimado de costos
	Selección de las opciones preferidas	Evaluación de rentabilidad ¹

¹ Basada en estimado de costo clase V, para solicitar fondos al área operacional para la prueba piloto

Fuente: El autor (2009)

Capítulo II. Marco Organizacional

Intevep es una empresa filial de Petróleos de Venezuela, cuyo objetivo es la investigación y apoyo tecnológico en múltiples campos del negocio de los hidrocarburos, su creación se originó en 1974 con el propósito de fortalecer la capacidad tecnológica de la industria venezolana de los hidrocarburos, a través de la investigación básica orientada, investigación estratégica, investigación aplicada y desarrollo; asistencia técnica especializada, ingeniería conceptual y básica, información y asesoría

PDVSA Intevep (2006) señala que: “Intevep es una empresa cuya misión es apalancar a través de la tecnología, las actividades y proyectos requeridos por los negocios de PDVSA, promoviendo la soberanía tecnológica.” (p.15). Así mismo indica que PDVSA Intevep tiene como Visión: “ser el brazo tecnológico de todas las operaciones de la corporación, el cual asegure a futuro, la soberanía tecnológica del negocio de los hidrocarburos y del país” (p.15).

Es responsabilidad de PDVSA Intevep la preservación del acervo tecnológico de PDVSA y el fortalecimiento de las relaciones de cooperación e integración con el sector técnico, científico e industrial de Venezuela y otros países, de acuerdo a las políticas establecidas por el Gobierno de la República Bolivariana de Venezuela, basadas en los principios de respeto mutuo, integración, libertad, igualdad, justicia social, paz, soberanía, integridad territorial, autodeterminación nacional y pluripolaridad.

PDVSA Intevep es una institución donde se alterna la organización matricial con la funcional. De esta manera, se genera la sinergia necesaria para facilitar el trabajo de diferentes equipos multidisciplinarios, responsables de los proyectos impulsados por las Gerencias Generales de Exploración y Producción y Refinación e Industrialización.

En la estructura organizacional de PDVSA-Intevep se cuenta con un Comité de Tecnología multidisciplinario, encargado de evaluar las propuestas de innovación realizadas por los investigadores y emitir recomendaciones en cuanto a su aprobación o no, muchas de las empresas que realizan proyectos de investigación, contemplan este tipo de comités dentro de su estructura, tal es el caso del *Laboratoire National de Métrologie et D'Essais* (LNE), por citar un ejemplo.

El proyecto de Desarrollo de geles espumados para el control de agua en yacimientos de crudos pesados y extrapesados, se llevará a cabo en la Gerencia General de Exploración y Producción de PDVSA Intevep a través de la Gerencia Técnica de Esquemas de Explotación.

El trabajo se realizará en conjunto con personal especializado de CUPET bajo el convenio PDVSA – CUPET, dicho personal posee experiencia en el forzamiento de espumas de ácidos para estimulación de pozos a nivel de campo, y adicionalmente ha generado el *know how* en cuanto la identificación de parámetros críticos de formulaciones para geles espumados.

Adicionalmente, se contará con el apoyo de la Gerencia de Servicios y de la Gerencia Técnica de Manejo de Producción para ciertos análisis especiales. Para tratar asuntos inherentes a Protección Intelectual, se requerirá el apoyo de la Gerencia Funcional de Consultoría Jurídica.

Tal y como se indicó anteriormente, en PDVSA-Intevep existe una, metodología que establece las directrices a seguir en los proyectos de IyD, la misma se encuentra descrita en el Procedimiento General Nro. INT-PG-201 titulado: “*Metodología para Ejecutar y Documentar Proyectos de Investigación y Desarrollo en Intevep*”.

Explícitamente se señala que metodología tiene como objetivo documentar el conocimiento adquirido durante la ejecución del proyecto, permitiéndole a Intevep llevar a cabo una Gestión del Conocimiento que respalde las tecnologías y/o procesos desarrollados.

Dentro del procedimiento, se presentan las actividades principales y la documentación asociada a las 5 etapas en que se ha dividido la metodología. Como responsables generales del proceso se encuentran los Jefes de Proyecto y Gerentes Técnicos.

Capítulo III. Marco Teórico

Una vez identificado claramente el problema a abordar en el presente trabajo, resultó necesario establecer el marco teórico, el cual es definido por Yedigis, *et al* (2005) como un proceso y un producto; es decir, un proceso de inmersión en el conocimiento existente, disponible vinculado al problema planteado, y un producto que forma parte de un producto mayor: el reporte de investigación. Este Capítulo contiene las bases teóricas acerca de los proyectos en general, la gerencia de proyectos de innovación tecnológica y la tecnología de geles espumados para la disminución de corte de agua en pozos productores de petróleo, estos fundamentos teóricos permitirán sustentar el desarrollo de la investigación.

Los Proyectos. Generalidades

Es posible definir un proyecto como un conjunto de actividades que se caracterizan por poseer un inicio y un fin determinado, cuyo resultado es único, al cual se le asignan recursos y se ejecuta para obtener el producto deseado (PMBOK, 2008).

Fases de un Proyecto

De manera general, todo proyecto pasa por una serie de fases durante su ciclo de vida, comenzando por el inicio, continúa con una serie de actividades que pueden ser

agrupadas en una fase intermedia hasta que finalmente se efectúa el cierre. PDVSA (1999) en las *Guías de Gerencia para Proyectos de Inversión de Capital (GGPIC)*, agrupa las fases de un proyecto en cinco grandes grupos, señalados a continuación:

1. Visualización: involucra el análisis de factibilidad, se establecerán los objetivos de proyecto.
2. Conceptualización: comprende la selección de la mejor opción y mejora en estimados de costos y tiempo.
3. Definición: contempla el desarrollo en detalle del alcance y planes de ejecución
4. Implantación: se refiere a la materialización de la idea.
5. Operación: es la puesta en marcha del proyecto

En la figura 1 se presenta esquemática la secuencia a seguir para cumplir las cinco fases de un proyecto:



Figura 1. Fases de un Proyecto.
Fuente: PDVSA, (1999)

Gerencia de Proyectos de Innovación Tecnológica

Se entiende como innovación, la creación o modificación de un producto y su introducción en un mercado.³

La capacidad de innovar se refiere a contar con una orientación hacia el logro de cosas distintas. Palacios, (2005) señala que dentro de las organizaciones existen indicadores de una conducta innovadora y se observan en tres niveles los cuales son:

- Básico: cuando se realizan cosas nuevas que introducen mejoras
- Intermedio: introduce cosas nunca antes realizadas
- Muy desarrollado: cuando los cambios introducidos provocan una transformación profunda en el sector de negocios

La competitividad de los productos y servicios que ofrezca una organización en el Mercado, depende en gran parte de la capacidad innovadora que posean las personas que allí trabajan. Palacios (2005), hace referencia a que los líderes de los proyectos venezolanos consideran que la capacidad innovadora representa la competencia más débil en la formulación de proyectos, esto debido a la poca inversión que las empresas latinas en general, realizan en actividades de investigación.

En contraste a lo anterior, Velazco (2007) señala que a nivel mundial son cada vez más las propuestas de desarrollos tecnológicos en las empresas, encaminadas hacia la independencia tecnológica y hacia la generación de propuestas tecnológicas de interés nacional e internacional.

3. Recuperado en Junio 08, 2009 de: <http://buscon.rae.es/drael>.

Tanto la Gerencia de Proyectos general como la de Proyectos de Innovación Tecnológica están caracterizadas por un enfoque multidisciplinario, el cuál integra las experiencias prácticas con los fundamentos básicos de las diferentes áreas de conocimiento científico / tecnológico y fue aplicado al proyecto de Desarrollo de geles espumados en yacimientos de crudos pesados y extrapesados, a través de la realización de este trabajo de grado.

Velazco (2007) señala que las fases de la Gerencia de Proyectos aplicados a los Proyectos de Innovación Tecnológica, según la perspectiva del CII son:

Visualización: en esta fase debe establecerse el propósito del proyecto a través de los objetivos generales, objetivos específicos y su alineación con las estrategias corporativas. Tal y como se observa en la Figura 2, luego de especificar los objetivos del proyecto y su alineación estratégica con la corporación, se inicia el desarrollo preliminar del proyecto, con la elaboración del alcance, el estimado de costo clase V, la preparación del plan de ejecución clase V y la evaluación de la factibilidad del proyecto, como una de las principales variantes de los proyectos de innovación tecnológica.

Como alternativa de esta fase en los Proyectos de Innovación Tecnológica, se tiene que la evaluación del proyecto es postergada hasta que hayan sido obtenidos los indicadores y métricas como resultado de la implantación del proyecto. Comúnmente los proyectos de innovación tecnológica no son considerados proyectos disciplinarios convencionales hasta tanto no se hayan respondido las incertidumbres de la justificación del proyecto, esto debido a que el estimado de costos clase V, el plan de ejecución y los estudios de factibilidad del proyecto introducen un alto nivel de incertidumbre.



Figura 2. *Estructura del documento de visualización*
Fuente: Velazco, (2007)

Conceptualización: Esta fase comienza por la conformación del equipo de trabajo, el cual para los Proyectos de Innovación Tecnológica estará integrado tanto por personal proveniente de las Gerencias Técnicas multi y transdisciplinarias de los proyectos tradicionales, como de un importante contingente de personal de las Gerencias de Tecnologías, bien sea a través de contrataciones de empresas especializadas o de los departamentos de investigación y de desarrollo de tecnologías de la misma empresa.

La planificación de la organización, la descripción de cargos y la disponibilidad de personal dentro y fuera de la empresa para la organización del equipo que asegure el éxito de la definición y la implantación del proyecto, así como la planificación una vez conformado el equipo, requiere de un estudio profundo, considerando que un proyecto de innovación tecnológica reviste de complejidades e incertidumbres mayores que los proyectos disciplinarios estándar.

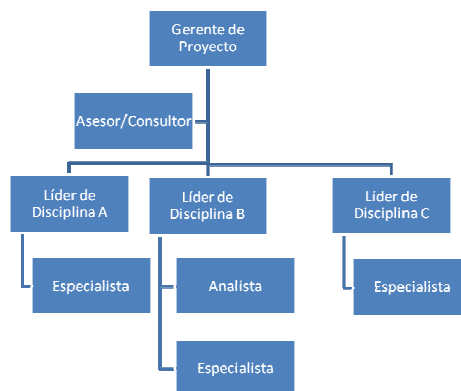


Figura 3. Organigrama tipo de un equipo de Proyectos de Innovación Tecnológica

Fuente: Velazco, (2007)

En la Figura 3 se presenta una organización matricial tipo, en la cual se diferencian los miembros de la organización que tienen un rol administrativo y técnico. Las figuras de los consultores y asesores se pueden encontrar tanto en las funciones administrativas (financieras y legales principalmente), como en las altamente especializadas (tecnologías nuevas, tecnologías base, ingeniería, entre otras).

En los proyectos de innovación tecnológica, la complejidad de la evaluación del sitio puede ir desde las implicaciones de trabajar en una localidad geográfica muy reducida hasta la cobertura de espacios nacionales e internacionales. De manera general, la evaluación del sitio debe considerar de forma integrada lo relacionado al alcance, costos, actividades, procura, entre otros. En algunos casos, se requiere de contrataciones de servicios de estudios de impacto ambiental e inclusive social.

En general, se manejan escenarios que van desde el optimista, el más probable, hasta el pesimista, los cuales pueden llevar asociados criterios de disponibilidad monetaria para ser considerados a la hora de hacer la aprobación de la mejor opción. En la Figura 4, se presenta la estructura del documento de Conceptualización

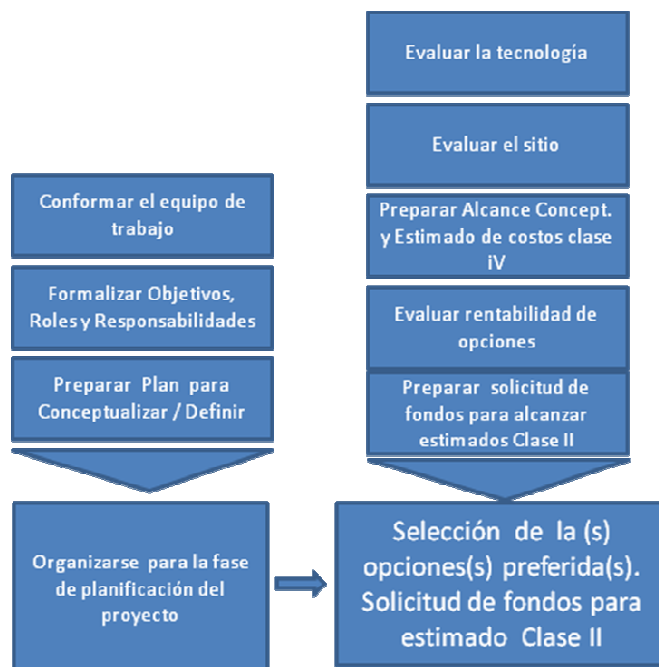


Figura 4. Estructura del documento de conceptualización
Fuente: Velazco, (2007)

Definición: en esta fase se realiza como primera tarea el análisis de riesgos, el cual involucra un mayor grado de incertidumbre en los proyectos de innovación tecnológica. Los riesgos a identificar deben ser los relacionados a los riesgos financieros, industriales, de logística, naturales, de comunicación entre los *stakeholders*, cambios de alcances, entre otros. En general, las empresas tienden a solicitar a los innovadores el mayor grado de definición, en virtud de dimensionar las expectativas que se tengan sobre los retornos y las expectativas que se tengan sobre la innovación.

Implantación: En esta fase los procesos de importancia son la contratación y la ejecución, durante el primero, la labor del equipo de proyectos de innovación tecnológica, es solo de apoyo a la unidad contratante. Durante la ejecución, se prevé una interacción fuerte con las empresas seleccionadas para el desarrollo del producto final, este proceso involucra la ingeniería de detalle, procura de materiales y equipos, materialización del plan de aseguramiento tecnológico, donde el equipo del proyecto debe velar por la inspección y control tecnológico, además de lo concerniente a la actualización del manual del sistema de tecnología del proyecto. Finalmente, se lleva a cabo la construcción del producto final.

Operación: incluye la fase de arranque para lo cual es imprescindible contar con los especialistas del equipo del proyecto, en el caso de requerir respuestas ante situaciones inesperadas. Se realizarán todas las pruebas de operación que se ameriten para apoyar el estudio de factibilidad técnica y financiera, necesario para ir de la innovación a un proyecto convencional.

El proyecto puede pasar por una etapa de soporte de la tecnología, la misma podría durar entre 6 meses y 2 años, para garantizar la asimilación de la tecnología, en cuanto a uso y aprovechamiento, antes de la entrega final y la elaboración del post-mortem.

Metodología para ejecutar y documentar proyectos de investigación y desarrollo en

PDVSA Intevep.

En el año 2007 fue desarrollada en PDVSA Intevep, la metodología a seguir en los proyectos de IyD de PDVSA Intevep, PDVSA (2007) señala que la misma se realizó “...con el propósito de documentar el conocimiento adquirido durante su ejecución, permitiéndole a Intevep llevar a cabo una gestión del conocimiento, que respalde las tecnologías, y/o procesos desarrollados.”(p.3).

Como se señaló en el Capítulo 1, los proyectos de IyD inician el ciclo de validación de conceptos e ideas de manera más formal y sistemática. Típicamente, un proyecto de IyD abarca desde la investigación previa del Estado del Arte del tema a investigar, la prueba o validación del concepto a nivel de simulación o modelaje, ensayos de laboratorio, pruebas a escala piloto y/o campo y la posible elaboración de un prototipo, el cual debe ser entregado con todo el soporte para el desarrollo comercial. Según la naturaleza de la tecnología o método desarrollado, el proyecto de IyD pudiese evolucionar a un proyecto de Ingeniería (ING) en todas sus fases, hasta el arranque operacional y puesta a punto comercial o hacia el desarrollo comercial de un producto y su implantación comercial.

Según PDVSA (2007), la metodología para ejecutar y documentar un proyecto de investigación y desarrollo de una nueva tecnología, requiere la implementación de un proceso estructurado en etapas, con actividades bien definidas, para respaldar el desarrollo de la nueva tecnología o la adaptación de una tecnología existente. Cada una de estas fases es dependiente de la anterior; es decir, los resultados obtenidos en una fase

deben condicionar la continuación del proyecto a la fase siguiente. De manera general el procedimiento está estructurado en 5 etapas indicadas a continuación:

1. Generación del Concepto y Planificación: involucra la generación de la idea, la propuesta y el plan del proyecto
2. Validación Teórica y Experimental del Concepto: implica profundizar en la idea, desarrollando sistemáticamente la validación de la hipótesis inicial.
3. Validación del concepto a Escala Banco: persigue validar el concepto inicial a escala más cercana a las reales
4. Validación del concepto a Escala Piloto: permite validar el concepto a una escala más cercana a las condiciones reales, con mayor complejidad que la escala de banco
5. Transferencia de Tecnología y Cierre del Proyecto: una vez demostrado el concepto a nivel de laboratorio y campo, en esta etapa se presenta la documentación asociada al término del proyecto de IyD.

En la Tabla 2, se presenta de manera resumida las actividades que componen cada una de las etapas, la documentación asociada requerida y los criterios de aprobación de de cada una de ellas.

Tabla 2. Metodología de Evaluación de Proyectos de IyD de PDVSA Intevep.

ETAPA	ACTIVIDADES Y DOCUMENTACIÓN ASOCIADA	CRITERIOS DE APROBACIÓN
1. GENERACIÓN DEL CONCEPTO Y PLANIFICACIÓN		
Generación de Ideas	Documentación de la idea en el sistema de gestión de proyectos (SICOP)	1.- Alineación de los objetivos del proyecto con el Plan de Negocios de la Corporación 2.- Riesgos técnicos - económicos aceptables 3.- Factibilidad del Plan del proyecto, en función de los recursos humanos y financieros requeridos
	Elaboración del Estado del Arte relacionado con la tecnología a desarrollar	
Ejecución de las pruebas preliminares de laboratorio		
Propuesta del Proyecto	Elaboración de la evaluación técnico-económica preliminar	
	Evaluación de la necesidad de evaluación de riesgos	
	Evaluación de protección intelectual	
	Documentar y someter la propuesta ante la gerencia Técnica correspondiente y posterior a su aprobación, someter ante la Gerencia de Planificación Corporativa	
	Documentar la propuesta en SICOP	
Plan del Proyecto	Definición de alcance, objetivos, estrategia de ejecución, actividades, entre otros.	
	Documentar y someter la propuesta ante la gerencia Técnica correspondiente y posterior a su aprobación someter ante la Gerencia de Planificación Corporativa	
2.VALIDACIÓN TEÓRICA Y EXPERIMENTAL DEL CONCEPTO		
	Elaboración del Estado del Arte referente a la validación del concepto	1.- Aplicabilidad de la tecnología
	Levantamiento previo de información teórica y de campo, documentación de la misma en cuadernos de laboratorio, libretas de campo y /o registros digitales	2.- Riesgos técnicos-económicos y de Seguridad, higiene y ambiente ocupacional (SIAHO) aceptables
	Diseño experimental, ensayos preliminares	3.- Estado del Arte e Inteligencia Tecnológica elaborados
	Diseño del banco de pruebas	4.-Informe Técnico de validación de hipótesis elaborado
	Preparación del prototipo de laboratorio	5.- Cuaderno de Laboratorio debidamente completado
	Caracterización adicional	
	Evaluaciones de riesgos	

3.VALIDACIÓN DEL CONCEPTO A ESCALA BANCO	Análisis de resultados, conclusiones y recomendaciones	
	Elaboración del Informe de cierre, en caso de determinarse la finalización del proyecto, en caso contrario, documentar como informe de avance en SICOP	
	Elaboración de la estrategia de protección de la tecnología y sometimiento de la misma a Comité de Planificación y Protección de Negocios de PDVSA Intevep	
	Elaboración del Estado del arte de pruebas similares, elaboración de informe respectivo	
	Establecimiento del concepto de Escala de campo	1.- Aplicabilidad de la tecnología
	Desarrollo del método de escalamiento	2.- Riesgos técnicos-económicos y de Seguridad, higiene y ambiente ocupacional (SIAHO) siguen siendo aceptables
	Desarrollo del diseño experimental y protocolo de ensayo	3.-Informe Técnico de pruebas a Escala de Banco elaborado
	Validación del impacto técnico-económico y áreas de aplicación	4.- Cuaderno de Laboratorio debidamente completado
	Definición de la estrategia de protección intelectual	
	Evaluación de riesgos a la salud, instalaciones y ambientes	
4.VALIDACIÓN DEL CONCEPTO A ESCALA PILOTO	Elaboración de Informe Técnico de Evaluación a Escala de Banco	
	Revisión del Estado del arte de pruebas similares y elaboración de Informe técnico y/o Inteligencia Tecnológica según sea el caso	1.- Validada la aplicabilidad comercial de la tecnología, aspectos técnicos resueltos
	Adecuación del Banco de Pruebas a Escala Piloto	2.- Riesgos técnicos-económicos y de Seguridad, higiene y ambiente ocupacional (SIAHO) siguen siendo aceptables
	Planificación del diseño experimental	3.- Aspectos referentes a Propiedad Intelectual conformes
	Evaluación de la viabilidad operacional y validación del análisis técnico-económico	4.- Estado del Arte e Inteligencia Tecnológica elaborados actualizados
	Iniciación de la interacción con el personal de las empresas de servicios	5.-Informe Técnico de pruebas a Escala de Piloto elaborado
	Elaboración del protocolo operacional	6.- Cuaderno de Laboratorio debidamente completado
	Elaboración del informe técnico de resultados del proyecto	
	Evaluación de la conveniencia de solicita o ampliar la protección intelectual y sometimiento de la misma a Comité de Planificación y Protección de Negocios de PDVSA Intevep	

5.TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA Y CIERRE DEL PROYECTO *	Evaluación de riesgos a la salud, instalaciones y ambientes	
	Elaboración del informe Técnico de la Tecnología	
	Elaboración del Manual de manufactura del producto	
	Elaboración del Manual de aplicación en campo	1.- Documentación del proyecto completada y entregada al CIT
	Elaboración del Informe Técnico de Cierre del Proyecto	
	Entrega de todos los documentos generados al centro de Información Técnica de PDVSA Intevep (CIT)	

* Para este estudio sólo aplica el caso de formulación de productos

Fuente: El autor (2009)

Fundamentos Teóricos Básicos de la Aplicación de Geles Espumados para el Control de Agua en Pozos de Petróleo

Uno de los problemas que enfrenta la industria petrolera a nivel mundial, es la elevada producción de agua en pozos de petróleo, la cual en la mayoría de los casos, es la responsable de la rápida declinación de la producción en los pozos y del aumento de los costos de producción por la necesidad de manejar y tratar grandes volúmenes de agua. Este hecho trae como resultado el cierre de los pozos por considerarse no rentable mantenerlos en producción.

Existen numerosas tecnologías y acciones que se consideran como métodos de control de agua. En este trabajo, se estudiará particularmente el uso de los sistemas gelificantes poliméricos espumados (geles espumados), como una mejora de los geles convencionales.

Hernández, *et al.* (2000) definen a los geles convencionales, como “una mezcla de un polímero soluble en agua con un agente entrecruzante que, al reaccionar químicamente a una temperatura dada, forman la estructura del gel o red tridimensional la cual inmoviliza el agua en su interior” (p.52), ver Figura 5. El proceso en campo consiste en inyectar una mezcla de polímeros y entrecruzadores disueltos en agua, y la reacción de gelificación ocurre dentro del yacimiento por efecto de la temperatura.

Los polímeros más comúnmente utilizados son las poliacrilamidas y los biopolímeros. Dentro de los agentes entrecruzantes más utilizados se encuentran los inorgánicos, basados en metales como el Cromo y el Aluminio. La química de los geles puede ser muy variada; sin embargo, no toda combinación permite obtener el gel con las características adecuadas, por lo que se considera un reto tecnológico formular un gel que permita cubrir un amplio intervalo de aplicaciones.

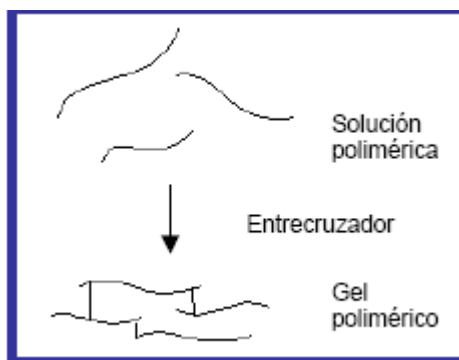


Figura 5. Pasos en el entrecruzamiento de polímeros previamente formados
Fuente: Hernández, (2000)

Hernández, *et al.*(2000) señalan que los factores críticos para la formulación de un gel son:

- Tiempo de gelificación: es el tiempo que tarda la mezcla gelificante en formar el gel a las condiciones de temperatura del pozo.
- Consistencia o fuerza de gel: se refiere a la dureza, elasticidad y movilidad del gel. Mientras el sistema es más rígido, la reducción al paso de fluidos tiende a ser más pronunciada.
- Durabilidad: se refiere a la estabilidad del gel en función del tiempo a las condiciones de temperatura y presión especificadas, principalmente en cuanto a sinéresis y consistencia. Es necesario aclarar que la sinéresis es la expulsión del agua atrapada dentro de la red de polímero.
- Comportamiento en medio poroso: es la capacidad del gel para modificar la permeabilidad de una formación a los fluidos presentes en la misma. Este factor permite conocer si el gel posee la capacidad de reducir preferencialmente la permeabilidad del agua sin afectar significativamente la permeabilidad al petróleo (efecto DPR), o si por el contrario bloquea todos los fluidos de la formación (geles de carácter sellante). Un

índice de medición de la capacidad del gel a bloquear el paso de fluidos es el Factor de Resistencia Residual (RRF, por sus siglas inglés), este factor es la relación de la permeabilidad antes y después de inyectar el gel.

Todos estos factores están determinados por la concentración y propiedades del polímero en la solución, la cantidad y propiedades del entrecruzador, las propiedades del agua (pH y salinidad) y la temperatura, es por esto que se hace necesario estudiar la influencia de estos parámetros sobre las características del gel, para predecir las variaciones en el comportamiento de los mismos, bajo condiciones de yacimiento.

El diseño de un tratamiento con sistemas gelificantes involucra tres aspectos principales:

- La formulación del gel a utilizar
- El volumen a inyectar
- La técnica de colocación del sistema

Espumas

Hernández, *et al.* (2000) consideran a las espumas como un tipo especial de dispersiones coloidales, en la cual un gas (aire, nitrógeno, CO₂, etc.) se encuentra disperso en una fase continua. La gran mayoría de las espumas utilizadas en la industria petrolera contienen más del 70% de fase dispersa gas, esta fracción volumétrica de la fase dispersa se conoce como la calidad de la espuma (ϕ) y representa el volumen de gas entre el volumen total, la misma puede variar con la presión y la temperatura.

Cuando la calidad de la espuma excede un valor crítico $\phi > 90\%$ se tienen espumas secas, donde las burbujas se empaquetan y forman poliedros colindantes conocidas como “lamelas”. El aumento de la calidad se logra a través del aumento en el tamaño de las burbujas y no en número de las mismas.

Geles Espumados

Hernández, *et al.* (2000) definen un gel espumado como una espuma que ha gelificado para convertirse en una estructura con mayor dureza y estabilidad. La gelificación de la espuma se logra incorporando en la fase líquida una mezcla de polímero, entrecruzadores y otros agentes químicos, con el objetivo de crear una estructura química entrecruzada que le imparta mayor rigidez a la lamela de la espuma.

La aplicación de un gel espumado implica colocar un volumen de una espuma dentro de la formación convirtiéndola en una fuerte barrera de espuma gelificada capaz de desviar o bloquear el paso de los fluidos en el yacimiento, esta desviación o bloqueo contribuirá a disminuir la producción indeseada de agua cuando la aplicación se haga en un pozo productor.

Existen dos hipótesis que sustentan la conveniencia de aplicar los geles espumados. La primera de ellas, se refiere a que un gel espumado debe ocupar mayor volumen o espacio en la formación con la misma cantidad de fase líquida que contiene un gel convencional, debido a que la mayoría del volumen estará ocupado por el gas

disperso en la fase líquida. Esto implica que la aplicación de un gel espumado reduciría costos respecto a un gel convencional ya que se requeriría menor cantidad de fase líquida, la cual representa la de mayor costo por contener los productos químicos (polímeros y entrecruzadores), tal y como se observa en la figura 6.

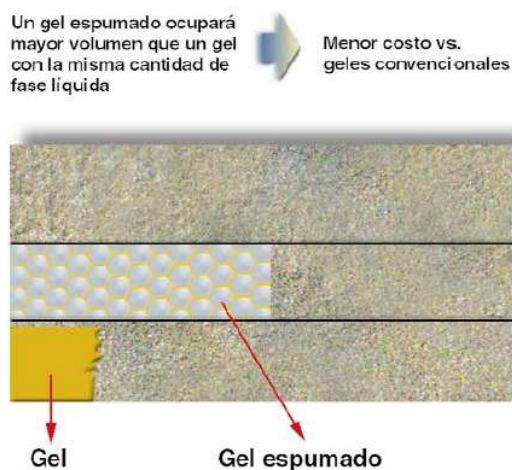


Figura 6. Volumen ocupado por un gel espumado y por un gel convencional, utilizando la misma cantidad de fase líquida.

Fuente: Hernández, (2000)

La segunda hipótesis sostiene que la gelificación de la fase líquida de la espuma impartirá mayor rigidez y elasticidad a la lamela, para mayor resistencia al drenaje y colapso de las lamelas. Se supone, que el drenaje del líquido se dificulta debido a que se encuentra atrapado en la estructura del gel. Respecto a una espuma convencional, una espuma rígida debe ocasionar un mayor bloqueo al paso de fluidos debido a su menor capacidad para desplazarse frente a los gradientes de inyección y producción.

Los geles espumados se conocen desde el principio de la década de los ochenta. Sin embargo, solo se han reportado tratamientos en el campo *Rangely Weber de*

Colorado (entre 1996 y 1997), cuyo resultado se consideró exitoso en la prevención y reducción del gas en pozos sometidos a Inyección Alternativa de Agua y Gas, con incrementos en tasas de producción de 260 a 320 BPPD y reducción de costos de 40 a 50%, Birbal (2008).

El control de la química para los geles espumados resulta un proceso de mayor dificultad que la de un proceso de geles o espumas convencionales, posible razón por la cual el número de aplicaciones en campo es muy poco. La formulación química de los geles espumados considera todos los aspectos ya expuestos de los geles y de las espumas convencionales, sin embargo, incluye los siguientes retos adicionales:

- El sistema a formular debe comportarse como una espuma durante su colocación en el yacimiento y como un gel después de su colocación.
- Los componentes del gel (polímero y entrecruzadores) no deben afectar la capacidad espumante del surfactante.
- La presencia del surfactante no debe afectar la fuerza y estabilidad del gel.

Al igual que en los geles convencionales, los polímeros más utilizados son las poliacrilamidas y los biopolímeros. Dentro de los entrecruzadores se encuentran las sales de los complejos de metales como el Cromo y los entrecruzadores orgánicos como fenoles y aldehídos. Como surfactantes, se utilizan una gran gama de ellos con la finalidad de lograr alta estabilidad de la espuma a la temperatura del yacimiento, entre estos se encuentran, sulfatos de laurel amonio, sulfonatos ácidos grasos y betáinas. El

gas utilizado para crear la espuma puede ser Nitrógeno, CO₂, vapor, entre otros, aspecto a considerar es la disponibilidad del mismo en la localidad donde se realizará el tratamiento. En la formulación de los geles espumados, se deben considerar las variables ya expuestas para los geles convencionales (tiempo de gelificación, consistencia o fuerza de gel, durabilidad y comportamiento en medio poroso, adicionalmente se debe evaluar la estabilidad de la espuma que se logra con el surfactante.

En la actualidad, existe un alto nivel de incertidumbre en cuanto a ciertos parámetros, los cuales están siendo considerados dentro del riesgo que involucra este proyecto de innovación tecnológica, estos parámetros son:

- La duración del tiempo de gelificación, debe permitir la colocación del volumen de tratamiento de una espuma gelificando para asegurar la estabilidad de la lamela.
- La reacción del crudo frente a la gelificación.
- La ventaja de lograr un gel totalmente rígido.
- La posibilidad de lograr un efecto DPR en un gel espumado.
- El ajuste de los criterios de selección de pozos candidatos a aplicación de geles convencionales para geles espumados.

Capítulo IV. Marco Metodológico

Una vez formulado el problema de investigación, establecida la justificación y definidos los objetivos, en este Capítulo se presenta cada uno de los aspectos relacionados con la metodología a seguir para el desarrollo de la investigación en base a los objetivos planteados. Para ello se define tipo de investigación, unidad de análisis, estrategias para la recolección de los datos, procesamiento, análisis de la información, consideraciones éticas y factibilidad de llevar a cabo la investigación.

Tipo y Diseño de la Investigación

Respecto a la investigación proyectiva, la Universidad Pedagógica Experimental Libertador, UPEL (2003), señala que:

Consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales; puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos...comprende las siguientes etapas generales: diagnóstico, planteamiento y fundamentación teórica de la propuesta; procedimiento metodológico actividades y recursos necesarios para su ejecución, análisis y conclusiones sobre la viabilidad del proyecto; y encase de su desarrollo, la ejecución de la propuesta y la evaluación tanto del proceso como de sus resultados (p.16).

El presente trabajo se ubica en el tipo de investigación proyectiva, considerando que se trata de la formulación de un Proyecto de Innovación Tecnológica, el cual se

encuentra orientado a la búsqueda de soluciones a requerimientos de la industria petrolera nacional.

Las fases de la investigación proyectiva cubiertas en este trabajo son la fase de investigación evaluativa o investigación diagnóstico y la de elaboración de la propuesta.

Dentro de la fase de investigación evaluativa está definido el tipo de investigación como investigación de acción, la cual según Yáber (2003) “consiste en investigar la condición actual de una organización, grupo, equipo, proyecto para realizar intervenciones que conduzcan a su mejora”.

Unidad de Análisis

Entendiendo que la unidad de análisis está representada por los sujetos, objetos, sucesos o comunidades de estudio, también denominada casos o elementos, según Hernández, *et al* (2006), la unidad de análisis para esta investigación es la conceptualización del Proyecto de Innovación Tecnológica de desarrollo de geles espumados para el control de agua en yacimientos de crudos pesados y extrapesados.

Para el desarrollo de la investigación, no se requirió de un estudio específico de delimitación de población ni de selección de muestra para generalizar resultados. Sin embargo, para la selección de la tecnología y del sitio se empleó la revisión de documentos y entrevistas a expertos.

Técnicas e Instrumentos de Recolección de la Información

Según Hernández, *et al* (2006) recolectar datos implica “elaborar un plan detallado de procedimientos que nos conduzcan a reunir datos con un propósito específico” (p.274).

La recolección y análisis de la información para este estudio, se hizo bajo el enfoque cualitativo a través de distintas fuentes como la observación, entrevistas a expertos y personal del proyecto en general, así como la revisión de documentos tanto en físico como en digital que incluyen: minutas de reuniones del proyecto, *memoranda*, carpetas de pozos, bases de datos corporativas, cotizaciones, sistema de control de proyecto de la empresa, correos electrónicos. La información recolectada, se procesó y analizó permitiendo dar respuesta en gran parte a los requerimientos de las metodologías de evaluación de los Proyectos de Innovación Tecnológica, con el fin último de realizar la conceptualización del proyecto.

Procedimientos

La metodología empleada para la investigación planteada constó de los siguientes pasos:

1. Arqueo de la Información: comprendió la revisión bibliográfica e investigaciones acerca del alcance de la conceptualización de los Proyectos de Innovación Tecnológica.
2. Comparación de los elementos de evaluación de la metodología del CII para los Proyectos de innovación Tecnológica con los elementos necesarios particulares de los Proyectos de Investigación y Desarrollo de PDVSA Intevep.
3. Selección de aquellos elementos pertenecientes a las fases de *visualización* y *conceptualización* de ambas metodologías que se consideraron necesarios para el cumplimiento de los objetivos del presente trabajo.
4. Aplicación de los elementos seleccionados en el punto 3 al proyecto “Desarrollo de Geles Espumados para el control de agua en yacimientos de crudos pesados y extrapesados”.

En la fase de elaboración de la propuesta se determinó la estrategia para construir el estado deseable. Es por ello que a partir del diagnóstico, se elaboró una propuesta para llevar a cabo la conceptualización del proyecto propuesto. La estrategia se llevó

a cabo como un trabajo individual. Sin embargo, se contó con el equipo del proyecto para el suministro de información técnica y asesoría. Se revisaron ambas metodologías fusionando la metodología del CII y la recomendada por PDVSA Intevep para proyectos de Investigación y Desarrollo.

Las consideraciones éticas para el desarrollo de este trabajo fueron:

- Las metodologías aplicadas se consideran conocidas. La perteneciente al CII se considera de dominio público. Sin embargo, la metodología de PDVSA Intevep, fue desarrollada exclusivamente para los proyectos de IyD de dicha empresa.
- Los datos obtenidos provienen de fuentes reales y fidedignas. Sin embargo, por tratarse de un Proyecto de Innovación Tecnológica, se mantuvieron en absoluta confidencialidad aspectos como formulación, nombre de productos utilizados, nombre de pozos y cualquier otro aspecto que deba ser protegido. Así mismo, no se podrá hacer pública la identidad de las personas involucradas en el desarrollo del proyecto.

Se dispuso de los recursos financieros y materiales, así como de toda la información necesaria dentro de la organización donde se ejecutó el proyecto, logrando así la culminación del trabajo.

Capítulo V. Análisis de Resultados

Aún cuando el objetivo principal del TEG se centra en el desarrollo de la conceptualización del proyecto de Desarrollo de geles espumados para control de agua en yacimientos de crudos pesados y extrapesados, al iniciar este estudio, se detectó la necesidad de realizar la revisión de la fase de visualización, con el objetivo de completar la información faltante requerida que permitiese pasar a la fase de conceptualización.

Como parte de la metodología aplicada para el desarrollo de este trabajo, se realizó una comparación de las fases de visualización y conceptualización de las metodologías de evaluación de proyectos de innovación tecnológica del CII y la implementada en PDVSA Intevep para proyectos IyD, esto con el objetivo de detectar semejanzas y diferencias entre ambas, que permitiesen llevar a cabo una mejor evaluación. La fusión entre ambas metodologías fue aplicada al proyecto evaluado en este TEG.

En este capítulo se desarrolló la metodología planteada y se analizaron los resultados obtenidos.

Revisión y completación de la fase de visualización del proyecto

Inicialmente se compararon los aspectos contenidos en la fase de visualización entre ambas metodologías, encontrándose pocas variantes entre ellas, la metodología de

PDVSA Intevep para esta fase, cubre los aspectos contemplados en el ámbito de la Gerencia de Proyectos (ver Tabla 3).

Tabla 3. *Comparación de la Fase de Visualización entre la metodología del CII y la implementada por PDVSA Intevep para proyectos de IyD.*

COMPARACION METODOLOGIAS CII Vs. PDVSA INTEVEP	
VISUALIZACION CII	PROYECTOS IYD PDVSA Intevep ETAPA I. GENERACION DEL CONCEPTO Y PLANIFICACION
1.- Objetivos	I. PROPUESTA DEL PROYECTO 1.- Objetivos y Alcance
2.- Verificación de la alineación de los objetivos con las estrategias corporativas	2.- Verificación de los objetivos del proyecto con los obj. Estratégicos. Plan de negocios
3.- Desarrollo Preliminar del Proyecto	3.- Estado del Arte: evaluando patentes relacionadas y publicaciones científicas
3.1 -Alcance	4.- Pruebas preliminares de laboratorio
3.2- Estimado de costo clase V	5.- Análisis técnico-económico para visualizar costos y beneficios del proyecto
	6.- Evaluación de Riesgos (personas, instalaciones, ambientes)
	7.- Evaluar la conveniencia de Protección Intelectual
	APROBACION DE LA PROPUESTA
	II. PLAN DEL PROYECTO
3.3- Preparar plan de ejecución clase V	1. Alcance y objetivos
3.4 Evaluar factibilidad del proyecto	2. Estrategia de ejecución (rutas, actividades, productos, cronogramas, recursos humanos, infraestructura, aspectos técnicos-económicos, riesgos)
	3. Criterios de Aprobación de la etapa I
	3.1 Obj. Del proyecto de IyD alineados a los requerimientos del Plan de Negocios
	3.2 Riesgos técnicos- económicos aceptables
	3.3 Plan del proyecto factible, en función de los recursos humanos y financieros requeridos

Fuente: El autor (2009)

Tal y como se observa en la tabla 3, la metodología de PDVSA Intevep, abarca los principales aspectos contemplados por el CII. Sin embargo, se requiere el cumplimiento de aspectos adicionales tales como la realización de: Estado del Arte de la tecnología, pruebas de laboratorio preliminares, evaluación de riesgos a la salud y al ambiente y evaluación de la conveniencia de Protección Intelectual, los cuales son considerados de gran importancia en los proyectos tecnológicos, por lo que se procedió a aplicar ambas metodologías al proyecto, inicialmente se revisaron los aspectos que ya se tenían elaborados como parte de la visualización y se desarrollaron aquellos que no habían sido considerados.

Propuesta del Proyecto

Una vez que la idea del proyecto en estudio fue generada y aprobada por las instancias correspondientes, se procedió a recolectar la información para la elaboración de la propuesta del proyecto. A pesar de encontrarse establecidos los objetivos del proyecto, haberse realizado el estado del Arte de la tecnología y e iniciado las pruebas de laboratorio, aún no existía un documento físico que documentara esta información, adicionalmente se detectó que el alcance del proyecto no estaba definido de manera explícita y no se encontraba muy claro entre los integrantes del proyecto. Por todo esto, se redefinió el alcance del proyecto a través de la creación de la estructura desagregada de trabajo (EDT), por ser una herramienta de gran utilidad en la definición del alcance para una mayor comprensión y planificación de las actividades en el ámbito de la

gerencia de proyectos. A continuación se presentan los aspectos desarrollados para la propuesta del proyecto:

Objetivos

Objetivo general del proyecto: Desarrollar formulaciones de geles espumados para el control de agua en yacimientos de crudos pesados y extrapesados, a través de pruebas de laboratorio dentro y fuera del medio poroso y pruebas pilotos en campo.

Objetivos específicos:

1. Conceptualizar las formulaciones preliminares.
2. Realizar pruebas de laboratorio dentro y fuera del medio poroso, evaluando formulaciones y generadores de espumas.
3. Definir el método de aplicación en campo.
4. Realizar la prueba piloto en campo.
5. Evaluar resultados técnicos-económicos.

Verificación de la alineación de los objetivos con los objetivos estratégicos:

Una vez definidos los objetivos del proyecto, se procedió a verificar su alineación con los objetivos estratégicos de la corporación. Según PDVSA (2009), los principales objetivos de PDVSA Intevep son:

1. Generar soluciones tecnológicas, especialmente para las áreas de exploración y producción de crudos pesados y extrapesados. Así como también para la refinación e industrialización, dirigidas a procesar crudos pesados.
2. Desarrollar tecnologías que permitan incrementar el factor de recobro y apoyar el impulso de Gas Costa Afuera.
3. Fortalecer las relaciones de cooperación en las áreas de ciencia y tecnología entre PDVSA y otras instituciones, para elaborar propuestas encaminadas hacia el nuevo modelo de desarrollo socio productivo.

Al analizar los objetivos del proyecto y los principales objetivos de PDVSA Intevep, se observa alineación en cuanto a la generación de soluciones tecnológicas para la producción de crudos pesados y extrapesados, representadas en este caso por la tecnología de geles espumados para el control de agua no deseada en pozos que se encuentran produciendo de yacimientos de crudos pesados y extrapesados. El control del agua en este caso, es un factor determinante en el incremento de la producción de crudo, así como también en la reducción de costos por manejo de agua en superficie.

De igual forma, se afirma que el proyecto cumple con el objetivo estratégico de fortalecer las relaciones de cooperación en las áreas de ciencia y tecnología, entre PDVSA y otras instituciones, ya que el mismo se desarrolla en el marco del convenio PDVSA-CUPET (Cuba Petróleo), en el cual el intercambio de conocimientos y experiencias entre personal calificado de ambas instituciones cumple con el

planteamiento de propuestas encaminadas hacia el nuevo modelo de desarrollo socio productivo.

Alcance

El alcance general del proyecto obedece a la necesidad del cliente, en este caso el área operacional de PDVSA, de disminuir la producción de agua en los pozos la cual afecta la producción de crudo. Existe el segundo alcance correspondiente al proyecto de investigación en sí el cual será cubierto por PDVSA-Intevep.

El alcance tal y como estaba definido inicialmente en la propuesta contempla la identificación de la formulación óptima con estabilidad a condiciones de pozo que permita la aplicación de geles espumados para el control del agua de producción en arenas de crudos pesados y extrapesados, la conceptualización de los medios para la formación de la espuma y la respectiva prueba de campo, la definición de la ventana operacional del producto generado y la identificación de las variables de proceso para la formación y estabilidad de la espuma a condiciones de pozos y para el mecanismo de flujo en yacimientos de crudos pesados y extrapesados.

Con el objetivo de delimitar de mejor manera el alcance y organizar el proyecto en paquetes de trabajo más manejables, tal y como lo recomienda el enfoque del PMI, se elaboró la EDT. El proyecto se desagregó en dos niveles principales, el primero comprende cuatro macroactividades que van desde la conceptualización de la

formulación, las pruebas de laboratorio fuera y dentro del medio poroso hasta la prueba piloto en campo. El segundo nivel está formado por la desagregación de cada una de las macroactividades, mostrando aquellas actividades que se consideraron de vital importancia para el seguimiento del proyecto y la consecución del alcance del mismo, sólo la prueba piloto en campo fue desagregada en dos niveles más, debido a que involucra mayor número de disciplinas, por lo que requiere un mayor nivel de detalle. Ver figuras 7,8,9 y 10.

ESTRUCTURA DESAGREGADA DEL TRABAJO



Figura 7. Desagregación de la actividad conceptualización de la formulación
Fuente: El autor (2009)

ESTRUCTURA DESAGREGADA DEL TRABAJO



Figura 8. Desagregación de la actividad pruebas fuera del medio poroso
Fuente: El autor (2009)

ESTRUCTURA DESAGREGADA DEL TRABAJO

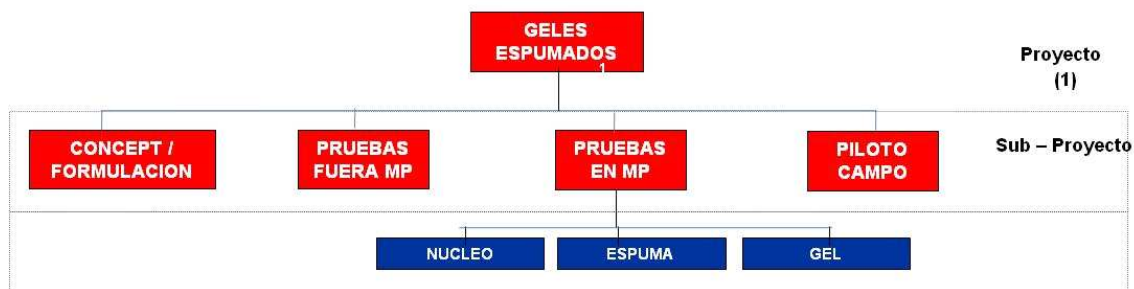


Figura 9. Desagregación de la actividad pruebas en el medio poroso

Fuente: El autor (2009)

ESTRUCTURA DESAGREGADA DEL TRABAJO

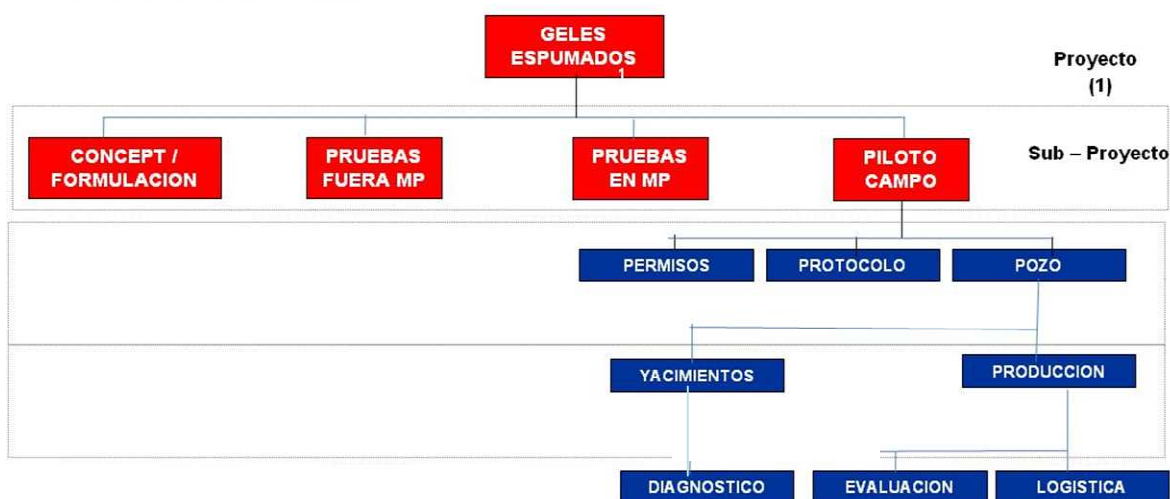


Figura 10. Desagregación de la actividad prueba piloto en campo

Fuente: El autor (2009)

De la figura anterior, se observa que la prueba piloto en campo, es aquella que se torna un poco más compleja, ya que al pasar de la escala de laboratorio a la de campo se requiere la participación de distintos entes ajenos al personal del proyecto, tales como:

otras Gerencias de las áreas operacionales (yacimientos, Producción , entre otras), el Ministerio de Energía y Petróleo (MENPET), entre otros, de esta manera se genera una serie de actividades importantes y deben ser desagregadas.

Estado del Arte

PDVSA (2007) define al estado del arte como “un documento donde se caracteriza, describe e interpreta la investigación documental que se realiza con base en fuentes secundarias del saber acumulado desde sus enfoques, sus métodos y su contexto” (p.5).

El estado del arte, elaborado para este proyecto, comprendió la búsqueda de patentes y trabajos publicados en materia de geles espumados, abarcando las tecnologías más utilizadas en cuanto a polímeros, surfactantes, entrecruzadores y gas para espuma. También se investigaron las técnicas de colocación utilizadas y los resultados obtenidos.

En base a este trabajo y a la experiencia de los integrantes del equipo del proyecto, fue posible analizar y comparar los diferentes escenarios para establecer la estrategia de desarrollo del proyecto.

Pruebas preliminares de laboratorio

Se realizó una serie de pruebas de laboratorio requeridas para completar la fase de visualización del proyecto, las cuales fueron:

1. Caracterización del polímero y del surfactante: estas pruebas permitieron evaluar y definir la reología de ambos aditivos, así como las características generales del surfactante, para ello se estudiaron las siguientes variables:
 - Viscosidad aparente del polímero y su variación con la concentración
 - Viscosidad aparente del polímero variando la concentración del surfactante.
 - Viscosidad aparente de la solución polímero - surfactante variando la concentración de salinidad.
 - Viscosidad aparente vs. Velocidad de corte
 - Tensión superficial.
 - Tensión interfacial.
 - Concentración micelar crítica.
 - Adsorción estática.
 - Adsorción dinámica.

Como resultado de las pruebas anteriores se logró la definición de la formulación primaria, seguidamente esta formulación fue evaluada con pruebas de botellas.

2. Pruebas de botellas con la formulación primaria: se colocó la formulación en una serie de envases especiales, los cuales se introdujeron al horno a condiciones de temperatura de yacimiento y se evaluó la formación del gel por el tiempo necesario hasta que se obtuvo la consistencia apropiada. Con los resultados obtenidos en las pruebas de botella se realizaron los ajustes necesarios a la formulación y se realizaron nuevas pruebas hasta lograr la obtención de manera satisfactoria de propiedades como consistencia, tiempos de gelificación, capacidad espumante, entre otras.
- Pruebas de la espuma en el medio poroso: se consideró de vital importancia la necesidad de evaluar el comportamiento de la espuma dentro del medio poroso, para ello se realizó a escala de laboratorio un generador de espuma, una vez formada la espuma, la misma fue inyectada en un tapón de núcleo de características similares a las del yacimiento visualizado para la prueba piloto.

Análisis técnico – económico preliminar

De manera muy general, se visualizaron los costos y beneficios del mismo comparando el costo conocido del gel convencional con el de una aplicación de geles espumados para el mismo volumen de tratamiento (ver tablas 4 y 5). Cabe destacar que en los geles espumados el 80% del volumen requerido para el tratamiento está representado por un gas mucho más económico que el gel convencional por lo que se hace posible bombear un mayor volumen de tratamiento al medio poroso con el gel

espumado, obteniendo así un mayor radio de invasión y por consiguiente una mayor efectividad para el control de agua. De esta manera se obtuvo la factibilidad técnico – económica preliminar del proyecto.

Tabla 4. *Costos del Gel Convencional y del Gas a Inyectar*

PRODUCTO	COSTO
GEL CONVENCIONAL	600 \$/Kg.
GAS PARA ESPUMA	4,5 \$/Gal

Fuente: El autor (2009)

Tabla 5. *Costos de Gel Convencional y Gel Espumado para la inyección de 800 barriles de tratamiento*

PRODUCTO	VOLUMEN (Barriles)	Costo (\$)
GEL CONVENCIONAL	800	1478400,00
GEL ESPUMADO	800	150544,38

Fuente: El autor (2009)

Evaluación de Riesgos a Personas y al Ambiente

De acuerdo a los requerimientos de la metodología de PDVSA Intevep; para esta primera fase se identificaron las necesidades de estudios o evaluaciones para controlar los riesgos a personas, ambiente e instalaciones. Para este caso, se consideraron las evaluaciones requeridas para preparar la hoja de datos de seguridad de las sustancias; ya que existen riesgos identificados para la salud de las personas que manipulen dichas sustancias. Se obtuvo la información de los principales compuestos para proceder a

preparar las hojas, de acuerdo a los lineamientos de la norma COVENIN 3059-2002 “Materiales Peligrosos. Hoja de Datos de Seguridad de los Materiales (HDSM)”.

Evaluación de conveniencia de Protección de Propiedad Intelectual

La metodología de PDVSA Intevep, establece que debe realizarse el análisis de una serie de parámetros, los cuales determinarán la conveniencia ó no de proteger la propiedad intelectual de la tecnología. De esta manera, se evaluaron dichos aspectos y a continuación se presenta un breve resumen de los mismos:

- Estudio del arte previo: tal y como se escribió en apartados anteriores se realizó el análisis del estado del arte de las tecnologías similares desarrolladas a nivel mundial
- Descripción de la tecnología: la tecnología de geles espumados se define como una espuma que ha gelificado para convertirse en una estructura con mayor dureza y estabilidad. La gelificación de la espuma se logra incorporando en la fase líquida una mezcla de polímero, entrecruzadores y otros agentes químicos, con el objetivo de crear una estructura química entrecruzada que le imparta mayor rigidez a la lamela de la espuma.

- Aplicación de la tecnología y problema a resolver: esta tecnología será aplicada en principio en pozos que produzcan de yacimientos de crudos pesados y extrapesados, debido principalmente a la experiencia que se tiene por parte del personal, en este tipo de crudo y bajo estas mismas características de temperatura (menores a 200°F) y gravedad API (menores a 12 grados API). Sin embargo, es factible la extensión a futuro de la aplicación de esta tecnología en crudos livianos y medianos. El problema a resolver de manera inmediata es la alta producción de agua en pozos de la faja petrolífera del Orinoco; ya que, la tecnología del gel espumado, permitirá retener el agua en yacimiento, mientras que el crudo puede seguir siendo producido; es decir, se producirá un efecto de variación desproporcionada de la permeabilidad entre el crudo y el agua conocido como efecto DPR por sus siglas en Inglés.
- Diferencia del arte previo consultado con la tecnología a proteger: se destacan tres diferencias de alto impacto respecto a los trabajos consultados en el estado del arte realizado, las mismas se mencionan a continuación:

1.- El mecanismo de generación de la espuma, se plantea la generación en superficie y no en fondo, tal como se venía aplicando en trabajos anteriores.

2.- El gas empleado para espumar no será CO₂, siendo este el de mayor uso en la generación de espumas.

3.- Se empleará un surfactante no tóxico ambientalmente, en la mayoría de los trabajos publicados se utiliza como surfactante el Cr3.

- Características, ventajas y limitaciones de la innovación: el desarrollo de la formulación se caracterizará porque estará orientado a la disminución de los costos asociados ya que se reduce la cantidad de polímero (componente importado) al sustituirse en gran proporción por un gas disperso en la fase líquida, aunado a que se establece como premisa el empleo de la mayor cantidad de componentes de producción nacional. Respecto a los geles convencionales se maneja como hipótesis un mayor la obtención de un mayor radio de penetración en el yacimiento al encontrarse espumado. Adicionalmente, se empleará un surfactante que produce menos efectos dañinos al ambiente. Como limitaciones se tiene, que se cuenta con experiencia solo en yacimientos de crudos pesados y extrapesados, de baja gravedad API, baja temperatura, pozos poco profundos, lo cual acota la ventana de aplicación de la tecnología.

Con lo anterior se considera cubiertos los aspectos relacionados a la propuesta del proyecto y la primera parte de la fase de visualización

Plan del Proyecto:

De acuerdo a lo señalado en el procedimiento de lineamientos para la planificación y evaluación de proyectos de PDVSA Intevep, una vez aprobada la propuesta del proyecto, se formaliza la planificación del mismo a través del Plan del Proyecto. Al comparar ambas metodologías se consideraron como aspectos importantes a desarrollar: las rutas, cronogramas, actividades, recursos humanos, entre otros.

Estrategia de Ejecución del Proyecto

La estrategia de ejecución del proyecto, se definió en base a las actividades contempladas, al recurso humano disponible y al establecimiento de un cronograma que cual permitiese una buena aproximación de la planificación de las actividades a realizar para poder cumplir con los objetivos del proyecto con el mejor desempeño del mismo.

Como primer paso se realizó un cronograma base utilizando el software comercial Microsoft Project v.2003. En el mismo se plasmaron las actividades a realizar a un cierto nivel de detalle. A cada actividad se le asignó la fecha de inicio y fin, obteniéndose la duración de las mismas.

Considerando que la fecha de inicio del proyecto fue en Mayo 2009, se utilizó la opción de seguimiento adjudicándole el porcentaje de avance a la actividad de diseño de experimentos dentro y fuera del medio poroso, la cual se encuentra en progreso, por ser parte de las pruebas de laboratorio preliminares contempladas en la metodología. Se

colocó en 100% de ejecución aquellas actividades ya culminadas, tales como la conceptualización primaria de las formulaciones, la evaluación del estado del arte, la definición de fórmulas, principios físico-químicos y procesos, la conceptualización primaria de los generadores de espumas, así como también la evaluación económica preliminar.

Tal y como se está planteando inicialmente el cronograma, el proyecto debe estar culminando a principios del año 2011. La actividad de mayor duración es la prueba piloto en campo, la cual se considera la de mayor importancia por requerir la intervención de otros entes adicionales al equipo del proyecto (gerencia de las áreas operacionales, MENPET, contratistas, etc.). En las figuras 11 y 12 se muestra de manera tabular y de diagrama de Gantt el cronograma base del proyecto.

	Nombre de tarea	Duración	% completado	Comienzo	Fin
1	DESARROLLO DE LA FORMULACION DE GELES ESPUMADOS	468,96 días	29%	lun 04/05/09	jue 03/02/11
2	Definición de las formulaciones	215,71 días	63%	lun 04/05/09	lun 01/03/10
3	Conceptualización Primaria de las Formulaciones	40 días	100%	lun 04/05/09	vie 26/06/09
4	Evaluación del Estado del Arte	70 días	100%	lun 04/05/09	vie 07/08/09
5	Definición de fórmulas, principios fisicoquímicos, procesos	70 días	100%	lun 04/05/09	vie 07/08/09
6	Evaluación técnico-económica preliminar	10,5 días	100%	mié 05/08/09	mié 19/08/09
7	Diseño de experimentos fuera y dentro del medio poroso. Eval. De resultados	140 días	29%	lun 29/06/09	vie 08/01/10
8	Optimización de la formulación y ajustes para prueba de campo	35,71 días	0%	lun 11/01/10	lun 01/03/10
9	DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL GENERADOR DE ESPUMAS	180,83 días	23%	lun 15/06/09	lun 22/02/10
10	Conceptualización primaria de los generadores de espumas	37,83 días	100%	lun 15/06/09	mié 05/08/09
11	Diseño conceptual del prototipo del generador de espumas	21,7 días	0%	mar 08/09/09	mié 07/10/09
12	Pruebas experimentales a escala de banco del generador de espumas	61,11 días	0%	lun 14/09/09	mar 08/12/09
13	Definición de materiales para la construcción del generador de espuma y escalamiento a condiciones de campo	15,33 días	0%	mar 15/12/09	mar 05/01/10
14	Diseño de detalle del prototipo de campo del generador de espumas, manufactura y prueba piloto	30,83 días	0%	lun 11/01/10	lun 22/02/10
15	PRUEBA PILOTO EN CAMPO	201 días	0%	mar 23/02/10	mar 30/11/10
16	Diseño del protocolo de manufactura del producto a condiciones de campo	31,25 días	0%	mar 23/02/10	mié 07/04/10
17	Diseño del protocolo de aplicación del producto en campo y logística necesaria	35,71 días	0%	mié 07/04/10	mié 26/05/10
18	Pruebas de campo, recopilación de datos y optimización de la formulación	132 días	0%	lun 31/05/10	mar 30/11/10
19	Documentación	243,96 días	0%	lun 01/03/10	jue 03/02/11
20	Informe técnico del arte previo y la conceptualización básica de las formulaciones como del equipo para la formación de la espuma	60 días	0%	jue 04/03/10	mié 26/05/10
21	Preparación de informes técnicos de conceptualización, resultados de las pruebas experimentales y las pruebas de campo de la aplicación de las formulaciones en pozos pioneros	38,96 días	0%	lun 13/12/10	jue 03/02/11
22	Preparación de informe técnico de prototipo de campo para el equipo de formación de geles espumados	30 días	0%	lun 01/03/10	vie 09/04/10
23	Preparación del informe técnico del proceso para la formación, colocación y remoción de los geles espumados en el medio poroso y la optimización de las formulaciones.	49,45 días	0%	jue 04/11/10	mié 12/01/11

Figura 11. Duraciones, fechas de Inicio y Fin de las actividades del Proyecto
Fuente: El autor (2009)

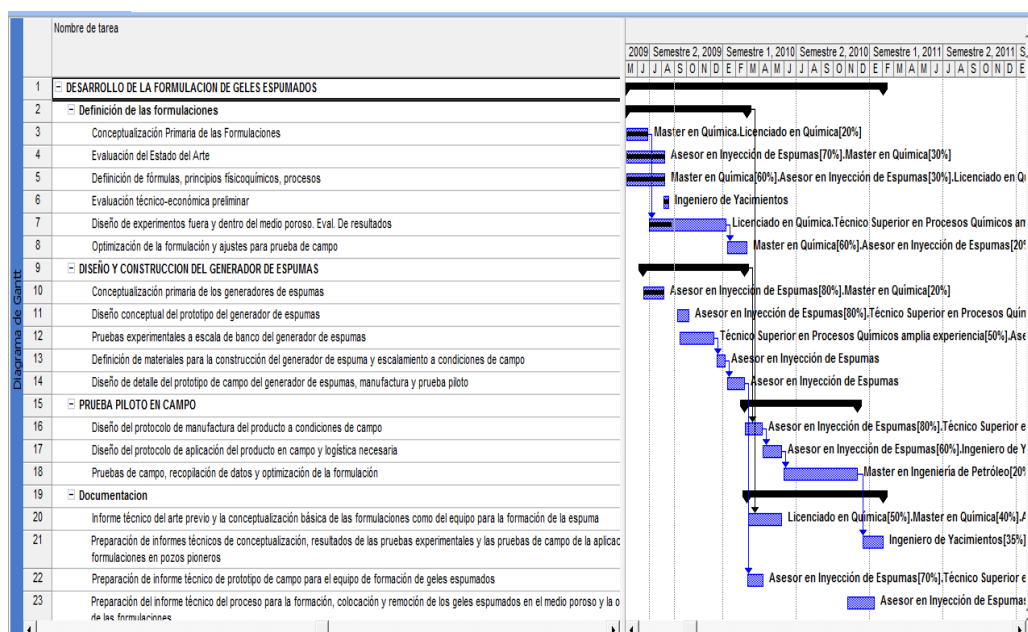


Figura 12. Diagrama de Gantt para el proyecto

Fuente: El autor (2009)

Como parte de la estrategia de ejecución, una vez conformado el equipo del proyecto, se distribuyeron las actividades y se asignó un peso en porcentaje a cada integrante de acuerdo al rol que desempeñará éste dentro de la misma. En la figura 13 se muestra el equipo del proyecto de manera tabular, en este tipo de proyecto se presenta una estructura jerárquica bastante plana, donde solo el Jefe de Proyecto se encuentra en un nivel más alto. El equipo del proyecto, en este caso, consta de dos MSc en Química quienes trabajarán con la formulación del gel espumado a nivel de laboratorio y un asesor en inyección de espumas a nivel de pozo por parte de CUPET, mientras que por PDVSA Intevep se cuenta con un Ingeniero Químico, un Técnico Superior en procesos

químicos con amplia experiencia en el desarrollo de geles convencionales, un Ingeniero de Yacimientos y un MSc. en Ingeniería de Petróleo.

Al realizar la distribución de las actividades, el software arrojó una advertencia referente a la carga de actividades que corresponde al asesor en inyección de espumas, por lo que debe considerar esta alerta en el desarrollo de las actividades. En apartados posteriores se ampliarán los roles de los miembros del equipo mediante la elaboración de la matriz de responsabilidades.

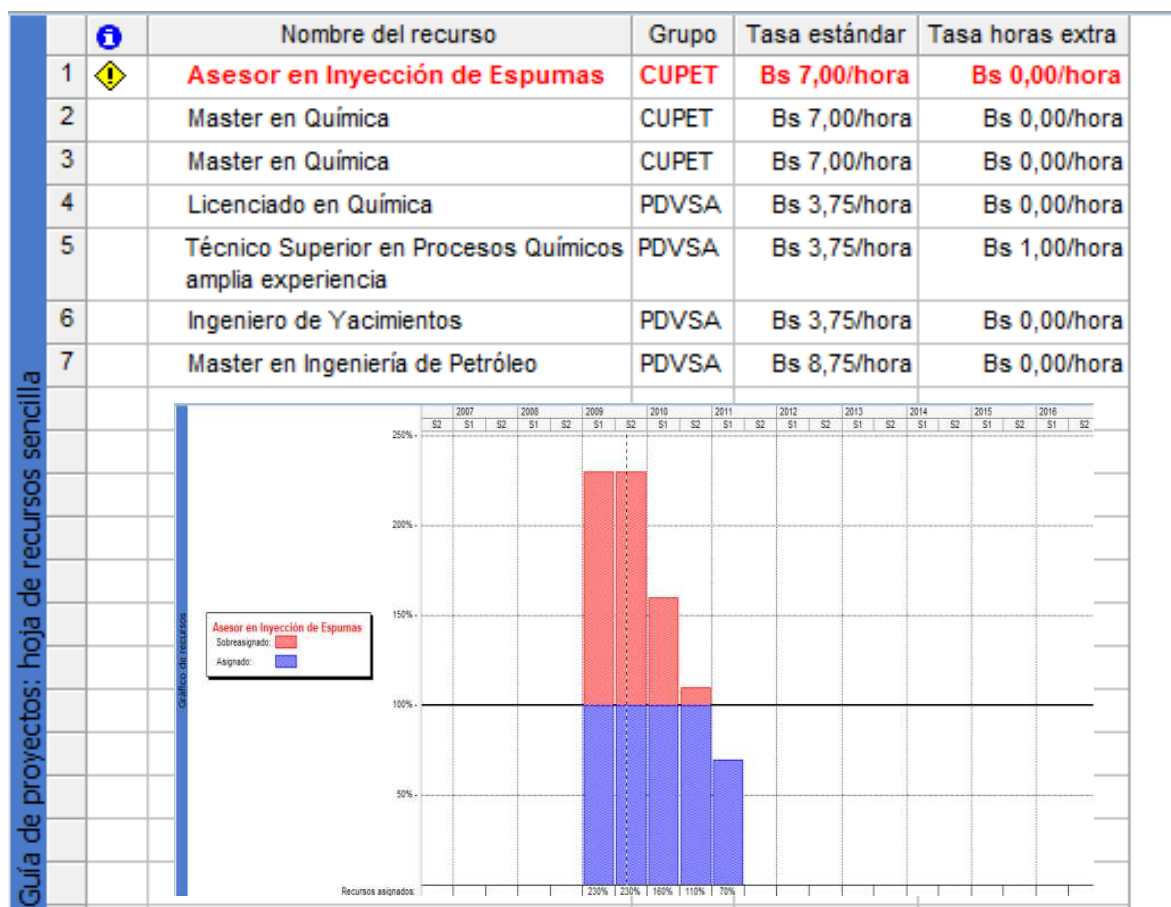


Figura 13. Equipo del proyecto
Fuente: El autor (2009)

Finalmente, se realizaron sensibilidades al cronograma base, desarrollando tres escenarios (optimista, esperado y pesimista), de acuerdo a criterios establecidos. De esta manera, se le asignaron fechas tempranas y tardías a cada una de las actividades, contemplándose un nivel de holgura que permite obtener una mejor aproximación de la ejecución del proyecto. En las figuras 14, 15 y 16 se muestran los diagramas de Gantt esperado, optimista y pesimista. No se observa una desviación considerable entre los tres escenarios, la fecha de culminación del proyecto es muy cercana y va desde finales del 2010 a los primeros meses del año 2011.

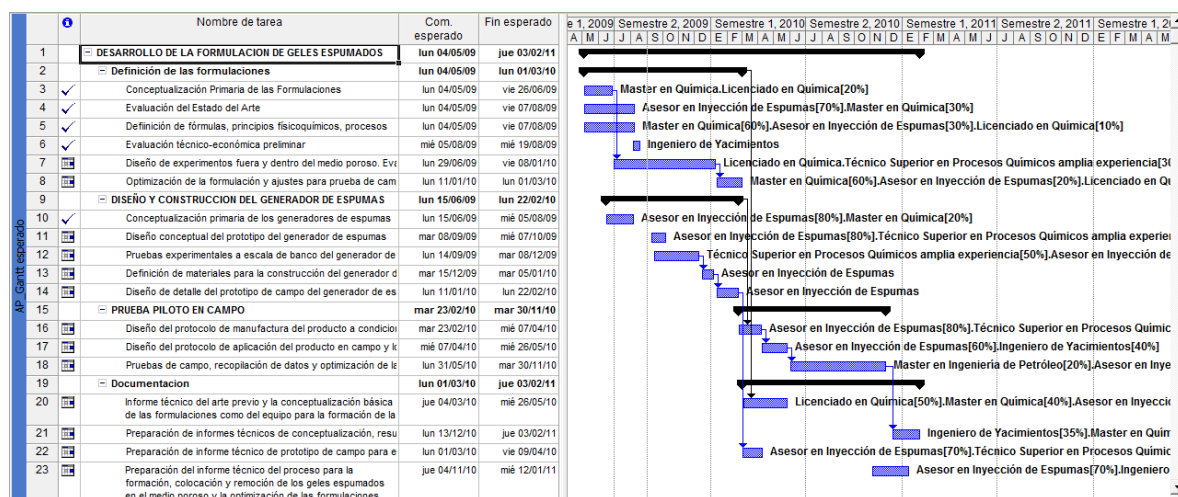


Figura 14. Diagrama de Gantt esperado

Fuente: El autor (2009)

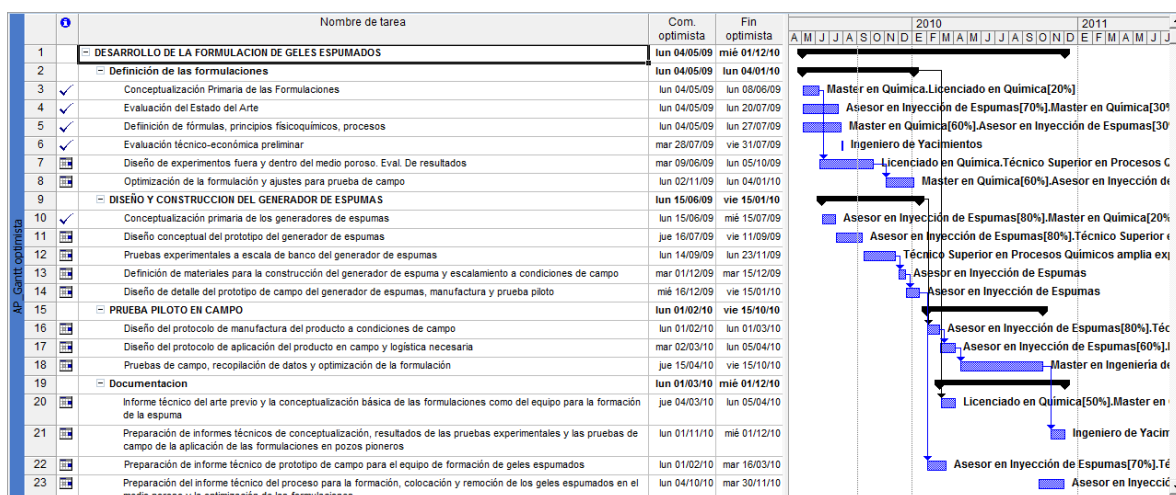


Figura 15. Diagrama de Gantt optimista
Fuente: El autor (2009)

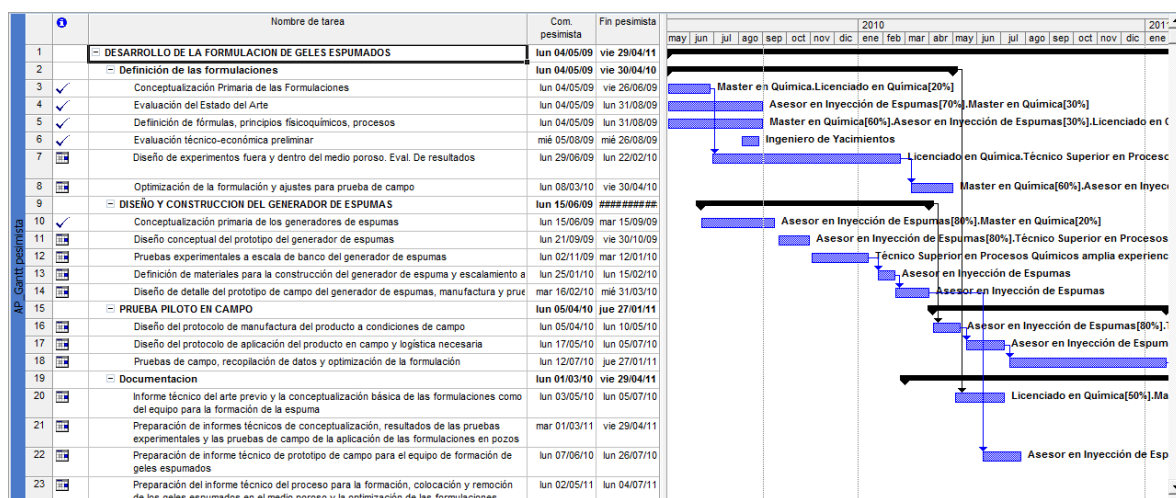


Figura 16. Diagrama de Gantt pesimista
Fuente: El autor (2009)

Criterios de aprobación de la etapa 1:

Al aplicar los criterios de aprobación de la etapa 1 contemplados en la metodología de PDVSA Intevep, se obtuvo que de acuerdo al análisis de la fase de visualización, el proyecto se encuentra alineado con los objetivos estratégicos del negocio, los riesgos técnicos-económicos involucrados son aceptables y se cuenta con

los recursos humanos y financieros para el desarrollo del proyecto. Por lo anteriormente expuesto el proyecto se consideró factible y se inició el desarrollo de la fase conceptual del mismo.

Desarrollo de la fase de Conceptualización del proyecto

Al comparar ambas metodologías para las etapas posteriores a la de visualización, se tiene que la metodología de PDVSA Intevep propone realizar la evaluación de la tecnología, comenzando por la validación del concepto (etapa 2), y luego se pasa a escala banco (etapa 3), tal y como se explicó anteriormente en el Marco Teórico del capítulo 3, para finalmente pasar a la prueba piloto a escala de campo (etapa 4), la cual representaría la fase de implantación en el ámbito de la gerencia de proyecto. Esto permitió inferir que la fase de Conceptualización, no se presenta bien definida en esta metodología, a diferencia de la metodología del CII.

Para el desarrollo de la fase de conceptualización, se aplicaron los aspectos contemplados en la metodología del CII al proyecto de desarrollo de la formulación de geles espumados para yacimientos de crudos pesados y extrapesados, como un paso previo a la denominada etapa II de la metodología de PDVSA Intevep.

En la Tabla 6 se muestra de manera resumida los principales aspectos contemplados en la fase de conceptualización del CII y en las etapas II, III y IV de la metodología de PDVSA Intevep.

Tabla 6. Comparación de la Fase de Conceptualización entre la metodología del CII y la implementada por PDVSA Intevep para proyectos de IyD en sus etapas II, III y IV.

COMPARACION METODOLOGIAS CII Vs. PDVSA INTEVEP			
CONCEPTUALIZACION CII	PROYECTOS IYD PDVSA Intevep ETAPA II. VALIDACION TEORICA Y EXPERIMENTAL DEL CONCEPTO	PROYECTOS IYD PDVSA Intevep ETAPA III. VALIDACION DEL CONCEPTO A ESCALA BANCO	PROYECTOS IYD PDVSA Intevep ETAPA IV. VALIDACION DEL CONCEPTO A ESCALA PILOTO
1.- Organizarse para la fase de planificación del proyecto 1.1 Conformar el equipo de trabajo 1.2 Formalizar objetivos, roles y responsabilidades 1.3 Preparar Plan para conceptualizar	1.- Reunión entre el líder del proyecto y el equipo de trabajo para revisar la propuesta y plan del proyecto, especialmente alcance y productos esperados, impactos, riesgos, entre otros)		
2.- Selección de las opciones preferidas/Solicitud de fondos para estimado clase II	2.- Actividades Generales y Documentación Asociada		
2.1 Evaluar la tecnología	2.1.- Realizar Estado del Arte 2.2 Levantar la Información de campo 2.3 Preparar diseño Experimental 2.4 Adecuar el Banco de pruebas 2.5 De ser requerido, preparar el diseño del prototipo de laboratorio 2.6 Desarrollar las pruebas y la caracterización adicional 2.7 Realizar análisis de riesgos 2.8 Analizar resultados, concluir y recomendar	1.- Actualizar el Estado del Arte 2.- Diseñar o adaptar las instalaciones experimentales o de campo para las pruebas 3.- Preparar el producto 4.- Corroborar los efectos del producto sobre los componentes de los equipos que estarán en contacto con el producto.	1.- Actualizar el Estado del Arte, haciendo énfasis en las condiciones operacionales 2.- Preparar un protocolo operacional describiendo el objetivo 3.- Realizar la adecuación necesaria en la instalación del campo 4.- Preparar el producto, caracterizarlo y validar las especificaciones 5.- Aplicar el producto y realizar el monitoreo, la recopilación de datos y el análisis y validación de los resultados
2.2 Evaluar el sitio			
2.3 Preparar alcance conceptual / Estimado de costos clase IV	3.- Actualizar evaluación técnico - económica, visualizar estrategias de comercialización y licenciamiento, posibles usuarios. 4.- Firmar convenios de confidencialidad con terceros involucrados, revisar y definir la estrategia de propiedad intelectual 5.- Decidir si continuar o no a la tercera etapa. De no continuar, elaborar informe técnico de cierre del proyecto, de continuar el proyecto, documentar el avance en el módulo de informe de avance en SICOP	5.- Comprometer a un usuario tecnológico de las áreas operacionales para que se otorgue uno o varios pozos para realizar la prueba piloto 6.- Actualizar evaluación- técnico- económica, 7.- Definir estrategias para comercialización y licenciamiento, tanto de manufactura como de aplicación 8.- Materializar la propiedad intelectual, validar hoja de seguridad	6.- Actualizar evaluación- técnico- económica. Análisis de competitividad costo-beneficio. 7.- Implantar estrategias para comercialización y licenciamiento, tanto de manufactura y de aplicación
2.4 Evaluar rentabilidad de opciones			
2.5 Preparar solicitud de fondos para alcanzar estimado clase II			

Fuente: El autor (2009)

Conformación de Equipo de Trabajo, Roles y Responsabilidades:

El equipo del proyecto se encuentra formado principalmente por personal de CUPET y PDVSA Intevep, tal y como se mencionó anteriormente. El Jefe del Proyecto pertenece a PDVSA Intevep y su grado de instrucción es *Master* en Ingeniería de Petróleo con más de 25 años de experiencia en investigación en la industria petrolera.

Por parte de CUPET se cuenta con un Asesor en Colocación de Espumas y dos *Master* en Química, el primero ejecuta actividades concernientes al desarrollo de la formulación y también relacionadas a la prueba piloto en campo debido a su amplia experiencia en la inyección de espumas en yacimientos de crudos pesados. Las personas con *Master* en Química, son las responsables principales del desarrollo y optimización de la formulación de los geles espumados, así como de los procesos y pruebas experimentales fuera del medio poroso.

Como representantes de PDVSA Intevep para las actividades de laboratorio se asignaron a un Ingeniero Químico y a un Técnico Superior Universitario en procesos químicos con amplia experiencia en formulaciones de geles convencionales y pruebas experimentales de botella y en medio poroso. El Ingeniero de Yacimientos, aunque participa en la ejecución de las pruebas en medio poroso, tiene como mayores responsabilidades la planificación y ejecución de la prueba piloto en campo, lo cual involucra la selección del pozo candidato, el contacto permanente con personal del área operacional, la realización de la evaluación económica, entre otras.

Adicionalmente, dado que el personal de PDVSA Exploración y Producción es el custodio del pozo donde se llevará a cabo la prueba piloto, se requiere que dicho personal realice la logística en campo para ejecutar la prueba, es por ello que se le asignaran responsabilidades a un representante de la Gerencia de Yacimientos y otro de la Gerencia de Producción. El personal del área es el responsable de solicitar al MENPET la aprobación para poder realizar la prueba piloto en campo, ya que dicha prueba involucra la inyección de fluidos al yacimiento.

Es importante destacar, que existe cierta debilidad en cuanto a la asignación del personal de PDVSA Intevep, debido a que estas personas no se encuentran a dedicación exclusiva en el proyecto, ya que parte de sus horas labor están asignadas a otros proyectos, por lo que se detecta una situación no deseada en una estructura proyectizada, donde el equipo del proyecto debe estar completamente dedicado al mismo.

En la Tabla 7 se muestra la matriz de responsabilidades para el equipo del proyecto.

Tabla 7. *Matriz de Responsabilidades para el Proyecto*

MATRIZ DE RESPONSABILIDADES		INTEGRANTES									
	Master en Química (I)	Master en Química (II)	Asesor en colocación de Espumas	Ing. Químico	T.S.U. Procesos Químicos	Ing. de Yacimientos	Jefe de Proyecto (Master en Ing.)	Ing. De Yac. Área operacional	Ing. De Prod. Área operacional	Contratista	MENPET
ACTIVIDAD											
Conceptualización primaria de las formulaciones	E		S	E	E		S				
Evaluación del estado del arte			E								
Definición de fórmulas, procesos y principios físico-químicos	E	E	S	E	E		S				
Evaluación técnico-económica preliminar			I			E	S				
Diseño de experimentos dentro y fuera del medio poroso. Evaluación de resultados		E	S	E	E	E					
Optimización de la formulación y ajustes para prueba de campo		E	E			I	S				
Diseño del protocolo de manufactura del producto a condiciones de campo		E	E			E	S				
Diseño del protocolo de aplicación del producto en campo y logística necesaria			E			E	S	U	U		
Pruebas de campo, recopilación de datos y optimización de la formulación			E		E	E	C	E	I	E	A
Conceptualización primaria de los generadores de espumas		E	E								
Diseño conceptual del prototipo del generador de espumas		E	E		E	E	S				
Pruebas experimentales a escala de banco del generador de espumas		E	E		E	E	S				
Definición de materiales para la construcción del generador de espuma y escalamiento a condiciones de campo			E		E		A				
Diseño de detalle del prototipo de campo del generador de espumas, manufactura y prueba piloto			E					U	U	U	
Informe técnico del arte previo y la conceptualización básica de las formulaciones como del equipo para la formación de la espuma		E	E	E			A				
Preparación de informes técnicos de conceptualización, resultados de las pruebas experimentales y las pruebas de campo de la aplicación de las formulaciones en pozos pioneros		E	E	E		E	A	I			
Preparación de informe técnico de prototipo de campo para el equipo de formación de geles espumados			E			E	A				
Preparación del informe técnico del proceso para la formación, colocación y remoción de los geles espumados en el medio poroso y la optimización de las formulaciones		E	E	E		E	A				

LEYENDA

A: Aprobar C:Contratar E:Ejecutar I:Informar S:Supervisar U:Utilizar

Fuente: El autor (2009)

Selección de la Tecnología

El desarrollo de la formulación de los geles espumados implica el uso de distintas tecnologías que comprenden el polímero, los entrecruzadores, el surfactante y el gas para espumar.

Dado a que ya se tenía previsto el surfactante a utilizar, por poseer el *know how* respecto al uso del mismo, y adicionalmente el polímero (materia prima) a utilizar es el mismo empleado para el gel convencional, aunque en otra formulación, no fue necesario presentar distintas opciones de estos componentes de la formulación.

Para la definición de la opción más viable para la selección de las tecnologías en cuanto a los entrecruzadores y al gas de para espumar, se realizó una matriz de evaluación, la cual consta de dos matrices que trabajan acopladas, las mismas se definen como matriz de ponderación de criterios y matriz de análisis de opciones.

En la matriz de ponderación de criterios se establece la predominancia relativa entre un parámetro y otro, basada en una puntuación enmarcada en una escala del 1 al 5 (ver Tabla 4). De acuerdo a la puntuación obtenida se le asigna un peso a cada criterio.

Tabla 8. *Matriz de Ponderación de Criterios*

Calificación Cuantitativa	Calificación Cualitativa
1	El elemento columna es mucho más importante que el elemento fila
2	El elemento columna es más importante que el elemento fila
3	El elemento columna es igual de importante que el elemento fila
4	El elemento columna es menos importante que el elemento fila
5	El elemento columna es mucho menos importante que el elemento fila

Fuente: PDVSA, (2006)

Es importante destacar que esta matriz se realizó considerando que todas las opciones son tecnologías con aplicaciones conocidas en la inyección de espumas y/o geles para control de fluidos indeseados (agua o gas) en pozos productores de crudo, de manera que no existe subjetividad para la generación de pesos por criterio. Así mismo, la adjudicación de la calificación cuantitativa a cada criterio, provino de entrevistas al personal experto del proyecto y del resultado de las publicaciones plasmadas en el Estado del Arte realizado.

En la matriz de análisis de opciones se procede a evaluar independientemente cada una de las opciones contra cada uno de los criterios. En esta matriz se acumulan las puntuaciones obtenidas por criterios para cada opción, aquella opción con mayor puntuación acumulada es la opción recomendada para utilizar para el desarrollo de los geles espumados.

Selección de los entrecruzadores

Para la selección de los entrecruzadores para formar el gel, se establecieron los siguientes criterios:

Impacto ambiental: se refiere a la afectación del medio ambiente, generada por la utilización del producto tanto en superficie como en subsuelo, esto de acuerdo a las regulaciones ambientales vigentes (ver Tabla 5)

Tabla 9. *Rango de Valores para Impacto Ambiental (IA)*

ESCALA	DESCRIPCION
Muy Satisfactoria= 3	Poco impacto ambiental
Satisfactoria= 2	Impacto ambiental catalogado como aceptable
No Satisface= 1	Alto impacto ambiental

Fuente: El autor (2009)

Experiencia en la Industria Petrolera: esta variable pretende reflejar si existen o no aplicaciones previas de inyección de la tecnología en yacimientos de petróleo, (ver Tabla 10).

Tabla 10. *Rango de Valores para Experiencia en la Industria Petrolera (EIP)*

ESCALA	DESCRIPCION
Muy Satisfactoria= 3	Se tiene aplicaciones exitosas en la industria petrolera
Satisfactoria= 2	Se tiene aplicaciones en la industria petrolera, exitosas o no
No Satisface= 1	No se conocen aplicaciones anteriores

Fuente: El autor (2009)

Costos de Producción: con esta variable se comparan los costos asociados a cada tecnología, (ver Tabla 11).

Tabla 11. *Rango de Valores para Costos de Producción (CP)*

ESCALA	DESCRIPCION
Muy Satisfactoria= 3	Bajos costos, alta rentabilidad
Satisfactoria= 2	Proyecto con baja rentabilidad
No Satisface= 1	Altos costos de Producción, no es rentable

Fuente: El autor (2009)

Proceso de Obtención: este criterio compara los procesos que deben llevarse a cabo para obtener las tecnologías, aunque esto repercute indirectamente en los costos, se recomendó la evaluación por sí solo de este criterio, (ver Tabla 12).

Tabla 12. *Rango de Valores para Procesos de Obtención (PO)*

ESCALA	DESCRIPCION
Muy Satisfactoria= 3	Proceso de obtención complicado, altos costos
Satisfactoria= 2	Proceso de obtención conocido, costos medianamente altos
No Satisface= 1	Fácil obtención a bajo costo.

Fuente: El autor (2009)

Una vez identificado cada criterio de selección, se procedió a completar la matriz de ponderación de criterios (Tabla 13), y de acuerdo a los resultados obtenidos se asignó el peso correspondiente a cada uno (Tabla 14).

Tabla 13. *Matriz de ponderación de criterios para la selección de los entrecruzados*

	IA	EIP	CP	PO	TOTAL FILA
IA		5	5	5	15
EIP	1		2	2	5
CP	1	4		3	8
PO	1	4	3		8
TOTAL					36

Fuente: El autor (2009)

Leyenda: IA: Impacto ambiental EIP: Experiencia en Industria Petrolera
CP:costos de producción PO: Proceso de obtención

Tabla 14. *Pesos de cada Criterio para la selección de los entrecruzados*

IA	0,417
EIP	0,139
CP	0,222
PO	0,222

Fuente: El autor (2009)

Leyenda: IA: Impacto ambiental EIP: Experiencia en Industria Petrolera
CP:costos de producción PO: Proceso de obtención

De acuerdo a lo observado en las figuras anteriores, el criterio que resulta de mayor importancia a la hora de seleccionar la tecnología es el Impacto Ambiental, en segundo lugar se consideraron los costos de producción y el proceso de obtención de la

tecnología, la variable con menos peso es la experiencia previa de aplicación, en este caso por ser un proyecto de innovación tecnológica no se tiene mucha experiencia sobre estas aplicaciones.

Al obtener la ponderación de los criterios, se completó la matriz de evaluación de las opciones tecnológicas denominadas tecnología A y Cr+3. Igual que para la ponderación de criterios, las calificaciones del 1 al 3 se adjudicaron en base a publicaciones y a entrevistas a expertos, la escala de calificaciones se interpreta de la siguiente manera: 3 significa muy satisfactorio, 2 es satisfactorio y el número 1 no satisface. La tabla 15, muestra que la tecnología A cumple en su mayoría de manera muy satisfactoria con los criterios de selección en comparación con la tecnología Cr+3, por lo que la puntuación obtenida por la primera (2,86) es mayor a la de la segunda (1,72).

Tabla 15. *Evaluación de las Opciones Tecnología A y Cr3*

		TECNOLOGÍA A		Cr+3	
IA	0,417	3	1,25	1	0,42
EIP	0,139	2	0,28	3	0,42
CP	0,222	3	0,67	2	0,44
PO	0,222	3	0,67	2	0,44
			2,86		1,72

Fuente: El autor (2009)

Leyenda: IA: Impacto ambiental EIP: Experiencia en Industria Petrolera
CP: costos de producción PO: Proceso de obtención

Selección del gas para espumar el gel:

Para la selección del gas a utilizar para espumar el gel se establecieron los siguientes criterios:

Fuente de Obtención: esta variable se refiere a la disponibilidad de la fuente de obtención de la tecnología, su cercanía al sitio de aplicación y la facilidad del proceso de obtención, (ver Tabla 16).

Tabla 16. *Rango de Valores para Fuente de Obtención (FO)*

ESCALA	DESCRIPCIÓN
Muy Satisfactoria= 3	La fuente del elemento se encuentra cercana y el proceso de obtención es fácil
Satisfactoria= 2	La fuente del elemento se encuentra cercana
No Satisface= 1	No se cuenta con fuente cercana para la obtención del elemento

Fuente: El autor (2009)

Elemento Inerte: este criterio se refiere a la capacidad que tenga el elemento de no reaccionar ni alterar la formulación del gel una vez que se encuentre en contacto con el mismo (ver Tabla 17).

Tabla 17. *Rango de Valores para Elemento Inerte (I)*

ESCALA	DESCRIPCIÓN
Muy Satisfactoria= 3	No altera la formulación del gel
Satisfactoria= 2	Altera la formulación, pero no en dimensiones considerables
No Satisface= 1	Altera la formulación, ocasionando desestabilización

Fuente: El autor (2009)

Costos de Producción: con esta variable se comparan los costos asociados a cada tecnología, (ver Tabla 18).

Tabla 18. *Rango de Valores para Costos de Producción (CP)*

ESCALA	DESCRIPCIÓN
Muy Satisfactoria= 3	Bajos costos, alta rentabilidad
Satisfactoria= 2	Proyecto con baja rentabilidad
No Satisface= 1	Altos costos de Producción, no es rentable

Fuente: El autor (2009)

Impacto Ambiental: se refiere a la afectación del medio ambiente, generada por la utilización del producto, (ver Tabla 19).

Tabla 19. *Rango de Valores para Impacto Ambiental (IA)*

ESCALA	DESCRIPCIÓN
Muy Satisfactoria= 3	Poco impacto ambiental
Satisfactoria= 2	Impacto ambiental catalogado como aceptable
No Satisface= 1	Alto impacto ambiental

Fuente: El autor (2009)

Experiencia en la industria Petrolera: esta variable pretende reflejar si existen o no aplicaciones previas de inyección de la tecnología en yacimientos de petróleo, (ver Tabla 20).

Tabla 20. *Rango de Valores para Experiencia en la Industria Petrolera (EIP)*

ESCALA	DESCRIPCIÓN
Muy Satisfactoria= 3	Se tiene aplicaciones exitosas en la industria petrolera
Satisfactoria= 2	Se tiene aplicaciones en la industria petrolera, exitosas o no
No Satisface= 1	No se conocen aplicaciones anteriores

Fuente: El autor (2009)

Al completar la matriz de ponderación de criterios (ver Tabla 21), se obtuvo que la fuente de obtención de la tecnología se destaca como el criterio más relevante en la selección del gas a utilizar, esto debido a los grandes volúmenes requeridos durante la aplicación en campo de los geles espumados. La experiencia previa y los costos de producción ocupan el segundo y tercer lugar respectivamente dentro de la jerarquización de los criterios a considerar. En la tabla 22 se presentan los pesos de cada criterio para la selección del gas a utilizar.

Tabla 21. *Matriz de ponderación de criterios para selección del Gas*

	FO	I	CP	IA	EIP	TOTAL FILA
FO		5	5	5	5	20
I	1		3	2	2	8
CP	1	3		4	2	10
IA	1	4	2		2	9
EIP	1	4	4	4		13
					TOTAL	60

Fuente: El autor (2009)

Leyenda: IA: Impacto ambiental EIP: Experiencia en Industria Petrolera
CP:costos de producción FO: Fuente de obtención EI: Elemento inerte

Tabla 22. *Pesos de cada Criterio para selección del Gas*

FO	0,33
I	0,13
CP	0,17
IA	0,15
EIP	0,22

Fuente: El autor (2009)

Leyenda: IA: Impacto ambiental EIP: Experiencia en Industria Petrolera CP:costos de producción FO: Fuente de obtención EI: Elemento inerte

La matriz de evaluación de opciones tecnológicas tecnología B y CO₂ se completó de acuerdo a criterios de expertos y a las publicaciones oficiales, de esta manera se obtuvo que la tecnología B cumple en su mayoría de manera muy satisfactoria con los criterios de selección a diferencia del CO₂, el cual solo cumple de manera muy satisfactoria con el criterio EIP. La tecnología B obtuvo una puntuación final de 2,83 mientras que el CO₂ apenas de 1,57 (ver Tabla 23),

Tabla 23. *Evaluación de las Opciones de las Tecnologías B y CO₂*

		TECNOLOGÍA B		CO ₂	
FO	0,33	3	1	1	0,33
I	0,13	3	0,40	2	0,27
CP	0,17	2	0,33	1	0,17
IA	0,15	3	0,45	1	0,15
EIP	0,22	3	0,65	3	0,65
		2,83		1,57	

ESCALA: 3= Muy Satisfactorio, 2= Satisfactorio, 1=No Satisface

Fuente: El autor (2009)

Leyenda: IA: Impacto ambiental EIP: Experiencia en Industria Petrolera CP:costos de producción FO: Fuente de obtención EI: Elemento inerte

Selección del Sitio:

De manera general la selección del sitio implicó la evaluación en conjunto de factores como la procura de materiales, la comunicación entre los distintos entes, entre otros. Los aspectos relacionados al impacto ambiental y social fueron evaluados previamente al surgimiento de este proyecto. La calidad y el riesgo del resultado del proyecto no son factores determinantes en la selección del sitio para esta etapa dado al alto grado de incertidumbre que este tipo de proyectos conllevan.

Como premisa principal se consideró la aplicación de los geles espumados en yacimientos de crudos pesados extrapesados, esto fundamentado en la experiencia que posee el personal de CUPET con este tipo de crudo, en general, el yacimiento a evaluar debía cumplir los siguientes requerimientos mínimos:

- Producción de crudos pesados o extrapesados
- Temperatura máxima de 140°F
- Alta Permeabilidad

Considerando lo anteriormente expuesto, en primera instancia, pero sin descartar otras áreas de explotación de crudo pesado y extrapesado, se visualizó como área prospectiva para la aplicación de los geles espumados, el área de Morichal Campo Jobo

ya que la mayoría de sus yacimientos cumplen con los requerimientos mínimos señalados.

Este campo se encuentra ubicado geográficamente al Sur del Estado Monagas, a una distancia de 100 km del sur de la ciudad de Maturín y a 70 km al noroeste del río Orinoco, con una superficie aproximada de 240 km² del área tradicional, (ver figura 17). El campo se encuentra limitado al Este por el Campo Pilón y al Suroeste por el Campo Morichal. El Campo Jobo se ubica dentro de lo que se conoce como el Área Mayor de Temblador, limitada al Este por el área mayor de Oficina y continúa al Sur en el sector de Cerro Negro de la faja Petrolífera del Orinoco.

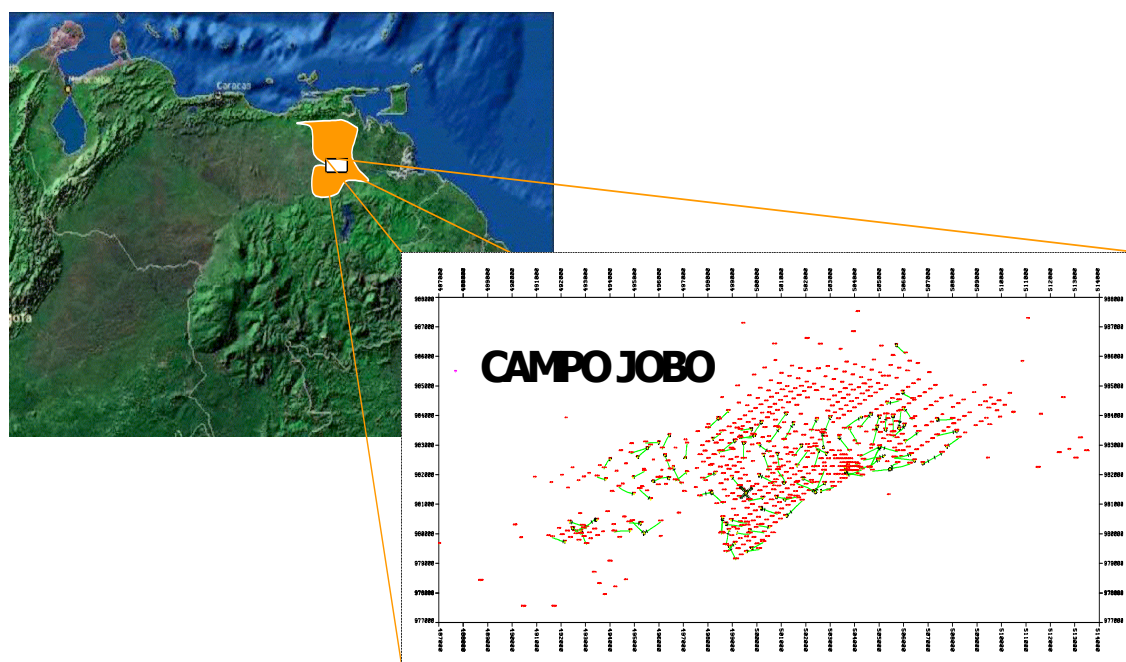


Figura 17. Ubicación geográfica del Campo Jobo
Fuente: Aguado, *et al.* (2002)

Una vez seleccionado el campo, se realizó la revisión de las condiciones de los pozos de dicho campo, para visualizar las posibles opciones de pozos candidatos para la prueba piloto. De la revisión general se detectó la disponibilidad de utilizar los pozos pertenecientes a una macolla formada por cuatro pozos desviados, los cuales fueron

perforados en el año 2002 con el objetivo de ser utilizados para probar otra tecnología de PDVSA Intevep, estos pozos son considerados pozos de investigación y no de producción. La premisa principal para decidir la evaluación de estos pozos fue la alta producción de agua, las principales características del yacimiento seleccionado se muestra en la tabla 24. Una de las ventajas de estos pozos es que se encuentran completados en arenas diferentes, lo cual permite evaluar distintos escenarios que pudiesen presentarse en una aplicación comercial de la tecnología, adicionalmente se encuentran totalmente instrumentados para su monitoreo. En la figura 18 se presenta la ubicación tanto en superficie como en subsuelo de los cuatro pozos denominados para efectos de este TEG P1, P2, P3 y P4.

Tabla 24. *Características del yacimiento seleccionado*

CARACTERÍSTICA	VALOR
Petróleo Original en Sitio	4452 MMBLS
Gravedad API	8 - 8,5 grados
Petróleo Acumulado	248 MMBLS
Corte de Agua	45 - 60%
Presión estática	1189 - 1270 lpc

Fuente: El autor (2009)

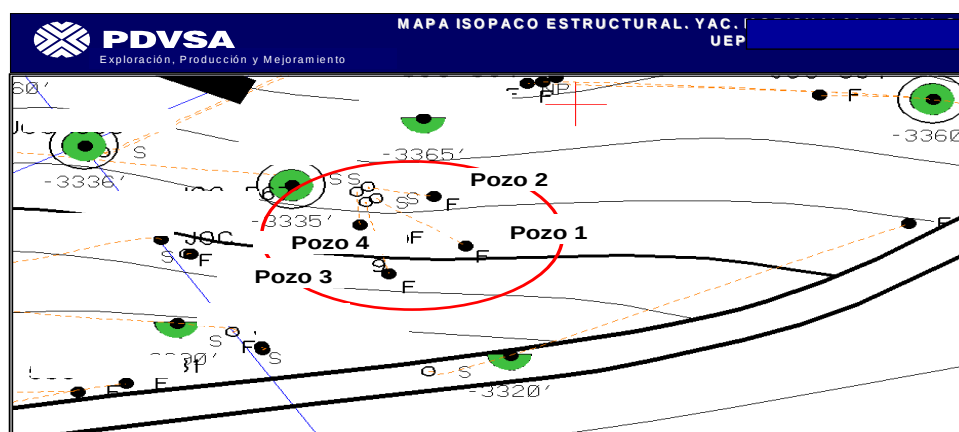


Figura 18. Ubicación de los pozos 1,2, 3 y 4 en el mapa isópaco estructural

Fuente: El autor (2009)

Tal y como se observa en la figura 18, los pozos se encuentran muy cercanos a la falla Jobo, en el área Este del yacimiento. Utilizando los criterios de selección aplicados para tratamientos con geles convencionales, se jerarquizaron los cuatro pozos con la finalidad de comenzar la prueba en el pozo que resultase más apropiado, sin descartar por completo el resto de los pozos. Los criterios considerados fueron las reservas remanentes de la arena en cada pozo, el comportamiento de producción e informes del pozo.

Las arenas a evaluar son las arenas X y Y, siendo X suprayacente a Y, la primera tiene un espesor promedio de 32' mientras que la segunda posee uno de 100' separados en tres lentes: superior, medio e inferior. La figura 19 representa al registro eléctrico del Pozo 1, en el cual se muestran los espesores de ambas arenas.

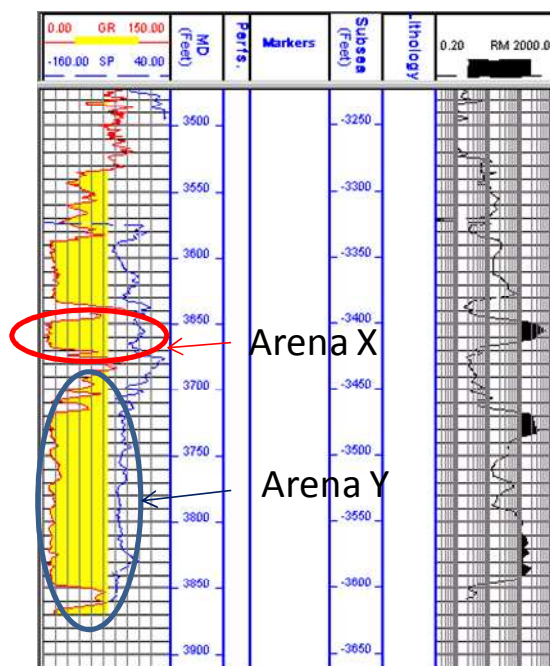


Figura 19. Registro típico de los pozos a evaluar, Arenas X y Y
Fuente: El autor (2009)

Tabla 25. Arenas *completadas* y *Reservas remanentes* en cada pozo

Pozo	Intervalo cañoneado (pies)	Arena	Reservas Recuperables (Barriles)	Reservas Remanentes (Barriles)
Pozo 1	3718-3754 3768-3841	Y sup. y Y medio	1143948	1143948
Pozo 2	3676-3715 3730-3790	Y sup. y Y medio	907861	907861
Pozo 3	3626-3650	X	328375	328375
Pozo 4	3630-3657	Y Sup.	212478	212478

Fuente: El autor (2009)

De acuerdo a los valores de reservas, suministrados por el Ingeniero custodio del área (ver tabla 25), el pozo 4 en la arena Y superior presenta la menor cantidad de reservas en comparación con el resto de los pozos, adicionalmente de acuerdo a reportes operacionales, el pozo presenta gas libre provocado por el sobredimensionamiento del equipo de levantamiento artificial, la presencia de gas libre en el pozo no se tenía contemplada por lo que no fue evaluada para la prueba piloto. De esta manera el Pozo 4 es el último candidato a aplicarse la prueba piloto.

El Pozo 3 es el único de los 4 pozos que se encuentra completado en la arena X, esta arena presenta propiedades petrofísicas y espesor menor a la arena Y, los pozos 1 y 2 se encuentran completados en la arena Y lentes superior y medio, seleccionada como mejor escenario para iniciar la evaluación por las reservas remanentes y sus propiedades petrofísicas.

Comparando el histórico de producción de los pozos 1 y 2 (figuras 20 y 21), el pozo 1 muestra mayor número de mediciones tanto de corte de agua (puntos azules)

como de crudo (línea verde) aún cuando el comportamiento es bastante errático, existe una tendencia que permite predecir el comportamiento del mismo, caso contrario sucede con el pozo 2, para el cual existe un vacío de información entre Junio de 2005 y Enero 2007, adicionalmente existe muy poca información del año 2007 en adelante, lo cual genera mayor incertidumbre. Es por esto que la estrategia escogida fue la de evaluar el tratamiento de geles espumados en principio en el Pozo 1, dependiendo de los resultados, de no ser exitosa la operación evaluar en el Pozo 2 (arena X) y/o Pozo 3.

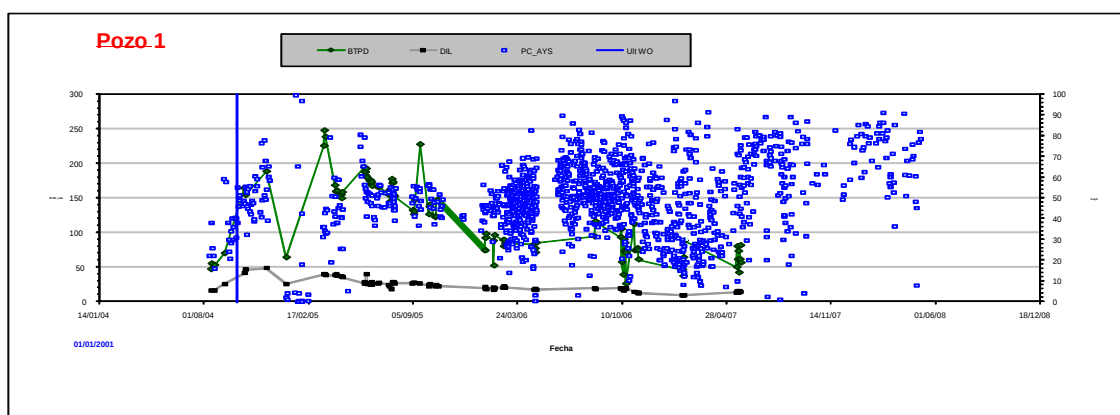


Figura 20. Comportamiento histórico de producción Pozo 1
Fuente: El autor (2009)

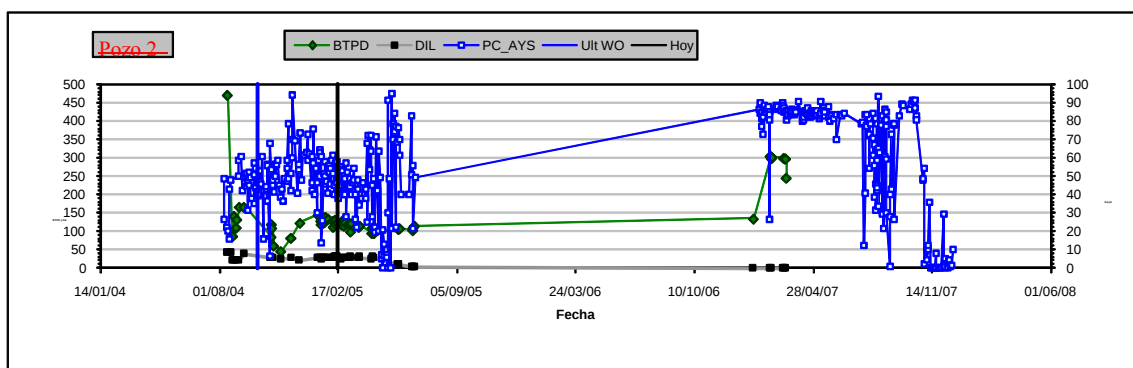


Figura 21. Comportamiento histórico de producción Pozo 2
Fuente: El autor (2009)

Evaluación económica de la opción seleccionada

La rentabilidad definitiva de un proyecto de investigación no puede ser determinada en esta fase del proyecto, debido al alto grado de incertidumbre involucrado en el desarrollo del mismo. En la mayoría de los casos es en etapas avanzadas del proyecto, inclusive después de la ejecución de un número de ensayos y pruebas, cuando se puede tomar la decisión de continuar investigando o detener la investigación y declarar como pérdida el dinero invertido. En este caso existe discernimiento respecto a la estructura presentada por el CII (ver figura 4), donde se sugiere alcanzar un estimado de costo clase II en esta etapa.

Para efectos de fundamentar la solicitud de fondos para realizar la prueba piloto en campo, se procedió a realizar el estimado de costo clase IV que sirvió de insumo para la evaluación económica de la opción seleccionada.

En la Tabla 26 se muestran los costos de los principales de la formulación, los mismos fueron solicitados a distintos proveedores. En base a estos costos se estimó el costo de 1 Barril de gel espumado, considerándose que el 20% del volumen total está compuesto por la química mientras que el 80% por gas. El resultado obtenido fue que el costo de 1 Barril de Gel espumado es de 112\$.

Tabla 26. *Costos de los componentes de los geles espumados*

COSTOS GELES ESPUMADOS		
PRODUCTO	COSTO	
POLIMERO	6,64	\$/Kg.
SURFACTANTE 1	5,26	\$/Kg.
SURFACTANTE 2	7,7	\$/Kg.
ENTRECRUZADOR 1	0,54	\$ Kg/m ³
ENTRECRUZADOR 2	4,2	\$ Kg/m ³
GAS PARA ESPUMAR	4,5	\$

Fuente: El autor (2009)

De acuerdo a la opción seleccionada Pozo 1, se estimó el volumen requerido para el tratamiento del mismo.

En la Tabla 27 se muestran los datos del Pozo 1, y el volumen requerido calculado para el tratamiento, el cual fue de 2198 BLS.

Tabla 27. *Volumen a inyectar en el Pozo 1*

VOLUMEN ESTIMADO A INYECTAR EN UN POZO TÍPICO	
h (pies)	109
Radio de inv (pies)	20
Porosidad (%)	30
Sw	0,3
Rpozo (pies)	0,58
Temp. Yac. °F	150
Total Volumen de gel a inyectar (BLS)	2197,44

Fuente: El autor (2009)

Al multiplicar el costo obtenido para un Barril de Gel espumado, se tiene que para 2198 BLS el costo total es de \$246.113.

Adicionalmente se consideró el costo de la operación de la inyección en campo para un tiempo estimado de 48 horas el cual fue de 78.745 \$ (Bs.F. 169.303), suponiendo que la inyección se realice a una tasa de 1barril por minuto más 12 horas de holgura para realizar la operación (ver tabla 28).

Tabla 28. *Costos operacionales*

EQUIPOS		Bs.F	\$	Cantidad	Bs.F	\$	Total BsF Equiv.
Mudanza, Vestida y Desvestida de							
Unidad de Nitrógeno	Actividad	774	12000	1	774	12000	26574
Unidad de Nitrógeno	HR	83,85	1300	48	4024,8	62400	138184,8
Unidad de Apoyo Equipo de							
Nitrogeno (Pick-Up)	HR	44,221	0	48	2122,608	0	2122,608
Operador de Unidad de Nitrógeno	HR	25,282	0	48	1213,536	0	1213,536
Ayudante de Unidad de Nitrógeno (02)	HR	25,179	0	48	1208,592	0	1208,592
COSTO TOTAL DE LA OPERACIÓN							169.303,54

Fuente: El autor (2009)

La inversión inicial del proyecto implica el tratamiento más la operación de inyección la cuál resultó ser de 324 M\$.

Para la evaluación económica de la prueba se utilizó el *software* oficial de PDVSA denominado Sistema de Evaluaciones Económicas (SEE).

El flujo de trabajo utilizado por el programa se basa en el cálculo del flujo de caja a través de la inversión, ingresos y costos, ingresados por el usuario, los ingresos son obtenidos en base al escenario oficial de precios contenidos en el sistema. De esta manera son calculados el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno

(TIR), finalmente se realiza un análisis de sensibilidad para cada uno de los indicadores y el análisis de riesgo utilizando la simulación de Monte Carlo.

En la figura 22 se muestran los datos básicos introducidos en la pantalla de datos del proyecto, así como los lineamientos de la empresa para evaluar la rentabilidad del proyecto.

PDVSA - Sistema de Evaluaciones Económicas - SEE 6.0

Archivo Configuración Ventana Ayuda

Nombre y Apellido: Reyes, Yamila
Indicador: reysyn@pdvsa.com

Alternativa

Datos del Proyecto

Número de Renglón: 200903060212
Nombre del Proyecto: DESARROLLO DE GELES ESPUMADOS PARA CONTROL DE AGUA EN YACIMIENTOS

Datos de la Alternativa

Nombre de la Alternativa: DESARROLLO DE GELES ESPUMADOS
Plan de Negocio: Escenario de Precios 2009-2021 (OFICIAL - CASO BAJO)

Publicar: ☐
Centro de Costo ISLA:
Paridad Cambiaria (Bs F. US\$): 2,15
Avance Físico (%):
Comentarios:

Horizonte Económico

Año Ejercicio: 2009
Activo: ☒
Año de Aprobación: 2009
Año Base: 2009
Año Moneda: 2009
Año Inicio Operaciones: 2010
Cantidad de Años: 3

Lineamientos Económicos de la Alternativa

Impuestos Municipales (%): 0,00
Aporte Legal (%): 0,00
Impuesto Sobre la Renta (%): 34,00

Tasa de Descuento para el perfil de VPN (%)

Base: 12,00
15,00
20,00
25,00

Tasas para la TIR Modificada (%)

Tasa de Financiamiento (%): 9,00
Tasa de Reinversión (%): 12,00

[Nuevo] [Guardar] [Eliminar] [Imprimir] [Cancelar] [Anterior] [Siguiente] [Regresar]

Listo

Figura 22. Datos básicos del proyecto
Fuente: El autor (2009)

Seguidamente se introdujeron en el sistema los valores de la inversión y costos asociados, así mismo, para una producción esperada de 50 barriles diarios de crudo, de el sistema calculó los ingresos asociados de acuerdo a los precios del crudo para ese campo. Con esta información el sistema generó el flujo de caja del proyecto para un horizonte económico de tres años, el mismo se muestra en la figura 23.



Figura 23. Flujo de Caja del proyecto
Fuente: El autor (2009)

De acuerdo a los resultados obtenidos, la inversión realizada es recuperada para el año 2010, de esta manera se tiene un flujo de caja positivo a lo largo de la vida del proyecto.

En la figura 24 se observa que los indicadores económicos calculados cumplen con los requerimientos mínimos, es decir el Valor Presente Neto es mayor que 0 y la Tasa Interna de retorno es mayor a 15%.

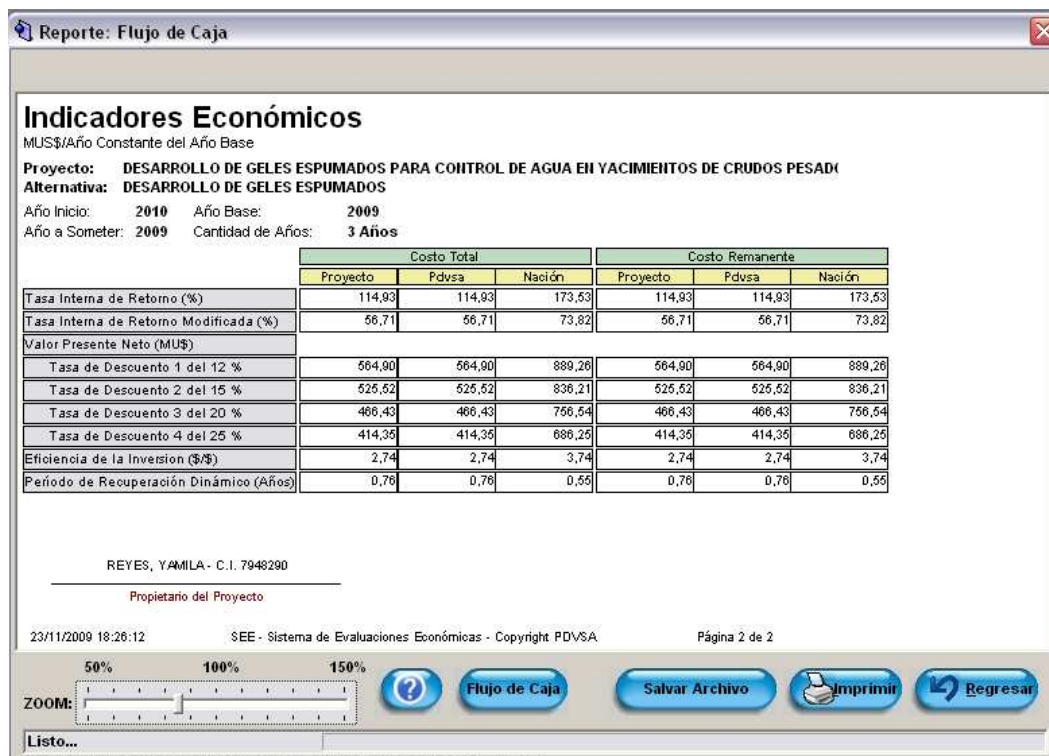


Figura 24. Indicadores económicos de la prueba
 Fuente: El autor (2009)

Análisis de Sensibilidad

Se elaboró el análisis de sensibilidad, el cuál consiste en variar alrededor del caso base, las principales variables del proyecto tales como Inversión, Producción, Precios y Gastos, y se calcula un VPN para cada variación. En este caso se observa que las variables cuya variación ejerce mayor impacto tanto de manera positiva como negativa son la producción y los precios, mientras que el VPN es menos sensible a los gastos y a la inversión.

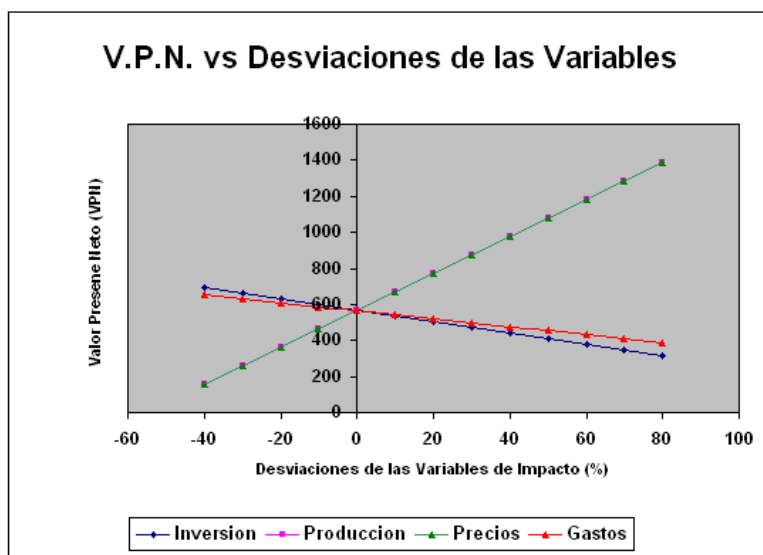


Figura 25. Análisis de sensibilidades del VPN
Fuente: El autor (2009)

Análisis de Riesgo

Finalmente, la simulación de Monte Carlo se realizó a través de las variables inversión, ingreso y costo, al ingreso se le asignó una distribución de probabilidad Normal y a la inversión y costo se le asignó una distribución Lognormal, de acuerdo a los lineamientos de PDVSA. Se utilizó una desviación estándar de 10% y un total de 3000 iteraciones.

Los resultados obtenidos indican el riesgo del proyecto, a través de los histogramas presentados en la figura 26, el primer gráfico indica que de las 3000 iteraciones realizadas, el 28.81% de las veces (valores de VPN) resultaron menores a

cero, de igual forma para la TIR existe un 12.40% de las veces que los valores de la misma sean menores a 15%.

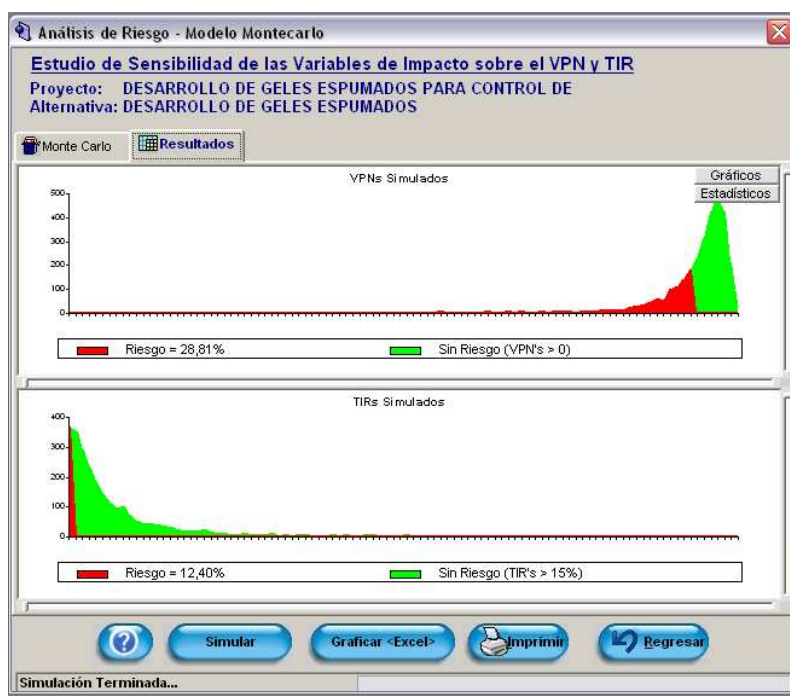


Figura 26. Resultados gráficos de la simulación de Monte Carlo para VPN y TIR
Fuente: El autor (2009)

Capítulo 6. Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Al identificar los aspectos contemplados en la metodología de PDVSA Intevep y en la metodología del CII para evaluar proyectos de innovación tecnológica y realizar la comparación entre ambas, se tienen las siguientes conclusiones:

- Todos los aspectos contemplados en la metodología del CII se encuentran cubiertos en la metodología de PDVSA Intevep, para la fase de visualización.
- La metodología del CII no contempla aspectos considerados de gran relevancia por la metodología de PDVSA-Intevep tales como: elaboración del estado del arte de la tecnología, pruebas preliminares de laboratorio, evaluaciones de riesgos y evaluaciones de conveniencia de protección de propiedad intelectual, en la fase de visualización.
- En la metodología de PDVSA-Intevep no se evidencia una fase conceptualización definida, requerida previamente a la implantación del proyecto.
- La selección de la mejor opción (tecnología y sitio) son factores determinantes en la conceptualización de un proyecto.

- La combinación de ambas metodologías permitió integrar aspectos del ámbito de Gerencia de Proyectos con aspectos considerados en proyectos experimentales, para una mejor conceptualización de los proyectos de IyD.

Al aplicar ambas metodologías al proyecto Desarrollo de geles espumados para control de agua en yacimientos de crudos pesados y extrapesados, se concluye que:

- Los objetivos del proyecto se encuentran claros y alineados con los objetivos estratégicos de la empresa, tal y como lo sugieren ambas metodologías.
- Inicialmente el alcance del proyecto no presentaba una delimitación clara, al aplicar ambas metodologías el mismo fue redefinido y organizado en paquetes de trabajo más manejables a través de la creación de la EDT.
- La tecnología a desarrollar con este proyecto requiere Protección de Propiedad Intelectual nacional e internacional por considerarse una innovación tecnológica.
- La combinación de metodologías, aplicadas en esta investigación permitió seleccionar a la tecnología A para los entrecruzadores, debido al menor impacto ambiental, menores costos de producción y más fácil proceso de obtención. De igual forma permitió seleccionar a la tecnología B como gas para generar la espuma en base a su facilidad de obtención, su capacidad como elemento inerte y su amplia utilización dentro de la industria petrolera.

Recomendaciones

- Aplicar la combinación de las metodologías de PDVSA-Intevep y la del CII en las fases de visualización y conceptualización a proyectos de IyD en PDVSA-Intevep.
- Aplicar una herramienta de medición del grado de definición del alcance, una vez finalizada la fase de conceptualización y previo a las fases de aplicación.
- Asignar por parte de PDVSA-Intevep personal dedicado exclusivamente al proyecto, para un mejor desempeño de las actividades y mayor aprovechamiento de transferencia de la tecnología.
- Seleccionar la mejor opción del sitio empleando la metodología utilizada en este estudio para la selección de la tecnología, de manera de evaluar un universo más amplio de opciones. Esto no fue posible en este trabajo, ya que solo se contó con la disponibilidad de los cuatro pozos estudiados.
- Realizar un diagnóstico más detallado de los pozos candidatos a la aplicación de la tecnología, revisando información importante como registros de cementación, información de pozos vecinos, registros de presión actual, ubicación de los contactos agua petróleo, entre otros.

- Incrementar la interacción con otros entes de investigación públicos o privados para unir esfuerzos en proyectos de investigación que lo ameriten.

Referencias

- Aguado B, Albornoz C, Chang R, Hernández N, Marquina M, Méndez K, Rangel M, Vallejos C, Vásquez H (2002). *Integración geológica, petrofísica y de fluidos para la selección de localizaciones de pozos nuevos para la implantación en campo de la Tecnología MIS. Campo Jobo Morichal*. INT-9367,2002
- Birbal C, (2008). Uso de Geles Espumados en Yacimientos Petrolíferos. CIT-0399,2008.
- Hernández, M, Romero, C, Marín, A, Mejías F y Alvarez, J (2000). Tecnologías para control de agua y gas en producción de petróleo: geles, espumas y geles espumados. *Visión Tecnológica*, 8(1), 49-64.
- Hernández R, Fernández C, Baptista P (2006). *Metodología de la investigación*. (4ta. ed.). México. Mc. Graw Hill.
- Laboratoire National de Métrologie et D' Essais*. Recuperado en Noviembre 25, de 2009 de:
http://www.lne.fr/en/r_and_d/digital-optical-research/archiving-digital-gis-don.asp#optical
- Real Academia Española, Recuperado en Junio 08, 2009 de: <http://buscon.rae.es/draeI>
- Palacios A, L. (2005). *Gerencia de proyectos. Un enfoque latino* (3ra. ed.), Caracas, Universidad Católica Andrés Bello.

Petróleos de Venezuela S.A. (1999) *Guías de Gerencia para Proyectos de Inversión de Capital*.(Rev- 1).

Petróleos de Venezuela S.A. (2006, Octubre) *Evaluación de esquemas de operación Opciones de ubicación*. Presentación de resultados de evaluación y selección del sitio de implantación del proyecto acondicionamiento de gas y líquido. Anaco, Venezuela.

Petróleos de Venezuela S.A. (2007). *Metodología para ejecutar y documentar proyectos de investigación y desarrollo en Intevep. Procedimiento Nro. INT- PG-201*.

Petróleos de Venezuela S.A. Sitio Oficial de Petróleos de Venezuela, S.A. Recuperado en Abril 27, 2009 de:
http://intranet.pdvsa.com/portal_corporacion/negocios/exploracion-produccion/planes/planes-produccion

Petróleos de Venezuela S.A. Sitio Oficial de Petróleos de Venezuela, S.A.

Recuperado en Junio 05, 2009 de:

http://intranet.pdvsa.com/portal_corporacion/filiales/intevep/quienes-somos.

Project Management Institute (2008). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*. (4ta. Ed.), Pennsylvania, Project Management Institute, Inc.

Universidad Pedagógica Experimental Libertador. (2003) *Manual de trabajos de grado, de especialización y maestría y tesis doctorales* (3ra ed.), Caracas, Fondo Editorial de la UPEL.

Velazco J, (2007). Gerencia de proyectos de innovación tecnológica. Caracas, Universidad Católica Andrés Bello.

Yáber, G y Valarino, E (2003) *Tipología, fases y modelo de gestión para la investigación de postgrado en Gerencia*. Caracas.

Yedigis, B.L y Weinback, R.W (2005), *Using existing knowledge*, Nueva York, Oxford University Press.