



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**PLANEACIÓN Y CONTROL DE LA INGENIERÍA,  
PROCURA Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA  
PILOTO DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS  
SÓLIDOS ORGÁNICOS MUNICIPALES.**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERA QUÍMICA**

**PRESENTA  
JULIETA GARCÍA CHIRINO**

**TUTOR:  
DR. ALFONSO DURÁN MORENO**



**México, D.F.**

**2015**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



---

## **JURADO ASIGNADO**

PRESIDENTE: Ing. José Antonio Ortiz Ramírez

VOCAL: Dr. Alfonso Durán Moreno

SECRETARIO: Dr. José Agustín García Reynoso

1er. SUPLENTE: Sergio Adrián García González

2do. SUPLENTE: Luz María Lazcano Arriola

Sitio donde se desarrolló el tema:

3er. Piso, Ala Sur Torre de Ingeniería, Ciudad de México

ASESOR DEL TEMA: \_\_\_\_\_

Dr. Alfonso Durán Moreno

SUSTENTANTE: \_\_\_\_\_

Julieta García Chirino



## ÍNDICE DE CONTENIDO

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 1.     | Resumen .....                              | 12 |
| 2.     | Introducción .....                         | 13 |
| 2.1.   | Justificación .....                        | 13 |
| 2.2.   | Objetivo General.....                      | 14 |
| 2.3.   | Objetivos particulares .....               | 14 |
| 2.4.   | Alcances .....                             | 15 |
| 2.5.   | Metodología.....                           | 15 |
| 3.     | Marco Teórico.....                         | 16 |
| 3.1.   | Definición de Proyecto.....                | 16 |
| 3.1.1. | Origen de un proyecto .....                | 17 |
| 3.2.   | Ciclo de vida de un Proyecto .....         | 18 |
| 3.3.   | Administración de proyectos .....          | 20 |
| 3.3.1. | Inicio .....                               | 22 |
| 3.3.2. | Planeación .....                           | 23 |
| 3.3.3. | Organización.....                          | 25 |
| 3.3.4. | Ejecución .....                            | 27 |
| 3.3.5. | Control .....                              | 28 |
| 3.3.6. | Cierre .....                               | 29 |
| 4.     | Gestión de actividades de un proyecto..... | 31 |
| 4.1.   | Integración del proyecto .....             | 33 |



|             |  |    |
|-------------|--|----|
| <b>4.2.</b> | Alcance.....   | 34 |
| <b>4.3.</b> | Gestión del tiempo.....                              | 35 |
| 4.3.1.      | Planificación de la Gestión del Cronograma .....     | 35 |
| 4.3.2.      | Definición de las Actividades .....                  | 37 |
| 4.3.3.      | Secuencia de Actividades.....                        | 40 |
| 4.3.4.      | Estimación de los Recursos de las Actividades.....   | 43 |
| 4.3.5.      | Estimación de la Duración de las Actividades .....   | 43 |
| 4.3.6.      | Desarrollo del Cronograma.....                       | 45 |
| 4.3.7.      | Control del Cronograma .....                         | 46 |
| <b>4.4.</b> | Calidad .....  | 47 |
| <b>4.5.</b> | Recursos humanos.....                                | 49 |
| 4.5.1.      | Planificación de los recursos humanos.....           | 50 |
| 4.5.2.      | Herramientas para la planificación de recursos ..... | 51 |
| 4.5.3.      | Creación del equipo de trabajo .....                 | 54 |
| <b>4.6.</b> | Comunicaciones .....                                 | 55 |
| 4.6.1.      | Gestión de las comunicaciones .....                  | 56 |
| <b>4.7.</b> | Costos .....   | 57 |
| 4.7.1.      | Planificación de costos .....                        | 58 |
| 4.7.2.      | Estimación de costos .....                           | 59 |
| 4.7.3.      | Determinación del presupuesto .....                  | 61 |
| 4.7.4.      | Control de gastos.....                               | 61 |
| <b>4.8.</b> | Gestión de adquisiciones .....                       | 63 |
| 4.8.1.      | Decisión de compra .....                             | 65 |



|              |  |           |
|--------------|--|-----------|
| 4.8.2.       | Control de las adquisiciones.....  | 66        |
| 4.8.3.       | Cierre de adquisiciones .....  | 68        |
| <b>4.9.</b>  | <b>Gestión de riesgos.....</b>   | <b>68</b> |
| 4.9.1.       | Identificación de riesgos .....  | 71        |
| 4.9.2.       | Análisis cualitativo de riesgos .....  | 72        |
| 4.9.3.       | Análisis cuantitativo de riesgos.....  | 74        |
| 4.9.4.       | Respuesta a los riesgos .....  | 76        |
| 4.9.5.       | Control de riesgos.....  | 78        |
| <b>4.10.</b> | <b>Stakeholders (interesados).....</b>   | <b>79</b> |
| <b>5.</b>    | <b>Descripción del proyecto de una Planta Piloto de Tratamiento de Residuos Sólidos Orgánicos Municipales.....</b> | <b>81</b> |
| 5.1.         | Antecedentes del proyecto .....  | 81        |
| 5.2.         | Alcance de la propuesta .....  | 82        |
| 5.3.         | Objetivos del proyecto .....   | 90        |
| 5.4.         | Programa de ejecución.....   | 91        |
| 5.5.         | Productos comprometidos.....   | 94        |
| 5.6.         | Equipo de trabajo .....  | 96        |
| 5.7.         | Estimación de riesgos .....  | 97        |
| <b>6.</b>    | <b>Diagnóstico de la ejecución del proyecto caso de estudio .....</b>  | <b>98</b> |
| 6.1.         | Integración del proyecto .....   | 98        |
| 6.2.         | Gestión del alcance .....  | 103       |
| 6.3.         | Gestión del tiempo.....  | 104       |
| 6.3.1.       | Actividad 1 .....  | 105       |



|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 6.3.2. | Actividad 2 .....                       | 106 |
| 6.3.3. | Actividad 3 .....                       | 107 |
| 6.3.4. | Actividad 4 .....                       | 108 |
| 6.3.5. | Actividad 5 .....                       | 108 |
| 6.3.6. | Actividad 7 .....                       | 108 |
| 6.3.7. | Actividad 8 .....                       | 112 |
| 6.4.   | Gestión de la calidad .....             | 114 |
| 6.5.   | Recursos humanos.....                   | 115 |
| 6.6.   | Comunicaciones .....                    | 116 |
| 6.7.   | Gestión de costos .....                 | 117 |
| 6.8.   | Gestión de adquisiciones .....          | 118 |
| 6.9.   | Gestión de riesgos.....                 | 119 |
| 6.10.  | Stakeholders .....                      | 119 |
| 7.     | Propuesta de planeación y control ..... | 121 |
| 7.1.   | Planeación.....                         | 123 |
| 7.1.1. | Gestión del alcance .....               | 124 |
| 7.1.2. | Gestión del tiempo.....                 | 126 |
| 7.1.3. | Gestión de la calidad .....             | 128 |
| 7.1.4. | Gestión de los recursos humanos .....   | 129 |
| 7.1.5. | Gestión de la comunicación.....         | 131 |
| 7.1.6. | Gestión de costos .....                 | 133 |
| 7.1.7. | Gestión de adquisiciones.....           | 134 |
| 7.1.8. | Gestión de riesgos.....                 | 139 |



---

|      |                               |     |
|------|-------------------------------|-----|
| 7.2. | Control del proyecto .....    | 143 |
| 7.3. | Cierre del proyecto .....     | 149 |
| 8.   | Discusión de resultados ..... | 153 |
| 9.   | Conclusiones.....             | 154 |
| 10.  | Bibliografía .....            | 155 |
| 11.  | anexos.....                   | 157 |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |     |
|---|-----|
| Figura 1. Metodología de trabajo .....  | 15  |
| Figura 2. Secuencia típica de fases en el ciclo de vida de un proyecto (PMBOK, 2013) .....                      | 19  |
| Figura 3. Etapas generales en la administración de proyectos (PMBOK, 2013) .                                    | 21  |
| Figura 4. Descripción de la ejecución (PMBOK, 2013).....  | 27  |
| Figura 5. El cierre de un proyecto (Gómez Fuentes, 2012).....   | 30  |
| Figura 6. Áreas de conocimiento (PMBOK, 2013).....  | 32  |
| Figura 7. Actividades de la ingeniería de proceso (Texta Mena, 2012).....                                       | 38  |
| Figura 8. Tipos de relaciones modelo de diagramación por procedencia (PMBOK, 2013) .....                        | 41  |
| Figura 9. Diagrama de red del cronograma (PMBOK, 2013).....   | 42  |
| Figura 10. Diagrama jerárquico (PMBOK, 2013) .....  | 52  |
| Figura 11. Diagrama matriciale (PMBOK, 2013) .....  | 53  |
| Figura 12. Formatos de texto (PMBOK, 2013) .....  | 53  |
| Figura 13. Proceso de gerencia de riesgos (FERMA, 2003) .....   | 70  |
| Figura 14. Análisis cualitativo de riesgos (TenStep, 2012).....   | 73  |
| Figura 15. Método What if? (Leza, 2010) .....   | 73  |
| Figura 16. Cronograma de ejecución de la 1a etapa del proyecto. (Proyecto 174710, FORDECyT-CONACyT, 2011) ..... | 92  |
| Figura 17. Cronograma de ejecución de la 2ª etapa del proyecto. (Proyecto 174710, FORDECyT-CONACyT, 2011) ..... | 93  |
| Figura 18. Organigrama del equipo de trabajo (Proyecto 174710, FORDECyT-CONACyT, 2011) .....                    | 96  |
| Figura 19. Curva de Avance de la Ingeniería .....   | 109 |



---

|  |     |
|--|-----|
| Figura 20. Metodología para el diseño de la ingeniería.....              | 110 |
| Figura 21. Curva de avance de las Adquisiciones.....                     | 111 |
| Figura 22. Curva de Avance de la Construcción .....                      | 113 |
| Figura 23. Características del gerente de proyecto (Chamoun, 2002) ..... | 129 |
| Figura 24. Matriz de riesgos. ....                                       | 143 |
| Figura 25. Herramientas de control. Adaptación (Chamoun, 2002).....      | 145 |
| Figura 26. Valor planeado .....  | 147 |
| Figura 27. Valor ganado .....  | 148 |
| Figura 28. Costo real .....  | 149 |
| Figura 29. Metodología.....  | 150 |



## **GLOSARIO DE SIGLAS Y TÉRMINOS**

|           |  |
|-----------|--|
| RSOM:     | Residuos Sólidos Orgánicos Municipales   |
| RSO:      | Residuos Sólidos Orgánicos   |
| PMBOK:    | Project Management Body of Knowledge   |
| CONACyT:  | Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología   |
| FORDECyT: | Fondo Institucional del Fomento Regional para el Desarrollo Científico y Tecnológico |
| WBS:      | Work Breakdown Structure   |
| PMI:      | Project Management Institute   |
| IMPA:     | International Management Project Association   |
| AIMP:     | Australian Institute of Management Project   |
| CPM:      | Critical Path Method   |
| CCM:      | Critical Chain Method  |
| IRM:      | Institute of Risk Management   |
| PUMA:     | Programa Universitario del Medio Ambiente  |
| IIS:      | Instituto de Investigaciones Sociales  |
| II:       | Instituto de Ingeniería  |



## 1. Resumen

El presente trabajo de tesis tiene como finalidad establecer una metodología que permita un mejor uso de recursos para la construcción de una planta piloto de tratamiento de residuos sólidos orgánicos municipales. Haciendo uso de las herramientas de planificación y control de la administración de proyectos para una mejor gestión desde el surgimiento, planeación, ejecución, hasta la construcción.

En todo Proyecto es indispensable la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas para el adecuado desarrollo de cada una de las actividades comprendidas dentro del alcance, programa y costos de la instalación, producto o servicio a realizar.

Dada la participación de diferentes actores, tanto internos como externos, entre especialidades de construcción, procura y operación, es necesario poder llevar a cabo un monitoreo de todas las actividades planificadas para verificar que el desarrollo del proyecto se cumpla y eliminar con ello, desviaciones que impidan la construcción de una planta piloto que contribuye a alcanzar los objetivos primarios de desarrollo de tecnologías sustentables.

Mediante el análisis del proyecto de construcción una Planta Piloto de Tratamiento de Residuos Sólidos Orgánicos Municipales, se pretende realizar una comparativa entre los resultados obtenidos hasta el momento y los esperados, con base en la planificación inicial, además de establecer una propuesta metodológica que permita una optimización de los recursos.

Asimismo, deberá permitir el desarrollo de lecciones aprendidas del proyecto que puedan incluso ser útiles para el desarrollo tanto de términos de referencia como de bases de diseño para el escalamiento de este tipo plantas a instalaciones de nivel industrial.



## **2. Introducción**

A continuación se presenta la justificación que origina este trabajo, así como los objetivos y el alcance que persigue.

### **2.1. Justificación**

Debido al problema actual referente a la desmedida generación de residuos en las ciudades y estados y a su ineficiente e inadecuada disposición, es necesario brindar una solución que contribuya con su disminución. Es por ello que es de gran importancia el desarrollo de infraestructura para la valoración de residuos sólidos orgánicos ya que se obtendrán grandes beneficios con la implementación de esta tecnología, permitiendo la disminución de residuos y aprovechándose a su vez los subproductos obtenidos.

Siendo este tipo de proyecto una innovación en nuestro país y dado que cada proyecto es una empresa única en su género, existen siempre dificultades en cuanto a la definición del trabajo, asignación de responsabilidades, presupuesto, tiempo, entre otros. En todo proyecto, es necesario llevar a cabo una gestión administrativa que suministre un enfoque de solución a los diversos problemas que se presentan.

Por esta situación debe hacerse gran énfasis en el trabajo de planeación y control de las actividades, donde se requiere de una estructura organizacional y una serie de técnicas que permitan la optimización de los recursos involucrados en todas las áreas y etapas.

Para el caso de estudio de la Planta Piloto de Tratamiento de Residuos Sólidos Orgánicos Municipales, se pretende establecer una metodología que involucre una



planeación, programación, dirección y control de los recursos asignados con mayor efectividad, desde la ingeniería básica hasta la construcción de la planta, haciendo una comparativa entre los resultados obtenidos hasta el momento basados en la organización establecida y los resultados esperados de acuerdo con las técnicas y herramientas propuestas, con el fin de que tal retroalimentación pueda ser de utilidad para el escalamiento de dicha planta o inclusive para otros proyectos de plantas piloto.

## **2.2. Objetivo General**

Elaborar una metodología para el desarrollo de la planeación y el control enfocado en la ingeniería, procura y construcción de plantas de tratamiento de residuos sólidos orgánicos urbanos, empleando herramientas de la administración de proyectos.

## **2.3. Objetivos particulares**

- Establecer la línea base del proyecto de una planta piloto de tratamiento de residuos sólidos orgánicos municipales basándose en las herramientas de la administración de proyectos para monitorear y controlar el alcance de la ingeniería, procura y construcción de la planta.
- Determinar los factores que influyeron en la desviación de la planificación general del proyecto, analizando los resultados obtenidos para hacer una propuesta de mejora.



- Proponer un plan para una mejor gestión de proyecto enfocado en la ingeniería, procura y construcción de plantas de tratamiento de residuos sólidos orgánicos urbanos, permitiendo un mayor aprovechamiento de los recursos involucrados.

## 2.4. Alcances

Elaborar un diagnóstico del desempeño del caso de estudio, para identificar las debilidades que pueden considerarse áreas de oportunidad. Generar una metodología para una mejor administración de proyectos, enfocándose en el desarrollo de la ingeniería, procura y construcción.

## 2.5. Metodología

Para la elaboración de este trabajo se definió la metodología de la Figura 1

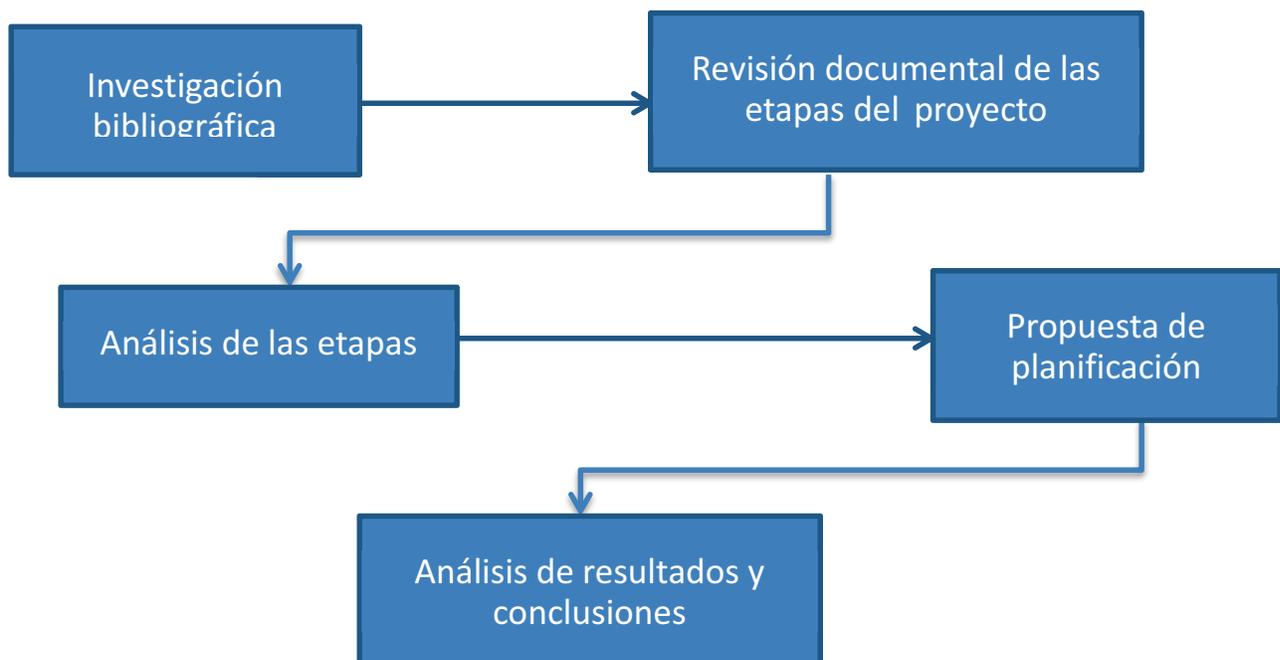


Figura 1. Metodología de trabajo



### **3. Marco Teórico**

En el siguiente apartado se define el concepto de proyecto, se habla sobre su origen y componentes, así como de la administración de proyectos en general, para su elaboración, se consultaron a diferentes autores como: Amendola (2002), Carbajal-Moreno (2008), David (2008), García Magaña (2001), entre otros, además el manual de PMBOK (2013).

#### **3.1. Definición de Proyecto**

Existen diferentes definiciones de lo que es un proyecto, pero en general puede decirse que es un esfuerzo temporal cuya finalidad es crear un producto, servicio o resultado único, mediante un conjunto de actividades organizadas metodológicamente, elaboradas de forma gradual, que buscan satisfacer una necesidad y para ello se cuentan con recursos limitados. Se lleva a cabo en cualquier nivel de organización involucrando desde una persona hasta miles y puede ser realizando en una semana, meses o inclusive años; teniendo como propósito alcanzar un objetivo o serie de objetivos establecidos.

Su naturaleza temporal es una característica fundamental que implica un comienzo y final definido. Dicho final se alcanza cuando han sido cubiertos o satisfechos todos los objetivos propuestos o en su defecto cuando se tiene la certeza de que estos no se pueden cumplir. El término temporal no es aplicable generalmente al producto, servicio o resultado obtenido puesto que en su mayoría los proyectos buscan que sus resultados sean duraderos.

Otra característica importante es la obtención de productos, servicios o resultados únicos ya que sin importar que existan similares cada uno tiene una finalidad y



producto específico en su tipo. En el caso de productos o artículos producidos, estos pueden ser cuantificables y formar parte de otro producto como componente. Si se trata de la capacidad de prestar un servicio, la producción será respaldada por los resultados obtenidos, ya sean documentos generados, funciones de negocio, entre otras.

Aunado a ser único y temporal, se encuentra la elaboración gradual, ésta se refiere al desarrollo en pasos, los cuales tienden a incrementar conforme el proyecto se vuelve más explícito y detallado de acuerdo con los objetivos y entregables.

### **3.1.1. Origen de un proyecto**

Un proyecto surge a partir de una idea originada por una necesidad, problema u oportunidad. Dicha necesidad puede ser aquella que está siendo atendida de manera ineficiente o puede ser alguna otra que existiendo no ha sido atendida. La primera implica un producto conocido o al menos uno del que se tiene información suficiente, mientras que en el segundo caso puede que se requiera una considerable cantidad de desarrollo y diseño creativo para poder obtener el resultado que se busca. Es importante examinar las nuevas tecnologías, los avances científicos y tecnológicos ya que permiten crear nuevas oportunidades para desarrollo de proyectos industriales.

En general las necesidades a partir de las que se originan los proyectos pueden ser:

- Respuesta a la demanda del mercado
- Respuesta a las necesidades de negocio
- Respuesta a los requerimientos del cliente
- Respuesta a un avance tecnológico



- Respuesta a un requerimiento legal
- Respuesta a una demanda social

Quien tiene el mayor interés en que se realice el proyecto, es el cliente o interesado (stakeholders), quien proporciona los fondos necesarios para ello; puede ser una persona, grupo de personas, una organización u organizaciones. El término cliente no se limita únicamente a quien proporciona los recursos, sino también a otras personas que tienen participación, como las personas que serán los usuarios finales del objetivo del proyecto.

### **3.2. Ciclo de vida de un Proyecto**

Para facilitar la ejecución de un proyecto es indispensable que éste se divida en etapas o fases de acuerdo con las operaciones a realizar. Al conjunto de estas fases se le conoce como Ciclo de Vida del Proyecto donde se definen las actividades que conectan el inicio de un proyecto con su fin.

Definir las fases del proyecto es de gran utilidad en la planeación de la ejecución del mismo ya que éstas suministrarán el soporte para fijar parámetros de calidad, definir presupuestos y programas de realización de las actividades, así como señalar las oportunas revisiones del trabajo en curso y asignar tanto recursos humanos como materiales. Dentro de los ciclos de vida el número de fases involucradas es muy variado, algunos proyectos pueden tener entre cuatro y cinco fases, mientras que otros pueden llegar a nueve o más, pero en general se utiliza una secuencia como se muestra en la Figura 2.

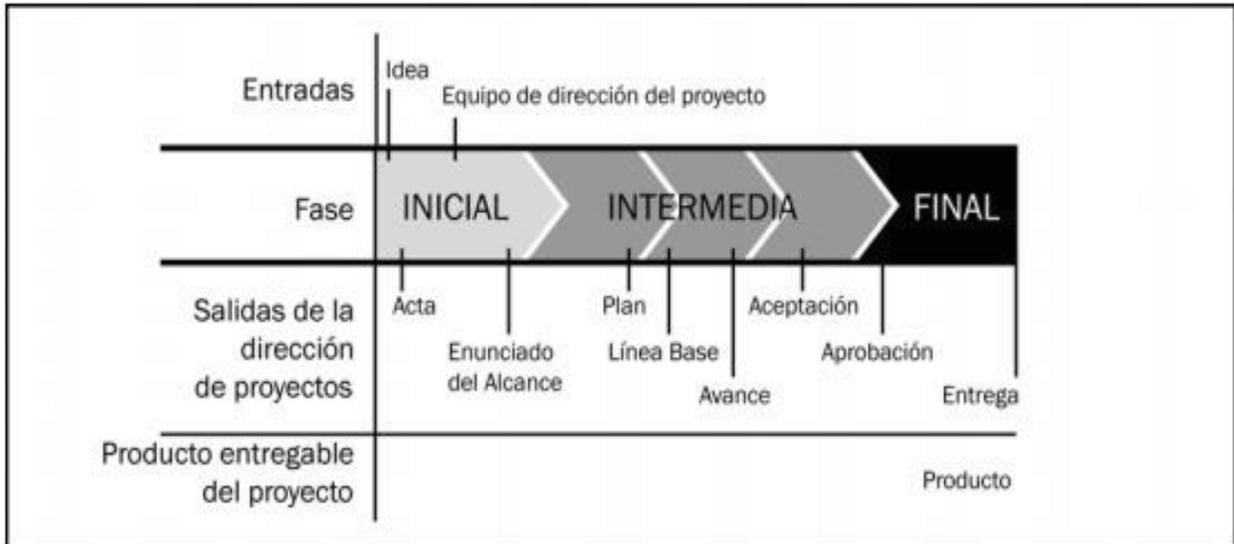


Figura 2. Secuencia típica de fases en el ciclo de vida de un proyecto (PMBOK, 2013)

Cada fase está compuesta por una serie de entregables o productos que generalmente son parte de un proceso secuencial, diseñado para asegurar el control y así lograr el objetivo deseado, la aprobación o validez de éstos caracteriza a una fase de otra.

Un entregable o WBS por sus siglas en inglés (*Work Breakdown Structure*) es un producto de trabajo que se puede medir y verificar, siendo una especificación, informe de estudio, documento de diseño, entre otros. Estos productos pueden ser complementos de un entregable o un entregable como tal. Los entregables cuentan con dos componentes:

1. El resultado, es decir, el producto del trabajo que se llevó a cabo, como por ejemplo, la determinación del alcance del proyecto, el estimado de costo, entre otros.
2. La documentación de soporte



Las fases de cualquier tipo de proyecto se pueden subdividir en función del tamaño, la complejidad, el nivel de riesgo, entre otras. Cada subfase se puede alinear con uno o más productos entregables específicos para el seguimiento y control, cada producto de las subfases está relacionado con el entregable de la fase principal, dándole el nombre a la fase a partir del título de los productos entregables, tales como: requisitos preliminares, diseño, construcción, prueba, puesta en marcha, entre otros, según corresponda.

Cada fase concluye con la revisión del trabajo logrado, se determina si se acepta el entregable o si es necesario trabajo adicional para poder considerar cerrada esa fase. Puede presentarse el caso de cerrar una fase sin dar inicio a otra o lo contrario, dar inicio a una nueva fase sin que la anterior haya sido concluida. Las revisiones al final de cada fase se conocen como: salidas de fase, entradas a la fase o puntos de cancelación.

### **3.3. Administración de proyectos**

La administración de proyectos es una herramienta útil que proporciona un enfoque de solución a los complejos problemas de orden administrativo que se presentan en el desarrollo de proyectos de cualquier tipo, tratándolos mediante un esfuerzo unificado y multidisciplinario.

Entre las principales razones por las que se desarrolló un concepto de administración de proyectos, es debido a que las formas tradicionales de estructura organizacional y técnicas administrativas no manejan el trabajo con efectividad.

Se puede definir de manera general a la Administración de proyectos como la planeación, programación, dirección y control de los recursos de una compañía asignada a un proyecto con un tiempo determinado de ejecución, para la realización de metas y objetivos específicos.

Así pues, el objetivo de la administración de proyectos se centra en hacer más eficiente y efectivo el uso de los recursos como la mano de obra, equipos, servicios, materiales, capital e información, de manera tal que los objetivos puedan ser alcanzados dentro del presupuesto, programa y nivel deseado de especificación, considerando además todos los factores cambiantes de los diferentes ámbitos involucrados.

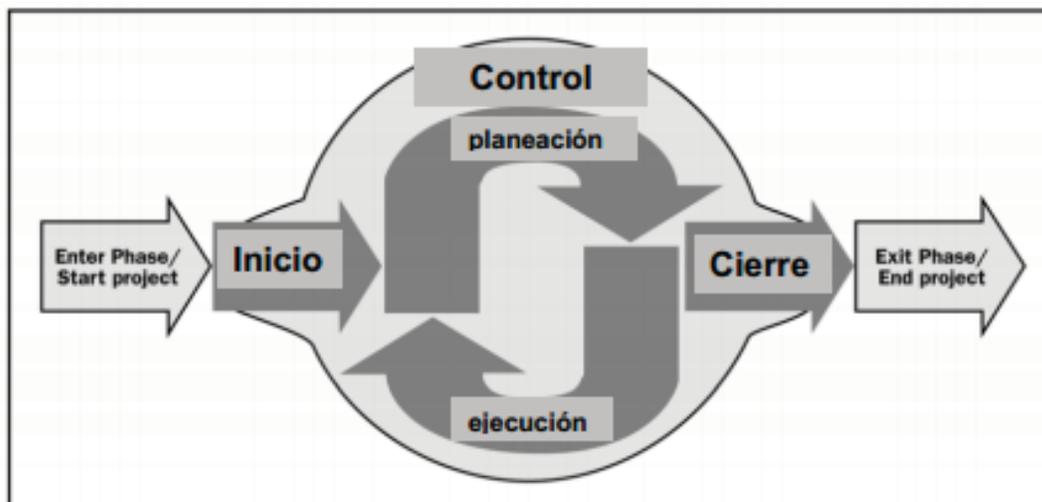


Figura 3. Etapas generales en la administración de proyectos (PMBOK, 2013)



El proyecto se puede dividir en etapas generales que faciliten la dirección, planificación y control, como se muestra en la Figura 3 todo proyecto cuenta con un **Inicio, Planeación, Ejecución, Control y Cierre**, más adelante se describirán cada una de estas. La necesidad de establecerlas y el grado de control aplicado dependen del tamaño, complejidad e impacto potencial del proyecto.

El éxito de los proyectos es una función de muchos parámetros, no solamente de la efectividad del uso de recursos. Algunos elementos clave que influyen en gran medida son también, la gente que participa en el desarrollo, la estrategia a seguir y la correcta ejecución que se lleve a cabo.

### **3.3.1. Inicio**

En el proceso de iniciación se autoriza de manera formal el comienzo de un proyecto, poniendo en claro que se debe lograr con éste. Se define el alcance inicial, se conforma el equipo de trabajo, se establecen los recursos que se requerirán a lo largo de su desarrollo y se documentan las restricciones y parámetros iniciales.

En esta primera etapa, se desarrollan dos pasos fundamentales:

- 1) Acta constitutiva: este paso está directamente relacionado con la autorización formal del proyecto. Se documentan las necesidades de negocio y del producto, servicio o resultado que se pretende obtener.
- 2) Desarrollo del alcance de proyecto (preliminar): se elabora un enunciado como definición preliminar de hasta donde se quiere llegar dentro del proyecto, la metodología que se va a utilizar, el tiempo y los recursos con que se va a realizar.



### 3.3.2. Planeación

La planeación, de manera general puede describirse como la función de establecer las actividades necesarias para alcanzar los objetivos o metas esperadas; sigue un curso de acción de éstas para la toma de decisiones. De esta manera define además de las actividades y acciones, el tiempo de realización, costo estimado y tareas por realizar, lo cual resultará en un exitoso cumplimiento de los objetivos.

En esta etapa se recoge la información de varias fuentes, se identifica, define y madura el alcance del proyecto, entre otras actividades fundamentales para saber hasta dónde se quiere llegar. En medida que se obtenga información adicional sobre el proyecto, se identificarán nuevos requisitos, riesgos, oportunidades y restricciones, que se utilizan para nuevos análisis y acciones de seguimiento.

Durante la planificación el equipo del proyecto debe involucrar a todos los interesados que corresponda, de acuerdo con su influencia, participación y resultados. Las habilidades y conocimientos de los participantes deben ser aprovechados en el desarrollo del proyecto para crear un entorno en donde cada uno pueda contribuir apropiadamente.

La siguiente lista identifica los procesos que se deben abordar durante la planeación, para decidir si es necesario realizarlos y quién será el encargado de hacerlos.

1. **Desarrollo del plan de gestión del proyecto:** es indispensable para definir, preparar, integrar y coordinar todos los planes subsidiarios en la administración del proyecto. Este plan de gestión será la fuente principal de



información para establecer como se ejecutará, supervisará, controlará y cerrará el proyecto.

2. **Planificación del alcance:** es necesario documentar como se definirá, verificará y controlará el alcance, planteando como se creará y definirá la estructura de desglose del trabajo.
3. **Definición del alcance:** es el proceso necesario para desarrollar un enunciado detallado del alcance del proyecto, estableciendo hasta donde se desea llegar, es una base para futuras decisiones.
4. **Definición de las actividades:** se realiza una identificación de las actividades específicas que tienen que realizarse para producir los entregables del proyecto.
5. **Secuencia de actividades:** se identifican y documentan las dependencias entre las actividades.
6. **Estimación de recursos:** se deben estimar los tipos y cantidades de recursos necesarios para realizar cada actividad.
7. **Duración de las actividades:** se estima la cantidad de tiempo laboral que se requerirá para completar cada actividad.
8. **Desarrollo del cronograma:** es necesario analizar las secuencias de las actividades, su duración, los requisitos y las restricciones para crear un cronograma que abarque todos los aspectos del proyecto.
9. **Estimación de costos:** se desarrolla una aproximación de costos de los recursos necesarios.
10. **Preparación del presupuesto:** es la suma de todos los estimados de las actividades individuales para poder establecer una línea base de costo.



11. **Planificación de la calidad:** dependiendo del tipo de proyecto y de la relevancia que la calidad pueda tener en este, se determina como satisfacer los estándares.
12. **Planificación de los recursos humanos:** se identifican y documentan los roles dentro del equipo de trabajo, las responsabilidades y las relaciones de comunicación.
13. **Planificación de la gestión de riesgos:** se decide cómo abordar, planificar y ejecutar las actividades que impliquen algún riesgo para el proyecto.
14. **Identificación de riesgos:** se documentan las características y afectaciones que puedan tener sobre el proyecto los riesgos.
15. **Análisis cualitativo de riesgos:** se realiza una priorización de los riesgos para evaluar y combinar la probabilidad de ocurrencia y el impacto.
16. **Respuesta a los riesgos:** se desarrollan las opciones y acciones para mejorar las oportunidades y reducir las amenazas a los objetivos.
17. **Planificación de compras y adquisiciones:** se establecen los tiempos de compra y la mejor manera de adquirir los bienes involucrados.
18. **Planificar la contratación:** es necesario documentar los requisitos de los productos, servicios y resultados, para poder identificar a los posibles vendedores.

### 3.3.3. Organización

La organización, se puede definir como el establecimiento de relaciones afectivas de comportamiento entre personas, de manera que puedan trabajar juntas con eficacia. Se espera obtener más que la suma de los esfuerzos individuales del



equipo de trabajo, se quiere lograr un sinergismo, el cual es la acción simultánea de las unidades individuales, que juntas proporcionan un efecto mayor a la suma de los componentes individuales.

Implica una estructuración jerárquica de las tareas y actividades involucradas donde se permite establecer los niveles de responsabilidad.

Para que se pueda establecer una organización formal es recomendable:

- Conocer ampliamente los objetivos que se desean lograr;
- Establecer las fases y subfases de acuerdo a su importancia, similitud o tiempo de realización, etc.;
- Definir las obligaciones y proporcionar los medios físicos para cada actividad o grupo de actividades;
- Asignar personal calificado o potencialmente desarrollable;
- Mantener una comunicación constante respecto al estado en que se encuentra cada actividad:

Para que la estructura organizacional resulte, ciertos errores comunes deben ser evitados como:

- No definir correcta y oportunamente la jerarquía de autoridad;
- Errores al asignar responsabilidades sin conceder autoridad necesaria para lograrlas;
- No considerar el alcance establecido en la planeación, tomando en cuenta las características del trabajo y la disponibilidad de los recursos humanos y materiales;



- La sobre organización, que puede complicar la estructura a través de un número excesivo de niveles, entorpeciendo el logro eficiente del cumplimiento de tareas.

### 3.3.4. Ejecución

La ejecución se compone de los procesos utilizados para completar el trabajo que se definió en la planeación, implica la coordinación de personas y recursos, de igual forma, integra y realiza las actividades asignadas de acuerdo con el plan de gestión y con el alcance como se aprecia en la Figura 4.



Figura 4. Descripción de la ejecución (PMBOK, 2013)



La ejecución consiste en dirigir las diversas interfaces técnicas y de organización que existen dentro de un proyecto, se recoge información sobre el estado de los productos entregables para informar del rendimiento que se tiene. La ejecución se encarga de ciertos pasos fundamentales como son:

- Dirigir y gestionar, tanto las entradas como las salidas de productos entregables que se realizan a lo largo del proyecto;
- Aseguramiento de la calidad, es necesario garantizar que el proyecto utilice todos los procesos necesarios para satisfacer los requisitos;
- Equipo del proyecto, se deben obtener los recursos humanos necesarios que contribuyan con diferentes habilidades y aptitudes al desarrollo del proyecto;
- Desarrollo del equipo, es indispensable que el equipo de trabajo tenga una interacción adecuada para mejorar las competencias y lograr un mayor rendimiento;
- Distribución de la información, deben haber fuentes de información que estén a disposición de los interesados para ser utilizadas en cualquier momento.

### **3.3.5. Control**

El control consiste en asegurar que el desempeño global de las actividades ocurra de acuerdo con lo planeado. Se encarga de medir el proceso, evaluando lo que falta por hacer y lo que ha sido hecho para tomar las acciones correctivas necesarias para alcanzar los objetivos. Consta de tres pasos fundamentales:



**Medir:** determina el grado de progreso que se tiene hacia el alcance de los objetivos mediante reportes del estado del trabajo.

**Evaluar:** es la determinación de la causa y posible modo de actuar sobre significantes desviaciones de lo planeado.

**Corregir:** es tomar la acción sobre el desempeño desfavorable para minimizar o eliminar los errores que se puedan producir en los resultados esperados.

En general se vigilan las desviaciones del plan, se analizan las acciones correctivas, se reciben y evalúan los cambios solicitados, se ajustan calendarios, se adaptan recursos, entre otras.

### **3.3.6. Cierre**

El cierre del proyecto considera una serie de actividades que dan por terminado el proyecto, es la etapa en la que se han alcanzado los objetivos esperados y se hace un reconocimiento de los logros y resultados obtenidos. Las actividades del cierre se indican en la Figura 5.



Cierre del proyecto

- Cierre administrativo
- Cierre del contrato
- Entrega del producto

Figura 5. El cierre de un proyecto (Gómez Fuentes, 2012)

El **cierre administrativo** comprende la elaboración de un reporte final, el cual debe contener el presupuesto, el programa de trabajo, las lecciones aprendidas y todos los informes elaborados durante el desarrollo del proyecto. El **cierre de contrato**, debe abarcar la recopilación de los archivos de contrato, manuales, planos, bitácoras y lecciones aprendidas. Por último la **entrega de producto** se refiere a entregar el sistema, servicio o resultado final al cliente.



## 4. Gestión de actividades de un proyecto

Puesto que es de gran importancia la adecuada gestión de todas las áreas de un proyecto para poder llegar al éxito, en la actualidad existen diferentes instituciones alrededor del mundo dedicadas a la administración de proyectos, entre las que se encuentran el PMI (*Project Management Institute*) en América, IPMA por sus siglas en inglés *International Project Management Association* para Europa y China, AIPM (*Australian Institute of Project Management*) de uso exclusivo en Australia, entre otros.

Existen estándares, metodologías, herramientas o técnicas muy diversas, por lo que cada una de estas organizaciones ha creado alguno de los anteriores o inclusive todos para brindar una base para la elaboración de proyectos en general. Un estándar es el marco de lo que debe ser hecho, de acuerdo con la Organización Internacional de Normalización (ISO) y otras organizaciones se define un estándar como un “Documento aprobado por una entidad reconocida que proporciona, para un uso común y repetido, reglas, pautas o características para productos, procesos o servicios, y cuyo cumplimiento no es obligatorio.” Por otra parte la metodología define como deber ser hecho paso por paso y las herramientas o técnicas nos permiten desarrollar el trabajo. Entre los principales estándares para la administración de proyectos se encuentran el PMBOK (*Project Management Body of Knowledge*) emitido por el PMI, el *Professional Competency Standard* desarrollado por AIPM, a su vez maneja el IPMA *Competence Baseline of IPMA*.

Puesto que dentro de América la organización con mayor reconocimiento en esta área es el PMI que fue acreditado como desarrollador de estándares por el Instituto Nacional de Normalización de los Estados Unidos (ANSI). (ISO 9453) será usado como línea de acción para la planeación y control del caso de estudio.



La Guía del PMBOK constituye un estándar para la dirección de cualquier tipo de proyecto, generalmente, en cualquier tipo de industria. Este documento describe la naturaleza de los procesos en términos de la integración de los mismos, sus interacciones y los propósitos a los cuales sirven.

Dentro de ésta guía se encuentran agrupadas a su vez diez áreas de conocimiento diferenciadas. Un área de conocimiento representa un conjunto completo de conceptos, términos y actividades que conforman un ámbito profesional, un ámbito de la dirección de proyectos o un área de especialización.

Las Áreas de Conocimiento están indicadas en la Figura 6:

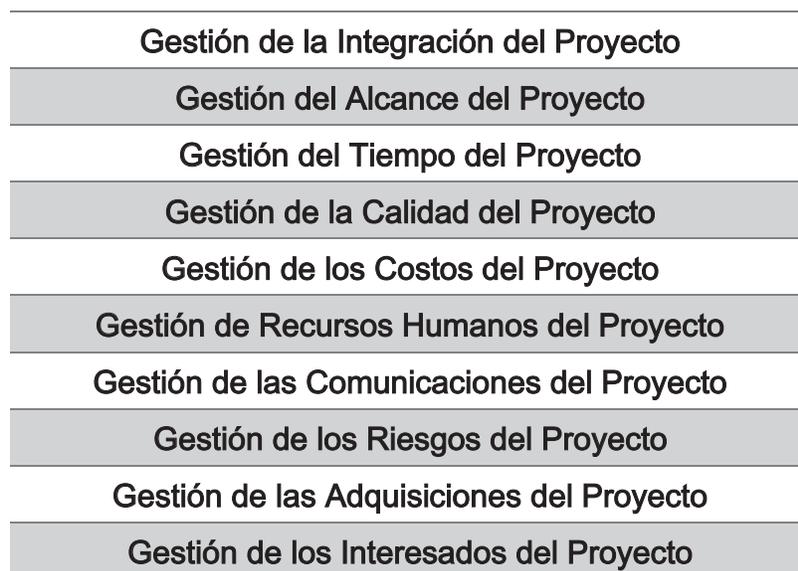


Figura 6. Áreas de conocimiento (PMBOK, 2013)

Estas áreas son empleadas en la mayoría de los proyectos en un orden y temporalidad específicos de acuerdo con las necesidades particulares de cada uno



y se integra con las etapas del desarrollo del proyecto, esto es, el inicio, planeación, ejecución, control y cierre.

#### **4.1. Integración del proyecto**

La Gestión de la Integración del Proyecto incluye los procesos y actividades necesarios para: identificar, definir, combinar, unificar y coordinar los diversos procesos y actividades de dirección del proyecto. Sus actividades generales suelen ser:

Desarrollar el Acta Constitutiva del Proyecto: esta actividad consiste en la elaboración de un documento que autoriza formalmente la existencia de un proyecto y confiere al director del mismo la autoridad para asignar los recursos de la organización a las actividades del proyecto.

- Desarrollar el Plan para la Dirección del Proyecto: este proceso es para definir, preparar y coordinar todos los planes e incorporarlos en un plan integral para la dirección del proyecto.
- Dirigir y Gestionar el Trabajo del Proyecto: se define como se llevará a cabo el trabajo siguiendo el plan de ejecución con el fin de alcanzar los objetivos del proyecto.
- Monitorear y Controlar el Trabajo del Proyecto: se establece como se dará seguimiento, se revisará e informará el avance del proyecto con respecto a los objetivos de desempeño definidos en el plan del proyecto.
- Control Integrado de Cambios: se determina la manera en que se van a analizar todas las solicitudes de cambio; aprobar y gestionar los cambios a los entregables, documentos del proyecto y plan para la dirección además de comunicar las decisiones correspondientes.



- Cerrar el Proyecto o Fase: Es el proceso que consiste en establecer como se finalizaran todas las actividades en todos los Grupos de Procesos de la Dirección de Proyectos para completar formalmente todo el proyecto o cada una de sus fases.

## **4.2. Alcance**

Definir el Alcance es el proceso de desarrollar una descripción detallada del proyecto y del producto que se pretende obtener. El beneficio clave es la descripción de los límites del proyecto, servicio o resultado mediante la definición de cuáles de los requisitos serán incluidos y cuáles excluidos del proyecto.

La Gestión del Alcance se efectúa ante la necesidad de incluir todos los elementos para asegurar que el trabajo requerido sea incluido de forma clara, cumpliendo con los criterios de aceptación acordados al comenzar el proyecto y así concluirlo exitosamente. Para lo anterior, es necesario que se lleve a cabo una gestión que involucre una planeación, definición, creación de entregables, control y verificación del alcance.

El control del alcance del proyecto se encarga de influir sobre los factores que crean cambios en él y trata de controlar el impacto de dichos cambios también asegura que todos los cambios solicitados y las acciones correctivas recomendadas se procesen mediante un control integrado de cambios.

Igualmente se usa para gestionar los cambios reales cuando se producen, y está integrado con los demás procesos de control. Los cambios no controlados a menudo se denominan corrupción del alcance del proyecto.



### **4.3. Gestión del tiempo**

La Gestión del Tiempo del Proyecto se encarga de incluir todos los procesos necesarios para lograr la conclusión del proyecto dentro del tiempo establecido. Estos procesos interaccionan entre sí y también con las demás áreas de conocimiento. Cada proceso implica el esfuerzo de una o más personas o grupos de personas, dependiendo de las necesidades.

#### **4.3.1. Planificación de la Gestión del Cronograma**

Mediante este proceso se establecen las políticas, los procedimientos y la documentación para planificar, desarrollar, gestionar, ejecutar y controlar el cronograma del proyecto.

Es de gran importancia seguir la línea base del alcance la cual incluye detalles del enunciado y de la estructura de desglose del trabajo (EDT/WBS) que se utilizara para poder definir las actividades, estimar la duración y administrar el cronograma; asimismo se utilizan otras decisiones como los costos, riesgos y las comunicaciones.

La celebración de reuniones es indispensable entre los participantes del proyecto, tal como el director del proyecto, los patrocinadores, miembros del equipo o personas que ostenten responsabilidades en cuanto a la planificación o la ejecución.

Un componente clave es el establecimiento de criterios para las actividades a definir de acuerdo con las necesidades, por ejemplo, puede establecerse lo siguiente:

- Modelo de programación, para especificar la metodología y herramientas que se utilizarán para el desarrollo de la programación.



- Nivel de exactitud, se debe especificar un intervalo aceptable para hacer estimaciones realistas sobre la duración de las actividades donde se contemplen las contingencias.
- Unidades de medida, para todas las actividades y recursos se deben especificar las unidades que se utilizarán para las mediciones, tales como las horas, días, semanas de trabajo, etc., dependiendo el caso si son metros, toneladas, litros, kilómetros para medidas de cantidades.
- Enlaces con los procedimientos de la organización, en este caso mediante la estructura de desglose de trabajo (EDT/WBS) se va estableciendo el cronograma para tener coherencia con las estimaciones de tiempo de las actividades.
- Mantenimiento del modelo de programación, consiste en definir el proceso que se utilizará para actualizar el estado y registrar el avance a lo largo de la ejecución del proyecto.
- Umbrales de control, son umbrales de variación para monitorear el cronograma, estableciendo una variación permitida, previamente acordada, antes de que se requiera tomar una acción. Se expresan generalmente como un porcentaje de desviación respecto a la línea base del plan.
- Reglas para la medición del desempeño, es necesario definir parámetros para determinar el nivel de desempeño que se ha tenido, uno de éstos puede ser la medición del Valor Ganado u otras reglas de mediciones físicas.



- Definición de los formatos de informes y la frecuencia de presentación de éstos con relación al cronograma.
- Descripción de los procesos, se deben documentar las descripciones de los procesos en la administración del cronograma.

#### **4.3.2. Definición de las Actividades**

Es un proceso de identificar y documentar las acciones específicas que se deben realizar para generar los entregables del proyecto que nos permitirán alcanzar los objetivos y cumplir con el alcance establecido. El beneficio de este proceso es el desglose de los paquetes de trabajo en diversas actividades que sirvan de base para la estimación, planificación, ejecución y control del trabajo.

La estructura de desglose de trabajo (EDT /WBS) identifica los entregables desde el nivel más bajo que es el paquete de trabajo, a su vez éste se descompone en elementos más pequeños denominados actividades, que representan el trabajo necesario para poder completar los paquetes de trabajo.

Generalmente en los proyectos de ingeniería se sigue un patrón de actividades, con base en la experiencia previa, tales actividades pueden variar dependiendo de las necesidades de cada proyecto. Por ejemplo en la Figura 7 se muestran las principales actividades a desarrollar dentro de la ingeniería de proceso.



|  |
|--|
| <b>Bases de Diseño.</b>  |
| Generalidades. Función de la planta y tipo de proceso.<br>Capacidad, rendimiento y flexibilidad.<br>Especificación de las alimentaciones<br>Especificación de los productos<br>Condiciones de las alimentaciones<br>Condiciones de los productos<br>Agentes químicos, catalizadores e inertes<br>Eliminación de desechos<br>Instalaciones requeridas de almacenamiento<br>Servicios auxiliares<br>Sistemas de seguridad<br>Condiciones climatológicas<br>Localización de la planta<br>Bases de diseño de equipos nuevos y/o modificados<br>Bases de diseño para instrumentación y control.<br>Bases de diseño de otras disciplinas de ingeniería<br>Requerimientos. especiales de diseño<br>Normas, códigos y especificaciones |
| <b>Criterios de Diseño.</b>  |
| <b>Descripción del Proceso</b>   |
| <b>Lista de Equipo</b>   |
| <b>Balance de Materia y Energía.</b>   |
| Balance de materia<br>Balance de energía<br>Propiedades tecnofísicas<br>Condiciones de operación   |
| <b>Información Complementaria</b>  |
| <b>Requerimientos de Agentes Químicos, Servicios Auxiliares.</b>   |
| <b>Diagrama de Flujo de Proceso</b>  |
| <b>Hojas de Datos de Equipos de Proceso.</b>   |
| <b>Diagramas de Tubería e Instrumentación de Proceso</b>   |
| <b>Lista de Líneas de Proceso.</b>   |
| <b>Plano de Localización General</b>   |
| <b>Diagramas Funcionales de Instrumentación</b>  |
| <b>Circuitos Lógicos de Control</b>  |
| <b>Filosofías Básicas de Operación de la Planta</b>  |
| <b>Plano de Símbolos , Leyendas y Notas Generales</b>  |
| <b>Especificaciones Generales y Prácticas de Ingeniería</b>  |

Figura 7. Actividades de la ingeniería de proceso (Texta Mena, 2012)



Es importante el uso de la descomposición como técnica de dividir y subdividir el alcance y los entregables del mismo en parte más pequeñas que sean más fáciles de manejar. Las actividades representan el esfuerzo que se necesita para completar un paquete de trabajo.

Es recomendable realizar una planificación gradual, en la cual el trabajo a realizar a corto plazo se planifica a detalle mientras que el trabajo a futuro se planifica a un nivel más alto, es una forma de elaboración progresiva, por lo tanto en función de su ubicación en el ciclo de vida del proyecto, el trabajo puede estar descrito con diferentes niveles de detalle, teniendo en consideración la duración y recursos asociados. En la planificación estratégica temprana la información se encuentra menos definida, los paquetes de trabajo pueden llegar a descomponerse hasta el nivel de detalle que se conozca, entre más se vaya conociendo sobre los próximos eventos a corto plazo, se podrá ir descomponiendo en más actividades.

Cada una de las actividades debe tener un título diferenciado que describa su ubicación dentro del cronograma, aun cuando el título de la actividad se muestre fuera del contexto del cronograma del proyecto también pueden incluir atributos como identificadores de la actividad, ya sea nombre o etiqueta, los cuales una vez terminados pueden incluir códigos, descripciones, actividades predecesoras o sucesoras, relaciones lógicas, adelantos y retrasos, requisitos de recursos, fechas obligatorias, restricciones y supuestos. Dichos atributos pueden ser empleados para identificar a la persona o responsables de realizar la actividad, el lugar donde debe elaborarse, el calendario al que se asigna y el tipo de actividad. También permiten seleccionar, ordenar y clasificar las actividades planificadas de acuerdo a diferentes criterios en los informes.



### 4.3.3. Secuencia de Actividades

Consiste en identificar y documentar las relaciones existentes entre las actividades del proyecto. La clave de éste reside en la definir correctamente la secuencia de trabajo para obtener la máxima eficiencia tomando en cuenta todas las restricciones del proyecto. Cada una de las actividades se conecta al menos con un predecesor mediante una relación lógica entre ellos, de final a inicio o de inicio a final y con al menos un sucesor, también llevando una relación lógica de final a inicio y o de final a final, con lo que se deben diseñar relaciones lógicas que permitan un cronograma realista y viable.

Entre las herramientas y técnicas para la secuenciación de actividades, se encuentra el método de diagramación por procedencia que se emplea para construir un modelo de programación en el cual las actividades se presentan mediante nodos y se vinculan gráficamente mediante relaciones lógicas para indicar la secuencia en que deben ser ejecutadas.

El modelo de diagramación por procedencia incluye cuatro tipos de dependencias, donde una actividad predecesora es aquella que precede de manera lógica a una actividad dependiente de la misma, mientras que la actividad sucesora depende de otra actividad dentro del cronograma. Estas relaciones pueden definirse de la siguiente manera:

- ❖ Final a Inicio (FS): en este caso una actividad sucesora no puede comenzar hasta que se haya concluido la actividad predecesora.
- ❖ Final a Final (FF): se trata de la relación lógica en la cual una actividad sucesora no puede finalizar hasta que se haya concluido una actividad predecesora.

- ❖ Inicio a Inicio (SS): para este caso la actividad sucesora no puede comenzar hasta que haya comenzado una actividad predecesora.
- ❖ Inicio a Final (SF): puede tomarse como una acción correctiva ya que es una actividad que procura realinear el desempeño del trabajo con el plan de dirección.

Del conjunto de relaciones predecesoras la más frecuentemente empleada es la de Final a Inicio (FS), en la Figura 8 se muestra un diagrama de estas secuencias.

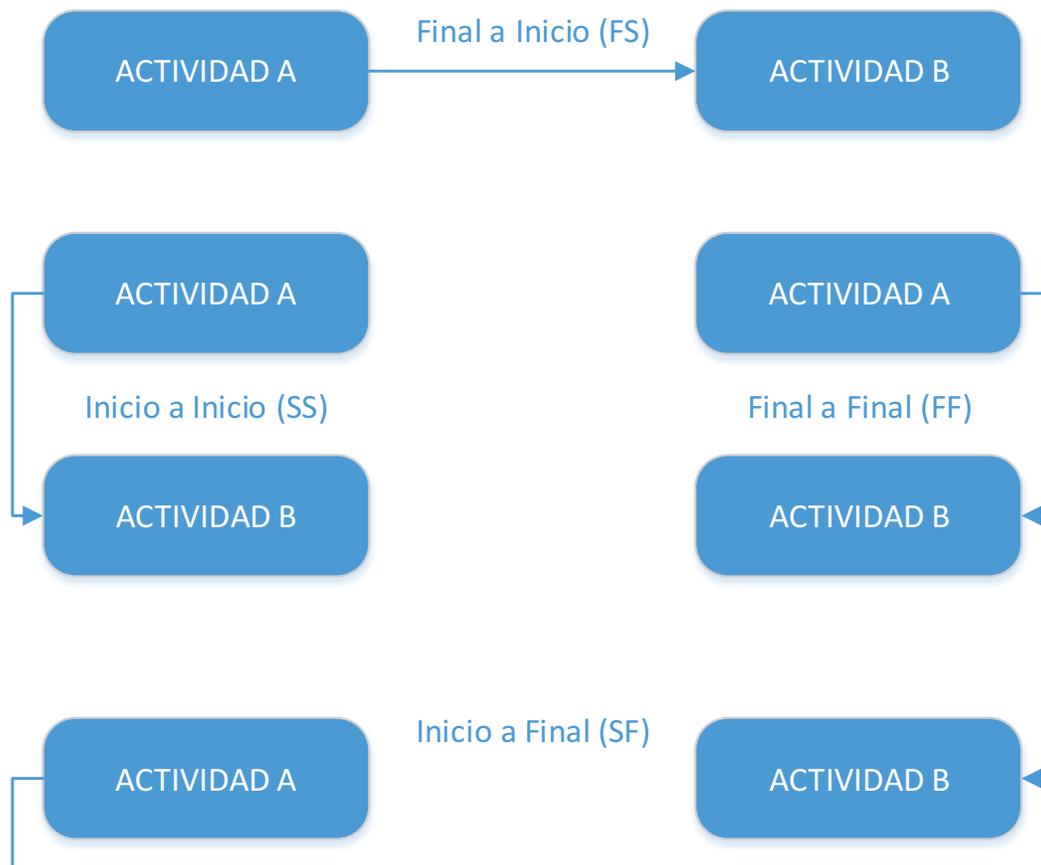


Figura 8. Tipos de relaciones modelo de diagramación por procedencia (PMBOK, 2013)

Dentro de esta parte de secuenciar actividades, es relevante considerar los adelantos y atrasos que se pueden presentar. Un adelanto es la cantidad de tiempo en que una actividad sucesora se puede anticipar con respecto a una actividad predecesora, en tanto que un retraso consiste en la cantidad de tiempo en que una actividad sucesora se retrasa con respecto a una actividad predecesora. El equipo de trabajo se encarga de determinar si es necesario un adelanto o un retraso de acuerdo con la lógica de la planificación.

Otra herramienta muy útil para la secuencia de las actividades, y específicamente para las salidas, es el diagrama de red del cronograma. Puede ser elaborado manualmente o mediante software especializado, incluyéndose todos los detalles o un resumen de las actividades, en la Figura 9 se muestra un ejemplo de este diagrama.

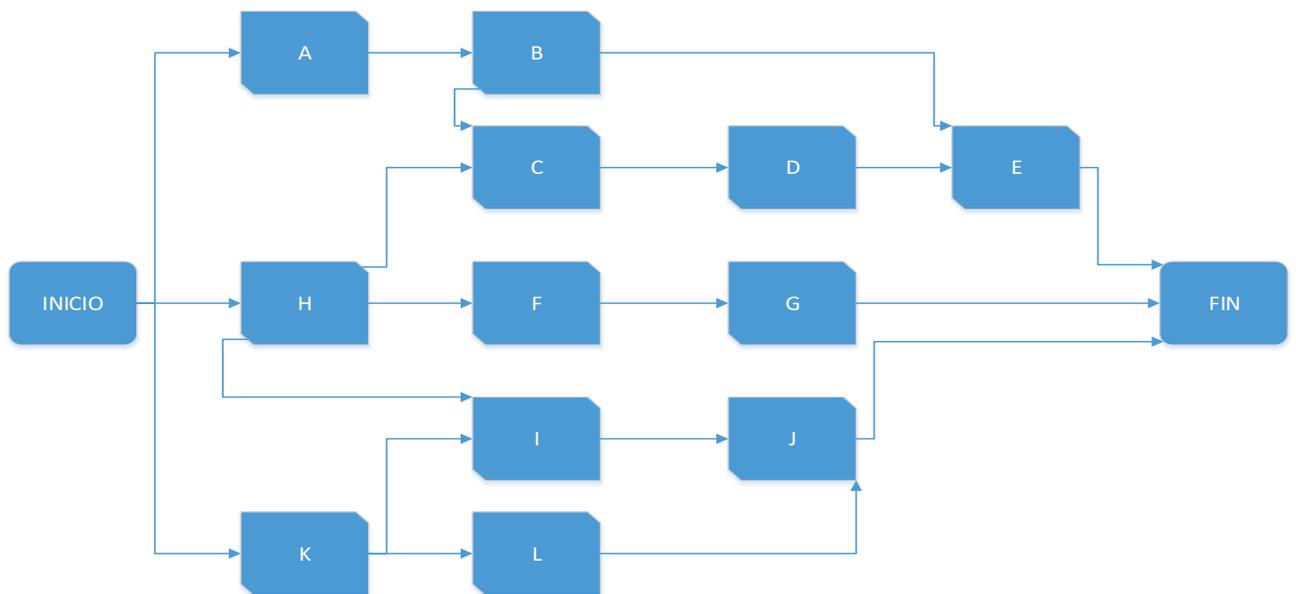


Figura 9. Diagrama de red del cronograma (PMNOK, 2013)



Se recomienda adjuntar al diagrama un resumen escrito con la descripción de la metodología básica que se ha utilizado para secuenciar las actividades.

#### **4.3.4. Estimación de los Recursos de las Actividades**

Este punto se refiere a realizar una aproximación de los materiales, personas, equipos o suministros que se requieren para llevar a cabo cada una de las actividades que nos permitirán alcanzar los objetivos. El beneficio fundamental es la identificación del tipo, cantidad y características de los recursos necesarios para cada actividad, con lo que se puede hacer un aproximado de los costos y la duración, de manera más precisa.

Realizar este estimado, está estrechamente coordinado con el proceso de estimación de costos, de igual forma con el plan de gestión del cronograma a partir del cual se puede hacer una identificación de los recursos que serán necesarios. Sin embargo independientemente de esta gestión, es muy recomendable la elaboración de un calendario de recursos donde se identifican los días y turnos de trabajo en que cada recurso específico está disponible. El beneficio de este calendario es la especificación de cuándo y por cuánto tiempo estarán disponibles los recursos identificados durante la ejecución del proyecto, este conocimiento considera atributos como la experiencia y/o el nivel de habilidad de los recursos, de igual manera los eventos asociados al riesgo que pueden influir en la selección y disponibilidad de éstos.

#### **4.3.5. Estimación de la Duración de las Actividades**

Consiste como su nombre lo indica, en estimar la duración de periodos de trabajo necesarios para finalizar actividades individuales con los recursos estimados, dentro



del tiempo establecido para finalizar cada actividad con lo cual se puede desarrollar el cronograma.

Entre las herramientas y técnicas que existen para estimar esta duración, se encuentra la estimación análoga, mediante la cual la duración o el costo de una actividad se basan en datos históricos de proyectos similares, se emplea cuando la información que se dispone del proyecto es escasa.

Por otro lado la estimación paramétrica es una técnica en la que se utiliza un algoritmo para calcular el costo o la duración sobre la base de los datos históricos y los parámetros del proyecto. Utiliza una relación estadística entre los datos históricos y otros datos. Las duraciones de las actividades pueden determinarse cuantitativamente multiplicando la cantidad de trabajo a realizar por la cantidad de horas de trabajo por unidad de trabajo. Con esta técnica pueden lograrse niveles superiores de exactitud, dependiendo de la sofisticación y de los datos que utilice el modelo. La estimación paramétrica de tiempo puede aplicarse a un proyecto en su totalidad o a partes del mismo, en conjunto con otros métodos de estimación.

Dentro de estas estimaciones de la duración es recomendable incluir reservas para contingencias en el cronograma global del proyecto, denominadas en ocasiones reservas de tiempo o colchones, para tener en cuenta la incertidumbre del cronograma. Las reservas para contingencias consisten en la duración estimada dentro de la línea base del cronograma que se asigna a los riesgos identificados y asumidos por la organización, para los cuales se han desarrollado respuestas de contingencia o mitigación. La reserva para contingencias puede ser un porcentaje de la duración estimada de la actividad, una cantidad fija de periodos de trabajo, o puede calcularse utilizando métodos de análisis cuantitativos.



#### 4.3.6. Desarrollo del Cronograma

Este proceso se encarga de analizar secuencias de actividades, duraciones, requisitos de recursos y restricciones para crear el modelo de programación del proyecto, el beneficio fundamental es la generación de un modelo de programación con fechas planificadas para completar las actividades. El desarrollo del cronograma del proyecto, con la ayuda de herramientas de programación determina las fechas de inicio y fin de las actividades del proyecto usando como base los datos de entrada que se tienen. Una vez establecidas y confirmadas las fechas, se encomienda al personal asignado las tareas y revisión de las mismas.

Un método generalmente empleado para este desarrollo, es el de la ruta crítica que se utiliza para estimar la duración mínima del proyecto y determinar el nivel de flexibilidad en la planificación. Con esta técnica se establecen las fechas de inicio y finalización, tempranas y tardías, para todas las actividades, sin tener en cuenta las limitaciones de recursos, y realiza un análisis que recorre hacia adelante y hacia atrás toda la red del cronograma.

La **Ruta Crítica** es en sí la secuencia de actividades que representa el camino más largo a través de un proyecto y determina la menor duración posible del mismo. Para cualquiera de los caminos o rutas del cronograma, la flexibilidad se mide por la cantidad de tiempo que una actividad del cronograma puede retrasarse o extenderse respecto de su fecha de inicio temprana sin retrasar la fecha de finalización del proyecto ni violar restricción alguna del cronograma, lo que se denomina "holgura total" Una ruta crítica (CPM por sus siglas en inglés *Critical Path Method*) se caracteriza generalmente por el hecho de que su holgura total es igual a cero. Se produce una holgura total positiva cuando el recorrido hacia atrás se calcula a partir de una restricción del cronograma posterior a la fecha de finalización temprana calculada durante el recorrido hacia adelante. Se produce una holgura



total negativa cuando se viola, por duración y por lógica, una restricción relativa a las fechas tardías.

Otro método muy utilizado es la **Cadena Crítica** (CCM por sus siglas en inglés *Critical Chain Method*) este método consiste en colocar un margen de tiempo más amplio en cualquier ruta del cronograma para tener en cuenta los recursos limitados y las incertidumbres, es un extra de tiempo por lo que sea que se pueda presentar. Se desarrolla a partir del enfoque del método de la ruta crítica y tiene en cuenta los efectos de la asignación, la optimización y la nivelación de los recursos, así como de la incertidumbre en la duración de las actividades.

La diferencia significativa es la adición de colchones de duración, que son actividades del cronograma que no requieren trabajo y se utilizan para manejar la incertidumbre, la dimensión de cada colchón depende de ésta última. Cuando se han determinado las actividades colchón del cronograma, las actividades previstas se planifican sobre la base de las fechas más tardías posibles de inicio y finalización según la programación.

#### **4.3.7. Control del Cronograma**

Se enfoca en dar seguimiento al estado de las actividades del proyecto para actualizar el avance del mismo y gestionar los cambios con el fin de cumplir con el plan. El propósito es proporcionar los medios para detectar desviaciones respecto al plan y establecer las acciones correctivas y preventivas para minimizar el riesgo.

Este control se ocupa de determinar el estado actual del proyecto con respecto al cronograma mediante la cantidad total de trabajo entregado y aceptado respecto a las estimaciones hechas, influye en los factores que generan cambios, gestiona los



cambios reales conforme se producen, lleva a cabo revisiones retrospectivas (revisiones planificadas para registrar las lecciones aprendidas), da cara a corregir y mejorar los procesos si es necesario.

Las revisiones constantes permiten medir, comparar y analizar el desempeño del cronograma, las fechas reales de inicio y de finalización, el porcentaje completado y la duración restante para completar el trabajo en ejecución. Para lo anterior existen diferentes herramientas que se pueden emplear, tales como: el análisis de tendencias, el método de la ruta crítica, la cadena crítica o la gestión de valor ganado.

#### **4.4. Calidad**

La gestión de este proceso incluye las actividades que se encargan de establecer las políticas de calidad, los objetivos y las responsabilidades para que el proyecto satisfaga las necesidades para las que fue acometido.

Se encarga de abordar la calidad de los entregables y de los productos comprometidos, identificando los requisitos y/o estándares por cumplir, además de documentar la forma en la que se aprobará el cumplimiento de éstos. Los principales beneficios de cumplir con los requisitos de calidad incluyen menos re-trabajo, mayor productividad, costos menores, mayor satisfacción de los interesados y mayor rentabilidad.

Las herramientas a emplear para resolver los problemas de calidad, quedan sujetas a los requisitos del proyecto y a la decisión del equipo de trabajo. Entre las principales se encuentran, las siete herramientas básicas de calidad, conocidas en la industria como Herramientas 7QC. (Miranda et al, 2007)



Las herramientas 7QC son:

- Diagramas causa-efecto, también denominado diagrama de “espina de pescado” o diagrama de Ishikawa, permite identificar y categorizar las causas de un problema, en este caso para la calidad, estableciendo de forma gráfica una relación entre el problema o efecto y sus posibles causas, ayuda a una mejor visualización.
- Diagramas de flujo, es una representación gráfica de los flujos o procesos, se representa la secuencia de pasos para obtener determinado resultado. Su finalidad es ordenar los procesos para entender de “un vistazo” el proceso en conjunto, sus problemas y posibles puntos críticos.
- Hojas de verificación, son documentos para la recolección de datos que permiten realizar un seguimiento a los trabajos para la resolución de problemas, sirven como base para los histogramas.
- Diagramas de Pareto, es una herramienta que permite detectar los factores de mayor relevancia para explicar un problema, donde se clasifican de acuerdo con su importancia. Centra la atención en los problemas más relevantes para poder alcanzar el máximo rendimiento.
- Histogramas, representan de forma gráfica los datos de un problema, mostrando los valores respecto a la media, se observa con claridad la forma de distribución y pueden inferirse resultados.
- Diagramas de control se utilizan para determinar si un proceso es estable o tiene un comportamiento predecible



- Diagramas de dispersión, representan pares ordenados (X, Y) y a menudo se les denomina diagramas de correlación, ya que pretenden explicar un cambio en la variable dependiente Y en relación con un cambio observado en la variable independiente X.

Realizar el Aseguramiento de Calidad es el proceso de auditar los requisitos de calidad y los resultados obtenidos a partir de las medidas de control de calidad, a fin de garantizar que se utilicen los estándares y las definiciones operativas adecuadas.

El control de este proceso consiste en monitorear y registrar los resultados de la ejecución de las actividades relacionadas con la calidad, se deben identificar las causas de una calidad deficiente en el proceso o en el producto para implementar acciones que las eliminen de igual manera es importante verificar que los entregables y el trabajo cumplan con los requisitos especificados por los interesados clave, para su aceptación final.

#### **4.5. Recursos humanos**

Este proceso se encarga de organizar, conducir y gestionar al equipo de trabajo. A este grupo de personas se le han asignado roles y responsabilidades que permitan completar el trabajo requerido.

Los miembros involucrados pueden tener diferentes conjuntos de habilidades, pueden estar asignados de tiempo completo o tiempo parcial y se pueden incorporar o retirar del equipo conforme avanza el proyecto. La participación de todos los miembros en la toma de decisiones y en la planificación es beneficiosa porque aporta su experiencia al proceso y fortalece su compromiso con el proyecto.



#### 4.5.1. Planificación de los recursos humanos

La planificación permite el establecimiento de una guía sobre el modo en que se deben definir, adquirir, dirigir y liberar a los recursos humanos que conforman un proyecto. Esta gestión debe incluir las siguientes definiciones:

- Rol, es la función asumida o asignada a una persona
- Autoridad, es quien se encarga de asignar los recursos, tomar las decisiones, firmar aprobaciones e influir sobre otras personas.
- Organigrama, es la representación gráfica del equipo del proyecto y sus relaciones de comunicación.
- Adquisición de personal, ya sea de la propia organización o de fuentes externas contratadas
- Calendarios de recursos, para la identificación de los días y turnos de trabajo en los cuales están disponibles los recursos específicos. Este diagrama ilustra el número de horas que una persona, departamento o equipo van a necesitar en determinado periodo durante el desarrollo del proyecto.
- Plan de liberación del personal, es un beneficio contar con un calendario de liberación de los miembros del equipo, así como un método para ello. Este plan permite reducir costos y ayuda a mitigar los riesgos relativos a los recursos humanos.
- Capacitación, es necesaria cuando los miembros del equipo que serán asignados no tienen las competencias requeridas. También puede tratarse de capacitación adicional para ayudar a los miembros del equipo a obtener certificaciones que respalden sus capacidades.



#### 4.5.2. Herramientas para la planificación de recursos

Diversos formatos y técnicas existen para la documentación de roles y responsabilidades dentro de un grupo de trabajo. El objetivo es asegurar que cada paquete de trabajo tenga un propietario sin ambigüedades y que todos los miembros del equipo tengan un claro entendimiento del papel que van a desempeñar. Entre los formatos que nos permiten cumplir con esta actividad, se encuentran los diagramas de tipo jerárquico, matricial o de texto.

- **Diagrama jerárquico:** emplea la estructura tradicional del organigrama donde se representan los cargos y relaciones en un formato gráfico descendente. La estructura de desglose se ordena según los departamentos o unidades de trabajo en que se divide la organización en donde se enumeran las actividades que corresponden a ser realizadas por cada uno, como se observa en la Figura 10.

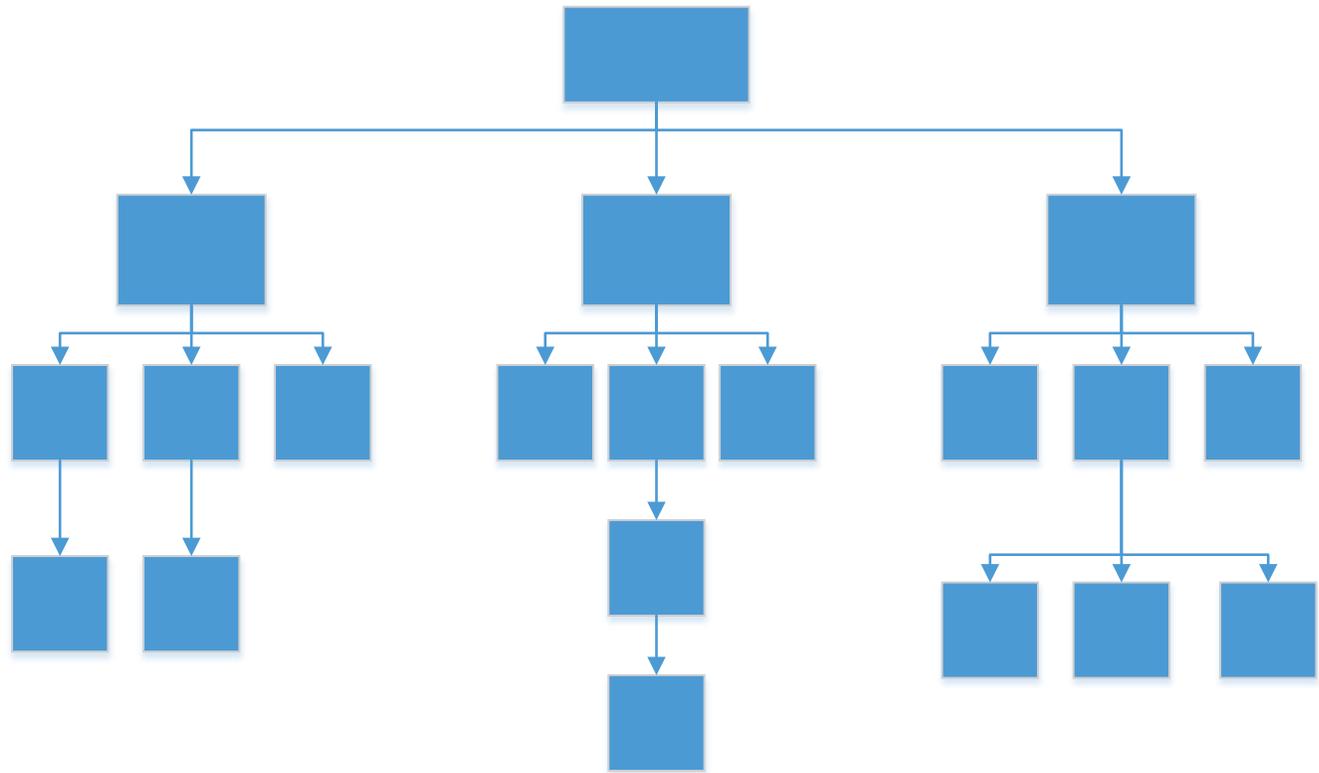


Figura 10. Diagrama jerárquico (PMBOK, 2013)

- **Diagramas matriciales:** tienen formato de tabla, donde se muestran los integrantes del proyecto asignados a cada paquete de trabajo, ilustran las relaciones entre cada estructura de trabajo y el responsable de su ejecución. Dependiendo del tamaño del proyecto se pueden elaborar varios diagramas desarrollados en diferentes niveles, el objetivo es mostrar todas las actividades asociadas con una persona y todas las personas asociadas con una actividad, con lo cual se evita confusión de responsabilidades, en la Figura 11 se muestra un ejemplo de diagrama matricial.



|                             | PERSONAL |         |        |       |      |
|-----------------------------|----------|---------|--------|-------|------|
| ACTIVIDAD                   | Ana      | Ernesto | Carlos | María | José |
| Generación de Documentación | ●        |         | ●      |       | ●    |
| Solicitud de Cambios        | ●        |         |        | ●     |      |
| Desarrollo de plan          |          | ●       | ●      |       |      |

Figura 11. Diagrama matriciale (PMBOK, 2013)

- **Formatos de texto:** este tipo de formato se emplea cuando se requieren descripciones detalladas de las responsabilidades o actividades, como se indica en la Figura 12.

**RESPONSABLE:** \_\_\_\_\_

**ACTIVIDAD:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**RESULTADOS:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**COMENTARIOS:** \_\_\_\_\_

Figura 12. Formatos de texto (PMBOK, 2013)



### 4.5.3. Creación del equipo de trabajo

Para la formación del equipo de proyecto, es necesario realizar una selección basada en determinados criterios para calificar a los integrantes, tales como la disponibilidad, experiencia, capacidad, habilidades y actitud, entre las más importantes. Llevar a cabo este desarrollo permite mejorar las competencias y contribuye a la interacción entre los miembros y el entorno general, propiciándose así una mejora en el trabajo en equipo y en las habilidades personales.

El desempeño de un equipo exitoso se mide en términos de éxito técnico conforme a objetivos previamente acordados y según el cronograma; los equipos de alto desempeño se caracterizan por este funcionamiento orientado a las tareas y a los resultados.

Dependiendo de la naturaleza del proyecto, será la necesidad de cubrir diferentes áreas de trabajo, es por ello que el tipo y número de personal que se requiera puede ser muy diverso tal como, laboratoristas, investigadores, ingenieros, técnicos, contadores, aseguradores de calidad, inspectores, entre muchas otras especialidades.

Independientemente de las personas involucradas y del trabajo que tengan por desarrollar, todos los equipos de trabajo necesitan un seguimiento del desempeño, para ello es indispensable que se cuente con un gerente de proyecto que reúna todas las capacidades y características que se requieren para que influya en el comportamiento, gestione los conflictos y contribuya a la resolución de problemas. Sus principales funciones son:

- ❖ Definición personal del equipo de trabajo;
- ❖ Coordinación y monitoreo de todas las áreas involucradas;



- ❖ Aprobación de los entregables o paquetes de trabajo;
- ❖ Revisión, evaluación y aceptación de los recursos utilizados;
- ❖ Responsable ante la dirección superior, de todos los participantes;
- ❖ Dirección de las actividades;
- ❖ Toma de decisiones críticas;
- ❖ Control de todos los aspectos de trabajo;

Este gerente de proyecto, es asignado por el director del proyecto, quien debe considerar la experiencia y habilidades de la persona a la cual nombre, puesto que será quien lo represente y de razones del trabajo realizado.

#### **4.6. Comunicaciones**

Como otro componente fundamental para la integración exitosa de un proyecto, se encuentra el establecimiento funcional de las comunicaciones. Este proceso proporciona un plan con base en las necesidades y requisitos de información propiciando una comunicación eficiente, que debe establecerse desde el inicio del proyecto.

Una comunicación eficaz, significa que la información se suministra en el formato adecuado, en el momento preciso, a la audiencia correcta y con el impacto deseado, mientras que una comunicación eficiente implica proporcionar exclusivamente la información necesaria. Por tanto es muy importante que ambas características, la eficiencia y la eficacia estén presentes dentro del plan de comunicaciones.

A pesar de que todos los proyectos comparten la necesidad de transmitir la información, los métodos de distribución de ésta pueden variar. Entre las consideraciones que se deben tomar en cuenta se incluyen:



- quién necesita qué información y quién está autorizado para acceder a ella;
- cuándo van a necesitar la información;
- dónde se debe almacenar la información;
- en qué formato se debe almacenar la información;
- cómo se puede recuperar la información.

#### **4.6.1. Gestión de las comunicaciones**

Este proceso, contempla la creación, recopilación, distribución, almacenaje, recuperación y disposición final de la información acorde con el plan que se haya creado para las comunicaciones. Más allá de la distribución de la información relevante, asegura que la información que se comunica a los interesados del proyecto haya sido generada adecuadamente, recibida y comprendida.

La administración y distribución de la información puede darse en diferentes presentaciones, ya sea mediante documentos impresos (cartas, memorándum), en forma electrónica (correos, fax, videoconferencias) o ambos. Sin importar el medio que se emplee, es importante que todos los integrantes del equipo tengan conocimiento y acceso a esta información.

Como parte del control y las comunicaciones, deben realizarse informes de desempeño donde este recopilada información sobre el estado del trabajo, costos, riesgos, mediciones del avance y pronósticos. Estos documentos pueden ser elaborados tan detalladamente como se requiera y con la frecuencia que sea necesaria. Dentro de esta gestión debe establecerse el motivo de distribución de la información, el plazo y la frecuencia con que se hará así como la persona o grupo responsable de la misma.



Entre los activos de los procesos de información se deben incluir los formatos de informe y la documentación de las lecciones aprendidas. Esta documentación puede formar parte de la base de datos histórica tanto para el proyecto como para la organización ejecutante y puede incluir causas de los incidentes, razones de la selección de las medidas correctivas y otros tipos de lecciones aprendidas durante el proyecto.

#### **4.7. Costos**

La gestión de costos del proyecto incluye todos los procesos relacionados con planificar, estimar, presupuestar, financiar, obtener financiamiento, administrar y controlar los costos de modo que se complete el proyecto dentro del presupuesto aprobado.

En algunos proyectos, particularmente en aquellos de alcance más reducido, la estimación de costos y la preparación del presupuesto están tan estrechamente ligadas que se consideran un solo proceso y puede ser realizado por una sola persona durante un periodo relativamente corto. Dado que la capacidad de influir en los costos es mucho mayor en las primeras etapas del proyecto, la temprana definición del alcance del proyecto se convierte en una tarea crítica, puesto que solo sabiendo hasta donde queremos llegar se puede establecer el presupuesto. De igual manera esta gestión debe tener en cuenta los requisitos de los interesados quienes medirán los costos del proyecto en diferentes momentos y de distintas maneras.



#### 4.7.1. Planificación de costos

Los procesos de gestión, así como las herramientas y técnicas asociadas deben documentarse dentro de un plan, que sea un componente de la dirección del proyecto. Igualmente hay que considerar para este desarrollo la línea base del alcance y la del cronograma. El acta constitutiva del proyecto proporciona el resumen del presupuesto a partir del cual se desarrollan los costos detallados, también se utilizan otras decisiones relacionadas tal como planificaciones, riesgos y comunicaciones.

El desarrollo de este plan implica la selección de opciones estratégicas para el financiamiento del proyecto así como la comunicación mediante reuniones entre los participantes, ya sea el director del proyecto, el patrocinador, determinados miembros del equipo de trabajo u otros según las necesidades.

El plan de gestión de costos podría, por ejemplo, establecer lo siguiente:

- **Unidades de medida.** Se definen, para cada uno de los recursos, las unidades que se utilizarán en las mediciones (tales como las horas, los días o las semanas de trabajo del personal para medidas de tiempo, o metros, litros, toneladas, kilómetros o yardas cúbicas para medidas de cantidades, o pago único en formato de moneda).
- **Nivel de precisión.** Consiste en el grado de redondeo, hacia arriba o hacia abajo, que se aplicará a las estimaciones del costo de las actividades en función del alcance de las actividades y de la magnitud del proyecto.
- **Nivel de exactitud.** Se especifica el intervalo aceptable que se utilizará para hacer estimaciones realistas sobre el costo de las actividades, que puede contemplar un determinado monto para contingencias.
- **Procedimientos de la organización.** La estructura de desglose del trabajo (EDT/WBS) establece el marco general para el plan de gestión de costos y



permite que haya coherencia con las estimaciones, los presupuestos y el control de los costos.

- **Umbrales de control.** Su función es monitorear el desempeño de los costos, se expresan habitualmente como un porcentaje de desviación con respecto a la línea base del plan.
- **Medición del desempeño.** Se establecen reglas para la medición del desempeño por medio del valor ganado.

#### 4.7.2. Estimación de costos

Es el proceso mediante el cual se desarrolla una estimación aproximada de los recursos monetarios necesarios para completar las actividades del proyecto. El beneficio principal es determinar el monto de los costos requerido para completar el trabajo del proyecto. Se basan en predicciones de la información disponible en determinado momento.

Se estiman los costos para todos los recursos que se van a asignar al proyecto. Estos incluyen, entre otros, el personal, los materiales, el equipamiento, los servicios y las instalaciones, así como otras categorías especiales, tales como el factor de inflación, el costo de financiación o el costo de contingencia. Una estimación de costos consiste en una evaluación cuantitativa de los costos probables de los recursos necesarios para completar la actividad.

Entre las herramientas para la estimación de costos, se encuentra la **estimación análoga**, que utiliza el costo, el presupuesto y la duración, o medidas de escala tales como el tamaño, el peso y la complejidad de un proyecto anterior similar, como base para estimar el mismo parámetro o medida para un proyecto actual utiliza el costo real de proyectos, es un método de estimación del valor bruto, que en ocasiones se ajusta en función de diferencias conocidas en cuanto a la complejidad del proyecto.



La **estimación paramétrica** utiliza una relación estadística entre los datos históricos relevantes y otras variables para calcular una estimación del costo del proyecto. Esta técnica permite lograr niveles de mayor exactitud y puede ser aplicada a un proyecto en su totalidad o a partes del mismo.

La **estimación ascendente** es un método que sirve para estimar un componente del trabajo. El costo detallado se resume posteriormente o se “acumula” en niveles superiores para fines de reporte y seguimiento.

Para mejorar la exactitud de las estimaciones de costos de actividades únicas si se cuenta con la incertidumbre y el riesgo, se puede emplear el método de la estimación por **Tres valores** para definir un intervalo aproximado del costo por actividad. Los tres valores utilizados son: el Más probable (cM) basado en una evaluación realista; el Optimista (cO), la actividad se estima basándose en el análisis del mejor escenario; y e/Pesimista (cP) basado en el peor escenario para esa actividad. Esta estimación proporciona un costo esperado y despeja el grado de incertidumbre.

Dentro de las estimaciones y análisis de costos es importante considerar las reservas, esto es, provisiones para las contingencias que se destinan a los riesgos identificados y asumidos para su mitigación o plan de respuesta. Estas reservas pueden cubrir una actividad específica, la totalidad del proyecto o ambas. El monto puede definirse como un porcentaje del costo estimado o como un monto fijo.



### **4.7.3. Determinación del presupuesto**

Esta actividad consiste en sumar los costos estimados de las actividades individuales o paquetes de trabajo para determinar la línea base de costos, con respecto a la cual se puede monitorear y controlar del desempeño del trabajo.

El presupuesto de un proyecto contempla todos los fondos autorizados para su ejecución, considerando la información del cronograma que puede utilizarse para sumar los costos correspondientes a los periodos del calendario en los cuales se ha planificado incurrir en dichos gastos. También se debe revisar el registro de riesgos para tener en cuenta los costos correspondientes.

El gasto de fondos debe conciliarse con los límites de financiamiento comprometidos en relación con el financiamiento del proyecto. Una variación entre los límites de financiamiento y los gastos planificados requerirá en algunos casos volver a planificar el trabajo para equilibrar dicha tasa de gastos. Esto se consigue mediante la aplicación de restricciones de fechas impuestas para el trabajo incluido en el cronograma del proyecto.

### **4.7.4. Control de gastos**

El control de los costos es un proceso de seguimiento del estado del proyecto para actualizar los costos, esto nos proporciona los medios para detectar las desviaciones con respecto al plan y así poder tomar las actividades correctivas y minimizar los riesgos.

Se debe actualizar periódicamente el presupuesto, por lo que es necesario conocer los costos reales en los que se ha incurrido hasta la fecha, debe existir un esfuerzo de control que analice la relación entre los fondos del proyecto consumidos y el trabajo real efectuado correspondiente a dichos gastos.



En general este control incluye:

- la gestión de los cambios reales cuando y conforme suceden
- asegurar que los gastos no excedan los fondos autorizados por periodo o componente, por actividad o para el proyecto en su totalidad
- monitorear el desempeño de los costos para detectar y comprender las variaciones con respecto a la línea base de costos
- monitorear el desempeño del trabajo con relación a los gastos en los que se ha incurrido
- evitar cambios no aprobados en la utilización de los recursos
- informar a los interesados correspondientes sobre los cambios aprobados y los costos asociados
- tomar las acciones necesarias para mantener los excesos de costos previstos dentro de los límites aceptables

Las herramientas que suelen emplearse para este control y monitoreo combinan medidas de alcance, cronograma y recursos para evaluar el desempeño y avance general del proyecto. Ejemplo de esto es el método del valor ganado, que abarca tres dimensiones clave para cada paquete de trabajo y cuenta de control.

El **Valor Planificado (PV)** es el presupuesto autorizado que se asignó al trabajo planificado y que permitirá completar la actividad o paquete de actividades.

El **Valor Ganado (EV)**, es la medida de trabajo realizado en términos de presupuesto autorizado para determinado trabajo.

El **Costo Real (AC)** es el costo incurrido por el trabajo llevado a cabo en una actividad durante un tiempo específico, debe corresponder con lo que haya sido presupuestado.



A su vez las desviaciones y variaciones deben ser monitoreadas, ya sea en cuanto al cronograma que ayuda a determinar la diferencia entre el valor ganado y el valor planificado, sabiendo en qué medida el proyecto está adelantado o retrasado con relación a la fecha de entrega o en cuanto al índice de desempeño de costo, que es una medida de eficiencia de costo de los recursos presupuestados, que se expresan como razón entre el valor ganado y el costo real.

Conforme avanza el proyecto se debe desarrollar un pronóstico de la estimación de la conclusión, esto implica realizar proyecciones de condiciones y eventos futuros basados en la información de desempeño y el conocimiento disponible en el momento. De igual manera es conveniente hacer revisiones del desempeño donde se compare el costo a lo largo del tiempo, con respecto al cronograma o paquetes de trabajo.

#### **4.8. Gestión de adquisiciones**

Durante esta etapa se establecen mediante bases legales los acuerdos incluidos en contratos entre un comprador y un vendedor, para la adquisición de los recursos involucrados en el desarrollo del proyecto. Un contrato representa un acuerdo vinculante para las partes en virtud del cual el vendedor se obliga a proporcionar algún valor que puede ser un producto, servicio o resultado y el comprador se obliga a proporcionar dinero o cualquier otra compensación de valor.

Es primordial identificar aquellas necesidades que deben satisfacerse mediante la adquisición de productos o servicios fuera de la organización del proyecto. Se debe



incluir una evaluación de posibles vendedores, especialmente si el comprador desea ejercer algún grado de influencia o control sobre las decisiones de compra.

Los requisitos del cronograma influyen considerablemente en la estrategia de las adquisiciones así como la evaluación de riesgos derivados de cada análisis de compra. Igualmente todas las relaciones legales respecto a los contratos pueden encontrarse dentro de los contratos de precio fijo, de costo reembolsable o contrato por tiempo y materiales. En la práctica suele presentarse la combinación de uno o más tipos sobre la misma adquisición.

Los **contratos de precio fijo** implican el establecimiento de un precio total fijo para un producto, servicio o resultado definido que se va a suministrar. En este caso los vendedores se encuentran obligados por ley a cumplir con el contrato bajo el riesgo de sufrir perjuicios en caso de que no. Dentro de este tipo de contratos se encuentran los **contratos de precio fijo cerrado** siendo los más comunes debido a que el precio de los bienes es fijado desde el inicio y no está sujeto a cambios. Cualquier aumento de costos por situaciones adversas, es responsabilidad del vendedor, únicamente en caso de que existan cambios en las especificaciones de la adquisición puede existir un aumento de costos para el comprador. Los **contratos de precio fijo más honorarios** con incentivos confieren mayor flexibilidad al comprador y al vendedor ya que permite desviaciones en el desempeño mediante incentivos financieros ligados al cumplimiento de los parámetros establecidos. En este caso se fija un precio tope y en todos los precios que superen dicho monto, el vendedor absorbe la diferencia y continúa obligado a terminar el trabajo. Por otro lado, los **contratos de precio fijo con ajuste económico de precio** se utilizan cuando el tiempo de desempeño del vendedor comprende un periodo considerable de años por lo que se elaboran cláusulas de ajuste económico para tener precisión en el precio final.



También suelen manejarse los **contratos de costo reembolsable** donde se efectúan pagos al vendedor por todos los costos legítimos y reales en que se pueda incurrir para completar el trabajo, más los honorarios que representan la ganancia del vendedor. Los contratos por tiempo y materiales manejan aspectos tanto de los contratos de costos reembolsables como de los contratos a precio fijo, se utilizan para el aumento de personal, la adquisición de expertos y cualquier tipo de apoyo externo cuando se necesita.

#### **4.8.1. Decisión de compra**

En cuanto a las compras en sí, se debe elaborar para cada adquisición un documento que describa el artículo con suficiente detalle para permitir que cada uno de los posibles vendedores determine si están en condiciones de proporcionar los productos, servicios o resultados requeridos. El nivel de detalle necesario puede variar en función de la naturaleza del artículo, las necesidades del comprador o la forma del contrato previsto. El documento relativo a adquisiciones se redacta de forma clara, completa y concisa. Incluye una descripción de los servicios como especificaciones, cantidad deseada, niveles de calidad, datos de desempeño, periodo de ejecución, lugar de trabajo, así como información adicional requerida, tal como informes de desempeño o soporte operativo para el artículo adquirido después de finalizado el proyecto. La complejidad y el nivel de detalle de los documentos de la adquisición deben ser coherentes con el valor de la adquisición planificada y con los riesgos asociados a la misma.

Una vez que se tienen las ofertas de los proveedores, para alinear las expectativas de los interesados tanto internos como externos, debe realizarse un criterio de selección para evaluar las opciones y poder elegir. Entre los criterios que suelen considerarse, se encuentran: la comprensión de la necesidad por parte del



proveedor, el costo total del ciclo de vida, la capacidad técnica, el riesgo, la garantía, el desempeño anterior del proveedor, derechos de propiedad, entre otros.

En el caso de adquisiciones importantes se puede elaborar una lista restringida de vendedores calificados basándose en una propuesta preliminar. También puede usarse un sistema de ponderación para seleccionar a un único vendedor al que se le solicitará la firma de un contrato y se establecerá la secuencia de negociación mediante la clasificación de todas las propuestas. Para algunos elementos de adquisición, se pueden realizar estimaciones de costo y no será necesaria una firma de contrato o una selección exhaustiva. Los vendedores seleccionados son aquellos para los que, en función del resultado de la evaluación de la propuesta u oferta, se ha establecido que se encuentran en un intervalo competitivo, y quienes han negociado un contrato preliminar que se convertirá en el contrato real cuando se formalice la adjudicación.

La negociación de adquisiciones aclara la estructura, los requisitos y otros términos relativos a las compras para que se logre alcanzar un acuerdo mutuo antes de firmar el contrato. Los temas cubiertos deberían incluir las responsabilidades, la autoridad para efectuar cambios, los términos y la legislación aplicables, los enfoques técnicos y de dirección de negocio, los derechos de propiedad exclusiva, el financiamiento del contrato, las soluciones técnicas, el cronograma general, los pagos y el precio. Las negociaciones se cierran con un documento contractual que puede ser celebrado por ambas partes, la compradora y la vendedora.

#### **4.8.2. Control de las adquisiciones**

El objetivo de este proceso es garantizar que el desempeño tanto del vendedor como del área de compra pueda satisfacer los requisitos establecidos de



conformidad. Ambas partes deben asegurar sus respectivas obligaciones y sus derechos legales dentro del contrato.

La aplicación del control se encarga de dirigir y monitorear el trabajo del vendedor de manera oportuna, asimismo debe inspeccionar y verificar la conformidad del producto, en caso de cambios debe asegurar que estos sean aprobados correctamente y que se informe sobre los cambios a las personas que les conciernen. Otro componente importante es la parte administrativa, debe existir un monitoreo de los pagos efectuados al vendedor. Esto asegura que se cumplan las condiciones de pago definidas en el contrato o el vendedor reciba la compensación correspondiente con su avance, dependiendo de lo estipulado en el contrato sin perder de vista que exista relación entre los pagos efectuados y el trabajo realizado. En caso de que se presenten cambios inesperados en cuanto a las especificaciones de la compra, es indispensable que se haga saber por escrito para establecer nuevas pautas dentro del contrato.

La revisión del desempeño de las adquisiciones es una revisión estructurada del avance del vendedor para cumplir con el alcance y la calidad del proyecto, dentro del costo y en el plazo acordado, tomando el contrato como referencia. El objetivo es identificar los éxitos o fracasos en cuanto al desempeño, con lo cual se puede cuantificar la capacidad o incapacidad demostrada por el vendedor para realizar el trabajo.

Para gestionar adecuadamente las adquisiciones se debe establecer un sistema de gestión de compras, que sirva como base de datos para llevar un control de lo que se ha adquirido y lo que aún falta, además de que permita la identificación de problemas actuales o potenciales. El objetivo es generar un mecanismo para el seguimiento de entregables específicos esperados y recibidos para contribuir a una



mejor comunicación con los proveedores evitando de esta manera problemas potenciales.

### **4.8.3. Cierre de adquisiciones**

El beneficio clave de esta actividad es documentar todo lo que esté relacionado con las compras. Implica actividades administrativas tales como finalizar con reclamaciones abiertas, actualizar registros para observar los resultados finales y archivar dicha información para su uso futuro o en su defecto para tener un respaldo por si se presenta algún tipo de problema.

Cada uno de los contratos se aborda ya sea total o parcialmente para asegurar que todos los acuerdos se hayan llevado a cabo cabalmente. Para casos donde se presente una finalización anticipada, los derechos y responsabilidades para ambas partes deberán estar especificados en la cláusula de rescisión de contrato. Para cerrar el contrato, se recopila, clasifica y archiva toda la documentación de la adquisición. Se cataloga la información del contrato relativa al cronograma, al alcance, a la calidad y al desempeño de costos, junto con toda la documentación sobre cambios del contrato, registros de pago y resultados de las inspecciones. Esta información se puede utilizar para las lecciones aprendidas y como base de evaluación de contratistas para contratos futuros.

## **4.9. Gestión de riesgos**

Dentro de este proceso se debe realizar la identificación, análisis, planificación de respuesta y control de riesgos vinculados al proyecto con el fin de aumentar la



probabilidad e impacto de los eventos positivos y disminuir la de los eventos negativos.

De acuerdo con el Instituto de Administración de Riesgo IRM (por sus siglas en inglés *Institute of Risk Management*), el riesgo puede definirse como "La combinación de la probabilidad de un suceso y sus consecuencias. Las consecuencias pueden ir desde positivo a negativo." Los riesgos positivos y negativos se conocen normalmente como oportunidades y amenazas y tienen origen en la incertidumbre que está asociada a todo proyecto.

La creación de un plan de gestión de los riesgos mejora la probabilidad de éxito de otros procesos, además de proporcionar los recursos y tiempos suficientes para las actividades que esto conlleva, iniciándose tan pronto como se concibe el proyecto. La gestión de riesgos protege el desarrollo del proyecto y a sus interesados (stakeholders) a través de una metodología donde se definan los enfoques, herramientas y fuentes de datos que servirán de soporte en la gestión de los riesgos, se debe definir al responsable o responsables de ésta área, en la Figura 13 se observan los pasos de la gestión de riesgos.



Figura 13. Proceso de gerencia de riesgos (FERMA, 2003)

Dentro de la planificación de la administración de los riesgos es necesario establecer cuál metodología se seguirá para definir el enfoque y las fuentes de los datos que se utilizarán, asimismo se debe definir al líder de esta área quien dará apoyo al equipo y se hará responsable de la gestión. De igual manera se debe hacer una estimación sobre la base de los recursos asignados para que se destinen los fondos necesarios para la reserva de contingencias. Es recomendable que en el



calendario del proyecto se defina cuándo y con qué frecuencia se llevaran a cabo los procesos de monitoreo de riesgos.

#### **4.9.1. Identificación de riesgos**

En este proceso se lleva a cabo la documentación de los riesgos que pueden afectar al proyecto en cualquiera de sus etapas. Se trata de un proceso iterativo debido a que conforme se avanza se pueden descubrir nuevos riesgos dentro del ciclo de vida. La identificación del riesgo debe ser sistemática y empezar por identificar los objetivos clave de éxito y amenazas que puedan perturbar el logro de dichos objetivos.

Fuentes de riesgo, son todos aquellos ámbitos tanto internos como externos que pueden generar amenazas para alcanzar los objetivos. Un procedimiento general que facilita la identificación, es el preguntarse en cada una de las etapas si existen debilidades o posibles escenarios que puedan desviar al proyecto de su objetivo.

Una de las principales técnicas de examinación es el análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas). Se comienza con la identificación de las fortalezas y debilidades del proyecto o de la organización, posteriormente se identifican las oportunidades con base en las fortalezas e igualmente se establecen las amenazas con base en las debilidades.

Entre otras técnicas que pueden utilizarse, está la lluvia de ideas, donde los involucrados exponen sus ideas o sensaciones de riesgo; la comparación con proyectos similares; cuestionarios enfocados en detectar riesgos o amenazas, entre otras.



Las declaraciones de los riesgos deben ser consistentes para asegurar que cada riesgo se comprenda claramente y sin ambigüedades a fin de poder llevar a cabo un análisis y un desarrollo de respuestas eficaces. Los documentos que se pueden generar son los siguientes:

- Lista de riesgos identificados, deben describirse con un nivel de detalle razonable. Pueden ser descritos mediante enunciados de riesgo, esto es: hablar de un EVENTO, que causaría un IMPACTO y establecer sus CAUSAS que originaran el EFECTO.
- Lista de respuestas potenciales, se reúnen las posibles acciones de respuesta para atacar los riesgos identificados.

#### **4.9.2. Análisis cualitativo de riesgos**

Para poder realizar un análisis de los riesgos identificados, es necesario priorizarlos mediante la evaluación de la probabilidad de ocurrencia e impacto. Esto permite la reducción del nivel incertidumbre para concentrarse en los riesgos de alta prioridad. El análisis cualitativo se refiere a hacer una aproximación rápida que no refleja el rigor del análisis detallado numérico, puede ser alto, medio o bajo, dependiendo de la severidad del impacto y de la probabilidad de que ocurra.

La evaluación puede realizarse mediante tablas o matrices que representen las combinaciones de probabilidad e impacto, como se muestra a continuación en la Figura 14

|                 |            |            |            |
|-----------------|------------|------------|------------|
| Prob. / Impacto | BAJO       | MEDIO      | ALTO       |
| BAJO            | Ignorar    | Ignorar    | Precaución |
| MEDIO           | Ignorar    | Precaución | Actuar     |
| ALTO            | Precaución | Actuar     | Actuar     |

Figura 14. Análisis cualitativo de riesgos (TenStep, 2012)

La calificación de los riesgos ayuda a definir las respuestas a los mismos. Es indispensable que se cuente con una buena calidad de los datos sobre los riesgos o de lo contrario estos pueden resultar inútiles causando mayores contingencias. Los riesgos se pueden categorizar por fuentes de riesgo, por área del proyecto afectada o por otras categorías útiles con el fin de determinar qué áreas del proyecto están más expuestas a los efectos de la incertidumbre. Esta técnica ayuda a determinar los paquetes de trabajo, las actividades, las fases del proyecto o incluso los roles del proyecto que pueden conducir al desarrollo de respuestas eficaces frente al riesgo.

Otro método para un análisis cualitativo frecuentemente utilizado es el What if? (¿Qué pasa si..?) en la Figura 15 se plantea este método.

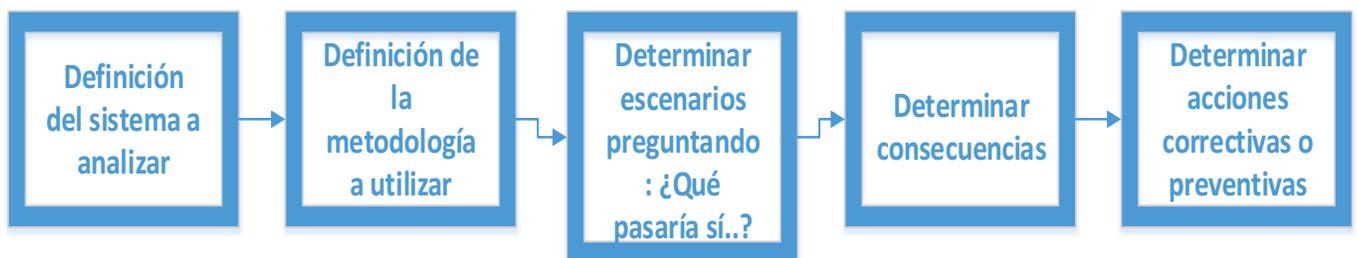


Figura 15. Método What if? (Leza, 2010)



### 4.9.3. Análisis cuantitativo de riesgos

El objetivo de este análisis tal como su nombre lo indica, es cuantificar la frecuencia o probabilidad de que una serie de sucesos se presenten y permitan o no cumplir con el plazo y costos estimados. Dentro del proceso hay diferentes técnicas y herramientas que pueden emplearse tales como:

- **Análisis de datos**

Se basan en la experiencia y en datos históricos para cuantificar la probabilidad y el impacto de los riesgos sobre los objetivos del proyecto.

- **Análisis de distribución de probabilidad**

Es utilizado en el modelado y la simulación, representa la incertidumbre en valores como la duración de las actividades y los costos de los componentes del proyecto.

- **Análisis de valor esperado**

Es un concepto estadístico que calcula el resultado promedio cuando el futuro incluye escenarios que pueden ocurrir o no (es decir, análisis bajo incertidumbre). Las oportunidades se expresan por lo general con valores positivos, mientras que el de las amenazas se expresan con valores negativos. Se calcula multiplicando el valor de cada posible resultado por su probabilidad de ocurrencia, y sumando luego los resultados

- **Árbol de decisión**

Se utiliza para determinar estrategias cuando quien debe tomar la decisión tiene varias alternativas al respecto a eventos futuros. Su utilidad radica en



que un problema se puede dividir en menores segmentos a fin de facilitar la toma de decisiones.

- **Análisis de sensibilidad**

Ayuda a determinar que riesgos tienen mayor impacto potencial, comprendiendo la relación que existe entre las variaciones en los objetivos y las variaciones en las incertidumbres. Evalúa el grado en que la incertidumbre de cada elemento del proyecto afecta al objetivo que se está estudiando cuando todos los demás elementos inciertos son mantenidos en sus valores de línea base. Una representación típica de este análisis es el diagrama con forma de tornado donde el eje Y representa cada tipo de incertidumbre en sus valores base, mientras que el eje X representa la dispersión o correlación de la incertidumbre con la salida que se está estudiando.

- **Simulación Montecarlo**

En una simulación, el modelo del proyecto se calcula muchas veces (mediante iteración) utilizando valores de entrada que pueden ser estimaciones de costos o duraciones de las actividades, seleccionados al azar para cada iteración a partir de las distribuciones de probabilidad para estas variables. Para un análisis de riesgos de costos, una simulación emplea estimaciones de costos, mientras que para los riesgos relativos al cronograma, se emplean el diagrama del cronograma y las estimaciones de la duración.

A partir de los resultados que se obtengan de cualquiera de los métodos cuantitativos, se pueden realizar estimaciones potenciales por medio de análisis



probabilístico donde se determina si es posible o no alcanzar los objetivos, se representan las mayores amenazas y se hacen evidentes las tendencias que llevan a conclusiones sobre la respuesta a los riesgos.

#### **4.9.4. Respuesta a los riesgos**

Las respuestas a los riesgos deben adecuarse a la importancia del riesgo, ser rentables con relación al desafío a cumplir, realistas dentro del contexto del proyecto, acordadas por todas las partes involucradas y deben estar a cargo de una persona responsable. A menudo es necesario seleccionar la respuesta óptima a los riesgos entre varias opciones.

Por lo anterior es necesario llevar un registro de los riesgos, donde se encuentren identificados, estén las causas raíz de los mismos, las listas de respuestas potenciales, los síntomas y señales de advertencia, la calificación relativa o lista de prioridades de los riesgos del proyecto, los riesgos que requieren respuesta a corto plazo, los riesgos que requieren un análisis adicional y una respuesta, las tendencias de los resultados del análisis cualitativo y una lista de observación, la cual es una lista de riesgos de baja prioridad dentro del registro de riesgos.

Para cada riesgo, se debe seleccionar la estrategia o la combinación de estrategias con mayor probabilidad de eficacia. Se desarrollan acciones específicas para implementar esa estrategia, incluidas estrategias principales y de refuerzo, según sea necesario. Puede desarrollarse un plan de reserva, que se implementará si la estrategia seleccionada no resulta totalmente efectiva o si se produce un riesgo aceptado. También deben revisarse los riesgos secundarios los cuales surgen como resultado directo de la implementación de una respuesta a los riesgos.



Las tres estrategias que normalmente abordan las amenazas o los riesgos que pueden tener impactos negativos sobre los objetivos del proyecto en caso de materializarse, son: evitar, transferir y mitigar. La cuarta estrategia, aceptar, puede utilizarse para riesgos negativos o amenazas así como para riesgos positivos u oportunidades. Estas estrategias deben seleccionarse en función de la probabilidad y el impacto del riesgo sobre los objetivos generales del proyecto.

**Evitar** el riesgo es una estrategia que implica que en el equipo del proyecto se actúe para eliminar la amenaza o para proteger al proyecto de su impacto. Por lo general conlleva cambios en el plan a fin de eliminar por completo la amenaza.

**Transferir** el riesgo consiste en trasladar el impacto de una amenaza a un tercero, junto con la responsabilidad de la respuesta. Simplemente confiere a una tercera parte la responsabilidad de su gestión mediante contratos o acuerdos; no lo elimina.

**Mitigar** un riesgo implica reducir a un umbral aceptable la probabilidad y/o el impacto de un riesgo adverso. Adoptar acciones tempranas para reducir la probabilidad de ocurrencia sobre el proyecto, a menudo es más eficaz que tratar de reparar el daño después de ocurrido el riesgo. Cuando no es posible reducir la probabilidad, una respuesta de mitigación puede abordar el impacto del riesgo centrándose en los vínculos que determinan su severidad.

**Aceptar** el riesgo es reconocerlo como tal y no tomar ninguna medida a menos que el riesgo se materialice. Esta estrategia puede ser activa o pasiva e indica que se ha decidido no cambiar el plan para la dirección del proyecto para hacer frente a un riesgo, o no se ha podido identificar ninguna otra estrategia de respuesta adecuada. La aceptación pasiva no requiere ninguna acción, excepto documentar la estrategia y abordando los riesgos conforme se presentan mediante la revisión periódica de la amenaza para asegurarse de que no cambie de manera significativa. La aceptación activa más común consiste en establecer una reserva para contingencias, que



incluya la cantidad de tiempo, dinero o recursos necesarios para manejar los riesgos.

Cuando se presentan riesgos positivos u oportunidades, pueden presentarse estrategias como la **mejora** para aumentar la probabilidad de ocurrencia de los impactos positivos. También pueden **explotarse** para asegurar la oportunidad de que se concreten impactos positivos. Algunas estrategias de respuesta se diseñan para ser usadas únicamente si se producen determinados eventos. Las respuestas a los riesgos identificadas mediante esta técnica se denominan a menudo **planes de contingencia** o planes de reserva.

#### 4.9.5. Control de riesgos

Este proceso consiste en implementar los planes de respuesta a los riesgos mediante el monitoreo de los riesgos identificados y de los que puedan surgir durante el desarrollo. Por medio de esta práctica se mejora la eficiencia de la gestión de los riesgos y se optimiza de manera continua la respuesta a los riesgos.

Las respuestas planificadas conforme al registro de riesgos se ejecutan durante el ciclo de vida del proyecto, pero dicho trabajo debe monitorearse continuamente para detectar riesgos nuevos o cambiantes. Pueden aplicarse técnicas para el análisis de variación y de tendencias, que requieren el uso de información de desempeño generada durante la ejecución del proyecto. Implica la selección de estrategias alternativas, la ejecución de un plan de contingencia o de reserva, la implementación de acciones correctivas y la modificación del plan para la dirección del proyecto.

Deben programarse periódicamente revaluaciones de los riesgos del proyecto. La cantidad y el nivel de detalle de las repeticiones que corresponda hacer dependerán de la manera en que el proyecto avanza con relación a sus objetivos.



#### **4.10. Stakeholders (interesados)**

Identificar a los interesados o “stakeholders” es el proceso de reconocer a las personas, grupos u organizaciones que podrían ejercer o recibir el impacto de una decisión, actividad o resultado del proyecto así como de análisis y documentación de la información relevante relativa a sus intereses, participación, influencia y posible impacto en el éxito del proyecto.

El objetivo es permitir al director del proyecto identificar el enfoque adecuado para cada interesado o grupo de interesados. El acta de constitución del proyecto puede suministrar información sobre las partes internas y externas relacionadas con el proyecto y que se ven afectadas por el resultado o la ejecución de éste, tales como el patrocinador o patrocinadores, clientes, miembros del equipo, así como otras personas u organizaciones afectadas por el mismo.

El análisis de interesados es una técnica que consiste en recopilar y analizar de manera sistemática información cuantitativa y cualitativa, a fin de determinar qué intereses particulares deben tenerse en cuenta a lo largo del proyecto. Información como los roles, departamentos, intereses, conocimientos, expectativas y niveles de influencia simplifican el proceso de reconocimiento. También se debe considerar el impacto o apoyo potencial que cada interesado podría generar es importante priorizar a los interesados a fin de garantizar el uso eficiente del esfuerzo para comunicar y gestionar sus expectativas. Se debe evaluar el modo en que los interesados clave pueden reaccionar o responder en diferentes situaciones, a fin de planificar cómo influir en ellos para mejorar su apoyo y mitigar los impactos negativos potenciales.



Se deben mantener reuniones con expertos y el equipo del proyecto para definir los niveles de participación requeridos de todos los interesados. El nivel de participación actual de todos los interesados se debe comparar con los niveles de participación planificados que se requieren para concluir el proyecto con éxito. La participación de los interesados a lo largo del ciclo de vida del proyecto es crítica para el éxito del mismo.

La capacidad de los interesados para influir en el proyecto es generalmente mayor en las etapas iniciales y va disminuyendo progresivamente a medida que avanza el proyecto. La activa participación de los interesados aumenta la probabilidad de alcanzar el éxito por lo tanto es importante mantenerlos involucrados para confirmar su compromiso continuo con lo que se mantendrá o incrementará la eficiencia de las actividades.

Es importante que dentro de este plan de comunicación con los interesados se realicen notificaciones sobre el estado de la ejecución, cambios aprobados y el estado general del proyecto. Se deben entregar informes tanto formales como informales sobre el avance realizado y cualquier otro tipo de cuestión que concierna. La información recibida de los interesados relativa a las operaciones del proyecto se puede distribuir y utilizar para modificar o mejorar el desempeño futuro. Las lecciones aprendidas se documentan y distribuyen a fin de que pasen a formar parte de la base de datos histórica tanto del proyecto como de la organización ejecutora.



## **5. Descripción del proyecto de una Planta Piloto de Tratamiento de Residuos Sólidos Orgánicos Municipales**

Dado que el caso de estudio de este trabajo es la planta piloto de tratamiento de residuos sólidos orgánicos municipales, es importante mencionar las bases que dieron origen al proyecto.

### **5.1. Antecedentes del proyecto**

Esta propuesta de proyecto surgió como una convocatoria por parte del Fondo Institucional de Fomento Regional para el Desarrollo Científico Tecnológico y de Innovación (FORDECyT) CONVOCATORIA 2011-01 dada la problemática que se presenta en las ciudades, específicamente en la Ciudad de México y en el Estado de México, donde cada vez se genera una mayor cantidad de residuos. Tales residuos no tienen un control de manejo por lo que frecuentemente son depositados en tiraderos a cielo abierto o cuerpos de agua, lo que constituye un grave problema para la salud pública y ambiental. De igual manera los elevados volúmenes de residuos generados suponen importantes costos de recolección y disposición final.

De acuerdo con el estudio realizado, se reporta que la digestión anaeróbica ofrece importantes ventajas para el tratamiento de los RSO ya que este proceso logra una importante reducción de la carga contaminante. Pero además, como consecuencia de este proceso, la materia orgánica que es degradada se transforma por un lado en productos estables e inertes, y por el otro, en biogás (principalmente metano y dióxido de carbono), ambos productos con un valor energético considerable.

Los lodos que se obtienen luego de la digestión, presentan un alto contenido en macro y micronutrientes (principalmente nitrógeno (N) y fósforo (P)), además de que la presencia de patógenos se ve reducida. Estas características hacen de este lodo



un mejorador de suelos de gran interés para los cultivos, en especial para su utilización en suelos empobrecidos. En tanto que el biogás producido puede utilizarse directamente como gas, para producción térmica o ser transformado como energía eléctrica gracias a su alto valor energético.

Esta propuesta espera ofrecer una alternativa real al manejo de los residuos sólidos en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) y del Valle de Toluca. Para esto se requirió la construcción de un “Sistema Piloto para el tratamiento de Residuos Sólidos Orgánicos Municipales (RSOM)” que permita definir las características con las que debe contar el proceso de tratamiento de RSOM y que considere la factibilidad económica, ambiental y logística de la tecnología. (Proyecto 174710, FORDECyT-CONACyT, 2011)

## **5.2. Alcance de la propuesta**

El establecimiento del alcance es fundamental puesto que establece hasta donde se quiere llegar, permitiendo así delimitar las tareas a realizar, en particular los alcances para el proyecto “Generación de un Sistema Piloto de Tratamiento de Residuos Sólidos Orgánicos Municipales”, fueron:

### **1. Informe del estado del arte de las tecnologías de digestión anaerobia de los RSOM.**

Este estudio permitió seleccionar del sistema más adecuado, enfocándose en la identificación y revisión de las tecnologías que han demostrado éxito en el tratamiento biológico anaerobio en grandes comunidades.

En esta etapa del proyecto, y con el objetivo de contar con las principales características de las tecnologías disponibles, se realizó una visita a la Feria de Saneamiento Internacional IFAT en Múnich, Alemania, entre el 7 y 11 de mayo de



2012, evento principal a nivel internacional que reunió entre otros, a los líderes en tecnología de clase mundial en tema de digestión anaerobia.

## **2. Symposium con expertos y tecnólogos internacionales en tratamiento anaerobio de RSOM.**

Se llevó a cabo con la finalidad de realizar una adecuada y directa retroalimentación sobre las tecnologías disponibles para el tratamiento anaerobio de los RSOM, así como sus requerimientos, costos, ventajas y desventajas, entre otros aspectos. Esto para permitir que los responsables en la toma de decisiones del Estado de México y el Distrito Federal contaran con una referencia real de las tecnologías disponibles en sistemas de digestión anaerobia, específico para los ROSM del área de estudio.

## **3. Informe de evaluación matricial de alternativas tecnológicas de digestión anaerobia, seleccionando la más adecuada para el área de estudio.**

Evaluación de alternativas utilizando criterios técnicos, ambientales, económicos y de requerimientos de operación, haciendo uso de software especializado en tema de evaluación de decisiones multicriterio. Se consideraron criterios de Análisis de Ciclo de Vida, para determinar la alternativa que ofreciera una reducción mayor de los impactos ambientales actuales con la implementación del proyecto. Se hizo uso de software especializado de Análisis de Ciclo de Vida.

## **4. Estudio de las condiciones del nivel socioeconómico asociadas a las actividades de recolección y disposición de residuos en el área de estudio.**

Se elaboró un estudio para poder contar con una línea base de la situación actual socioeconómica del manejo de los residuos. Esto permitió que los responsables en la toma de decisiones identificaran los beneficios sociales que se obtendrán como resultado de la implementación del mismo.



## **5. Muestreo de los RSOM en el área de estudio.**

Se consideró un máximo de 4 sitios de muestreo durante siete días en cada uno para la toma de muestras que serían caracterizadas. Se realizó el muestreo de acuerdo con la normatividad nacional e internacional más adecuada que permitiera contar con las muestras representativas de los residuos susceptibles de tratamiento biológico en el área de estudio.

## **6. Pruebas de digestión anaerobia a nivel laboratorio para los RSOM colectados.**

Con las muestras obtenidas y plenamente caracterizadas se realizarán pruebas a nivel laboratorio bajo las características principales del sistema de tratamiento seleccionado como el más adecuado al área de estudio. Con estas pruebas se determinaron las condiciones adecuadas de las variables de proceso buscando maximizar la degradación de los RSOM y favoreciendo la generación de biogás y otros subproductos de valor comercial, las cuales se validarán a escala piloto. Las pruebas a nivel laboratorio permitieron disminuir los riesgos asociados en la operación del reactor piloto.

## **7. Documentos de Ingeniería del diseño de una planta piloto para el tratamiento de los RSOM del área de estudio.**

El diseño estuvo revisado y retroalimentado por expertos en el diseño, construcción y operación de plantas de digestión anaerobia a escala real.

Se consideró el desarrollo de los siguientes aspectos:



- Memoria de Cálculo del Diseño
- Requerimiento de área
- Estimación de la generación de residuos
- Estimación de los insumos y personal requeridos
- Estimación del tipo y cantidad de subproductos generados con valor comercial
- Arreglo General de Planta (Plot Plan)

Se hizo uso de software especializado en simulación de procesos biológicos.

Para minimizar los riesgos en el diseño de la planta piloto, así como en el diseño de la ingeniería básica de la planta a escala real, se promovió el intercambio de *know how* con los principales tecnólogos, constructores y operadores de plantas de tratamiento de digestión anaerobia de RSOM en el mundo, se realizó una visita al extranjero para conocer las principales plantas en operación con condiciones similares a la planta que podría implementarse en el área de estudio.

## **8. Construcción de una planta piloto para el tratamiento de RSOM con capacidad máxima de 1 tonelada/día de alimentación de RSOM.**

La planta piloto cuenta con el siguiente equipamiento e instrumentación:

- Sistema de pre-tratamiento de los residuos de acuerdo al sistema seleccionado;
- Reactor de acuerdo al sistema seleccionado ;
- Instrumentación de pH y temperatura;
- Sistema de agitación;
- Medición de flujo de biogás;
- Bolsa para captación de biogás;



- Antorcha para quemado de biogás;
- Aislamiento térmico;
- Equipo para separación de los lixiviados de la composta resultado del proceso;
- Planta de energía eléctrica.

Para determinar la ubicación de la planta piloto, se realizó una evaluación de los sitios disponibles que determinó cada área usuaria, así como la misma universidad que presenta esta propuesta. Se evaluó la distancia del punto de generación de los residuos objeto de estudio, la distancia de la planta piloto al laboratorio donde se realizarán los análisis de laboratorio de los productos obtenidos, la disponibilidad de servicios de proceso con los que cuenta cada sitio propuesto (energía, abasto de agua, servicio de drenaje, por mencionar los principales) así como el nivel de infraestructura requerida a construir o rehabilitar para el espacio que albergue con la adecuada seguridad y servicios a la planta piloto, así como al personal (estudiantes, investigadores y personal de apoyo) requerido para la instalación y operación de la planta.

Se aclara que el presente trabajo ha sido realizado antes de comenzar con la actividad 9, por lo que el resto de las actividades, estarán expresadas en futuro.

## **9. Operación de la planta piloto para obtener las condiciones adecuadas de las variables de operación del sistema.**

Una vez terminada la construcción, operación y el registro de datos de los resultados obtenidos de la planta de digestión anaerobia a escala piloto debe llevarse a cabo. Para la alimentación de los residuos, se considera el arrendamiento del servicio de



transporte, carga y descarga para los residuos, desde su punto de generación hasta la planta piloto. Mediante la operación y el control adecuado del sistema piloto, se determinarán las mejores condiciones de operación del sistema y se cuantificarán los flujos de proceso, tal que sea posible determinar el potencial de generación de energía eléctrica a partir del biogás y la estimación de los subproductos generados. Como resultado de estas actividades se contará con las condiciones de operación a ser validadas en el sistema piloto.

#### **10. Estrategia básica para la comercialización o destino de los subproductos de interés.**

A partir de un estudio de mercado, se generará un directorio de posibles consumidores de los subproductos generados y un listado de costos de mercado para aquellos subproductos susceptibles de ser comercializados.

#### **11. Ingeniería básica de acuerdo al sistema de digestión anaerobia seleccionado.**

Como parte de la Ingeniería básica, se considera el desarrollo de los siguientes aspectos:

Diseño del sistema de pre-tratamiento, tratamiento y sistema de colección de gases, reflejado en un Diagrama de Flujo de Proceso con balance de masa.

- Memoria de Cálculo del Diseño
- Requerimiento de área
- Estimación de la generación de residuos
- Estimación de los insumos y personal requeridos
- Estimación del tipo y cantidad de subproductos generados con valor comercial
- Diagrama de Tubería e Instrumentación
- Diagrama estructural



Arreglo General de Planta (Plot Plan) que presente la distribución de áreas y equipos principales. Requerimientos de servicios (agua, vapor, energía eléctrica, drenaje, sistema de tratamiento de lixiviados, entre otros)

Se hará uso de software especializado en simulación de procesos biológicos.

Esta actividad proveerá a las áreas usuarias de un documento de Bases Técnicas necesario para realizar un proceso de licitación de la construcción y operación a escala real del proyecto, en caso de las áreas usuarias así lo determinen.

## **12. Proyecto ejecutivo de una planta de tratamiento industrial de RSOM.**

Incluyendo el plan de negocios, de acuerdo al mejor sistema encontrado, el cual incluirá un plan de negocios que presente adecuada y suficientemente los elementos técnicos, ambientales socioeconómicos y financieros para una toma de decisiones por las áreas usuarias, sobre la ejecución del proyecto, al término del estudio objeto de esta propuesta.

## **13. Diseño general de la logística de manejo integral que permita la llegada de los RSOM a la planta de tratamiento.**

Se planteará la estrategia necesaria de manejo integral (recolección segregada, transferencia y/o acopio) que asegure la eficiente captación de los residuos a ser alimentados al sistema de Digestión Anaerobia. Como parte de esta actividad se visualiza el diseño de las rutas de recolección, el tipo y capacidad de los contenedores necesarios, el tipo y número de los vehículos de transporte; estaciones de transferencia en caso de ser requeridas y logística en general para el manejo de los residuos hasta su tratamiento. Se hará uso de software especializado en diseño de rutas de recolección, y diseño de logística para el manejo integral de residuos.



#### **14. Recursos humanos de alto nivel formados para el manejo de RSOM.**

Durante el desarrollo de todas las actividades antes mencionadas, se promoverá la formación de personal calificado de alto nivel técnico (estudiantes de licenciatura y posgrado), considerando su asistencia a congresos especializados en el tema para su preparación y aportación en conocimientos para este proyecto y en las necesidades futuras de nuestro país.

#### **15. Reuniones técnico ejecutivas.**

Todos los resultados del proyecto se difundirán al personal responsable de la toma de decisiones del Estado de México y Distrito Federal.

#### **16. Talleres de capacitación para la exitosa implementación del proyecto.**

Se realizarán talleres para la capacitación del personal involucrados en dar seguimiento a los resultados del proyecto para su exitosa implementación. Como parte de esta capacitación se desarrollarán programas calendarizados para la ejecución del proyecto, listado de instituciones administradoras de fondos públicos capaces de otorgar recursos para la implementación del proyecto, y en general procedimientos y recomendaciones específicas para la implementación del mismo.

#### **17. Material básico para la implementación del proyecto.**

Se realiza un video corto de 25 minutos, que presente de forma ágil y para todo público los resultados del proyecto, buscando la aceptación del proyecto en el área de estudio, en caso que los resultados de los estudios así lo indiquen.



### **5.3. Objetivos del proyecto**

El objetivo es el enunciado del propósito del proyecto, donde se identifica la finalidad central del trabajo a realizar, siendo para este proyecto los siguientes:

#### **Objetivo general:**

Escalamiento y validación en planta piloto de un sistema de tratamiento de residuos sólidos orgánicos producidos en la ZMCM y el Valle de Toluca, que permita establecer procesos eficientes y las oportunidades económicas para la comercialización de los subproductos de interés.

#### **Objetivos específicos:**

1. Establecer mecanismos que sean logística y técnicamente eficientes para el aprovechamiento de la fracción sólida de los residuos sólidos municipales.
2. Optimizar y validar en pruebas piloto los procesos técnicos para obtener el equilibrio entre el menor impacto ambiental de los residuos sólidos orgánicos y el máximo beneficio económico de la producción de subproductos de interés de beneficio para la sociedad.
3. Diseñar el sistema para la gestión integral de todos los RSOM producidos en la ZMCM y el Valle de Toluca.
4. Desarrollar la estrategia básica y un modelo general para la comercialización de los subproductos del tratamiento de RSOM.



---

5. Elaborar una estrategia de transferencia de tecnología para el tratamiento de RSOM en otros estados del país que incluya: manuales, políticas, procedimientos y recomendaciones específicas para su implementación.

#### **5.4. Programa de ejecución**

Se programaron dos etapas de 12 meses cada una, en las Figura 16 y Figura 17 se muestran las actividades de cada etapa.



**ETAPA 1**

| Generación de un sistema piloto de tratamiento de residuos sólidos orgánicos municipales (RSOM) |  | SEMESTRE 1 |    |    |    |    |    | SEMESTRE 2 |    |    |     |     |     |
|---|--|------------|----|----|----|----|----|------------|----|----|-----|-----|-----|
|   |  | M1         | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7         | M8 | M9 | M10 | M11 | M12 |
| 1   | Estado del arte de las tecnologías de digestión anaerobia de los residuos sólidos orgánicos municipales  | ■          | ■  | ■  | ■  |    |    |            |    |    |     |     |     |
| 2   | Simposium con expertos y tecnólogos nacionales e internacionales en tema de digestión anaerobia de RSOM.   |            |    |    |    | ■  |    |            |    |    |     |     |     |
| 3   | Evaluación de alternativas tecnológicas para seleccionar la opción del sistema de tratamiento más adecuado para las condiciones y tipo de residuos del área de estudio |            |    |    |    |    | ■  |            |    |    |     |     |     |
| 4   | Estudio de las condiciones del nivel socioeconómico asociadas a las actividades de recolección y disposición de residuos en el área de estudio                         | ■          | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  |            |    |    |     |     |     |
| 5   | Muestreo y caracterización de los RSOM generados en el área de estudio   |            |    |    | ■  | ■  | ■  |            |    |    |     |     |     |
| 6   | Pruebas de digestión anaerobia a nivel laboratorio para los RSOM colectados  |            |    |    | ■  | ■  | ■  | ■          | ■  |    |     |     |     |
| 7   | Diseño de una planta piloto para el tratamiento de los RSOM  |            |    |    |    |    |    | ■          | ■  | ■  | ■   |     |     |
| 8   | Construcción de una planta piloto para el tratamiento de los RSOM  |            |    |    |    |    |    |            |    |    | ■   | ■   | ■   |

Figura 16. Cronograma de ejecución de la 1a etapa del proyecto. (Proyecto 174710, FORDECyT-CONACyT, 2011)



**ETAPA 2**

| Generación de un sistema piloto de tratamiento de residuos sólidos orgánicos municipales (RSOM) |   | SEMESTRE 1 |     |     |     |     |     | SEMESTRE 2 |     |     |     |     |     |
|---|---|------------|-----|-----|-----|-----|-----|------------|-----|-----|-----|-----|-----|
|   |   | M13        | M14 | M15 | M16 | M17 | M18 | M19        | M20 | M21 | M22 | M23 | M24 |
| 8   | Construcción de una planta piloto para el tratamiento de los RSOM   | ■          |     |     |     |     |     |            |     |     |     |     |     |
| 9   | Operación de una planta piloto para el tratamiento de los RSOM  |            | ■   | ■   | ■   | ■   | ■   | ■          | ■   | ■   |     |     |     |
| 10  | Estudio de mercado para los subproductos generados del tratamiento de RSOM                                  | ■          | ■   | ■   | ■   | ■   | ■   |            |     |     |     |     |     |
| 11  | Ingeniería básica del sistema de digestión anaerobia de los RSOM  |            |     |     |     |     |     | ■          | ■   | ■   |     |     |     |
| 12  | Proyecto ejecutivo de una planta de tratamiento a escala industrial para la digestión anaerobia de los RSOM |            |     |     |     |     |     |            |     |     | ■   | ■   | ■   |
| 13  | Diseño de la logística de manejo integral que permita la llegada de los RSOM a la planta de tratamiento     | ■          | ■   | ■   | ■   | ■   | ■   |            |     |     |     |     |     |
| 14  | Generación de recursos humanos  | ■          | ■   | ■   | ■   | ■   | ■   | ■          | ■   | ■   | ■   | ■   | ■   |
| 15  | Actividades de difusión de los resultados   |            |     |     |     |     |     | ■          | ■   | ■   | ■   | ■   | ■   |

Figura 17. Cronograma de ejecución de la 2ª etapa del proyecto. (Proyecto 174710, FORDECyT-CONACyT, 2011)

Se consideró la presentación de avances a las áreas usuarias, tanto como fuese necesario, programando con una frecuencia de cada dos meses y realizando una



comunicación constante para la definición de la propuesta de solución de acuerdo a las necesidades específicas del área de estudio.

### **5.5. Productos comprometidos**

Los entregables comprometidos en cada etapa y de acuerdo con el programa de ejecución son (Proyecto 174710, FORDECyT-CONACyT, 2011):

#### Etapa 1

1. Informe del estado del arte de las tecnologías de digestión anaerobia de los RSOM.
2. Simposium con expertos y tecnólogos internacionales en tratamiento anaerobio de RSOM.
3. Informe de evaluación matricial de alternativas tecnológicas de digestión anaerobia, seleccionando la más adecuada para el área de estudio.
4. Estudio de las condiciones del nivel socioeconómico asociadas a las actividades de recolección y disposición de residuos en el área de estudio.
5. Muestreo de los RSOM en el área de estudio.
6. Pruebas de digestión anaerobia a nivel laboratorio para los RSOM colectados.
7. Documentos de Ingeniería del diseño de una planta piloto para el tratamiento de los RSOM del área de estudio.



## Etapa 2

8. Construcción de una planta piloto para el tratamiento de RSOM con capacidad máxima de 1 tonelada/día de alimentación de RSOM.
9. Operación de la planta piloto para obtener las condiciones adecuadas de las variables de operación del sistema.
10. Estrategia básica para la comercialización o destino de los subproductos de interés.
11. Ingeniería básica de acuerdo al sistema de digestión anaerobia seleccionado.
12. Proyecto ejecutivo de una planta de tratamiento industrial de RSOM.
13. Diseño general de la logística de manejo integral que permita la llegada de los RSOM a la planta de tratamiento.
14. Recursos humanos de alto nivel formados para el manejo de RSOM.
15. Reuniones técnico ejecutivas.
16. Talleres de capacitación para la exitosa implementación del proyecto.
- 17.. Material básico para la implementación del proyecto.(Video corto)



## 5.6. Equipo de trabajo

El equipo de trabajo fue dispuesto para que participaran todas las dependencias de la UNAM involucradas dentro del proyecto, quedando de la siguiente manera:

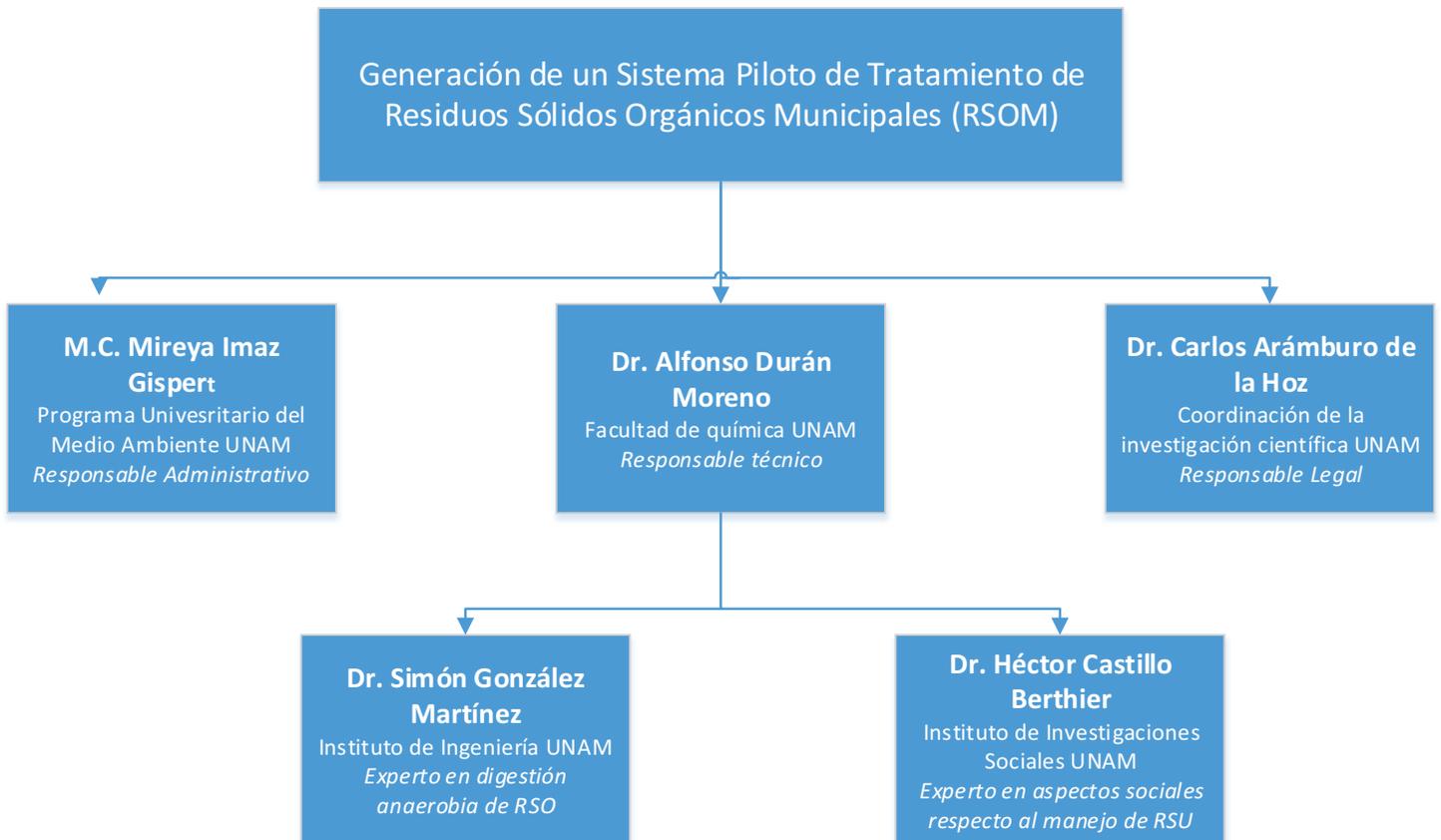


Figura 18. Organigrama del equipo de trabajo (Proyecto 174710, FORDECyT-CONACyT, 2011)



## **5.7. Estimación de riesgos**

De acuerdo a consideraciones preliminares, se identificaron los posibles riesgos que podrían presentarse durante la operación y ejecución (Proyecto 174710, FORDECyT-CONACyT, 2011):

- 1.- Impedimento de acceso a los sitios de muestreo, por grupos organizados de segregadores de residuos.
- 2.- Retraso en la formalización del Convenio de Asignación de Recursos, tal que el proyecto se vea afectado.
- 3.- Que las áreas usuarias no contaran con las autorizaciones y recursos económicos autorizados para la implementación del proyecto
- 4.- Las políticas públicas relacionadas al proyecto, puedan sufrir cambios tal que la implantación del proyecto se vea afectada.
- 5.- Eventualidades durante el proceso de licitación, tal que el fallo de licitación no pueda verse concluido en los plazos esperados.

Con base en los anteriores supuestos, se establecieron las siguientes estrategias de minimización (Proyecto 174710, FORDECyT-CONACyT, 2011):

- 1.- Solicitud de apoyo a las áreas usuarias, para preparar logística previamente a las visitas a los sitios de muestreo.
- 2.- Solicitud de atención inmediata a la preparación de convenio de asignación de recursos, una vez los resultados de la presente convocatoria, para evitar retrasos en la fase de operación o implantación de resultados.
- 3.- Comunicación entre las áreas usuarias, de manera previa al término del proyecto, tal que se acuerde la logística a seguir con base en la experiencia de proyectos anteriores.
- 4.- Programación del presupuesto y solicitud de autorizaciones con la debida consideración de tiempo y forma requeridos.



## **6. Diagnóstico de la ejecución del proyecto caso de estudio**

De acuerdo con el objetivo de este trabajo y con el fin de organizar la información resultante de la ejecución del proyecto: “Generación de un sistema piloto de tratamiento de residuos sólidos orgánicos municipales” es necesario realizar un análisis de las actividades llevadas a cabo y de los documentos generados. Para lograr lo anterior se ha decidido emplear como referencia el PMBOK el cual mediante las diez áreas de conocimiento que establece, brindará una guía con la que se puedan evaluar los aspectos más importantes así como las estrategias utilizadas para la planeación y control de este proyecto.

Como se sabe, este proyecto surgió a partir de la necesidad de proporcionar una solución a los problemas que ocasiona la desmedida generación de residuos sólidos orgánicos en la Ciudad de México y el Estado de México, además de su inadecuada disposición final.

Por ello CONACyT lanzó una convocatoria en la cual invitó a diferentes instituciones a realizar una propuesta donde se brindara solución a la problemática planteada. De dicha convocatoria resultó ganadora la propuesta emitida por la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México, cuyos puntos principales se pueden consultar en el apartado 5 de este trabajo.

### **6.1. Integración del proyecto**

Partiendo de la primer área de conocimiento que sugiere el PMBOK, la Integración del Proyecto, se dio por formalizado e iniciado el proyecto mediante el “Convenio de Asignación de Recursos” quedan establecidos los compromisos por parte de cada



uno de los involucrados, quienes son: primeramente CONACyT quien presenta la propuesta de este proyecto; los gobiernos del Distrito Federal y el Estado de México, quienes representan el papel de áreas usuarias puesto que son los principales afectados por el manejo inadecuado de los residuos y contribuyeron económicamente al desarrollo de éste con el fin de verse beneficiados con el resultado de este trabajo; la Universidad Nacional Autónoma de México la cual mediante la Facultad de Química, la Facultad de Ingeniería, la Escuela de Trabajo Social, el Programa Universitario del Medio Ambiente (PUMA), el Centro de Investigación Científica (CIC) y la Facultad de Estudios Superiores campus Iztacala (FES-Iztacala) son los encargados de llevar a cabo el proyecto.

El Convenio de Asignación de Recursos se elaboró a partir de la propuesta Técnico-Económica elaborada por la Facultad de Química. Dicho documento deja en claro la participación y responsabilidades de cada uno de los involucrados, mediante una serie de cláusulas concernientes a diferentes aspectos del proyecto. Entre las más relevantes se encuentran:

- El objetivo del proyecto es el escalamiento y validación en planta piloto de un sistema de tratamiento de residuos sólidos orgánicos producidos en el ZMCM y el Valle de Toluca, Estado de México, que permita establecer procesos eficientes y oportunidades económicas para la comercialización de los subproductos de interés.
- La Universidad Nacional Autónoma de México (Sujeto de apoyo) se obliga a desarrollar el proyecto aplicando los recursos que se le canalicen, así como el logro de metas, actividades y entregables en los plazos aprobados por el convenio.
- El informe técnico al término de cada etapa conforme a las actividades establecidas deberá ser entregado en el formato establecido. Deberán



contener los entregables comprometidos, la información de los recursos canalizados.

- Al término del proyecto deberá presentarse un informe final “Técnico-Financiero” dentro de los 30 días naturales contados a partir de la fecha de conclusión, en los que se incluirá la solicitud de finiquito de los recursos económicos otorgados, considerando el debido cumplimiento del proyecto y que los recursos canalizados fueron utilizados única y exclusivamente para su desarrollo.
- El sujeto de apoyo deberá guardar toda aquella información Técnico-Financiera que se genere y sea relevante para realizar futuras evaluaciones sobre el proyecto, durante un periodo de 5 años posteriores a la conclusión.
- El sujeto de apoyo designa al Dr. Alfonso Durán Moreno como Responsable Técnico del proyecto, quien será el enlace con el secretario técnico para los asuntos técnicos, teniendo como responsabilidad coordinar el desarrollo del proyecto, presentar el informe de cierre y en general supervisar el fiel cumplimiento del convenio.
- El sujeto de apoyo designa a la Sra. Concepción Alicia Mondragón Hurtado como Responsable Administrativo del proyecto, quien auxiliará al Responsable Técnico en su función de enlace con el secretario administrativo y tendrá como obligación directa el manejo de los recursos del apoyo económico canalizado al sujeto de apoyo, así como de los asuntos contables y administrativos del proyecto.
- Los recursos asignados al proyecto deberán permanecer en una cuenta específica hasta que no sean ejercidos en términos de lo aprobado por el comité técnico y de administración.



- El sujeto de apoyo, deberá abrir un sistema de registro contable para los movimientos financieros relativos al proyecto, así como contar con un expediente específico para la documentación del mismo.
- Las partes convienen que los Derechos de Propiedad Industrial y los Derechos de autor que se generen como resultado del desarrollo del proyecto serán propiedad de la persona física o moral a quien conforme a Derecho le corresponden.
- Las partes se comprometen a mantener en confidencialidad toda la información intercambiada o acordada, excepto aquella que deba considerarse pública en términos de lo dispuesto.
- Se puede rescindir del convenio cuando el sujeto de apoyo incurra en algún incumplimiento considerado por el fondo, pudiendo ser cancelado el proyecto.
- En el supuesto de que por causas de fuerza mayor no pueda terminarse el proyecto, el sujeto de apoyo deberá notificar las causas por las que no se puede concluir, debiendo reembolsar el remanente de los recursos económicos que en su caso no se hayan aplicado en un plazo no mayor a 15 días.
- Se puede dar por terminado el proyecto de manera anticipada, siempre y cuando existan circunstancias que impidan continuar con su desarrollo, previa notificación con una anticipación de 5 días naturales.
- El sujeto de apoyo se obliga a cumplir y hacer cumplir durante el desarrollo del proyecto y hasta su conclusión la legislación aplicable en materia ecológica, de bioseguridad y biodiversidad.
- El convenio tendrá una vigencia de 24 meses contados a partir de la fecha de formalización, cuando se cuente con la firma de todas y cada una de las



partes que intervienen en el mismo. No obstante la vigencia podrá prorrogarse siempre que se encuentre con el consentimiento de las partes.

Siendo así, la firma de conformidad de este documento por cada una de las áreas usuarias e interesados, dio por iniciado formalmente al proyecto el 06 de junio de 2012 y a partir de ese momento la Universidad Nacional Autónoma de México en conjunto con las dependencias antes mencionadas son responsables de la ejecución y correcta aplicación de los recursos involucrados.

Partiendo de la propuesta Técnico-Económica y debido a que estaba establecido un periodo de 2 años para realizar el proyecto de acuerdo con las bases del concurso, se dispuso que el proyecto fuera dividido en 2 etapas de 12 meses cada una, asignándose diferentes actividades dentro de cada una, se definió el plan de trabajo, la metodología a emplear, las tareas o actividades necesarias para alcanzar con éxito el proyecto y así obtener los productos comprometidos mediante la siguiente estrategia de ejecución:

Utilizando un equipo multidisciplinario, conformado por investigadores de la Universidad Nacional Autónoma de México, con conocimientos y amplia experiencia en los siguientes temas:

- 1) El Dr. Alfonso Durán, de la Facultad de Química, con una trayectoria considerable en el desarrollo y evaluación técnica, económica, financiera y ambiental de proyectos en tema de residuos, fortalecido con la experiencia previa de haber ejecutado el muestreo de las 13 estaciones de transferencia de la Ciudad de México, su caracterización y entre otros aspectos, la evaluación de tecnologías de digestión anaerobia para los residuos orgánicos de la Ciudad de México haciendo uso de *software* especializado.



- 2) El Dr. Juan Manuel Morgan Sagasmute, del Instituto de Ingeniería, con amplia experiencia en pruebas a nivel laboratorio de digestión anaerobia.
- 3) el Dr. Héctor Francisco Castillo Berthier, investigador del Instituto de Investigaciones Sociales, pionero en el análisis de los aspectos sociales relacionados al manejo de los residuos sólidos urbanos en nuestro país.

En conjunto y de acuerdo al área de conocimiento de cada uno de los especialistas, se acordó abordar las actividades correspondientes a su experiencia.

## **6.2. Gestión del alcance**

Con la finalidad de permitir un mayor control del alcance general del proyecto, fue definido un alcance por cada actividad, teniendo por tanto 15 alcances individuales para vigilar con mayor efectividad el cumplimiento de cada uno.

Como medida de monitoreo del trabajo realizado, se acordaron reuniones internas semanales con el equipo involucrado en las respectivas actividades para mostrar el avance correspondiente de acuerdo con el plan de ejecución establecido. Para contar con un respaldo de los resultados expuestos hasta el momento, se realizaron minutas de cada una de estas reuniones, especificando el trabajo que cada responsable había realizado. Sin embargo los reportes de actividades no contaron con un formato establecido que permitiera medir el porcentaje de avance obtenido por cada actividad, siendo carente de gráficos o alguna otra herramienta que mostrará de manera más precisa lo logros generados.



### **6.3. Gestión del tiempo**

Dentro de esta gestión es imprescindible la definición de las actividades por desarrollar y el tiempo que tomará cada una de ellas, así como los recursos humanos involucrados. Para este caso se determinaron 24 meses para la ejecución con 15 actividades repartidas en 2 etapas de 12 meses cada una, quedando de la siguiente manera:

Para la Etapa 1:

1. Estado del arte de las tecnologías de digestión anaerobia de los RSOM.
2. Simposium con expertos y tecnólogos internacionales en tratamiento anaerobio de RSOM.
3. Evaluación de alternativas tecnológicas para seleccionar la opción del sistema de tratamiento más adecuado para las condiciones y tipo de residuos del área de estudio.
4. Estudio de las condiciones del nivel socioeconómico asociadas a las actividades de recolección y disposición de residuos en el área de estudio.
5. Muestreo y caracterización de los RSOM generados en el área de estudio.
6. Pruebas de digestión anaerobia a nivel laboratorio para los RSOM colectados.
7. Diseño de un planta piloto para el tratamiento de los RSOM.

Para la etapa 2:

8. Construcción de una planta piloto para el tratamiento de RSOM
9. Operación de la planta piloto para el tratamiento de los RSOM.



10. Estudio de mercado para los subproductos generados del tratamiento de los RSOM
11. Ingeniería básica del sistema de digestión anaerobia de los RSOM
12. Proyecto ejecutivo de una planta de tratamiento a escala industrial para la digestión anaerobia de los RSOM
13. Diseño general de la logística de manejo integral que permita la llegada de los RSOM a la planta de tratamiento.
14. Generación de recursos humanos
15. Actividades de difusión de los resultados

Estas actividades fueron dispuestas con base en la experiencia de los investigadores que participaron en la elaboración de la Propuesta Técnico – Económica así como la duración que se le asignó a cada una de ellas, como se puede observar en la Figura 16 y Figura 17.

Respecto a las actividades y el tiempo de cada una de ellas, únicamente se cuenta con la descripción general, se carece de un desglose a detalle y del uso de técnicas o herramientas más especializadas para este tipo de gestiones.

### **6.3.1. Actividad 1**

Haciendo un análisis de la Actividad 1 “Estado del arte de las tecnologías de digestión anaerobia de los RSOM”, respecto al tiempo y los documentos generados, se tiene que, en los cuatro meses que duró, se generaron los siguientes documentos:

- Fundamentos de los Residuos
- Fundamentos de la Digestión Anaerobia



- Biodigestores para la digestión de la FORSU
- Tecnologías de Digestión Anaerobia de la FORSU
- Modelación y diseño de sistemas del proceso de la Digestión Anaerobia
- Informe de la Feria Ambiental IFAT
- Visita técnica a las principales plantas Europeas de Digestión Anaerobia de RSOM
- Compendio de las fuentes bibliográficas

No está especificado el tiempo exacto que tomó la elaboración de cada uno de estos entregables, así como tampoco si se realizaron otros documentos que sirvieran como base. De igual manera no está establecido el número de personas que se requirieron o que participaron.

### **6.3.2. Actividad 2**

En la Actividad 2 se organizó un Simposium entre académicos, científicos, y tecnólogos nacionales e internacionales para el intercambio de experiencias referentes a tecnologías de tratamiento de residuos sólidos orgánicos para contribuir a su desarrollo en México, por ello fueron invitados los representantes del gobierno de las entidades involucradas en el proyecto para su conocimiento sobre este tipo de tecnología a implementar.

Se dispusieron tres días de conferencias donde tuvieron lugar 20 ponencias y dos mesas redondas conformadas por investigadores y tecnólogos de diferentes lugares, a partir de dicha información se generó el siguiente entregable:

- Simposium con expertos y tecnólogos nacionales e internacionales, en tema de digestión anaerobia de RSOM: Foro Técnico



Este entregable reúne las conclusiones obtenidas a partir de cada ponencia y de las mesas redondas organizadas, su contenido fue de gran utilidad para toma de decisiones y futuros documentos.

### **6.3.3. Actividad 3**

La Evaluación de alternativas tecnológicas para seleccionar la opción del sistema de tratamiento más adecuado para las condiciones y tipo de residuos del área de estudio, fue asignada como la Actividad 3. Se utilizó un mes para esta toma de decisión basándose en la información recabada sobre el estado del arte y el Simposium.

Se emplearon criterios para la selección de la tecnología como el Análisis de Ciclo de Vida de los residuos sólidos urbanos, haciendo énfasis en la fracción orgánica, adicionalmente se desarrolló una evaluación de impactos ambientales mediante una matriz de Leopold; por último se hizo una evaluación multicriterio mediante la herramienta de computo “PROMETHE” con la cual se realizó una comparación, clasificación y calificación objetiva para la selección.

Quedó definido que la implementación de la digestión anaerobia contribuye con la disminución de impactos ambientales y se llegó a la conclusión de que no existe una tecnología que resulte significativamente superior a las demás. Sin embargo específicamente para el caso de la construcción de la planta piloto, se consideró recomendable proyectar la tecnología de digestión anaerobia Húmeda como base del proceso debido a la escala del proyecto y a las pequeñas cantidades que se van a utilizar, además de que los equipos industriales escalados presentan mayor adaptabilidad con el manejo de líquidos que de sólidos.



#### **6.3.4. Actividad 4**

Durante la Actividad 4 se estudió el manejo de los residuos sólidos de la zona metropolitana de la Ciudad de México y el Estado de México, a partir del cual se elaboró un informe sobre las condiciones a nivel social relacionadas a las actividades de recolección y disposición de residuos, no se cuenta con la metodología de ejecución seguida durante los seis meses designados para su elaboración.

#### **6.3.5. Actividad 5**

En cuanto a la Actividad 5 de Muestreo y Caracterización, se destinaron tres meses para su ejecución, sin embargo debido a la falta de un plan de comunicación y manejo de información, se carece de documentación forma sobre la metodología que se siguió.

Se cuenta con anexos fotográficos y dos documentos sobre muestreo y caracterización de los RSOM generados en el área de estudio, uno enfocado únicamente en el muestreo y otro enfocado exclusivamente en la caracterización. Fue la misma situación para la Actividad 6.

#### **6.3.6. Actividad 7**

Esta actividad consistió en el diseño de la planta piloto de tratamiento de RSOM. De acuerdo con el cronograma de ejecución se destinaron 4 meses, teniendo como fecha de inicio diciembre de 2012 y como límite de entrega abril de 2013. Los



documentos comprometidos fueron el diseño de la ingeniería básica y la ingeniería de detalle. Para este fin se contrató una firma de ingeniería encargada del desarrollo de la ingeniería de detalle y por parte del equipo de trabajo se llevaría a cabo el diseño de la ingeniería básica.

Debido a la falta de una planeación más completa se presentaron durante la elaboración de esta actividad, muchas inconsistencias que no permitieron resultados más exitosos. La falta de una definición oportuna de la línea base del proyecto tuvo repercusiones para esta actividad debido a que se pierde de vista fácilmente la ruta de ejecución. Para una mayor claridad de las desviaciones que tuvieron lugar en la Figura 19 se muestra un gráfico con el avance correspondiente.

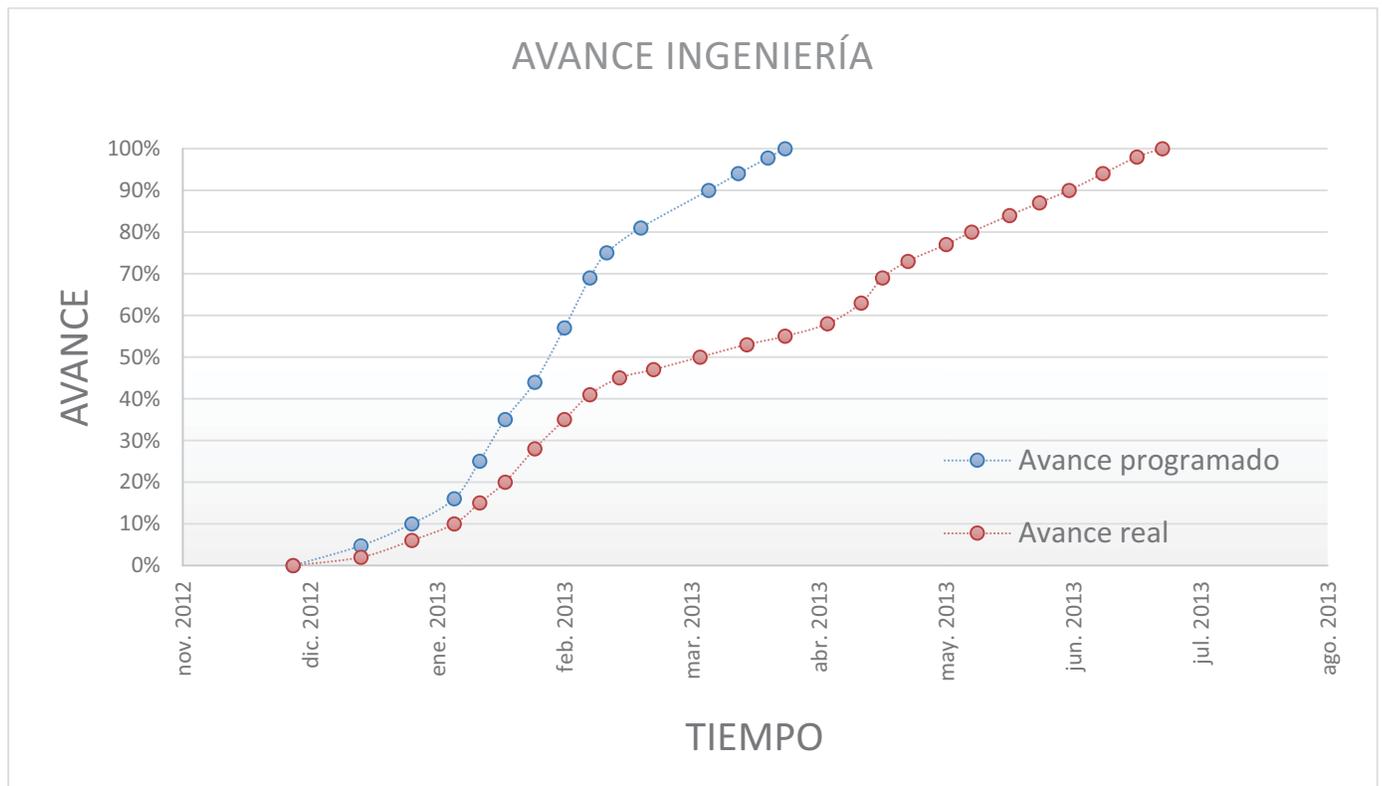


Figura 19. Curva de Avance de la Ingeniería

Esta curva de avance es un gráfico de control que permite medir el porcentaje de avance que se tiene respecto a la duración de una actividad, el costo, las horas-hombre o el número de documentos que se deben generar. Como se puede observar y de acuerdo con el cronograma Figura 16 y Figura 17, la duración estimada fue de 4 meses comenzando en diciembre de 2012 para terminar en abril de 2013 como se muestra en la línea azul la cual representa el porcentaje de avance de acuerdo con lo programado para poder concluir a tiempo la actividad. Sin embargo el término de esta actividad tuvo lugar hasta julio de 2013. Para el desarrollo de esta actividad se llevó a cabo la metodología que se muestra en la Figura 20.

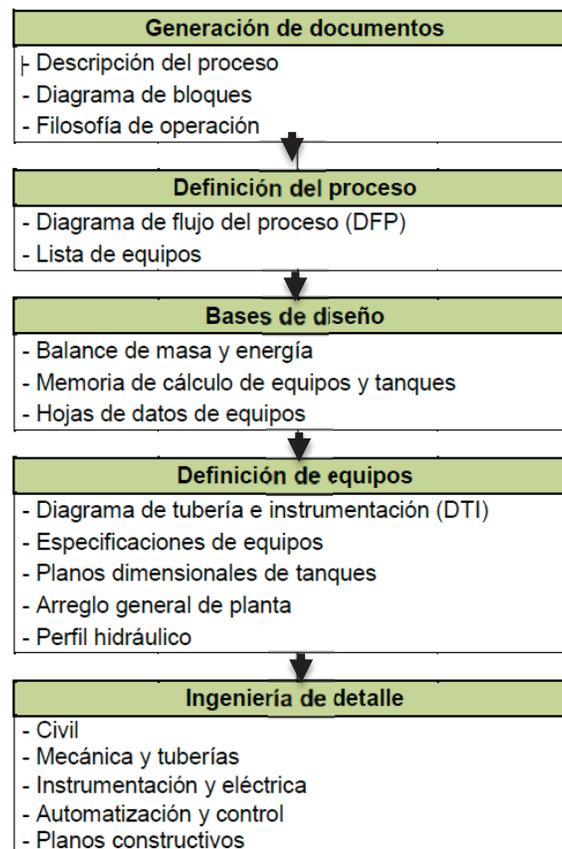


Figura 20. Metodología para el diseño de la ingeniería



Se siguió esta organización del trabajo, en la que se definió una lista de entregables por disciplina involucrada para en conjunto dar forma al diseño y alcanzar el objetivo, elaborándose un total de 323 documentos en los que quedaron definidos los equipos, arreglos, distribución de la planta, entre otros.

Todos los inconvenientes aunados a esta actividad, trajeron como consecuencia la modificación del alcance de las actividades subsecuentes por lo que quedó establecida como nueva fecha de finalización, el 14 de febrero de 2015.

Durante la ejecución de esta actividad debió haber sido desarrollado el plan de la gestión de la procura, área de conocimiento 4.8. Gestión de las adquisiciones. Para mostrar con respecto al tiempo como se ejecutó esta actividad, en la siguiente gráfica de la Figura 21 se observa la curva de avance de la procura respecto a las fechas que se establecieron para el diseño de la ingeniería.

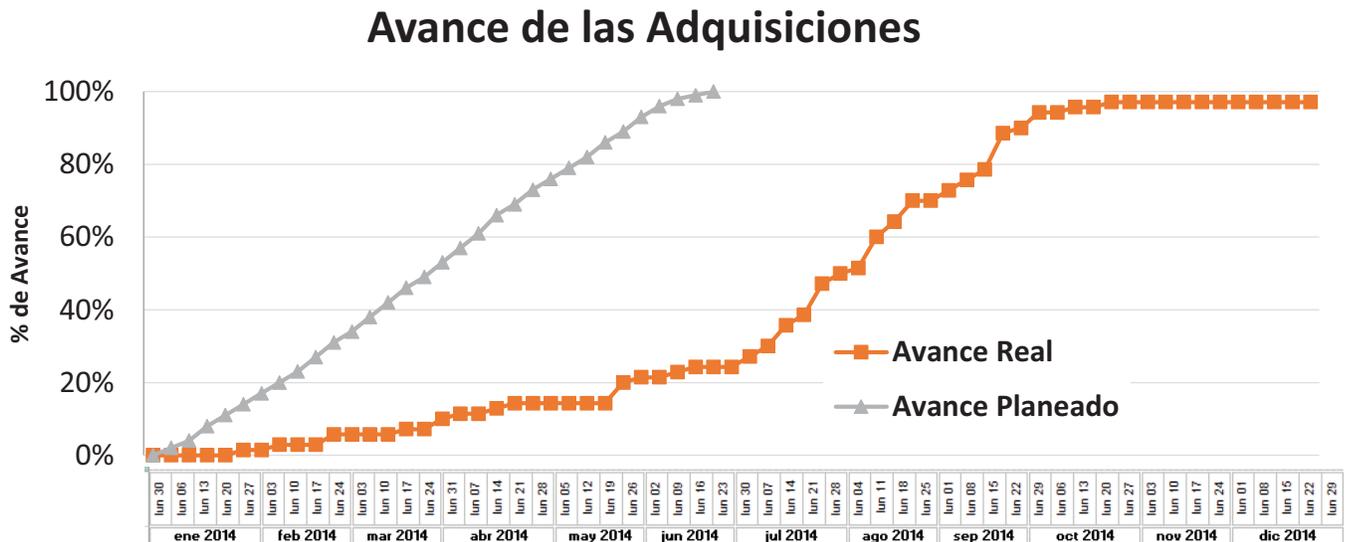


Figura 21. Curva de avance de las Adquisiciones



Se observa que se planeó concluir la gestión de las compras en julio de 2014 para en agosto de 2014 iniciar con la construcción de la planta piloto.

### **6.3.7. Actividad 8**

Dentro de la actividad de la construcción de la planta piloto, se presentaron los mismos inconvenientes. Como es sabido, ésta actividad no puede dar inicio si su predecesora no ha concluido e igualmente si no se ha dado por terminada la gestión de las compras concernientes a todos los equipos y materiales relacionados con la construcción.

En lo que respecta a la elección del sitio para la construcción de la planta, había que tener en consideración que al ser un proyecto que beneficiará al Estado de México y a la Ciudad de México, debía disponerse de un sitio dentro de cualquiera de estos lugares y que fuera también parte de la UNAM, por tanto la FES-Iztacala se ofreció a proporcionar un área para la construcción, que cumpliera con estos requisitos.

Esta actividad a su vez consta de dos partes fundamentales, la construcción civil y la construcción como tal de la planta piloto, la gestión de la primera quedó a cargo de la Dirección General de Obras y Conservación de la UNAM, mientras que para la segunda, se planeó una licitación entre diferentes empresas integradoras para dar comienzo a la construcción como tal de la planta al finalizar la obra civil.

Por tanto respecto al estimado original de fechas para esta actividad, se estableció que debía haber comenzado la construcción de la planta en mayo de 2013 para terminar en septiembre de 2013 y comenzar con la operación, como se muestra en la curva de avance de la Figura 22.

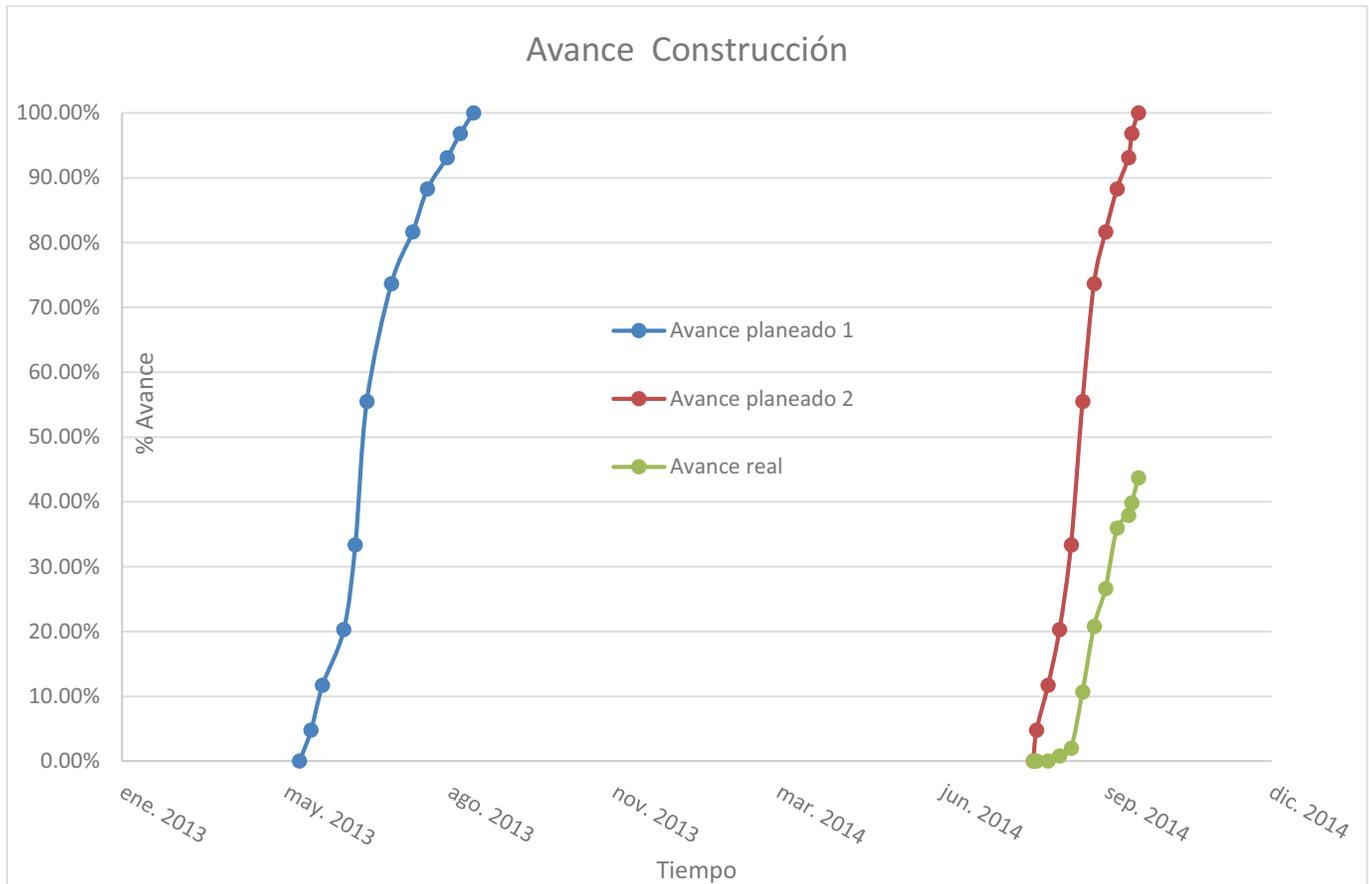


Figura 22. Curva de Avance de la Construcción

La línea azul muestra la curva de avance planeada para la primera etapa, la cual tuvo que ser modificada al cambiar el alcance (curva roja), en la curva verde se observa el desempeño de la construcción hasta octubre de 2014, de acuerdo a la tendencia de la curva, se esperaría que la construcción concluya en enero de 2015.

El resto de las actividades incluida la operación de la planta, el estudio de mercado, el escalamiento, entre otras, padecen las mismas deficiencias como consecuencia de las actividades anteriores, en mayor o menor grado. El tiempo para su realización va de diciembre de 2014 a febrero 14 de 2015.



#### **6.4. Gestión de la calidad**

En este aspecto, se hace referencia a la calidad como el parámetro establecido para la elaboración de todos los documentos, tanto internos como comprometidos así como del contenido de cada uno.

Respecto a la calidad en físico de cada documento, es importante destacar que los entregables para CONACyT fueron elaborados con base en un formato otorgado por la institución, en el cual se especifican ciertos requisitos a cumplir para que pueda ser aceptado. En cuanto a los documentos internos requeridos para completar cada actividad, se elaboró una plantilla para brindar uniformidad al formato de los documentos realizados.

Así mismo en cuanto a la calidad de las reuniones de avance semanal, debió establecerse un formato de reporte del estado de cada actividad para tener un panorama más completo sobre la ejecución.

Con respecto a los resultados de la planta piloto generados de la operación, dado que aún no se ha concluido la construcción, se cuenta con resultados obtenidos a nivel laboratorio y con valores de la literatura, cabe mencionar que estos últimos han servido de referencia y los resultados de la caracterización fisicoquímica de la FORSU y el potencial de metano son muy semejantes a los publicados en revistas internacionales por investigadores de prestigio internacional.



## 6.5. Recursos humanos

En lo que a los recursos humanos concierne, su finalidad es el establecimiento de los roles y responsabilidades dentro del equipo de trabajo para lograr mejores resultados. Es importante partir de un organigrama en el que se seleccionen a las personas involucradas así como delimitar las funciones y responsabilidades que corresponden a cada quien, para evitar fundamentalmente la mal interpretación de roles y /o jerarquías.

En este caso, dentro de la Propuesta Técnico-Económica se presentó un organigrama general, que muestra a los responsables de las diferentes áreas, la legal, la económica y la técnica como se puede apreciar en la Figura 18. Dentro de cada una de esas áreas a su vez existe o debe existir un organigrama del grupo interno de trabajo con los roles correspondientes y la lista de actividades a desarrollar por cada uno. En cuanto al equipo encargado de la parte técnica, en el apartado 11 Anexo A se puede encontrar el organigrama en el que se aprecian las áreas por cubrir, los responsables de cada una de ellas y los recursos de apoyo.

Se puede notar que son varios los alumnos que realizaron servicio social, estancia académica y tesis esto debido a que como parte de los resultados del proyecto, se encuentra la generación de recursos humanos de alto nivel formados para el manejo de RSOM.

Durante el desarrollo del proyecto se presentaron cambios de personal de manera repentina, lo cual ha propiciado pérdida de información, deslinde de responsabilidades, entre otros, que repercuten directamente en el tiempo de ejecución y en la calidad del trabajo.



Después de cada cambio presentado es recomendable la reestructuración del organigrama incluyendo al nuevo personal y los cambios en cuanto a roles o responsabilidades. Igualmente es importante la distribución de las personas de acuerdo con sus habilidades y aptitudes para lograr una mayor sinergia.

## **6.6. Comunicaciones**

Al igual que la gestión de recursos humanos, es necesario implementar un plan de comunicaciones para que se dé un adecuado intercambio de la información, más aún cuando están involucrados muchos participantes. Teniendo a CONACyT, las áreas usuarias y la Universidad Nacional Autónoma de México con sus diferentes dependencias, es necesario que quede muy claro el papel que cada una representa y la forma en que debe darse la comunicación.

Empezando por el equipo interno, encargado de la parte técnica del proyecto, es importante mencionar que acertadamente se decidieron reuniones semanales para mostrar el avance, con las cuales todo el equipo quedaba informado respecto al estado general del trabajo y de las medidas correspondientes para seguir adelante. En cuanto a los documentos generados, se dispuso el uso de un servidor para que la información recopilada y generada fuera accesible para todo el mundo, el inconveniente en este caso fue la falta de actualizaciones constantes de la información.

En cuanto al plan de comunicación entre las dependencias de la UNAM que participaron, Programa Universitario del Medio Ambiente (PUMA), el Instituto de Investigaciones Sociales (IIS) y el Instituto de Ingeniería (II), se tiene lo siguiente: Con el IIS se hicieron los acuerdos respectivos en cuanto a la parte de trabajo que



les correspondía, siendo más activa su participación en la parte de difusión de los resultados y determinación de los problemas inherentes a la basura y la construcción de la planta.

El Programa Universitario del Medio Ambiente, fue designado para llevar a cabo la administración de los recursos disponibles para el proyecto. Su función fue destinada a la revisión, supervisión y aprobación de las compras solicitadas durante su desarrollo. Dada la gran responsabilidad de esta dependencia, la comunicación es un requisito fundamental para evitar todo tipo de inconvenientes respecto a los fondos con que se cuentan. Para compras en general, solicitudes de viáticos o pagos, no se presentaron grandes dificultades, sin embargo en el caso de la adquisición de los equipos para la construcción de la planta hubo muchos problemas respecto a los trámites y falta de información de los procedimientos a seguir.

La necesidad de continua comunicación con esta dependencia debió haber generado un documento en el que se establecieran los procedimientos a seguir con sus respectivos tiempos de forma clara y específica ya que la falta de lineamientos administrativos más específicos contribuyó al retraso en la solicitud de diversos equipos.

## **6.7. Gestión de costos**

En lo que esta parte respecta, como ya se mencionó anteriormente, el PUMA fue designado para llevar todas las cuestiones administrativas del proyecto. Con base en el Convenio de Asignación de Recursos, se especificaron diferentes partidas para la asignación de los fondos, su principal responsabilidad ha sido el control de los gastos así como la emisión de pagos e informes respecto al uso del dinero proporcionado. Informando mensualmente como se han ejercido éstos.



Internamente se lleva un control con base en los reportes que son proporcionados, para corroborar que todos los gastos ahí expresados sean los mismos que el equipo tiene reportados. En general dentro de esta actividad no ha habido mayores inconvenientes puesto que se he realizado una gestión apropiada manteniéndose el proyecto dentro de su presupuesto.

### **6.8. Gestión de adquisiciones**

La gestión de la procura se debe encargar de generar un plan de suministros y entrega, así como realizar un análisis de alternativas de compra de acuerdo con las especificaciones técnicas recibidas por parte del área de ingeniería.

Sí bien es una actividad que no puede dar inicio formalmente sin que concluya el diseño por parte de ingeniería, se pueden prever ciertos aspectos mediante una planeación anticipada la cual fue elaborada sobre la marcha dentro de este proyecto.

Faltaron bases más sólidas para el seguimiento de esta gestión, como fue la falta de un formato apropiado para la requisición de las cotizaciones y control de las mismas, entre otros.

Tomando como referencia las fechas establecidas inicialmente para el término de la ingeniería y el inicio de la construcción, se esperaba que el diseño terminara en marzo de 2013 y que la construcción comenzara en mayo de 2013. Dados el cambio en el alcance, estas fechas fueron modificadas quedando el mes de mayo de 2014 como fecha de entrega de ingeniería y agosto de 2014 como inicio de la construcción, por lo que para antes de agosto ya deberían de haberse adquirido es



su mayoría los equipos y accesorios. En la Figura 21 se muestra la curva de avance correspondiente.

## **6.9. Gestión de riesgos**

Uno de los principales problemas en cualquier proyecto es la ausencia de un análisis detallado de los riesgos que se pueden presentar y la respuesta a éstos. En este caso dentro de la Propuesta Técnico-Económica se contemplaron riesgos relacionados al inicio del proyecto y se propusieron algunas estrategias para minimizarlos como se cita en el punto 5.7. de la descripción del proyecto.

No se identificaron los principales riesgos asociados a cada una de las etapas ni de las actividades, por tanto tampoco se consideraron los impactos que tendrían o las posibles causas de origen y sus efectos. En general conforme se presentaron las contingencias se trabajó en ellas, puede decirse que este fue un proyecto totalmente reactivo ante la falta de una mejor planeación y prevención.

## **6.10. Stakeholders**

Es muy importante que exista una relación establecida desde el principio entre todos los involucrados del proyecto respecto a las funciones y responsabilidades que cada uno debe tener. Tanto las áreas usuarias (gobierno del Estado de México y de la Ciudad de México) así como CONACyT, debieron definir formalmente su participación a lo largo del desarrollo del proyecto.

Como parte de su participación CONACyT proporcionó una Guía Auxiliar para la Administración de Proyectos, donde especificó los roles de cada uno de los participantes, estableció un formato para la presentación de los informes de avance así como del informe final, también aclara la forma en que debía realizarse el



---

ejercicio del gasto y el proceder en cuanto a los recursos humanos, aunado a esto se decidieron reuniones periódicas para presentar el avance del trabajo. Que cada interesado exprese sus expectativas, garantiza mejor resultados en el desarrollo del trabajo.



## 7. Propuesta de planeación y control

A partir del diagnóstico realizado al caso de estudio y de las numerosas áreas de oportunidad encontradas. A continuación se presenta una metodología enfocada principalmente en la planeación y el control de la ingeniería, procura y construcción de este tipo de plantas. La primera parte se centra en la planeación, utilizando nuevamente como base las 10 áreas de conocimiento que maneja el PMBOK, se proponen algunas herramientas que pueden aportar valor dentro de algunos aspectos básicos que no se deben perder de vista dentro de un proyecto para obtener resultados exitosos. En la segunda parte se aborda el control para todo el proyecto en general con una herramienta que comprende todas las áreas involucradas. Toda esta propuesta está basada en diferentes fuentes como son: (Amendola, 2002) (Chamoun, 2002) (Ramos Solano, 2007) (PMBOK, 2013) (David, 2008), entre otros que se mencionaran posteriormente.

Comenzando con la **Integración del proyecto** que se encarga de formalizar el inicio del mismo y de definir e identificar los procesos y actividades que deben desarrollarse para cumplir con los objetivos establecidos, se debe considerar la elaboración de un documento que de una iniciativa formal y sea complementaria del contrato o convenio ya acordado por los involucrados. Esta iniciativa es conocida dentro de los proyectos como *Charter* y su función es establecer a nivel general y gerencial las expectativas de una forma clara, concreta y sencilla. Asigna al gerente brindándole autoridad y responsabilidad para dirigir a su equipo de trabajo hacia la comprensión del proyecto y la manera de conducirse durante su desarrollo, igualmente involucra la participación de los **Stakeholders**, otro punto fuerte de las áreas de conocimiento concernientes a todo proyecto.



Para poder elaborar este Charter, es necesario que previamente se realice una Reunión de Arranque, en donde participen todos los involucrados y se expongan las expectativas de cada uno, documentándolas en una minuta, para proporcionar una visión clara de las necesidades por cubrir y los entregables por lograr para alcanzar los objetivos. Se compone principalmente de los siguientes elementos:

- Justificación y/o propósitos del proyecto: en forma breve y general, sin extenderse más de tres o cuatro párrafos.
- Descripción del producto o servicio que se obtendrá: descripción específica y concisa de los productos que el proyecto va a entregar, así como de los documentos finales comprometidos.
- Objetivos: metas hacia las cuales se debe dirigir el trabajo del proyecto para obtener el producto o servicio.
- Involucrados: deben quedar identificadas las personas y las organizaciones que participan activamente dentro del proyecto, así como sus intereses, necesidades específicas o requerimientos.
- Riesgos: deben documentarse los factores que limiten al equipo ejecutor y puedan impedir alcanzar los objetivos.
- Entregables: definir los documentos finales necesarios para sustentar el trabajo.
- Calendario de eventos importantes (hitos): es conveniente definir fechas clave de la entrega de documentación o de reuniones relevantes durante el desarrollo del trabajo.
- Presupuesto: debe incluirse el presupuesto para saber los recursos con los que se cuentan para la realización del trabajo.
- Organigrama: puede incluirse un esquema con los recursos humanos involucrados y sus principales responsabilidades



Los puntos anteriores son los generalmente empleados para realizar el Charter, sin embargo no es estrictamente necesario que lleve ese orden o que cuente con todos ellos e inclusive puede incluir algunos otros como formas y tiempos de pago, lugares para las reuniones, oportunidades, amenazas, control de las versiones del documento, entre otros. Dependiendo del tipo y las necesidades de cada proyecto se eligen los rubros que constituyan mayor prioridad ya que debe ser un documento breve pero con los aspectos fundamentales a considerar. En el **Anexo B** se encuentra un ejemplo de Charter que pudo haber sido elaborado al inicio del proyecto del caso de estudio.

Formalizar el inicio de un proyecto de esta manera, reduce situaciones que pueden afectar en cuanto al tiempo, costo y calidad. El propósito fundamental de esta práctica es compartir la visión de todos los involucrados para dirigir los esfuerzos de cada uno hacia un mismo objetivo. (Chamoun, 2002) (PMBOK, 2013)

## **7.1. Planeación**

Una vez definidos los entregables, objetivos y expectativas es necesario elaborar la Planeación del proyecto para su desarrollo, en donde se incluyen las nueve áreas del conocimiento restantes que deben considerarse para la obtención de un trabajo más confiable. Este plan de proyecto permite comparar el avance periódico para evaluar el desempeño, es una herramienta que guía la ejecución y el control. Ayuda a establecer la línea base del proyecto, respecto de la cual se compara el éxito que se tiene del mismo. A continuación se revisará cada una de las áreas que integran el plan del proyecto.



### 7.1.1. Gestión del alcance

Iniciando el Plan del proyecto con el área del Alcance, se parte de los objetivos y expectativas plasmadas en el *Charter* para definir hasta donde se va a llegar dentro del proyecto. Esto es establecer y confirmar que trabajo será realizado con base en los entregables finales y las expectativas de cada uno de estos, desglosándolos y describiéndolos de tal modo que cumplan con lo que los *stakeholders* esperan.

Esta gestión es prioritaria puesto que define el trabajo exacto y necesario para cumplir con los objetivos, estableciendo a su vez el trabajo que no se va a incluir. Su desarrollo consiste en lo siguiente:

- Describir detalladamente lo que debe incluir cada uno de los entregables finales correspondientes a cada actividad o alcance.
- Determinar los criterios de aceptación de cada entregable final.

Dentro de la Propuesta Técnico-Económica del caso de estudio, se definieron correctamente cada uno de los alcances involucrados. En el **Anexo C** se presenta una sugerencia de formato para la declaración del alcance.

Esta declaración es punto de partida para generar la lista de sub-entregables hasta llegar a un nivel de desglose en el que el control se dé al proporcionar a cada elemento un responsable o grupo de responsables, para ser programado y monitoreado. A esta estructura de entregables de manera jerárquica se les denomina WBS como anteriormente se había mencionado y son parte integral del alcance, lo que no esté incluido no se considera puesto que no existe, en tanto que cada nivel inferior de la estructura representa un mayor nivel de detalle de los elementos del proyecto.



Se puede decir que el WBS es la columna vertebral del proyecto ya que de ahí parte el desarrollo del programa, la distribución de roles y funciones, la evaluación de riesgos, entre otros aspectos básicos. Es importante desde este punto, desarrollar el WBS para evitar definiciones tardías que contribuyen a re-trabajo, desgaste, pérdida de tiempo entre otras posibles consecuencias, ya que al postergar este paso se generan improvisaciones en etapas avanzadas y las repercusiones suelen ser mayores e irreversibles.

Existen diferentes programas y herramientas que pueden auxiliar para hacer el desarrollo de todas las actividades, pero antes de trasladar la información a un programa especializado, primero deben definirse claramente los nombres y números que se asignarán a cada actividad y sus respectivas sub-actividades, para poder hacer referencia de ellas dentro de las demás áreas de conocimiento.

Al elaborar el desglose de las actividades, es importante utilizar una adecuada codificación para facilitar la expansión sistemática de éstas, al adicionar elementos.

Puede emplearse un sistema alfanumérico o una combinación de números romanos o arábigos separados por puntos, la finalidad es asignar un número de identificación único. Una vez “etiquetadas” cada una de las actividades, se hace la representación del conjunto, la cual dependiendo de la herramienta que se utilice y de la forma en que se desee, puede tener una distribución ramificada como árbol, tabular o únicamente desglosada.

En la **Anexo D** se presenta un ejemplo de cómo pudo ser el desarrollo de WBS del caso de estudio mediante un formato tabular, empleando como código de identificación una alternación entre números y letras. Mientras que en el **Anexo E** se presenta un diagrama de árbol para representar de forma ramificada el trabajo



mediante la herramienta *Critical Tools*, que se especializa en la elaboración de WBS.

### 7.1.2. Gestión del tiempo

La administración del tiempo es una de las funciones más importantes dentro de un proyecto ya que incluye los procesos requeridos para asegurar que se termine conforme a lo planeado. La elaboración de un **Programa del Proyecto** permite obtener un flujo de trabajo continuo, tener conocimiento previo de fechas clave, disminuir confusiones, aumentar el conocimiento de los integrantes del equipo sobre el estado del trabajo lo cual a su vez contribuye a reportes oportunos, entre otros.

Este programa se basa en la lista de WBS que conforma al proyecto e incluye la interrelación entre cada uno y sus respectivas actividades. También permite establecer las fechas exactas de inicio y terminación del proyecto, de cada actividad y cada entregable, con las que se pueden identificar actividades cruciales que puedan afectar la fecha de terminación. Para su elaboración, se puede hacer uso de programas diseñados para trabajar en conjunto con toda la información requerida para administrar el proyecto como son *Project*, *Primavera Enterprise*, *Open plan*, entre otros, que se encargan de crear y dar seguimiento a los planes del proyecto. Para este caso se sugiere usar *Project* ya que dentro de sus funciones permite observar el desglose de WBS en diferentes presentaciones como el Diagrama de Gantt, mostrando las actividades mediante una red a lo largo del tiempo con la que se puede definir la ruta crítica del proyecto por medio de las fechas de inicio y término, y cuenta con otras aplicaciones que son de gran utilidad. (P.M.I, 2006)

El Programa de Proyecto se realiza partiendo de la estructura principal del WBS, contando con el desglose correspondiente de cada actividad incluyendo cada



entregable y sub-entregable. Para cada unidad de trabajo se puede establecer la respectiva dependencia con actividades predecesoras y sucesoras. No es estrictamente necesario que deba concluir una actividad para comenzar otra, pueden ser elaboradas a la par o cuando se haya cumplido un 80% de la predecesora, todo depende de la cantidad, el tipo de actividades y las prioridades de cada proyecto. (P.M.I, 2006)

Ya definidas las interrelaciones y habiendo verificado la lógica de éstas, se deben asignar las duraciones de cada una, generalmente se realiza con base en la experiencia del equipo de trabajo o de acuerdo con la cantidad de trabajo y los recursos disponibles. No es recomendable planear actividades con duraciones muy óptimas ya que existe la probabilidad de que no se puedan realizar en el plazo planeado debido a muchos factores que inclusive pueden ser ajenos al equipo de trabajo, lo más acertado sería calcular un tiempo real de ejecución del entregable y añadir un poco más considerando que cualquier tipo de contingencia se puede presentar. Contar con una estructura de este tipo permite responder cuestiones como: ¿Qué pasaría si determinada actividad se retrasa? o ¿Cuáles son las actividades críticas? o ¿Cuándo es más conveniente tomar una decisión relacionada con alguna actividad?

En el **Anexo F** se encuentra un ejemplo del Programa de Proyecto mediante el uso del software *Project*, en esta herramienta se definen las fechas, los tiempos que tomara cada actividad y sus respectivas sub-actividades, asimismo dentro de sus opciones permite determinar la Ruta Crítica, que nos indica cual es la serie de actividades que siguen la ruta más larga para terminar el proyecto.



### 7.1.3. Gestión de la calidad

Esta área se encarga de asegurar que el proyecto satisfaga las necesidades por las cuales se originó. Se encargan de determinar los parámetros de calidad el gerente del proyecto en conjunto con los *stakeholders*, es una de las responsabilidades primordiales del gerente ya que cuenta con la autoridad requerida para integrar todas las áreas involucradas de manera que cumplan con las expectativas. La calidad debe estar presente en la integración, el tiempo, la comunicación, los costos y los recursos humanos ya que los principios de calidad son aplicables tanto para el producto como para los entregables del proyecto. Cuando se establece el Programa del Proyecto o se define el *Charter*, se está tomando parte dentro de la gestión de la calidad, puesto que ese trabajo se realiza para asegurar el proceso y así confirmar que el producto resultante cumpla con los estándares establecidos. De igual forma cuando se hacen revisiones de documentos, lo que se busca es asegurar que el entregable cumpla con las especificaciones, mientras que la calidad del trabajo desempeñado se mide en las reuniones de avance y mediante las curvas de avance de las áreas correspondientes facilitando la mejora continua al comparar el trabajo real con el planeado.

En lo que respecta al producto o servicio esperado, se pueden determinar los requerimientos de calidad comparándolos con otros que sean semejantes. Sin embargo en el caso de la Planta Piloto de Digestión Anaerobia, no se hay antecedentes cercanos con los cuales comparar ya que a pesar de la existencia de plantas con este tipo de tecnología en Europa, los principios y condiciones de este proyecto son diferentes por lo que los resultados obtenidos no serían comparables. En este para satisfacer el parámetro de calidad, lo que podría esperarse es el cumplimiento de lo acordado en el *Charter*. (Chamoun, 2002)



Sin embargo en cuanto a la calidad dentro del proyecto, es decir con respecto a sus entregables se pueden establecer parámetros no sólo para el contenido de estos, sino en cuanto a su presentación también. En el particular de este proyecto, CONACyT proporcionó un documento donde se enlistan los puntos que solicitan sean incluidos en los entregables. Considerando esta solicitud y que además debe haber uniformidad en el trabajo, se recomienda utilizar un formato como el que se encuentra en el **Anexo G**

#### 7.1.4. Gestión de los recursos humanos

La importancia de la administración de los recursos humanos radica en lograr el mayor desempeño dentro del equipo de trabajo mediante la sinergia de todos los involucrados. Durante la etapa de la integración, el gerente de proyecto debe definir al equipo de trabajo, tanto interno como externo, estableciendo ya sea en conjunto con los *stakeholders* o de manera particular, cuáles serán los roles y funciones a desempeñar por cada uno. Es importante mencionar que así como se eligen a los participantes de un proyecto con determinadas características, también el gerente de proyecto es elegido de acuerdo a un perfil y capacidades, en la Figura 23 se muestran algunas de las características generales que debe poseer.

| Gerente de Proyecto                                 |   |
|---|---|
| Perfil  | Responsabilidades clave   |
| Habilidades de integración y liderazgo              | Liderar al equipo para alcanzar los objetivos   |
| Experiencia en administración de proyectos          | Asegurar la comunicación efectiva   |
| Conocimiento de la industria y del tipo de proyecto | Integrar y ejecutar las funciones de planeación, programación, control, toma de decisiones entre otras. |
| Habilidad para influir en los demás                 | Aprobar los cambios en el proyecto  |

Figura 23. Características del gerente de proyecto (Chamoun, 2002)



En cuanto a las características con las que debe contar el personal elegido, debe tomarse en cuenta la experiencia que posean respecto al tipo de proyecto o al área en que se van a desarrollar. En el caso de que en los requisitos del proyecto se solicite la colaboración de personal recién egresado o de estudiantes, es importante que se cuente con un equilibrio entre el personal joven y el experimentado para una mayor retroalimentación en el grupo.

Es importante contar con una estructura organizacional en la cual se muestren las líneas de autoridad, incluyendo las personas, organizaciones y dependencias que colaboren, puede utilizarse un organigrama para representar esta estructura, lo cual permite a cada colaborador integrarse adecuadamente dentro de sus funciones. Cuando se carece de esta sencilla pero útil herramienta, suelen presentarse problemas al momento de asumir responsabilidades, rendir cuentas y también en cuanto a la asignación por área o persona de las actividades. Asimismo es recomendable que no se asigne únicamente una persona a un área de trabajo ya que en caso de que no pueda continuar con su participación dentro del proyecto, se pueden presentar problemas si no hay alguien más que este enterado de cómo se maneja esa área.

Otra herramienta que también contribuye al orden e integración del personal, es la matriz de roles y funciones, la cual está basada en el WBS e incluye las personas clave, sus roles y funciones. Es recomendable desarrollarla durante la Programación del Proyecto y actualizarla cuando sea necesario, en el **Anexo H** se encuentra un ejemplo de una matriz de roles y los elementos que la componen.



### 7.1.5. Gestión de la comunicación

Es de suma importancia contar con una adecuada planeación de la comunicación, para que esta sea efectiva, oportuna y apropiada. Toda la información involucrada debe tener una adecuada generación, recolección, distribución y disposición final. La finalidad es mantener informados a los involucrados para facilitar la toma de decisiones.

Para generar un plan de comunicaciones, se recomienda utilizar las siguientes herramientas: matriz de comunicaciones, calendario de eventos, estatus semanal y reporte mensual. Por ejemplo el calendario de eventos se elabora para tener una visión de los eventos más importante a lo largo del calendario del proyecto de forma gráfica. Incluye las fechas de eventos repetitivos como reuniones, pagos, hitos, entregas de informes, entre otras y se utiliza una simbología simple para diferenciarlos. Puede hacerse un calendario global desde la fecha de inicio hasta la de término del proyecto o un calendario, mensual, bimestral, semestral, dependiendo de que tanto tiempo lleve la realización del proyecto ya que si toma años es impráctico manejar un calendario tan grande. En el **Anexo I** se encuentra un ejemplo con las características que debe llevar el calendario, en este caso para seis meses de actividades.

En la figura del anexo se muestran las reuniones con los *stakeholders* (reporte mensual) así como con las otras dependencias de la UNAM que colaboran, la proyección de los eventos no debe ser limitada únicamente al equipo interno de trabajo ya que debe haber a su vez un plan de comunicaciones con cada una de ellas. Respecto a los *stakeholders*, el plan de comunicación va implícito en el Charter donde se presenta el calendario de hitos y se definen las fechas para las reuniones y como debe presentarse la información. En cuanto las dependencias de la UNAM participantes, tomando como ejemplo al PUMA, que se encargó de



autorizar y formalizar compras, no se contó con un plan formal de comunicaciones, es decir se realizó un calendario o documento donde establecieran los tiempos de liberación de documentos, de recabar firmas, de liberación de compra y de cheque, dado lo anterior se afectaron tiempos en cuanto la recepción de equipos, el pago a proveedores, entre otros. Contar con una herramienta de este tipo contribuye a evitar contratiempos y demás complicaciones asociadas al tiempo y la comunicación.

El estatus semanal es indispensable para mantener informado al equipo de trabajo sobre el avance general, permite confirmar las prioridades semanalmente y plantear el plan de acción respecto a lo que debe abordarse la siguiente semana, teniendo como respaldo una lista de asistencia con las firmas de los participantes y una minuta donde se dejen por escrito los resultados de la semana, las prioridades de la siguiente, el plan de acción, las fechas clave, las posibles amenazas y el desempeño tomando en cuenta parámetros tanto de tiempo como de costo en la misma herramienta, esta es el valor ganado que más adelante será explicado con mayor detalle. Cada participante de la reunión que deba rendir cuentas respecto a su labor semanal debe elaborar un reporte de su avance incluyendo los aspectos antes mencionados.

El reporte mensual, bimestral, trimestral o según sea el caso, es para informar a los *stakeholders* sobre el desempeño del proyecto. Debe abordar lo que ha ocurrido, los avances y las desviaciones, las acciones correctivas, las áreas de oportunidad, riesgos, prioridades, el estatus respecto al tiempo, al alcance, el presupuesto, entre los aspectos más destacables sin embargo dependiendo del proyecto puede considerar también la relación de los estados de cuenta con respecto a los pagos o memorias fotográficas, entre otros.



Respecto a la distribución y disposición de la información se recomienda contar con un servidor que esté disponible para todos los integrantes del equipo, con la finalidad de que el responsable de cada área de trabajo ponga la información a la vista de los demás para que todos estén enterados y a su vez se cree una base de datos para evitar la pérdida de información, es necesario que sea actualizado semanalmente o con la periodicidad que más convenga al proyecto.

#### **7.1.6. Gestión de costos**

La finalidad de llevar una adecuada administración de los costos es para asegurar que el proyecto concluya dentro del presupuesto designado. Para lograr esto puede realizarse un estimado de costos, un presupuesto base y un programa de erogaciones, para cualquiera de los casos es indispensable el uso de la estructura de WBS la cual se puede tomar directamente del Programa del Proyecto.

El estimado de costos incluye, el WBS, unidades, cantidades, precios unitarios e importes. Puede crearse en una hoja de cálculo que incluya las columnas con los datos anteriores. Se calcula el costo total sumando los montos de cada partida del WBS, para ello se multiplican los costos de cada categoría por el número de recursos o cantidades, se suman esos costos para el total del proyecto o por fase, según sea requerido. (Chamoun, 2002)

Los cálculos usados para su desarrollo deben ser documentados para futuras referencias. Se requiere de la participación del gerente del proyecto para que se encargue de revisar las categorías principales de costos y supervise que las suposiciones utilizadas son válidas y si se necesita de alguna otra, todos los supuestos deben ser verificados una vez que se tenga mayor información o si hay información previa pueden ser comparados.



Al desarrollar el estimado hay que considerar márgenes de error que están dentro y fuera del equipo de trabajo, como los imprevistos o contingencias, los cuales son asignados por el gerente de proyecto. Se calcula un porcentaje del presupuesto total como apartado en caso de errores, cambios inesperados o situaciones ajenas inherentes a la naturaleza del proyecto. Preparar el estimado de costos es una tarea difícil e importante ya que se debe obtener antes de ejecutar el trabajo y es la base para establecer el presupuesto.

El presupuesto base está basado en la herramienta valor ganado, que se verá a detalle en el apartado de control, es una gráfica del presupuesto acumulado a los largo del tiempo con la cual se puede comparar el desempeño del proyecto respecto al tiempo y costo. Para elaborarlo se necesita del estimado de costos autorizado y el programa del proyecto, el objetivo de esta herramienta es mostrar las obligaciones financieras que asumirán durante el desarrollo del proyecto.

El programa de erogaciones proyecta el importe de los recursos financieros sirve de base para programar su disposición a través del tiempo. Está conformado por el presupuesto base y el programa de proyecto y los respectivos pagos que tengan que realizarse. (PMBOK, 2013)

#### **7.1.7. Gestión de adquisiciones**

Se encarga de asegurar la compra de todos los bienes involucrados en el proyecto, debe optimizar y garantizar las adquisiciones y los servicios externos. Este trabajo involucra una planeación del proceso de compras, negociaciones, control de materiales, manejo de almacén y logística. La procura comienza en sí a la par del proyecto y se encarga de realizar las compras conforme a las necesidades del



proyecto dependiendo de en qué punto se encuentre este. Una vez concluido el diseño de la ingeniería, esta área debe proporcionar la lista de los equipos que se requieren para la construcción de la planta para iniciar con el proceso de compra.

El proceso de compra consta de los siguientes puntos:

- A. Proceso de invitar a cotizar
- B. Evaluación de ofertas técnico – comerciales
- C. Proceso de negociación con vendedores
- D. Elaboración de una orden de compra
- E. Distribución y control de la orden de compra
- F. Monitoreo y seguimiento de la fabricación de los materiales o equipos
- G. Logística
- H. Cierre de compra

Antes de proceder a realizar la invitación de cotización, es necesario contar con un directorio de proveedores que puedan abastecer los suministros que se están buscando, generalmente algunos proyectos ya cuentan con una cartera de empresas a las que se les puede comprar. Sin embargo en caso de que no sea así, se debe realizar una búsqueda preliminar de posibles proveedores, los cuales deberán poseer experiencia en el ramo y estar consolidados como empresas confiables.

El proceso de invitar a cotizar consiste en enviar a diferentes proveedores una solicitud de cotización en la cual se incluyan las características y especificaciones que se requieren de cierto equipo o accesorio. Es recomendable que la solicitud cuente con al menos los siguientes datos:



- Datos del proyecto en cuestión
- Datos de contacto: dirección, teléfono
- Número o folio de la solicitud
- Datos del proveedor: empresa, teléfono, contacto de ventas
- Datos del equipo: nombre, marca (si es necesario), especificaciones, cantidad
- Notas ( en caso de que las requiera)
- Nombre de quien elabora y firma

Ya que los diferentes proveedores han dado respuesta a las solicitudes, se procede a realizar la evaluación de ofertas técnico – económicas, las cuales se realizan en conjunto con el área de ingeniería que debe revisar que el producto que ofrecen cumpla con los requerimientos solicitados, siendo así se procede a definir cuál es la mejor oferta de acuerdo a la parte económica, es ideal que el equipo tenga un bajo costo sin embargo también hay que considerar la forma de pago y el tiempo de entrega. Lo ideal es elegir la propuesta que cumpla con la parte técnica, sea económica y tenga un tiempo de entrega corto.

En algunos casos es necesario tratar directamente con el proveedor sobre cuestiones técnicas en las que se requiere de ajustes o cambios, inclusive el proveedor puede hacer una propuesta de algo más adecuado a lo que se requiere, también se puede negociar un mejor precio o un cambio en los términos y condiciones de la compra.

Definido el proveedor con el que se realizará la compra, se procede a elaborar una solicitud de compra, que debe incluir algunos de los siguientes aspectos:

#### 1. Embarque



2. Contrato Completo
3. Título de Propiedad
- 4 Garantía
5. Aseguramiento de la Calidad del Proveedor. Inspección y Expeditación
6. Indemnización
7. Demoras
8. Cesión
9. Cambios
10. Terminación por Incumplimiento
11. Terminación por Conveniencia
- 12 Fechas compromiso

Aprobada la orden por la persona responsable de la compra, se le debe proporcionar al proveedor y esperar su respuesta de conformidad, en caso de que tenga alguna observación, modificar el documento hasta que ambas partes estén de acuerdo.

Para tener un monitoreo y control de la compra se puede elaborar una Matriz de adquisiciones que tenga los siguientes elementos para contemplar:

- Número o folio de la compra
- Fecha de elaboración de la solicitud de cotización
- Estado de solicitud: en proceso, en espera de entrega, entregado... etc.
- Concepto de solicitud
- Importe
- Moneda
- Fecha de aprobación de la compra
- Fecha de factura



- No. de cheque

Puede o no contener estos elementos u otros según sea el caso de las necesidades a las que se les dé prioridad para controlar. En el **Anexo J** se muestra un ejemplo de la matriz de adquisiciones utilizada en el caso de estudio.

Con base en la Matriz de adquisiciones se elabora un calendario de entrega de equipos como apoyo para la logística, programando su recepción, se realiza utilizando las fechas clave que en esta caso son la fecha cuando se formalizó la compra y la fecha de recepción, que se obtiene contabilizando el tiempo de entrega establecido en la orden de compra y un periodo adicional considerando cualquier contingencia. Los datos a incluir en este calendario son:

- Número o folio de la adquisición
- Lugar destino
- Proveedor
- Equipo / Producto
- Fecha de formalización de compra
- Fecha estimada de entrega
- Lugar de almacén
- Estado del equipo: entregado o espera

No es necesario que se incluyan todos los puntos anteriores ni que lleven ese orden exacto, pueden añadirse más dependiendo de que otros datos se quiera sean visibles, puede incluir el importe o el teléfono del proveedor o el del almacén, etc... se debe ajustar a las necesidades del proyecto. En el **Anexo K** se muestra un ejemplo del calendario de entrega.



Una vez que el equipo en cuestión haya sido recibido, se realiza una inspección de éste para corroborar que cumpla con las especificaciones, dependiendo de qué equipo se trate puede hacerse una prueba como tal de operación. Si el equipo cumple con lo acordado se firma el correspondiente documento de conformidad y se finiquita o liquida la compra, dependiendo de los términos y condiciones de ésta, siendo así se cierra formalmente la adquisición. (Millán, 2014) (PMP, 2006)

### 7.1.8. Gestión de riesgos

Contar con una administración de riesgos es esencial para reducir las repercusiones negativas al proyecto, permite la prevención de problemas para tomar medidas correctivas a tiempo. Se inicia con la identificación de riesgos partiendo de una postura pesimista y preguntándose ¿Qué podría salir mal? para definir las amenazas por considerar y controlar. Una vez identificados pueden ser analizados cualitativamente y / o cuantitativamente.

Comenzando con la identificación de riesgos, se puede utilizar el método What if? en el cual se define el sistema a analizar, se plantean los posibles escenarios mediante la pregunta ¿Qué pasaría si...? a partir de las cuales se determinan las consecuencias y se propone un plan de acción. Usando esta información y añadiéndole al responsable y las posibles respuestas se puede elaborar una matriz de riesgos. En la Figura 24 se muestra un ejemplo de este método cualitativo.

| Sistema a analizar | ¿Qué pasaría si...?               | Consecuencia  | Posible respuesta | Plan de acción  |
|--------------------|-----------------------------------|---|-------------------|---|
|                    | El diseño no está bien elaborado? | El rediseño de la ingeniería, lo cual implica retrasos en el programa y | Evitarlo          | Supervisar periódicamente el trabajo para evitar errores y si |



|            |  |   |           |   |
|------------|--|---|-----------|---|
| Ingeniería |  | en las actividades relacionadas subsecuentes  |           | se presentan corregirlos a tiempo   |
|            | No se cuenta con el personal calificado? | El diseño puede tener errores considerables además de reducirse la eficiencia en el trabajo | Reducirlo | Considerar la experiencia cuando se conforma el equipo de trabajo, cambiar el personal o brindar cursos de apoyo para mejorar habilidades |
|            | No se termina a tiempo?                  | Retraso de actividades sucesoras y del proyecto en general                                  | Evitarlo  | Tener un monitoreo y control constante del avance de las actividades para tomar medidas de acción oportunamente                           |
|            | El diseño se sale del presupuesto?       | No será posible terminarlo por la falta de recursos   | Reducirlo | Mantener un control de gastos constante.  |
|            | Si el sitio elegido no resulta adecuado? | Retrasos o suspensión temporal de la construcción, lo que afecta las                        | Asumirlo  | Verificar que cumpla con las características adecuadas y considerar otras opciones antes  |



|                     |  |   |              |   |
|---------------------|--|---|--------------|---|
| <b>Construcción</b> |  | actividades predecesoras  |              | de formalizar la elección   |
|                     | Hay retraso en los permisos?                           | La construcción no puede iniciar a tiempo, afectando los tiempos establecidos, postergando actividades subsecuentes     | Asumirlo     | Considerar dentro del programa del proyecto tiempos administrativos más largos para este tipo de trámites           |
|                     | La empresa constructora se retrasa?                    | No terminar dentro del tiempo planeado, lo cual retrasa las siguientes actividades y puede resultar en una penalización | Reducirlo    | Tener un seguimiento constante del trabajo que reportan y verificar que la construcción vaya de acuerdo al programa |
|                     | La empresa constructora no cumple con lo comprometido? | Los resultados no serán los esperados e impedirán la ejecución de actividades relacionadas                              | Transferirlo | Respaldarse en el contrato que se firmó y exigir se entregue lo solicitado  |
|                     | Hay errores en las listas de equipo?                   | Se solicitaran equipos con especificaciones equivocadas que no podrán ser   | Evitarlo     | Revisar cuidadosamente las especificaciones   |



|         |   |   |           |  |
|---------|---|---|-----------|--|
| Procura |   | utilizados y serán un gasto perdido   |           |  |
|         | El área de ingeniería no entrega a tiempo las listas de equipo? | Se retrasa el plan de la procura y por ende las entregas de equipos   | Evitarlo  | Conocer el estatus de trabajo del área de ingeniería para considerar tiempo adicional en el plan de la procura       |
|         | Los equipos son cambiados de último momento?                    | En el caso de que ya se hayan solicitado los equipos habrá sido una compra desperdiciada, si aún no se compra llevará más tiempo al proveedor entregar un equipo con diferentes especificaciones, para cualquier caso conlleva un retraso que repercute en la construcción de la planta | Reducirlo | Esperar hasta la última versión del diseño de los equipos o si ya fueron adquiridos solicitar un cambio al proveedor |



|  |   |   |              |  |
|--|---|---|--------------|--|
|  | Hay una entrega tardía de equipos?                          | Retraso en la construcción de la planta y en las subsecuentes actividades | Evitarlo     | Conocer el estado de la compra y dar un seguimiento continuo               |
|  | El proveedor no cumple con las especificaciones solicitadas | El equipo no será útil para la planta                                     | Transferirlo | Respaldarse en el contrato que se firmó y exigir se entregue lo solicitado |

Figura 24. Matriz de riesgos.

Esta herramienta tiene un enfoque muy simplificado pero brinda una perspectiva de los eventos que se pueden presentar y es recomendable que conforme avanza el proyecto se hagan actualizaciones de los riesgos que se pueden ir presentando sobre la marcha para tomar las medidas correctivas necesarias. Dependiendo de la complejidad del proyecto pueden usarse técnicas más elaboradas para estimar detalladamente la probabilidad y el impacto de los riesgos como la simulación Monte Carlo, el análisis de sensibilidad, entre otros.

## 7.2. Control del proyecto

Control implica comparar la ejecución con la planeación para tomar las medidas correctivas correspondientes para dirigir el proyecto hacia la ruta prevista. Dentro de la planeación del proyecto se incluyeron algunas herramientas cuya finalidad es mantener contribuir con el control. En la Figura 25 se presentan las diferentes herramientas así como sus objetivos.



| Área de conocimiento | Principales fallas   | Herramienta                 | Objetivo dentro del control   |
|----------------------|--|-----------------------------|---|
| Alcance              | Trabajo sin delimitar debido a actividades sin definir.  | WBS                         | Identificación del trabajo ejecutado para comparar con lo planeado. Ayuda a confirmar el alcance realizado.             |
| Recursos humanos     | Falta de jerarquía y organización en el equipo de trabajo.   | Matriz de roles y funciones | Ajustar los roles, funciones y responsabilidades de los integrantes del equipo de trabajo para monitorear su desempeño  |
| Comunicaciones       | Inadecuada generación, distribución y disposición de información relevante para el equipo de trabajo, que propicia malos entendidos y errores en la ejecución. | Calendario de eventos       | Monitorear el apego al programa de reuniones y otros eventos periódicos y para realizar los cambios que sean necesarios |
|                      |  | Estatus semanal             | Estándar para monitorear el avance que se realiza por semana respecto al esperado                                       |
|                      |  | Reporte mensual             | Estándar para monitorear el avance que se tiene respecto  |

|                      |  |                           |  |
|----------------------|--|---------------------------|--|
|                      |  |                           | a lo planeado cada mes   |
| <b>Tiempo</b>        | Rezagar o eliminar actividades importantes que no permitan concluir el proyecto dentro del tiempo establecido. | Programa del proyecto     | Identificar desviaciones al apego del programa para proponer estrategias de corrección                     |
| <b>Costo</b>         | Excederse del presupuesto disponible y no concluir el proyecto   | Presupuesto base          | Identificar desviaciones y monitorear el apego al presupuesto  |
| <b>Riesgos</b>       | Problemas durante la ejecución por no considerar desde un inicio los posibles riesgos asociados.               | Matriz de riesgos         | Considerar las posibles contingencias que se puedan ir presentando para tomar las medidas correspondientes |
| <b>Adquisiciones</b> | Falta de orden y control en el registro de las compras, así como de su entrega y pago.                         | Matriz de abastecimientos | Reunir las compras y monitorear el estado en que se encuentran   |
|                      |  | Calendario de entregas    | Monitorear el estado de recepción de los equipos y su logística  |

Figura 25. Herramientas de control. Adaptación (Chamoun, 2002)

Otra herramienta fundamental para considerar dentro del control, es la definición de la **línea base** del proyecto que servirá de referencia durante todo su desarrollo. Dicha línea base no debe sufrir modificaciones a menos que se presenten cambios



significativos y sean aprobados por el gerente del proyecto. Conforme se vayan desarrollando las actividades se reflejará el estado real del trabajo, que se compara con la línea base para identificar las diferencias entre estas y a partir de eso elegir las medidas correctivas necesarias para que esa línea real sea lo más cercana posible a la de la línea base, es importante que desde el comienzo del proyecto se realice este monitoreo periódico.

Dependiendo del particular desempeño que se tenga, son las medidas correctivas que se llevaran a cabo, las cuales pueden ser: redefinir tiempos y/o actividades, usar más recursos para realizar las actividades, reducir el tiempo de actividades subsecuentes, entre otras. El control es un ciclo en el que es debe revisar el avance cada determinada fecha para comparar los logros actuales contra la línea base y en el que se proponen estrategias que aceleren las actividades para ponerse al día.

Para medir íntegramente el desempeño del trabajo se emplea la técnica de valor ganado en términos del cronograma y el costo. Se debe disponer de un presupuesto desglosado a través de todas las actividades estructuradas en el proyecto distribuidas en el tiempo. Para comprender como funciona el método hay que definir los siguientes aspectos:

- Valor planeado (PV por sus siglas en inglés *Planned Value*): describe cómo debe progresar el trabajo del proyecto en cualquier punto dado en el cronograma del proyecto. Es un reflejo numérico de los trabajos presupuestados que está programado para llevarse a cabo, es en sí la línea base del proyecto. En la Figura 26 se muestra un ejemplo de la línea base de la construcción de la planta.

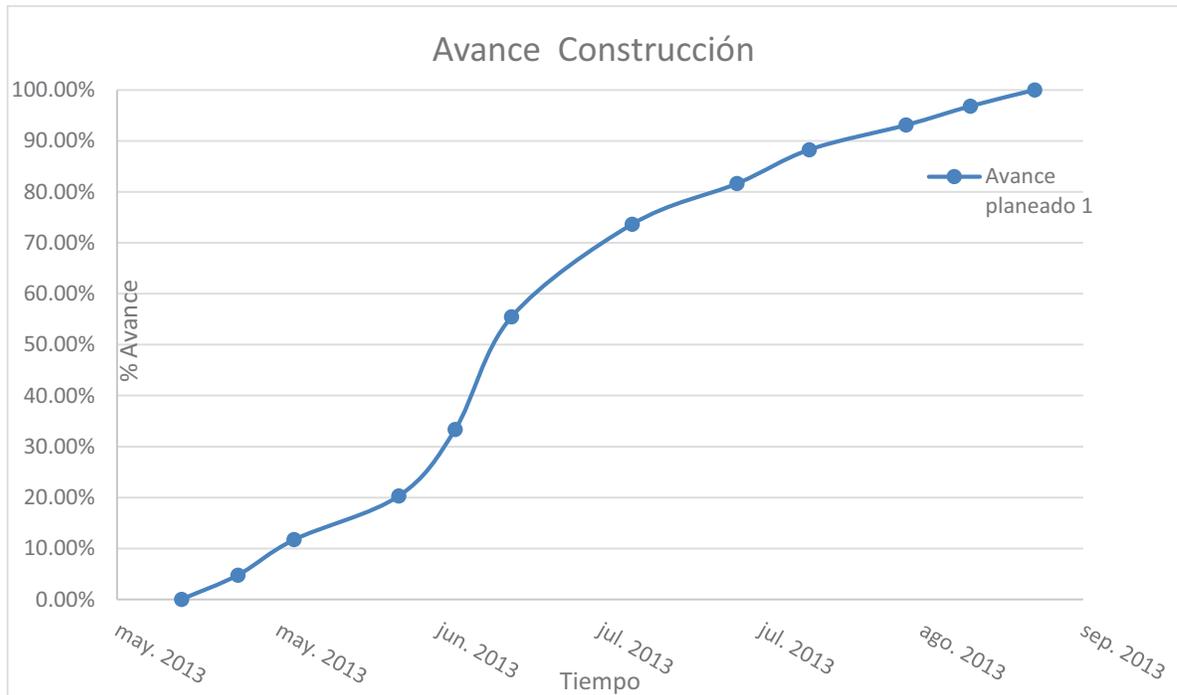


Figura 26. Valor planeado

- Valor ganado (EV por sus siglas en inglés *Earned Value*) representa el progreso del trabajo en un momento determinado. Refleja la cantidad de trabajo que realmente se ha logrado hasta la fecha (o en un determinado período de tiempo), expresada como el valor previsto para ese trabajo. En la Figura 27 se muestra el ejemplo de la ingeniería.

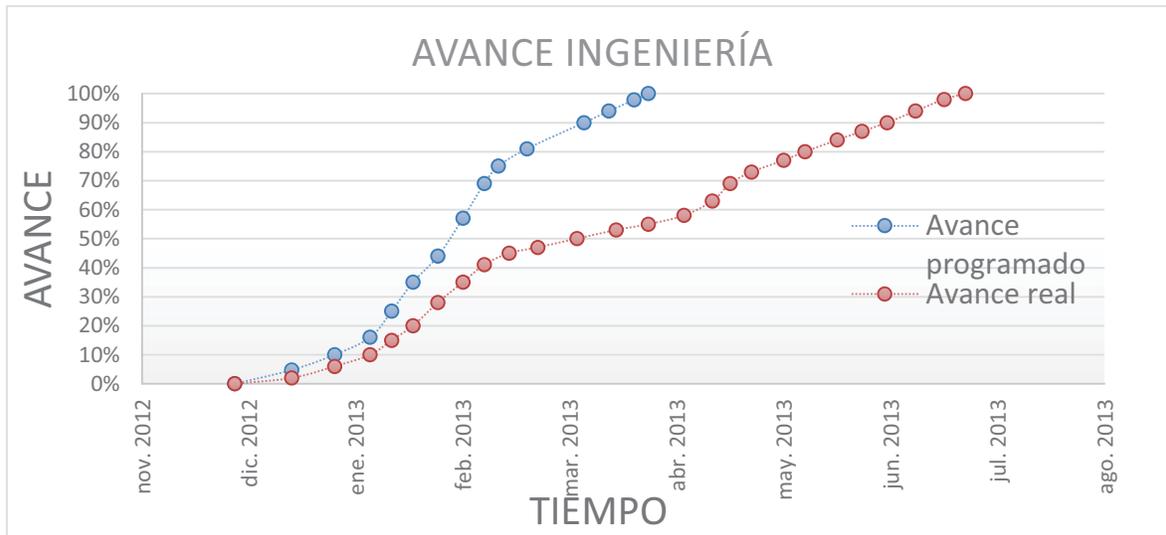


Figura 27. Valor ganado

La línea naranja muestra el avance real respecto del planeado durante todo el desarrollo del proyecto. Cada punto de esta línea muestra el valor ganado en los diferentes tiempos que se realizó la comparación respecto al valor planeado que en este caso se definió como avance programado.

- Costo real (AC por sus siglas en inglés Actual Cost), indica cuantos recursos se han invertido para lograr el trabajo real en un determinado tiempo. En la Figura 28 se muestra el valor planeado, el valor ganado y el costo real.

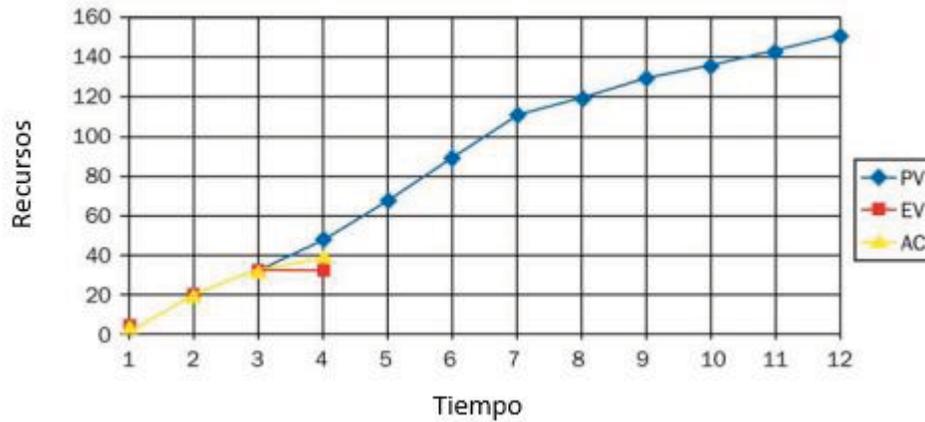


Figura 28. Costo real

Sí el  $EV < AC$  el costo del proyecto se encuentra fuera del presupuesto. Sí  $EV > AC$  el costo del proyecto se encuentra dentro del presupuesto. Sí  $EV > PV$  el proyecto se encuentra adelantado, mientras que sí  $EV < PV$  el proyecto se encuentra atrasado. Es así como con esta herramienta se pueden tomar decisiones sobre las medidas de acción a tomar basándose en el estado del trabajo.

### 7.3. Cierre del proyecto

Esta actividad da por concluido el proyecto, realizándose una evaluación de los logros u objetivos cumplidos respecto de los establecidos, esperando haber cumplido en su totalidad con el alcance. Como se muestra en la Figura 5 para la finalización completa se realizan 3 tipos de cierre, el cierre administrativo, el cierre de contrato y la entrega del producto.

El cierre administrativo en el caso de estudio, comprende la entrega del reporte final sobre toda la actividades involucradas dentro de cada una de las etapas, así como



la entrega de los documentos comprometidos. Todo documento relacionado con la ejecución del proyecto debe ser proporcionado a los stakeholders como respaldo del trabajo realizado. Lo anterior generalmente se encuentra establecido en el contrato, por lo que al cumplir con lo acordado automáticamente se da el cierre del contrato.

Por último se realiza la entrega del producto o servicio en funcionamiento, que para este caso sería la entrega de la planta piloto construida y operando.

#### 7.4. Metodología

En resumen, ésta metodología puede emplearse utilizando las 5 etapas generales de todo proyecto, Inicio, Planeación, Ejecución, Control y Cierre, integrando a estas las 10 áreas de conocimiento. A continuación en la Figura 29 se muestra cada etapa con las respectivas áreas involucradas en cada una y la herramienta que corresponde utilizar.

Figura 29. Metodología

| INICIO  |  |   |
|---|--|---|
| Integración   | Alcance  | Stakeholders  |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Acta constitutiva</li><li>• Charter</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Declaración de Alcance</li><li>• WBS</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Definición de participación</li></ul> |





| CONTROL   |   |  |
|---|---|--|
| <b>Tiempo</b>   | <b>Comunicaciones</b>   | <b>Recursos Humanos</b>  |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Monitoreo y supervisión del Programa del proyecto</li></ul>                   | <ul style="list-style-type: none"><li>• Estatus semanal</li><li>• Reporte Mensual</li></ul>                 | <ul style="list-style-type: none"><li>• Supervisión de Roles y Funciones</li></ul>                           |
| <b>Costos</b>   | <b>Riesgos</b>  | <b>Adquisiciones</b>   |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Valor Ganado</li></ul>  | <ul style="list-style-type: none"><li>• Matriz de Riesgos actualizada conforme avanza el proyecto</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Matriz de Abastecimientos</li><li>• Calendario de entregas</li></ul> |
| CIERRE  |   |  |
| <b>Administrativo</b>   | <b>Stakeholders</b>   | <b>Entrega de Producto</b>   |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Entrega de los documentos involucrados en la ejecución del proyecto</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Cierre de contrato</li></ul>  | <ul style="list-style-type: none"><li>• Entrega del servicio o producto.</li></ul>                           |



## 8. Discusión de resultados

Durante el desarrollo del proyecto “Generación de un Sistema Piloto de Tratamiento de Residuos Sólidos Orgánicos Urbanos” se encontraron algunas inconsistencias en las diferentes etapas y áreas de éste. Es por ello que para contribuir a la reducción de ciertas deficiencias y para mejorar los resultados, se elaboró una propuesta para la gestión global de proyectos, en este caso de plantas piloto de digestión anaerobia.

La intención de esta metodología es que sea una guía aplicable para planear, controlar, comunicar, resolver problemas y así permitir que las cosas sucedan de tal modo que brinden los mejores resultados. El enfoque principal está centrado en la planeación y el control con la finalidad de que las tres áreas fundamentales de este tipo de proyectos que son la ingeniería, procura y construcción cuenten con dicha estructura para asegurar el éxito.

Esta metodología a diferencia de otras referencias para la elaboración de proyectos, no sólo dice que áreas o elementos son importantes para considerar, sino también dice el cómo hacerlo e integra algunas herramientas que pueden ser de utilidad. Para dar inicio a la planeación del proyecto es importante comenzar con el fin en mente, sabiendo que es lo que se desea obtener, entonces se procede a definir el trabajo que tiene que ser realizado para así darle una estrategia de desarrollo, el intención de la planeación es establecer la ruta de acción, el camino que se debe seguir para alcanzar el objetivo. Esto mediante diferentes herramientas aplicables como lo es el *Charter*, el WBS, la matriz de roles y funciones, el calendario de eventos, entre otras.



De la mano de la planeación, va el monitoreo y control el cual también es parte fundamental de esta propuesta ya que es necesaria su intervención en todo momento del proyecto para ayudar a medir, evaluar y corregir, específicamente mediante la herramienta de valor ganado y en conjunto con algunas de las herramientas antes mencionadas.

Es más efectivo administrar un proyecto mediante una guía que brinde orden y rendición de cuentas, que improvisar soluciones sobre la marcha que no permiten obtener resultados exitosos.

## **9. Conclusiones**

Se realizó y aplicó una metodología cuya finalidad es que sea una guía que permita monitorear y controlar todas las áreas de un proyecto, incluidas la ingeniería, procura y construcción, basándose en la planeación y el control para la administración de proyectos de plantas piloto de digestión anaerobio y otros.

Para el desarrollo de esta propuesta fue necesario determinar los factores que no permitieron al proyecto “Generación de un Sistema Piloto de Tratamiento de Residuos Sólido Orgánicos Urbanos” tener resultados más exitosos. Es por ello que esta metodología sugiere el uso de diferentes herramientas y técnicas con las que se puede tener un mejor aprovechamiento del tiempo, los recursos humanos, costos, entre otros. Es de gran importancia saber cómo desarrollar con mayor efectividad este tipo de proyectos ya que su implementación en el país contribuirá a brindar una solución al exceso de generación de residuos sólidos orgánicos de la ciudad y las áreas conurbadas.



## 10. Bibliografía

- Amendola, L. J. (2002). *Estrategias y tácticas en la dirección y gestión de proyectos*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Carbajal-Moreno, M. (2008). *"Control de proyectos de plantas industriales"*. Tesis profesional, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México. 109 págs.
- Chamoun, Y. (2002). *Administración Profesional de Proyectos*. México: McGraw-Hill.
- Coopers, P. (2013). *Análisis Cuantitativo de Riesgos*. Obtenido de [http://www.pwc.com/es\\_MX/mx/industrias/proyectos-capital/archivo/2013-08-analisis-cuantitativo-riesgos.pdf](http://www.pwc.com/es_MX/mx/industrias/proyectos-capital/archivo/2013-08-analisis-cuantitativo-riesgos.pdf)
- David, F. (2008). *Conceptos de administración estratégica, 11a Ed.* México: Prentice-Hall.
- FERMA. (septiembre de 2003). *Federation of European Risk Management Associations*. Obtenido de <http://www.ferma.eu/app/uploads/2011/11/a-risk-management-standard-spanish-version.pdf>
- García Magaña, J. H. (2001). *"Administración y control de la construcción para proyectos de plantas industriales"*. Tesis profesional. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. 94 págs.
- Gómez Fuentes, M. d. (2012). *"Notas del Curso: Administración de Proyectos"*. Universidad Autónoma Metropolitana. México: Publidisa Mexicana. 173 págs.
- Laborales, D. G. (Diciembre de 2006). *Univerisidad de San Martín de Porres*. Obtenido de <http://www.usmp.edu.pe/recursoshumanos/pdf/Manual-IPER.pdf>
- Leza, R. S. (Agosto de 2010). *Ánalysis cuantitativo de riegos*. Obtenido de <http://www.iapg.org.ar/congresos/2010/seguridad/PublicarWEB/MRAnalsiscuantitativo/ANALISISCUANTITATIVORIEGOS.pdf>



- Millán, E. (2014). *Apuntes de la clase "Administración de proyectos semestre 2014-2"*. México.
- Miranda et al. (2007). *Introducción a la gestión de la calidad*. Madrid: Delta.
- Miranda-Miranda, J. J. (2005). *Gestión de proyectos: identificación, formulación, evaluación financiera-económica-social-ambiental*. México: MM Editores.
- P.M.I. (2006). *Practice Standard for Work Breakdown Structures, 2nd. Ed.* Project Management Institute.
- PMBOK, P. M. (2013). *Project Management Body Of Knowledge 5th Ed.* Project Management Institute.
- PMP. (2006). *Introducing Project Procurement Management*. Project Management Professional.
- Ramos Solano, A. (2007). *"Revisión de métodos de evaluación de proyectos y proposición de herramientas para evaluar riesgos"*. Tesis de maestría. Escuela México: Universidad Nacional Autónoma de México. 162 págs.
- TenStep. (2012). *Análisis Cualitativo de Riesgos*. Obtenido de <http://www.tenstepgt.com/7.1.1.1Analisiscualitativoderiesgos.php>
- Texta Mena, J. A. (2012). *Ingeniería de Proyectos*. México: Facultad de Química UNAM.
- Proyecto 174710 FORDECyT-CONACyT *Propuesta Técnico- Económica No. GIA-FQ-30/2011, Generación de un sistema piloto de tratamiento de residuos sólidos orgánicos municipales (RSOM).*, UNAM.



## 11. Anexos

A continuación se muestra la lista de anexos que se incluyen en este documento:

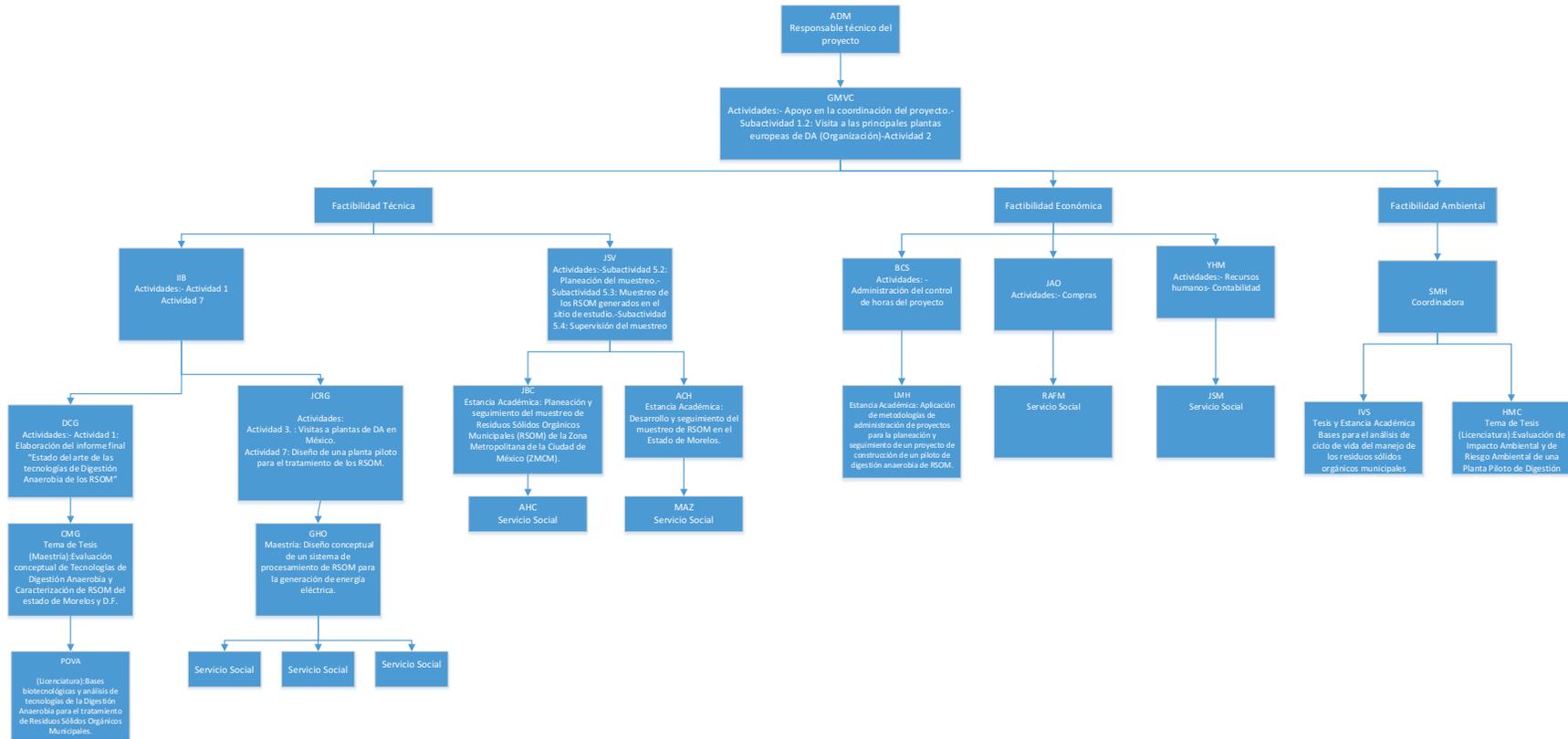
- Anexo A. Organigrama del proyecto “Generación de un Sistema Piloto de Tratamiento de Residuos Sólidos Orgánicos Urbanos
- Anexo B. Ejemplo de Project Charter
- Anexo C. Formato ejemplo de Declaración de Alcance
- Anexo D. Ejemplo de codificación de WBS
- Anexo E. Diagrama de árbol de WBS
- Anexo F. Ejemplo de Programa del Proyecto en Project.
- Anexo G. Formato para entrega de informes
- Anexo H. Matriz de roles y funciones
- Anexo I. Calendario de actividades
- Anexo J. Matriz de adquisiciones
- Anexo K. Calendario de entregas



## PLANEACIÓN Y CONTROL DE LA INGENIERÍA, PROCURA Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS MUNICIPALES



Anexo A. Organigrama del proyecto “Generación de un Sistema Piloto de Tratamiento de Residuos Sólidos Orgánicos Urbanos.”





## Anexo B. Ejemplo de Project Charter



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE QUÍMICA



### Project Charter

**Nombre del proyecto:** Proyecto 174710 FORDECyT "Generación de un sistema piloto de tratamiento de residuos sólidos orgánicos urbanos municipales (RSOM)"

**Departamento:** Ingeniería química

#### Control de versiones

| Versión | Fecha    | Autor | Revisión | Aprobación | Motivo           |
|---------|----------|-------|----------|------------|------------------|
| 1.0     | 07/06/12 | JGC   | DCG      | ADM        | Versión original |



Project Charter: "Generación de un sistema piloto de tratamiento de residuos sólidos orgánicos  
municipales (RSOM)" FORDECyT-174710

## CONTENIDO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO</b> .....                 | <b>3</b>  |
| <b>2 DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO / SERVICIO</b> .....      | <b>3</b>  |
| <b>3 ALCANCE DEL PROYECTO</b> .....                     | <b>4</b>  |
| 3.1 Objetivos .....                                     | 4         |
| 3.2 Entregables comprometidos .....                     | 5         |
| <b>4 CONDICIONES DEL PROYECTO</b> .....                 | <b>8</b>  |
| 4.1 Organizaciones o instituciones que participan ..... | 8         |
| 4.2 Presupuesto asignado .....                          | 9         |
| 4.3 Calendario de hitos .....                           | 10        |
| 4.4 Riesgos del proyecto .....                          | 11        |
| 4.5 Impacto potencial .....                             | 12        |
| <b>5 EQUIPO DE TRABAJO</b> .....                        | <b>13</b> |
| 5.1 Designación del Gerente de proyecto .....           | 13        |
| 5.2 Equipo de trabajo técnico .....                     | 13        |
| <b>6 APROBACIÓN</b> .....                               | <b>14</b> |



Project Charter: "Generación de un sistema piloto de tratamiento de residuos sólidos orgánicos municipales (RSOM)" FORDECyT-174710

## 1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto surge con base en la convocatoria del Fondo Institucional de Fomento Regional para el Desarrollo Científico Tecnológico y de Innovación (FORDECyT) Convocatoria 2011-01, a partir de la problemática que existe en la ciudad de México y el valle de Toluca, donde debido a la excesiva generación de residuos y a su mal control y manejo, constituyen un grave problema para la salud pública y el medio ambiente.

Por lo anterior, este proyecto está enfocado en ofrecer una alternativa al manejo de los residuos sólidos en las zonas afectadas, reduciendo su generación mediante la estabilización de la fracción orgánica así como ofrecer subproductos que puedan ser aprovechados por la población. Esto mediante el diseño, la construcción, y la operación a escala piloto de un sistema de tratamiento de residuos sólidos orgánicos municipales (RSOM), con fines de investigación y académicos, en el cual se incluyen aspectos técnicos, ambientales, económicos y sociales, para atender la problemática específica. La planta piloto de DA se instalará en el predio CUSI-Almaraz, propiedad de la UNAM, perteneciente a la Facultad de Estudios Superiores Iztacala (FES-1). Está ubicado en la Av. Jiménez Gallardo SN, San Sebastián Xhala km 2.5, Cuautitlán de Romero Rubio, Estado de México, México

Su desarrollo tendrá una duración de 24 meses a partir del 07 de junio de 2012 y se compone de quince actividades repartidas en dos etapas de doce meses cada una, llevándose a cabo en el tercer piso de la torre de ingeniería de la UNAM dentro de ciudad universitaria, a cargo del Dr. Alfonso Durán y su equipo de trabajo en coordinación con las demás dependencias participantes de la UNAM.

## 2 DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO / SERVICIO

Diseño, construcción y operación de una planta piloto de tratamiento de residuos sólidos orgánicos mediante digestión anaerobia, a partir de la cual se obtendrán las condiciones adecuadas de las variables de operación del sistema, buscando maximizar la degradación de los RSOM y como consecuencia, la generación de biogás y otros subproductos de valor comercial así como una estrategia de comercialización o destino de estos.

Entrega de un documento de Bases Técnicas, necesarias para realizar un proceso de licitación de la construcción y operación a escala real del proyecto, en caso de las áreas usuarias así lo determinen



Project Charter: "Generación de un sistema piloto de tratamiento de residuos sólidos orgánicos municipales (RSOM)" FORDECyT-174710

Otorgar un documento ejecutivo que presente adecuada y suficientemente los elementos técnicos, ambientales socioeconómicos y financieros para una toma de decisiones sobre la ejecución del proyecto a escala real, al término de este proyecto.

Proveer al área usuaria de la logística general que se tendría que implementar, para que sea posible la llegada de los residuos orgánicos en tiempo y condiciones adecuadas para su tratamiento en la planta a escala real

Preparar recursos humanos capaces de aportar conocimientos para este proyecto y para las necesidades futuras de nuestro país en tema de residuos.

### 3 ALCANCE DEL PROYECTO

#### 3.1 Objetivos

| Objetivo general  | Objetivos particulares  |
|---|---|
| Escalamiento y validación en planta piloto de un sistema de tratamiento de residuos sólidos orgánicos producidos en la ZMCM y del Valle de Toluca, que permita establecer procesos eficientes y las oportunidades económicas para la comercialización de los subproductos de interés. | <ol style="list-style-type: none"><li>1. Establecer mecanismos que sean logística y técnicamente eficientes para el aprovechamiento de la fracción sólida de los residuos sólidos municipales.</li><li>2. Optimizar y validar en pruebas piloto los procesos técnicos para obtener el equilibrio entre el menor impacto ambiental de los residuos sólidos orgánicos y el máximo beneficio económico de la producción de subproductos de interés de beneficio para la sociedad.</li><li>3. Diseñar el sistema para la gestión integral de todos los RSOM producidos en la ZMCM y el Valle de Toluca.</li></ol> |



Project Charter: "Generación de un sistema piloto de tratamiento de residuos sólidos orgánicos municipales (RSOM)" FORDECYT-174710

|  |  |
|--|--|
|  | <p>4. Desarrollar la estrategia básica y un modelo general para la comercialización de los subproductos del tratamiento de RSOM.</p> <p>5. Elaborar una estrategia de transferencia de tecnología para el tratamiento de RSOM en otros estados del país que incluya: manuales, políticas, procedimientos y recomendaciones específicas para su implementación.</p> |
|--|--|

### 3.2 Entregables comprometidos

| Actividad   | Documento  |
|---|--|
| 1. Estado del arte de las tecnologías de digestión anaerobia de los residuos sólidos orgánicos municipales  | <ul style="list-style-type: none"><li>Informe del estado del arte de las tecnologías de digestión anaerobia de los RSOM</li></ul>  |
| 2. Simposium con expertos y tecnólogos nacionales e internacionales en tema de digestión anaerobia de RSOM  | <ul style="list-style-type: none"><li>Simposium con expertos y tecnólogos internacionales en tratamiento anaerobio de RSOM.</li></ul>  |
| 3. Evaluación de alternativas tecnológicas para seleccionar la opción del sistema de tratamiento más adecuado para las condiciones y tipo de residuos del área de estudio | <ul style="list-style-type: none"><li>Informe de evaluación matricial de alternativas tecnológicas de digestión anaerobia, seleccionando la más adecuada para el área de estudio</li></ul> |



Project Charter: "Generación de un sistema piloto de tratamiento de residuos sólidos orgánicos municipales (RSOM)" FORDECyT-174710

|  |  |
|--|--|
| <b>4. Estudio de las condiciones del nivel socioeconómico asociadas a las actividades de recolección y disposición de residuos en el área de estudio</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>Informe del estudio de las condiciones del nivel socioeconómico asociadas a las actividades de recolección y disposición de residuos en el área de estudio</li></ul>   |
| <b>5. Muestreo y caracterización de los RSOM generados en el área de estudio</b>   | <ul style="list-style-type: none"><li>Informe del Muestreo de los RSOM en el área de estudio, considerando un máximo de 4 sitios de muestreo durante siete días de muestreo en cada uno. Caracterización de las muestras colectadas.</li></ul>   |
| <b>6. Pruebas de digestión anaerobia a nivel laboratorio para los RSOM colectados</b>  | <ul style="list-style-type: none"><li>Pruebas de digestión anaerobia a nivel laboratorio para los RSOM colectados</li></ul>  |
| <b>7. Diseño de una planta piloto para el tratamiento de los RSOM</b>  | <ul style="list-style-type: none"><li>Documentos de Ingeniería del diseño de una planta piloto para el tratamiento de los RSOM del área de estudio. El diseño estará revisado y retroalimentado por expertos internacionales en el diseño, construcción y operación de plantas de digestión anaerobia a escala real.</li></ul> |
| <b>8. Construcción de una planta piloto para el tratamiento de los RSOM</b>  | <ul style="list-style-type: none"><li>Construcción de una planta piloto para el tratamiento de RSOM con capacidad máxima de 1 tonelada/día de alimentación de RSOM</li></ul>   |
| <b>9. Operación de una planta piloto para el tratamiento de los RSOM</b>   | <ul style="list-style-type: none"><li>Operación de la planta piloto para obtener las condiciones adecuadas de las variables de operación del sistema</li></ul>   |



Project Charter: "Generación de un sistema piloto de tratamiento de residuos sólidos orgánicos municipales (RSOM)" FORDECyT-174710

|  |   |
|--|---|
| <b>10. Estudio de mercado para los subproductos generados del tratamiento de los RSOM</b>                              | <ul style="list-style-type: none"><li>Informe que incluya la estrategia básica para la comercialización o destino de los subproductos de interés</li></ul>  |
| <b>11. Ingeniería básica del sistema de digestión anaerobia de los RSOM</b>  | <ul style="list-style-type: none"><li>Informe con la ingeniería básica de acuerdo al sistema de digestión anaerobia seleccionado</li></ul>  |
| <b>12. Proyecto ejecutivo de una planta de tratamiento a escala industrial para la digestión anaerobia de los RSOM</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>Informe que incluya el Proyecto ejecutivo de una planta de tratamiento industrial de RSOM que incluya el plan de negocios, de acuerdo al mejor sistema encontrado</li></ul>   |
| <b>13. Diseño de la logística de manejo integral que permita la llegada de los RSOM a la planta de tratamiento</b>     | <ul style="list-style-type: none"><li>Informe con el diseño general de la logística de manejo integral que permita la llegada de los RSOM a la planta de tratamiento</li></ul>  |
| <b>14. Generación de recursos humanos</b>  | <ul style="list-style-type: none"><li>Recursos humanos de alto nivel formados para el manejo de RSOM</li></ul>  |
| <b>15. Actividades de difusión de los resultados</b>   | <ul style="list-style-type: none"><li>Material básico para la implementación del proyecto. Video corto de 25 minutos, que presente de forma ágil y para todo público los resultados del proyecto, buscando la aceptación del proyecto en el área de estudio, en caso que los resultados de los estudios así lo indiquen</li></ul> |



Project Charter: "Generación de un sistema piloto de tratamiento de residuos sólidos orgánicos  
municipales (RSOM)" FORDECyT-174710

#### 4 CONDICIONES DEL PROYECTO

##### 4.1 Organizaciones o instituciones que participan

| Organización / Institución                        | Rol que desempeña  |
|---|--|
| FORDECyT  | Sponsor  |
| Secretaría del medio ambiente – Estado de México  | Estado coordinador   |
| Secretaría del medio ambiente – Distrito Federal  | Área usuaria comprometida  |
| Facultad de Química – UNAM                        | Gestión del proyecto y responsable técnico   |
| Instituto de Ingeniería – UNAM                    | Apoyo en la digestión anaerobia de residuos orgánicos                                  |
| Instituto de investigaciones sociales - UNAM      | Apoyo en los aspectos sociales relacionados al manejo de RSOM y difusión de resultados |
| Programa Universitario del Medio Ambiente – UNAM  | Responsable administrativo del proyecto  |
| Coordinación de la Investigación Científica –UNAM | Representante legal del proyecto   |



Project Charter: "Generación de un sistema piloto de tratamiento de residuos sólidos orgánicos  
municipales (RSOM)" FORDECYT-174710

#### 4.2 Presupuesto asignado

| Actividad   | Monto           |
|---|-----------------|
| 1. Estado del arte de las tecnologías de digestión anaerobia de los residuos sólidos orgánicos municipales  | \$ 1,197,303.80 |
| 2. Simposium con expertos y tecnólogos nacionales e internacionales en tema de digestión anaerobia de RSOM  | \$ 603,803.80   |
| 3. Evaluación de alternativas tecnológicas para seleccionar la opción del sistema de tratamiento más adecuado para las condiciones y tipo de residuos del área de estudio | \$ 497,564.80   |
| 4. Estudio de las condiciones del nivel socioeconómico asociadas a las actividades de recolección y disposición de residuos en el área de estudio                         | \$ 1,371,320.00 |
| 5. Muestreo y caracterización de los RSOM generados en el área de estudio   | \$ 3,214,031.80 |
| 6. Pruebas de digestión anaerobia a nivel laboratorio para los RSOM colectados  | \$ 1,874,152.00 |
| 7. Diseño de una planta piloto para el tratamiento de los RSOM  | \$ 2,126,645.80 |
| 8. Construcción de una planta piloto para el tratamiento de los RSOM  | \$ 7,354,510.96 |
| 9. Operación de una planta piloto para el tratamiento de los RSOM   | \$ 5,716,187.04 |
| 10. Estudio de mercado para los subproductos generados del tratamiento de los RSOM  | \$ 995,357.00   |
| 11. Ingeniería básica del sistema de digestión anaerobia de los RSOM  | \$ 1,217,877.00 |
| 12. Proyecto ejecutivo de una planta de tratamiento a escala industrial para la digestión anaerobia de los RSOM   | \$ 703,277.00   |
| 13. Diseño de la logística de manejo integral que permita la llegada de los RSOM a la planta de tratamiento   | \$ 393,397.00   |
| 14. Generación de recursos humanos  | \$ 1,529,280.00 |
| 15. Actividades de difusión de los resultados   | \$ 748,717.00   |



Project Charter: "Generación de un sistema piloto de tratamiento de residuos sólidos orgánicos  
municipales (RSOM)" FORDECYT-174710

### 4.3 Calendario de hitos

| #  | Hito o Evento                                  | Fecha programada             |
|----|--|------------------------------|
| 1  | Inicio del proyecto                            | 11/junio/12                  |
| 2  | Reunión de avance con sponsor y áreas usuarias | 06/julio12                   |
| 3  | Reunión de avance con sponsor y áreas usuarias | 17/agosto/12                 |
| 4  | Entrega de informe de actividad 1              | 05/octubre/12                |
| 5  | Simposium                                      | Del 24 al 26 de octubre 2012 |
| 6  | Reunión de avance con sponsor y áreas usuaria  | 26 / octubre / 12            |
| 7  | Entrega de informe actividad 2                 | 16 / noviembre /12           |
| 8  | Entrega de informes de actividades 3 y 4       | 30/ noviembre /12            |
|    | Reunión de avance con sponsor y áreas usuaria  | 8 / diciembre /12            |
| 9  | Entrega de informe actividad 5                 | 14 /diciembre / 12           |
| 11 | Entrega de informe actividad 6                 | 25 / enero /13               |
| 12 | Reunión de avance con sponsor y áreas usuaria  | 08 / febrero /13             |
| 13 | Reunión de avance con sponsor y áreas usuaria  | 29 / marzo / 13              |
| 14 | Inicio de la construcción de la planta         | 29 / marzo /13               |
| 15 | Entrega de informe actividad 7                 | 05 / abril / 13              |
| 16 | Reunión de avance con sponsor y áreas usuaria  | 26 / abril / 13              |



Project Charter: "Generación de un sistema piloto de tratamiento de residuos sólidos orgánicos  
municipales (RSOM)" FORDECyT-174710

| #  | Hito o Evento                                 | Fecha programada                            |
|----|---|---|
| 17 | Reunión de avance con sponsor y áreas usuaria | 31 / mayo / 13                              |
|    | Reunión de avance con sponsor y áreas usuaria | 05 / julio / 13                             |
| 18 | Término de construcción de la planta          | 05 / julio /13                              |
| 19 | Operación de la planta                        | Del 15 de julio de 2013 al 10 de enero 2014 |
| 20 | Reunión de avance con sponsor y áreas usuaria | 13 / septiembre / 13                        |
|    | Entrega de informe actividad 13               | 18 / octubre / 13                           |
| 21 | Entrega de informe actividad 10               | 25 / octubre / 13                           |
| 22 | Reunión de avance con sponsor y áreas usuaria | 01 / noviembre /13                          |
| 23 | Reunión de avance con sponsor y áreas usuaria | 03 / enero / 14                             |
| 24 | Entrega de informe actividad 11               | 31 / enero / 14                             |
| 25 | Reunión de avance con sponsor y áreas usuaria | 14 / marzo / 14                             |
|    | Reunión de avance con sponsor y áreas usuaria | 02 / mayo / 14                              |
| 26 | Entrega de informe actividad 12, 14 y 15      | 23 / mayo /14                               |
| 27 | Fin del proyecto                              | 06 / junio / 14                             |

#### 4.4 Riesgos del proyecto

| # | Área de riesgo | Riesgo  | Plan de respuesta  |
|---|----------------|---|--|
| 1 | Ejecución      | Impedimento de acceso a los sitios de muestreo, por grupos organizados de | Solicitud de apoyo a las áreas usuarias, para preparar logística previamente a las visitas a los sitios de muestreo. |



Project Charter: "Generación de un sistema piloto de tratamiento de residuos sólidos orgánicos  
municipales (RSOM)" FORDECyT-174710

| # | Área de riesgo | Riesgo   | Plan de respuesta  |
|---|----------------|--|--|
|   |                | segregadores de residuos   |  |
| 2 | Integración    | Retraso en la formalización del Convenio de Asignación de Recursos, tal que el proyecto se vea afectado                        | Solicitud de atención inmediata a la preparación de convenio de asignación de recursos, una vez los resultados de la presente convocatoria, para evitar retrasos en la fase de operación o implantación de resultados. |
| 3 | Costos         | Que las áreas usuarias no cuenten con las autorizaciones y recursos económicos autorizados para la implementación del proyecto | Programación del presupuesto y solicitud de autorizaciones con la debida consideración de tiempo y forma requeridos.   |
| 4 | Ejecución      | Retrasos en la realización de las actividades y entregables correspondientes   | Monitoreo constante del avance el proyecto   |
| 5 | Costos         | Presupuesto insuficiente para la realización del proyecto  | Adecuada planeación y revisión de los gastos que se deben realizar, así como monitoreo constante.  |
| 6 | Construcción   | Errores en la construcción de la planta piloto.  | Mantenerse al tanto del trabajo que realice la empresa encargada de la construcción.   |

#### 4.5 Impacto potencial

1. Incremento en el aprovechamiento y comercialización de los RSOM.
2. Reducción del riesgo de focos de infección en los sitios de disposición de residuos.



Project Charter: "Generación de un sistema piloto de tratamiento de residuos sólidos orgánicos municipales (RSOM)" FORDECyT-174710

3. Reducción del riesgo de contaminación de suelos y acuíferos.
4. Incremento en la inversión en sistemas de tratamiento de RSOM
5. Incremento en el número de recursos humanos calificados en el tratamiento de RSOM.
6. Incremento en el concomimiento, desarrollo e innovación de tecnologías de procesamiento de materiales estratégicos.
7. Incremento en la caracterización de los RSOM para su tratamiento.
8. Incremento en la optimización del mejor sistema generado para la región.
9. Incremento en la creación y fortalecimiento de redes de conocimiento entre instituciones de investigación, universidades y empresas nacionales, en materia de tratamiento de RSOM.

## 5 Equipo de trabajo

### 5.1 Designación del Gerente de proyecto

| Nombre | Nivel de autoridad   |
|--------|--|
| ADM    | Exigir el cumplimiento correcto y oportuno del trabajo planeado para cumplir con los resultados comprometidos. |

### 5.2 Equipo de trabajo técnico

| Actividad a desarrollar | Personas encargadas | Responsabilidades                                   |
|-------------------------|---------------------|---|
| Dirección del proyecto  | DCG                 | Coordinar y dirigir la gestión general del proyecto |
| Factibilidad técnica    | IIB                 | Gestión del diseño de la planta piloto              |



Project Charter: "Generación de un sistema piloto de tratamiento de residuos sólidos orgánicos  
 municipales (RSOM)" FORDECYT-174710

|                        |     |   |
|------------------------|-----|---|
| Factibilidad económica | BCS | Administración de los recursos económicos |
| Factibilidad ambiental | SMH | Evaluación del impacto y riesgo ambiental |
| Recursos humanos       | YMA | Incorporación y destitución de personal   |

-----

## 6 APROBACIÓN

**Propuesto por** \_\_\_\_\_  
 Gerente de proyecto

**Aprobado por** \_\_\_\_\_  
 Sponsor del proyecto

\_\_\_\_\_  
 Áreas usuarias

-----

-----



### Anexo C. Formato ejemplo de Declaración de Alcance

| No. | Entregable   | Descripción   | Criterio de aceptación   |
|-----|--|---|--|
| 1   | Informe del estado del arte de las tecnologías de digestión anaerobia de los RSOM.   | Este estudio permitirá la selección del sistema más adecuado, enfocándose en la identificación y revisión de las tecnologías que han demostrado éxito en el tratamiento biológico anaerobio en grandes comunidades  | Contar con las principales características de las tecnologías disponibles, reunir a los líderes en tecnología de clase mundial en tema de digestión anaerobia.                     |
| 2   | <i>Simposium</i> con expertos y tecnólogos internacionales en tratamiento anaerobio de RSOM.   | Realizar una adecuada y directa retroalimentación sobre las tecnologías disponibles para el tratamiento anaerobio de los RSOM, así como sus requerimientos, costos, ventajas y desventajas, entre otros aspectos.   | Reunir información que sea de utilidad para la retroalimentación sobre las tecnologías sobre tratamiento anaerobio.  |
| 3   | Informe de evaluación matricial de alternativas tecnológicas de digestión anaerobia, seleccionando la más adecuada para el área de estudio     | Evaluación de alternativas utilizando criterios técnicos, ambientales, económicos y de requerimientos de operación, haciendo uso de software especializado en tema de evaluación de decisiones multicriterio.   | Considerar el Análisis de Ciclo de Vida, para determinar la alternativa que ofreciera una reducción mayor de los impactos ambientales actuales con la implementación del proyecto. |
| 4   | Estudio de las condiciones del nivel socioeconómico asociadas a las actividades de recolección y disposición de residuos en el área de estudio | Se debe elaborar una línea base de la situación actual socioeconómica del manejo de los residuos, para ser comparada con la situación del proyecto.   | Que permita a los responsables en la toma de decisiones identificar los beneficios sociales que se obtendrán como resultado de la implementación del mismo.                        |
| 5   | Muestreo de los RSOM en el área de estudio   | Considerando un máximo de 4 sitios de muestreo durante siete días de muestreo en cada uno para la caracterización de las muestras colectadas susceptibles de tratamiento biológico en el área de estudio.   | Realizar el muestreo de acuerdo con la normatividad nacional e internacional más adecuada que permitiera contar con las muestras representativas. de los residuos.                 |
| 6   | Pruebas de digestión anaerobia a nivel laboratorio para los RSOM colectados  | Con las muestras obtenidas y plenamente caracterizadas se realizarán pruebas a nivel laboratorio bajo las características principales del sistema de tratamiento seleccionado como el más adecuado al área de estudio. Con estas pruebas se determinarán las condiciones adecuadas de las variables de proceso buscando maximizar la degradación de los RSOM y favoreciendo la generación de biogás y otros subproductos de valor comercial, las cuales se validarán a escala piloto. | Las pruebas a nivel laboratorio deberán permitir la disminución de los riesgos asociados en la operación del reactor piloto.   |



| No. | Entregable   | Descripción   | Criterio de aceptación   |
|-----|--|---|--|
| 7   | Documentos de Ingeniería del diseño de una planta piloto para el tratamiento de los RSOM del área de estudio                 | Diseño de la planta revisado y retroalimentado por expertos internacionales en el diseño, construcción y operación de plantas de digestión anaerobia a escala real.   | Que cuente con el diseño necesario para disminuir los riesgos asociados.   |
| 8   | Construcción de una planta piloto para el tratamiento de RSOM con capacidad máxima de 1 tonelada/día de alimentación de RSOM | La planta piloto contará con el siguiente equipamiento e instrumentación: <ul style="list-style-type: none"><li>— Sistema de pretratamiento de los residuos de acuerdo al sistema seleccionado</li><li>— Reactor de acuerdo al sistema seleccionado</li><li>— Instrumentación de pH y temperatura</li><li>— Sistema de agitación</li><li>— Medición de flujo de biogás</li><li>— Bolsa para captación de biogás</li><li>— Antorcha para quemado de biogás</li><li>— Aislamiento térmico</li><li>— Equipo para separación de los lixiviados de la composta resultado del proceso</li><li>— Planta de energía eléctrica</li></ul> | Determinar que la ubicación de la planta piloto, sea dentro de un sitio disponible determinado por cada área usuaria, así como la misma universidad que realiza el proyecto. |
| 9   | Operación de la planta piloto para obtener las condiciones adecuadas de las variables de operación del sistema               | Se entregará el registro de datos de los resultados obtenidos de la planta de digestión anaerobia a escala piloto. Mediante la operación y el control adecuado del sistema piloto, se determinarán las mejores condiciones de operación del sistema y se cuantificarán los flujos de proceso, tal que sea posible determinar el potencial de generación de energía eléctrica a partir del biogás y la estimación de los subproductos generados.   | Deberá considerar el arrendamiento del servicio de transporte, carga y descarga para los residuos, desde su punto de generación hasta la planta piloto.                      |
| 10  | Estrategia básica para la comercialización o destino de los subproductos de interés  | A partir de un estudio de mercado, se generará un directorio de posibles consumidores de los subproductos generados y un listado de costos de mercado para aquellos subproductos susceptibles de ser comercializados.   | Identificación de posibles consumidores y generación un plan de comercialización de los subproductos.  |



PLANEACIÓN Y CONTROL DE LA INGENIERÍA PROCURA Y CONSTRUCCIÓN DE UNA  
PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS  
MUNICIPALES



| No. | Entregable  | Descripción  | Criterio de aceptación  |
|-----|---|--|---|
| 11  | Ingeniería básica de acuerdo al sistema de digestión anaerobia seleccionado.                                    | Se desarrollará el Diseño del sistema de pretratamiento, tratamiento y sistema de colección de gases, reflejado en un Diagrama de Flujo de Proceso con balance de masa.<br>Memoria de Cálculo del Diseño<br>Requerimiento de área<br>Estimación de la generación de residuos<br>Estimación de los insumos y personal requeridos<br>Estimación del tipo y cantidad de subproductos generados con valor comercial<br>Diagrama de Tubería e Instrumentación<br>Diagrama estructural<br>Arreglo general del planta | Que el documento provea a las áreas usuarias de las Bases Técnicas necesarias para realizar un proceso de licitación de la construcción y operación a escala real del proyecto si así lo determinan.  |
| 11  | Proyecto ejecutivo de una planta de tratamiento industrial de RSOM  | Incluirá un plan de negocios que presente adecuada y suficientemente los elementos técnicos, ambientales, socioeconómicos y financieros para una toma de decisiones por las áreas usuarias, sobre la ejecución del proyecto, al término del estudio objeto del proyecto.   | Debe sustentar las características técnicas, económicas y ambientales para ser considerado como opción.   |
| 12  | Diseño general de la logística de manejo integral que permita la llegada de los RSOM a la planta de tratamiento | Se planteará la estrategia necesaria de manejo integral (recolección segregada, transferencia y/o acopio) que asegure la eficiente captación de los residuos a ser alimentados al sistema de Digestión Anaerobia.  | Debe visualizar el diseño de las rutas de recolección, el tipo y capacidad de los contenedores necesarios, el tipo y número de los vehículos de transporte; estaciones de transferencia en caso de ser requeridas y logística en general para el manejo de los residuos hasta su tratamiento. |
| 13  | Recursos humanos de alto nivel formados para el manejo de RSOM.   | Se promoverá la formación de personal calificado de alto nivel técnico (estudiantes de licenciatura y posgrado), considerando su asistencia a congresos especializados en el tema para su preparación y aportación en conocimientos para este proyecto y en las necesidades futuras de nuestro país.   | Deberán proporcionar el comprobante de la finalización de sus estudios mediante el trabajo de tesis que realizaron mediante el proyecto.  |
| 14  | Talleres de capacitación para la exitosa implementación del proyecto  | Se realizarán talleres para la capacitación del personal involucrados en dar seguimiento a los resultados del proyecto para su exitosa implementación.   | Generación de personal altamente calificado para dar seguimiento al proyecto.   |



Anexo D. Ejemplo de codificación de WBS.

| Código WBS | Descripción  |
|------------|--|
| 1          | <b>Informe del estado del arte de las tecnologías de digestión anaerobia de los RSOM.</b>  |
| 1.1        | Visita a la Feria IFAT en Munich, Alemania (7-11 de mayo de 2012).   |
| 1.2        | Visita a las principales plantas europeas de DA de RSOM.   |
| 2          | <b>Simposium con expertos y tecnólogos internacionales en tratamiento anaerobio de RSOM.</b>   |
| 2.1        | Descripción general de las actividades relacionadas al manejo de los residuos en los estados participantes.  |
| 2.1.1      | Informe y minuta de los acuerdos logrados en el Foro.  |
| 2.2        | Identificación de las principales tecnologías de DA para RSOM a nivel nacional e internacional.  |
| 3          | <b>Informe de evaluación matricial de alternativas tecnológicas de digestión anaerobia, seleccionando la más adecuada para el área de estudio.</b>     |
| 3.1        | Informe del resultado de la evaluación incluyendo los criterios y tecnologías a evaluar.   |
| 3.2        | Informe del ciclo de vida de las diferentes alternativas para la selección de aquella que minimice el impacto ambiental.                               |
| 4          | <b>Estudio de las condiciones del nivel socioeconómico asociadas a las actividades de recolección y disposición de residuos en el área de estudio.</b> |
| 4.1        | Descripción del estudio.   |
| 4.2        | Reporte de planeación de logística.  |
| 4.3        | Selección y contrato de la empresa que realizará el estudio social con base a las condiciones y criterios establecidos en el Foro Técnico.             |
| 5          | <b>Muestreo de los RSOM en el área de estudio</b>  |
| 5.1        | Informe sobre contratación de servicios externos para muestreo, planeación, supervisión y muestreo de los RSOM del área de estudio.                    |
| 5.2        | Informe sobre la planeación y caracterización físico química de los RSOM, determinando los principales parámetros que los definen.                     |
| 6          | <b>Pruebas de digestión anaerobia a nivel laboratorio para los RSOM colectados</b>   |
| 6.1        | Informe de metodología para las pruebas de DA, estableciendo las condiciones de proceso y variables necesarias.  |
| 6.2        | Informe de resultados de las pruebas de digestión anaerobia a nivel laboratorio.   |
| 7          | <b>Documentos de Ingeniería del diseño de una planta piloto para el tratamiento de los RSOM del área de estudio</b>                                    |
| 7.1        | Definición del sitio de instalación de la planta piloto.   |
| 7.2        | <b>Ingeniería Conceptual</b>   |
| 7.2.1      | Descripción del proceso  |
| 7.2.2      | Diagrama de bloques  |
| 7.3        | <b>Ingeniería Básica</b>   |
| 7.3.1      | Bases de diseño  |
| 7.3.2      | Filosofía de operación   |



| Código WBS | Descripción  |
|------------|--|
| 7.3.3      | Manual de operación  |
| 7.3.4      | Lista de equipo  |
| 7.3.5      | Índice de líneas   |
| 7.3.6      | Lista de motores   |
| 7.3.7      | Memorias de cálculo  |
| 7.3.7.a    | Memoria de cálculo balance de masa   |
| 7.3.7.b    | Memoria de cálculo balance energético  |
| 7.3.7.c    | Memoria de cálculo agitador del tanque de igualación                         |
| 7.3.7.d    | Memoria de cálculo agitador del digestor anaerobio                           |
| 7.3.7.e    | Memoria de cálculo agitador del tanque de floculación                        |
| 7.3.7.f    | Memoria de cálculo agitador del reactor aerobio tipo SBR                     |
| 7.3.7.g    | Memoria de cálculo bomba para alimentación a boiler                          |
| 7.3.7.h    | Memoria de cálculo bomba de purga de lodos aerobios                          |
| 7.3.7.i    | Memoria de cálculo bomba dosificadora de nutrientes                          |
| 7.3.7.j    | Memoria de cálculo bomba dosificadora de nahco3                              |
| 7.3.7.k    | Memoria de cálculo bomba de alimentación a digestores                        |
| 7.3.7.l    | Memoria de cálculo bomba de recirculación a triturador                       |
| 7.3.7.m    | Memoria de cálculo bomba de alimentación a filtro prensa                     |
| 7.3.7.n    | Memoria de cálculo bomba de recirculación a digestores                       |
| 7.3.7.o    | Memoria de cálculo bomba de polímero   |
| 7.3.7.p    | Memoria de cálculo bomba de agua potable                                     |
| 7.3.7.q    | Memoria de cálculo bomba de recirculación a reactor anaerobio                |
| 7.3.7.r    | Memoria de cálculo bomba para decantador de sobrenadante del reactor aerobio |
| 7.3.7.s    | Memoria de cálculo digestor anaerobio  |
| 7.3.7.t    | Memoria de cálculo <i>gasholder</i>  |
| 7.3.7.u    | Memoria de cálculo purificador de biogás                                     |
| 7.3.7.v    | Memoria de cálculo boiler para calentamiento de digestores                   |
| 7.3.7.w    | Memoria de cálculo quemador de biogás  |
| 7.3.7.x    | Memoria de cálculo serpentín para calentamiento de digestores                |
| 7.3.7.y    | Memoria de cálculo generador eléctrico                                       |
| 7.3.7.z    | Memoria de cálculo tanque de bombeo de agua caliente                         |
| 7.3.7.aa   | Memoria de cálculo tanque de recirculación de digestores                     |
| 7.3.7.bb   | Memoria de cálculo soplador de aire  |
| 7.3.7.cc   | Memoria de cálculo soplador para biogás                                      |
| 7.3.7.dd   | Memoria de cálculo reactor anaerobio tipo filtro sumergido                   |
| 7.3.7.ee   | Memoria de cálculo reactor aerobio tipo SBR                                  |
| 7.3.7.ff   | Memoria de cálculo tanque almacenamiento de agua potable                     |



| Código WBS | Descripción   |
|------------|---|
| 7.3.7.gg   | Memoria de cálculo tanque de igualación                             |
| 7.3.7.hh   | Memoria de cálculo tanque de floculación                            |
| 7.3.7.ii   | Memoria de cálculo triturador de sólidos orgánicos                  |
| 7.3.7.jj   | Memoria de cálculo tanque de almacenamiento de nutrientes           |
| 7.3.7.kk   | Memoria de cálculo tanque de almacenamiento de bicarbonato de sodio |
| 7.3.7.ll   | Memoria de cálculo tanque de almacenamiento de polímero             |
| 7.3.7.mm   | Memoria de cálculo tanque de igualación reactor anaerobio           |
| 7.3.7.nn   | Memoria de cálculo filtro prensa para desaguado de lodos            |
| 7.3.7.oo   | Memoria de cálculo tuberías de biogás                               |
| 7.3.8      | Hojas de datos  |
| 7.3.8.a    | Hoja de datos agitador del tanque de igualación                     |
| 7.3.8.b    | Hoja de datos agitador del digestor anaerobio                       |
| 7.3.8.c    | Hoja de datos agitador del tanque de floculación                    |
| 7.3.8.d    | Hoja de datos agitador del reactor aerobio tipo RBS                 |
| 7.3.8.e    | Hoja de datos bomba para alimentación a boiler                      |
| 7.3.8.f    | Hoja de datos bomba de purga de lodos aerobios                      |
| 7.3.8.g    | Hoja de datos bomba dosificadora de nutrientes                      |
| 7.3.8.h    | Hoja de datos bomba dosificadora de nahco3                          |
| 7.3.8.i    | Hoja de datos bomba de alimentación a digestores                    |
| 7.3.8.j    | Hoja de datos bomba de recirculación a triturador                   |
| 7.3.8.k    | Hoja de datos bomba de alimentación a filtro prensa                 |
| 7.3.8.l    | Hoja de datos bomba de recirculación a digestores                   |
| 7.3.8.m    | Hoja de datos bomba de polímero                                     |
| 7.3.8.n    | Hoja de datos bomba de agua potable                                 |
| 7.3.8.o    | Hoja de datos bomba de recirculación a reactor anaerobio            |
| 7.3.8.p    | Hoja de datos decantador de sobrenadante del reactor aerobio        |
| 7.3.8.q    | Hoja de datos difusores de aire para reactor aerobio                |
| 7.3.8.r    | Hoja de datos gas holder  |
| 7.3.8.s    | Hoja de datos purificador de biogás con limadura de fierro          |
| 7.3.8.t    | Hoja de datos boiler para calentamiento de digestores               |
| 7.3.8.u    | Hoja de datos trampa de sedimentos en biogás                        |
| 7.3.8.v    | Hoja de datos quemador para biogás                                  |
| 7.3.8.w    | Hoja de datos tolva de paso al triturador                           |
| 7.3.8.x    | Hoja de datos generador eléctrico                                   |
| 7.3.8.y    | Hoja de datos soplador de aire para reactor aerobio                 |
| 7.3.8.z    | Hoja de datos soplador para biogás                                  |
| 7.3.8.aa   | Hoja de datos triturador de sólidos orgánicos                       |



| Código WBS | Descripción  |
|------------|--|
| 7.3.8.bb   | Hoja de datos para decantador de sobrenadante para rrf-01a/b         |
| 7.3.8.cc   | Hoja de datos filtro prensa para desaguado de lodos                  |
| 7.3.9      | Especificaciones de equipos  |
| 7.3.9.a    | Agitadores verticales  |
| 7.3.9.b    | Bombas centrífugas sumergibles                                       |
| 7.3.9.c    | Bombas centrífugas   |
| 7.3.9.d    | Bombas cavidad progresiva  |
| 7.3.9.e    | Bombas dosificadoras   |
| 7.3.9.f    | Sopladores de aire   |
| 7.3.9.g    | Sopladores para biogás   |
| 7.3.10     | Planos   |
| 7.3.10.a   | Diagrama de flujo de proceso (1 de 2)                                |
| 7.3.10.b   | Diagrama de flujo de proceso (2 de 2)                                |
| 7.3.10.c   | Diagrama de tuberías e instrumentación (1 de 6)                      |
| 7.3.10.d   | Diagrama de tuberías e instrumentación (2 de 6)                      |
| 7.3.10.e   | Diagrama de tuberías e instrumentación (3 de 6)                      |
| 7.3.10.f   | Diagrama de tuberías e instrumentación (4 de 6)                      |
| 7.3.10.g   | Diagrama de tuberías e instrumentación (5 de 6)                      |
| 7.3.10.h   | Diagrama de tuberías e instrumentación (6 de 6)                      |
| 7.3.10.i   | Identificación de símbolos para tuberías e instrumentación (1 de 2)  |
| 7.3.10.j   | Identificación de símbolos para tuberías e instrumentación (2 de 2)  |
| 7.3.10.k   | Arreglo general de planta  |
| 7.3.10.l   | Perfil hidráulico  |
| 7.3.11     | Dimensionales  |
| 7.3.11.a   | Plano dimensional tanque de igualación                               |
| 7.3.11.b   | Plano dimensional tanque de igualación de flujo al reactor anaerobio |
| 7.3.11.c   | Plano dimensional digestor anaerobio                                 |
| 7.3.11.d   | Plano dimensional tanque de agua caliente                            |
| 7.3.11.e   | Plano dimensional tanque de recirculación de digestor anaerobio      |
| 7.3.11.f   | Plano dimensional reactor anaerobio tipo filtro sumergido            |
| 7.3.11.g   | Plano dimensional reactor anaerobio tipo filtro sumergido            |
| 7.3.11.h   | Plano dimensional tanque de almacenamiento de agua potable           |
| 7.3.11.i   | Plano dimensional tanque de floculación                              |
| 7.3.11.j   | Plano dimensional tanque de almacenamiento de polímero               |
| 7.3.11.k   | Plano dimensional tanque de almacenamiento de nutrientes             |
| 7.3.11.l   | Plano dimensional tanque de almacenamiento de bicarbonato de sodio   |
| 7.4        | Ingeniería de detalle  |



| Código WBS | Descripción   |
|------------|---|
| 7.4.1      | Ingeniería Civil  |
| 7.4.1.a    | Memorias de cálculo   |
| 7.4.1.a1   | Memoria de cálculo estructural pasillos   |
| 7.4.1.a2   | Memoria de cálculo estructural patín sección 1                                      |
| 7.4.1.a3   | Memoria de cálculo estructural patín sección 2                                      |
| 7.4.1.a4   | Memoria de cálculo estructural patín sección 3                                      |
| 7.4.1.a5   | Memoria de cálculo estructural patín sección 4                                      |
| 7.4.1.a6   | Catálogo de conceptos   |
| 7.4.1.b    | Planos  |
| 7.4.1.b1   | Pasillos de intercomunicación   |
| 7.4.1.b2   | Patín sección 1, plantas  |
| 7.4.1.b3   | Patín sección 1, detalles   |
| 7.4.1.b4   | Patín sección 2, plantas  |
| 7.4.1.b5   | Patín sección 2, detalles   |
| 7.4.1.b6   | Patín sección 2, techumbre  |
| 7.4.1.b7   | Patín sección 3, plantas  |
| 7.4.1.b8   | Patín sección 3, detalles   |
| 7.4.1.b9   | Patín sección 4, plantas  |
| 7.4.1.b10  | Patín sección 4, detalles   |
| 7.4.2      | Ingeniería eléctrica  |
| 7.4.2.a    | Cálculo de circuitos alimentadores a motores  |
| 7.4.2.b    | Tablero de alumbrado ta-01  |
| 7.4.2.c    | Cálculo de circuitos de alumbrado   |
| 7.4.2.d    | Especificación técnica de panel de control de motores de menos de 600 volts, CCM-01 |
| 7.4.2.e    | Hoja de datos   |
| 7.4.2.f    | Catálogo de general de conceptos  |
| 7.4.3      | Ingeniería de Instrumentación   |
| 7.4.3.a    | Medidor de flujo magnético  |
| 7.4.3.b    | Medidor de flujo másico térmico   |
| 7.4.3.c    | Medidor de nivel tipo radar guiado  |
| 7.4.3.d    | Medidor de nivel ultrasónico  |
| 7.4.3.e    | Medidor de nivel ultrasónico  |
| 7.4.3.f    | Medidor de nivel ultrasónico  |
| 7.4.3.g    | Analizador de oxígeno disuelto  |
| 7.4.3.h    | Analizador de oxígeno disuelto  |
| 7.4.3.i    | Analizador de pH  |
| 7.4.3.j    | Switch de presión   |



| Código WBS | Descripción   |
|------------|---|
| 7.4.3.k    | Switch de nivel vibronico                           |
| 7.4.3.l    | Medidor de temperatura                              |
| 7.4.3.m    | Medidor de temperatura                              |
| 7.4.3.n    | Activación de elementos                             |
| 7.4.3.o    | Lista de equipos e instrumentos                     |
| 7.4.3.p    | Lista de entradas y salidas                         |
| 7.4.3.q    | Medidores   |
| 7.4.3.r    | Funciones de monitoreo (mof's)                      |
| 7.4.3.s    | Diagrama de secuencia 01                            |
| 7.4.3.t    | Diagrama de lazos de control                        |
| 7.4.3.u    | Arquitectura de control                             |
| 7.4.3.v    | Arreglo general de tablero                          |
| 7.4.3.w    | Diagrama de alambrado de tablero                    |
| 7.4.3.x    | Típico de instalación transmisor de flujo magnético |
| 7.4.3.y    | Típico de instalación transmisor de nivel           |
| 7.4.3.z    | Típico de instalación del sensor                    |
| 7.4.3.aa   | Típico de instalación switch de presión             |
| 7.4.3.bb   | Típico de instalación switch de nivel               |
| 7.4.3.cc   | Típico de instalación transmisor de temperatura     |
| 7.4.4      | Ingeniería mecánica y de tuberías                   |
| 7.4.4.a    | Pruebas para tuberías                               |
| 7.4.4.b    | Identificación y señal para tuberías                |
| 7.4.4.c    | Catálogo mecánico de tuberías                       |
| 7.4.4.d    | Catálogo mecánico instalación de equipos            |
| 7.4.4.e    | Catálogo mecánico de soportes                       |
| 7.4.4.f    | Arreglo general de tubería                          |
| 7.4.4.g    | Soportes y elevaciones, sección 1                   |
| 7.4.4.h    | Cortes y elevaciones, sección 2                     |
| 7.4.4.i    | Cortes y elevaciones, sección 3                     |
| 7.4.4.j    | Cortes y elevaciones, sección 4                     |
| 7.4.4.k    | Cortes y elevaciones, planta y elevación daf-1a     |
| 7.4.4.l    | Arreglo general de soportes                         |
| 7.4.4.m    | Plataformas de operación                            |
| 7.4.4.n    | Tolva de paso al triturador, tol-01                 |
| 7.4.4.o    | Serpentín térmico isa-01a/b                         |
| 7.4.4.p    | Tanque de ecualización tef-01                       |
| 7.4.4.q    | Digestor anaerobio daf-01a/b                        |



| Código WBS | Descripción  |
|------------|--|
| 7.4.4.r    | Tanque de recirculación a digestores kbf-02  |
| 7.4.4.s    | Reactor anaerobio raf-01   |
| 7.4.4.t    | Reactor aerobio rrf-01a/b  |
| 7.4.4.u    | Tanque de recirculación a digestores kbf-02  |
| 7.4.4.v    | Reactor anaerobio raf-01   |
| 7.4.4.w    | Reactor aerobio rrf-01a/b  |
| 7.4.4.x    | Tanque de eculización tef-02   |
| 7.4.4.y    | Tanque de floculación tff-01   |
| 7.4.4.z    | Tanque de almacenamiento de polímero trf-03  |
| 7.4.4.aa   | Tanque de almacenamiento de nutrientes trf-01/02   |
| 7.4.4.bb   | Tanque de almacenamiento de agua potable taf-01  |
| 7.4.4.cc   | Tanque de bombeo de agua caliente kbf-01   |
| 7.4.4.dd   | Soportes para tuberías   |
| <b>8</b>   | <b>Construcción de una planta piloto para el tratamiento de RSOM con capacidad máxima de 1 tonelada/día de alimentación.</b> |
| 8.1        | Planeación de la construcción  |
| 8.2        | Reportes de avance semanal   |
| 8.3        | Informe final de construcción  |
| <b>9</b>   | <b>Operación de la planta piloto para obtener las condiciones adecuadas de las variables de operación del sistema</b>        |
| 9.1        | Análisis, establecimiento y gestiones correspondientes de la alimentación de la planta                                       |
| 9.2        | Elaboración de manuales de operación de la planta piloto   |
| 9.3        | Contratación de servicio externo para transporte de residuo  |
| 9.4        | Arranque de una planta piloto para el tratamiento de RSOM  |
| 9.5        | Operación del sistema piloto para tratamiento de los RSOM  |
| <b>10</b>  | <b>Estrategia básica para la comercialización o destino de los subproductos de interés</b>                                   |
| 10.1       | Evaluación de la factibilidad del uso de los subproductos como fertilizantes   |
| 10.2       | Compilado de literatura relacionada al uso de los subproductos   |
| 10.3       | Estrategia de comercialización, costos de referencia y tipo de destino de los subproductos de interés                        |
| <b>11</b>  | <b>Ingeniería básica de acuerdo al sistema de digestión anaerobia seleccionado.</b>  |
| 11.1       | Diseño del sistema de pretratamiento   |
| 11.2       | Diseño del sistema de tratamiento  |
| 11.3       | Diseño del sistema de colección de gases   |
| 11.4       | Diagrama de Flujo de Proceso con Balance de Masa   |
| 11.5       | Estimado de biogás generado en el proceso  |
| 11.6       | Evaluación a nivel perfil de la factibilidad de generación de energía eléctrica a partir del biogás estimado                 |



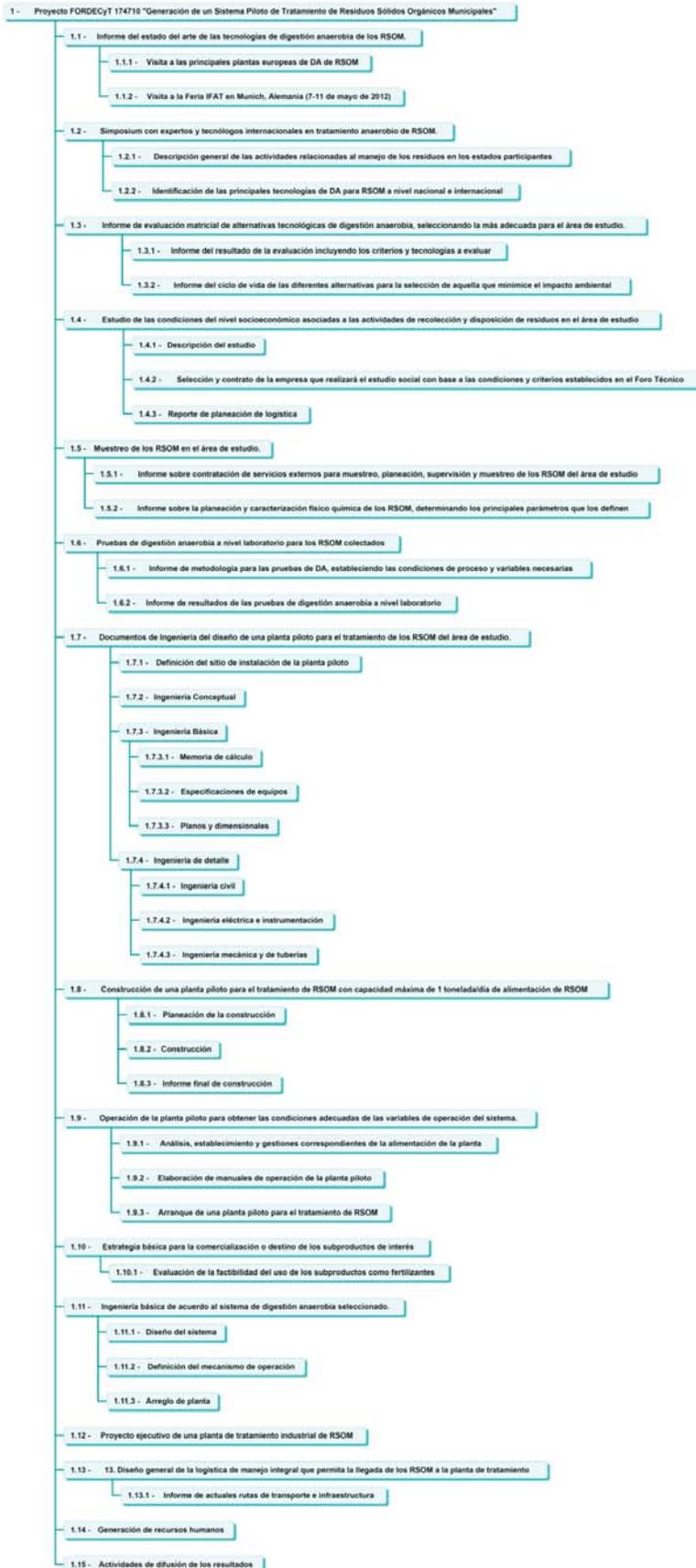
PLANEACIÓN Y CONTROL DE LA INGENIERÍA PROCURA Y CONSTRUCCIÓN DE UNA  
PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS  
MUNICIPALES



| Código WBS | Descripción   |
|------------|---|
| 11.7       | Selección y especificación del sistema de generación de energía eléctrica   |
| 11.8       | Definición del mecanismo de operación mediante el cual el área usuaria pueda aprovechar la energía eléctrica  |
| 11.9       | Memoria de cálculo del diseño   |
| 11.1       | Requerimiento de área   |
| 11.11      | Estimación de la generación de residuos   |
| 11.12      | Estimación de los insumos y personal requeridos   |
| 11.13      | Estimación del tipo y cantidad de subproductos generados con valor comercial  |
| 11.14      | Diagrama de tubería e instrumentación   |
| 11.15      | Arreglo General de Planta (Plot Plan) que presente la distribución de áreas y equipos principales   |
| 11.16      | Definición de los requerimientos de servicios (agua, vapor, energía eléctrica, drenaje, sistema de tratamiento de lixiviados)   |
| 11.17      | Listado de equipos y hojas de especificaciones técnicas   |
| 11.18      | Simulación de procesos biológicos   |
| 11.19      | Documento de Bases técnicas para realizar un proceso de licitación de la construcción y operación   |
| 12         | <b>Proyecto ejecutivo de una planta de tratamiento industrial de RSOM</b>   |
| 13         | <b>Diseño general de la logística de manejo integral que permita la llegada de los RSOM a la planta de tratamiento</b>  |
| 13.1       | Informe de infraestructura actual   |
| 13.2       | Informe de actuales rutas de transporte   |
| 14         | <b>Recursos humanos de alto nivel formados para el manejo de RSOM.</b>  |
| 14.1       | Informe sobre los recursos humanos generados durante el proyecto  |
| 15         | <b>Talleres de capacitación para la exitosa implementación del proyecto</b>   |
| 15.1       | Programa calendarizado para la ejecución del proyecto y listado de instituciones administradoras de fondos públicos capaces de otorgar recursos para la implementación del proyecto |
| 15.2       | Material básico para la implementación del proyecto.(Video corto)   |



### Anexo E. Diagrama de árbol de WBS

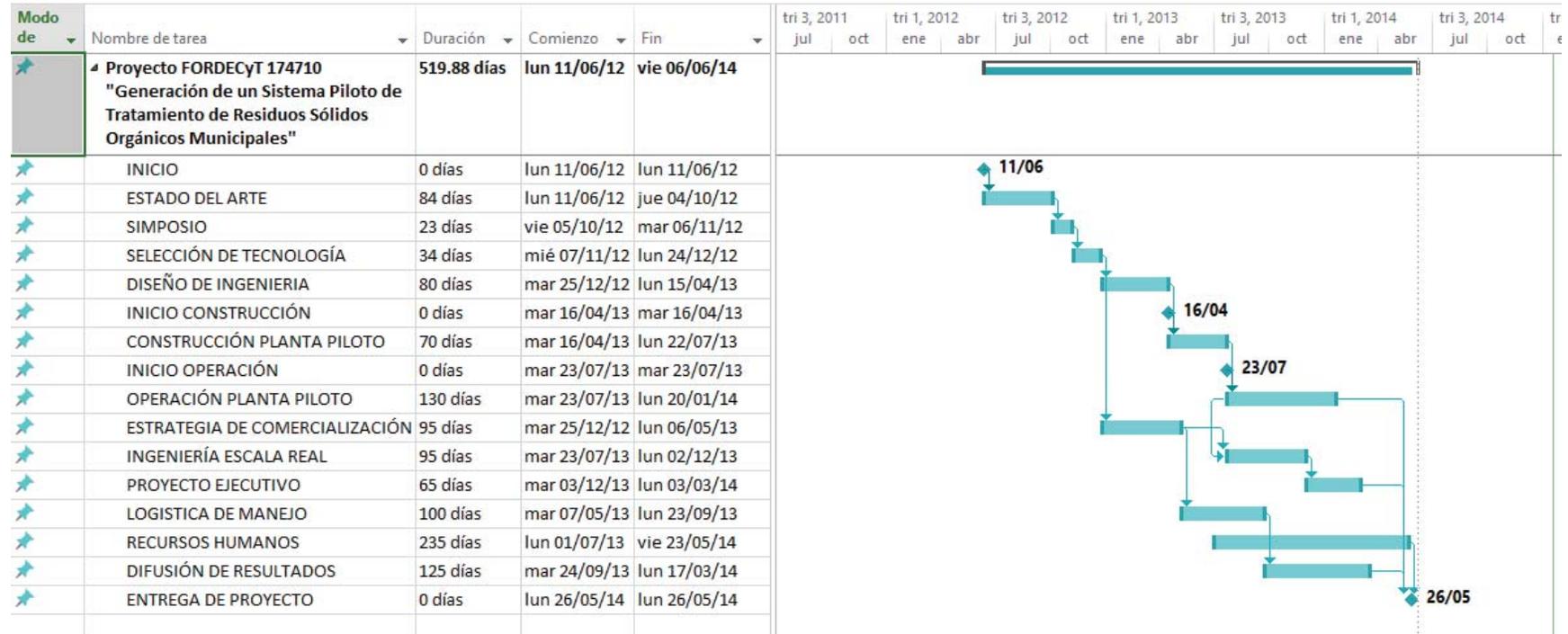




PLANEACIÓN Y CONTROL DE LA INGENIERÍA PROCURA Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA  
PILOTO DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS MUNICIPALES



Anexo F. Ejemplo de Programa del Proyecto en Project.





PLANEACIÓN Y CONTROL DE LA INGENIERÍA PROCURA Y  
CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE  
RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS MUNICIPALES



Anexo G. Formato para entrega de informes.

|  |  |   |          |          |
|--|--|---|----------|----------|
|  |  | PROYECTO 174710 FORDECYT<br>GENERACIÓN DE UN SISTEMA PILOTO DE<br>TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS<br>ORGÁNICOS MUNICIPALES (RSOM) | REVISIÓN | A        |
|  |  |   | FECHA    | DD/MM/AA |
|  |  | TÍTULO DEL INFORME CON EL NUMERO<br>DE LA ACTIVIDAD CORRESPONDIENTE   | ELABORÓ  | U.E.J.O. |
|  |  |   | REVISÓ   | D.N.C.G. |
|  |  |   | APROBÓ   | A.D.M.   |

Estructura del informe

- I. Datos generales: título y número del proyecto, gerente del proyecto, institución que lo realiza.
- II. Objetivo del informe: detallar los compromisos establecidos y logrados mediante este trabajo.
- III. Resumen: escribir en no más de una cuartilla los resultados obtenidos y el problema resuelto mediante estos.
- IV. Objetivos y alcance de la actividad
- V. Antecedentes
- VI. Metodología empleada
- VII. Resultados
- VIII. Conclusiones
- IX. Referencias
- X. Anexos

|                  |  |
|------------------|--|
| FONDO<br>CONACYT | UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO<br>Facultad de Química<br>Departamento de Ingeniería Química |
|------------------|--|



Anexo H. Matriz de roles y funciones

| Código<br>o WBS | Responsables |         |         |         |     | Descripción   |
|-----------------|--------------|---------|---------|---------|-----|---|
|                 | DC<br>G      | SM<br>H | RL<br>D | MH<br>G | UJO |   |
| 1               |              |         |         | I       |     | <b>Informe del estado del arte de las tecnologías de digestión anaerobia de los RSOM.</b>   |
| 1.1             |              |         | R       | E       |     | Visita a la Feria IFAT en Munich, Alemania (7-11 de mayo de 2012.)  |
| 1.2             |              |         | R       | E       |     | Visita a las principales plantas europeas de DA de RSOM.  |
| 2               |              |         |         | I       |     | <b>Simposium con expertos y tecnólogos internacionales en tratamiento anaerobio de RSOM.</b>  |
| 2.1             | R            |         |         | E       |     | Descripción general de las actividades relacionadas al manejo de los residuos en los estados participantes.   |
| 2.1.1           | R            |         |         | E       |     | Informe y minuta de los acuerdos logrados en el Foro.   |
| 2.2             |              |         |         | E       |     | Identificación de las principales tecnologías de DA para RSOM a nivel nacional e internacional.   |
| 3               |              |         |         | I       | R   | <b>Informe de evaluación matricial de alternativas tecnológicas de digestión anaerobia, seleccionando la más adecuada para el área de estudio</b>     |
| 3.1             |              |         |         | E       | R   | Informe del resultado de la evaluación incluyendo los criterios y tecnologías a evaluar.  |
| 3.2             |              |         |         | E       | R   | Informe del ciclo de vida de las diferentes alternativas para la selección de aquella que minimice el impacto ambiental.                              |
| 4               | I            |         |         |         |     | <b>Estudio de las condiciones del nivel socioeconómico asociadas a las actividades de recolección y disposición de residuos en el área de estudio</b> |
| 4.1             |              | E       |         | R       |     | Descripción del estudio.  |
| 4.2             |              | E       |         |         | R   | Reporte de planeación de logística.   |
| 4.3             | E            |         |         | R       |     | Selección y contrato de la empresa que realizará el estudio social con base a las condiciones y criterios establecidos en el Foro Técnico.            |
| 5               | I            |         |         |         |     | <b>Muestreo de los RSOM en el área de estudio</b>   |
| 5.1             | R            | E       |         |         |     | Informe sobre contratación de servicios externos para muestreo, planeación, supervisión y muestreo de los RSOM del área de estudio.                   |
| 5.2             |              | E       |         | R       |     | Informe sobre la planeación y caracterización físico química de los RSOM, determinando los principales parámetros que los definen.                    |
| 6               |              |         |         | I       |     | <b>Pruebas de digestión anaerobia a nivel laboratorio para los RSOM colectados</b>  |
| 6.1             |              | R       | E       |         |     | Informe de metodología para las pruebas de DA, estableciendo las condiciones de proceso y variables necesarias.                                       |



PLANEACIÓN Y CONTROL DE LA INGENIERÍA PROCURA Y  
CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE  
RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS MUNICIPALES



| Código<br>o WBS | Responsables |         |         |         |     | Descripción  |
|-----------------|--------------|---------|---------|---------|-----|--|
|                 | DC<br>G      | SM<br>H | RL<br>D | MH<br>G | UJO |  |
| 6.2             |              | R       | E       |         |     | Informe de resultados de las pruebas de digestión anaerobia a nivel laboratorio.   |
| 7               |              | I       |         |         |     | <b>Documentos de Ingeniería del diseño de una planta piloto para el tratamiento de los RSOM del área de estudio</b>          |
| 7.1             |              |         | R       | E       |     | Definición del sitio de instalación de la planta piloto.   |
| 7.2             |              |         |         | I       |     | Ingeniería Conceptual  |
| 7.2.1           |              |         | E       |         | R   | Descripción del proceso.   |
| 7.2.2           |              |         | E       |         | R   | Diagrama de bloques.   |
| 7.3             |              |         |         | I       |     | Ingeniería Básica  |
| 7.3.7           |              |         | E       |         | I   | Memorias de cálculo.   |
| 7.3.8           |              | E       |         | R       | I   | Hojas de datos.  |
| 7.3.9           |              | R       |         | E       | I   | Especificaciones de equipos  |
| 7.3.10          |              |         | E       | I       | R   | Planos.  |
| 7.3.11          |              | R       |         | E       | I   | Dimensionales.   |
| 7.4             | R            | E       |         |         | I   | Ingeniería de detalle  |
| 7.4.1           |              | I       |         | E       | R   | Ingeniería Civil.  |
| 7.4.3           |              |         |         |         | I   | Ingeniería de Instrumentación.   |
| 7.4.4           |              | I       |         |         |     | Ingeniería mecánica y de tuberías.   |
| 8               |              | I       |         |         |     | <b>Construcción de una planta piloto para el tratamiento de RSOM con capacidad máxima de 1 tonelada/día de alimentación.</b> |
| 8.1             |              |         | R       | E       |     | Planeación de la construcción.   |
| 8.2             | R            |         | E       |         |     | Reportes de avance semanal   |
| 8.3             | E            | R       |         |         |     | Informe final de construcción  |
| 9               |              | I       |         |         |     | <b>Operación de la planta piloto para obtener las condiciones adecuadas de las variables de operación del sistema</b>        |
| 9.1             | R            | E       |         |         |     | Análisis, establecimiento y gestiones correspondientes de la alimentación de la planta.                                      |
| 9.2             |              | R       | E       |         |     | Elaboración de manuales de operación de la planta piloto.  |
| 9.3             | E            | R       |         |         |     | Contratación de servicio externo para transporte de residuo.   |
| 9.4             | R            | E       |         |         |     | Arranque de una planta piloto para el tratamiento de RSOM.   |
| 9.5             |              |         |         | R       | E   | Operación del sistema piloto para tratamiento de los RSOM.   |
| 10              |              | I       |         |         |     | <b>Estrategia básica para la comercialización o destino de los subproductos de interés</b>                                   |
| 10.1            |              | E       | R       |         |     | Evaluación de la factibilidad del uso de los subproductos como fertilizantes.  |
| 10.2            |              | R       | E       | E       |     | Compilado de literatura relacionada al uso de los subproductos.  |
| 10.3            | R            | E       |         |         |     | Estrategia de comercialización, costos de referencia y tipo de destino de los subproductos de interés.                       |
| 11              |              | I       |         |         |     | <b>Ingeniería básica de acuerdo al sistema de digestión anaerobia seleccionado.</b>  |
| 11.1            |              |         | E       | R       |     | Diseño del sistema de pretratamiento.  |
| 11.2            |              |         | R       |         | E   | Diseño del sistema de tratamiento  |



PLANEACIÓN Y CONTROL DE LA INGENIERÍA PROCURA Y  
CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE  
RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS MUNICIPALES



| Código<br>o WBS | Responsables |         |         |         |     | Descripción  |
|-----------------|--------------|---------|---------|---------|-----|--|
|                 | DC<br>G      | SM<br>H | RL<br>D | MH<br>G | UJO |  |
| 11.3            |              |         |         | E       | R   | Diseño del sistema de colección de gases.  |
| 11.4            |              |         | E       | R       |     | Diagrama de Flujo de Proceso con Balance de Masa.  |
| 11.5            |              |         | E       | R       |     | Estimado de biogás generado en el proceso.   |
| 11.6            |              |         | E       | R       |     | Evaluación a nivel perfil de la factibilidad de generación de energía eléctrica a partir del biogás estimado.  |
| 11.7            |              |         |         | E       | R   | Selección y especificación del sistema de generación de energía eléctrica.   |
| 11.8            |              | R       |         |         | E   | Definición del mecanismo de operación mediante el cual el área usuaria pueda aprovechar la energía eléctrica.  |
| 11.9            |              | E       |         | R       |     | Memoria de cálculo del diseño.   |
| 12              |              | I       |         |         |     | <b>Proyecto ejecutivo de una planta de tratamiento industrial de RSOM</b>  |
| 13              | I            |         |         |         |     | <b>Diseño general de la logística de manejo integral que permita la llegada de los RSOM a la planta de tratamiento</b>   |
| 13.1            |              |         | R       | E       |     | Informe de infraestructura actual.   |
| 13.2            |              | E       | R       |         |     | Informe de actuales rutas de transporte.   |
| 14              |              | I       |         |         |     | <b>Recursos humanos de alto nivel formados para el manejo de RSOM.</b>   |
| 14.1            | E            |         |         |         |     | Informe sobre los recursos humanos generados durante el proyecto.  |
| 15              |              |         | I       |         |     | <b>Talleres de capacitación para la exitosa implementación del proyecto</b>  |
| 15.1            | E            | R       |         |         |     | Programa calendarizado para la ejecución del proyecto y listado de instituciones administradoras de fondos públicos capaces de otorgar recursos para la implementación del proyecto. |
| 15.2            |              | R       |         |         |     | Material básico para la implementación del proyecto.(Video corto).   |



PLANEACIÓN Y CONTROL DE LA INGENIERÍA PROCURA Y  
CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE  
RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS MUNICIPALES



Anexo I. Calendario de actividades

|         | L | M | M | J | V | S | D | L | M | M  | J  | V  | S  | D  | L  | M  | M  | J  | V  | S  | D  | L  | M  | M  | J  | V  | S  | D  |    |    |    |    |    |    |    |
|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| ENE     |   |   |   |   |   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| FEB     |   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 |    |    |    |    |    |
| MA<br>R |   |   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |    |    |
| ABR     |   |   |   |   |   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| MAY     | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |    |    |    |    |
| JUN     |   |   |   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |    |    |
| JUL     |   |   |   |   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |
| AGO     |   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |    |    |    |

| Simbología |                     |
|------------|---------------------|
|            | Junta semanal       |
|            | Reporte mensual     |
|            | Entrega de informes |
|            | Actualizaciones     |



PLANEACIÓN Y CONTROL DE LA INGENIERÍA PROCURA Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA  
PILOTO DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS MUNICIPALES



Anexo J. Matriz de adquisiciones

| Folio  | Fecha FQ    | Estado    | Notas        | Partida | CONCEPTO DE SOLICITUD                       | Proveedor                 | Importe      | Moneda | IMPORTE MXN  | Recepción PUMA | Fecha Factura        |
|--------|-------------|-----------|--------------|---------|---|---------------------------|--------------|--------|--------------|----------------|----------------------|
| FQ-318 | 14/ago/2014 | PENDIENTE | FALTA CHEQUE | 404     | Válvula bola de 3 vías                      | SANFEK                    | \$5,533.20   | MXN    | \$5,533.20   | 18/08/2014     | 17/09/2014           |
| FQ-319 | 18/ago/2014 | PENDIENTE |              | 404     | Válvulas con arrestaflama                   | PROTECTOTANK              | \$6,617.82   | USD    | \$89,340.57  | 21/08/2014     |                      |
| FQ-320 | 18/ago/2014 | PENDIENTE |              | 329     | Libro FDA                                   | EDITORES E IMPRESORES FOC | \$90,480.00  | MXN    | \$90,480.00  | 21/08/2014     | 02/09/2014           |
| FQ-321 | 19/ago/2014 | PENDIENTE |              | 404     | Arrestaflama horizontal con válvula térmica | J.A. DÍAZ                 | \$117,295.79 | MXN    | \$117,295.79 | 21/08/2014     | 31/10/2014           |
| FQ-322 | 25/ago/2014 | OK        |              | 404     | Válvulas de bola TRI01 y OLM02              | PRIISA                    | \$68,655.41  | MXN    | \$68,655.41  | 29/08/2014     | 07/2014 Y 05/10/2014 |
| FQ-323 | 22/ago/2014 | PENDIENTE |              | 404     | BCM-02                                      | DELPHY                    | \$2,633.20   | USD    | \$35,548.20  | 25/08/2014     | 27/10/2014           |
| FQ-324 | 02/sep/2014 | OK        |              | 404     | Válvula DLT01 de diafragma para control     | PRIISA                    | \$72,993.00  | MXN    | \$72,993.00  | 03/09/2014     | 05/10/2015           |
| FQ-325 | 28/ago/2014 | ok        |              | 404     | Detector de gases                           | LG SEGURIDAD              | \$6,927.52   | USD    | \$93,521.52  | 29/08/2014     |                      |
| FQ-326 | 02/sep/2014 | OK        |              | 404     | CCM FINAL                                   | RISOUL                    | \$26,726.40  | USD    | \$360,806.40 | 03/09/2014     | 24/11/2014           |
| FQ-327 | 02/sep/2014 | PENDIENTE |              | 404     | Válvulas generales                          | DIPLOMEX                  | \$3,771.26   | MXN    | \$3,771.26   | 03/09/2014     |                      |
| FQ-329 | 26/sep/2014 | PENDIENTE |              | 404     | Biobolsa                                    | SEICSA                    | \$9,860.00   | MXN    | \$9,860.00   |                |                      |
| FQ-330 | 05/sep/2014 | OK        |              | 404     | Válvula de diafragma                        | ACQUASU                   | \$18,328.46  | MXN    | \$18,328.46  | 08/09/2014     | 10/10/2014           |
| FQ-332 | 30/sep/2014 | PENDIENTE |              | 404     | Detectores de gases portátiles              | YVOLUC                    | \$41,530.32  | MXN    | \$41,530.32  |                |                      |
| FQ-333 | 03/oct/2014 | OK        | FALTA CHEQUE | 340     | Polímero                                    | FLOERGER                  | \$12,946.95  | MXN    | \$12,946.95  | 07/10/2014     | 20/10/2014           |
| FQ-334 | 17/sep/2014 | ok        |              | 404     | Detector universal y kit                    | LG SEGURIDAD              | \$6,696.68   | USD    | \$90,405.18  |                |                      |
| FQ-335 | 18/sep/2014 | OK        |              | 404     | Tornillo helicoidal con flete               | MICRON                    | \$90,074.00  | MXN    | \$90,074.00  | 23/09/2014     | 09/10/2014           |
| FQ-336 | 18/sep/2014 | OK        |              | 404     | Menotti con flete                           | MICRON                    | \$72,674.00  | MXN    | \$72,674.00  | 23/09/2014     | 09/10/2014           |

