



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



CASO DE ÉXITO: MODELO DE DESARROLLO DE COMPETENCIAS PARA INGENIEROS APLICADO A LA REFINERÍA DE CARTAGENA DE ECOPETROL S.A.

Guillermo Benavides Nieves.

Ecopetrol – Refinería de Cartagena – Km 10 vía Mamonal.

E-mail: guillermo.benavides@ecopetrol.com.co

Cartagena – Colombia

Antecedentes

La Refinería de Cartagena propiedad de Ecopetrol, es un moderno complejo industrial y petrolero de alta conversión (transforma el 97,5% de un barril de crudo) que procesa 210,000 barriles por día de petróleo, que está conformado por 35 unidades de proceso y cuenta con más de **2500 equipos rotativos**.



Fig.1. Vista área de la Refinería de Cartagena

Este complejo inicia operaciones con una necesidad manifiesta de garantizar la seguridad energética de Colombia, la producción de combustibles limpios y el objetivo de dinamizar la industria como un compromiso con la economía nacional. La puesta en marcha progresiva de la nueva refinería inició el 10 de noviembre del 2015, completándose el proceso de arranque el 11 de Julio del año 2016.

La decisión de ampliar y modernizar la refinería de Cartagena, que tenía una capacidad de carga para 80 mil barriles diarios, se dió en un momento

coyuntural, cuando en el mundo se estaban cerrando refinerías de conversión media, como lo era ésta, que transformaba sólo el 74% de un barril de crudo en productos valiosos.

Objetivo

Con este escenario, la modernización del complejo se convirtió en el proyecto estratégico más importante para la nación con retos exigentes en procesos, gente, infraestructura y tecnología de información.

El reto de pasar de una refinería cuya producción máxima era de 80 mil barriles diarios a otra de alta conversión superando el doble de su capacidad inicial, requirió en el talento humano desafíos importantes. Solo en contratación directa hubo un crecimiento fuerte de la planta de personal que casi triplicó el talento humano vinculado en el 2011.

El gran reto consistió en contar con personal competente para arrancar, operar en forma sana, limpia y segura una de las Refinería más grande de alta conversión de Latinoamérica.



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



Marco de referencia

Para lograr el objetivo planteado se definieron 3 fases:

1. Etapa de recibo de la refinería ampliada y modernizada.
2. Etapa de precomisionado, comisionado y arranque conocido sus siglas en inglés como PC&S (*precommissioning, commissioning and start-up*) de la Refinería de Cartagena.
3. Etapa de estabilización y pruebas de aceptación de la Refinería de Cartagena

Estas 3 fase configuraron el marco de trabajo del ***Programa de transformación de la Refinería de Cartagena ampliada y modernizada*** que incorporó dos procesos claves

- ✓ Proceso de entrenamiento
- ✓ Implementación del modelo de desarrollo de competencias corporativo de Ecopetrol S.A

Este artículo describe el proceso que se implementó y desarrollo con éxito para reconocer y potenciar formalmente los conocimientos, habilidades y experiencias de los profesionales, en este caso ingenieros contratados directamente por Ecopetrol S.A, con el fin de desempeñar roles específicos mediante el Programa de transformación de la Refinería de Cartagena,

Para hacer las cosas bien hechas es necesario un nivel requerido de competencia, esta afirmación no genera mucha discusión. La mayoría de las personas coincide con esta premisa. Pero definir que conocimientos, habilidades y entendimiento se requieren para ser competentes es mucho más complejo de acordar.

Una coyuntura adicional a la de la disponibilidad de personal de ingeniería competente para el cumplimiento de los diferentes hitos del programa de transformación, fue que gran parte del personal de la Refinería de Cartagena cumplía, durante el proyecto, con los años para retiro obligatorio según la legislación colombiana. Por lo que fué necesario establecer una estrategia de relevo generacional para evitar que las capacidades críticas del trabajo no se perdieran una vez el personal antiguo se retirara de la Organización.

Teniendo como base este escenario, Ecopetrol tomo la decisión de invitar y hacer alianzas con consultores expertos en Excelencia Operacional con experiencia demostrada en la implementación y desarrollo de modelos de competencias para profesionales en el sector de *oil&gas* complementándose con metodologías de aprendizaje de adultos.

Esta estrategia posibilitó una sinergia formidable entre los profesionales directos de Ecopetrol con valioso conocimiento y experiencia, y consultores expertos en implementación de proyectos clase mundo en aseguramiento del conocimiento. Este equipo construyó un modelo visual de competencias ajustado a las necesidades específicas del Programa de transformación de la Refinería de Cartagena.

Existen diferentes modelos de competencias basados en mapas conceptuales (métodos de mapeo) cuyo principal inconveniente es que muchas veces estas metodologías arrojan listas interminables de entrenamiento que nunca terminan de listarse.

Desde la premisa de que un ingeniero es un solucionador de problemas, el modelo de competencias construido está basado en 2 mapas conceptuales que responden a 2 preguntas básicas:



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



1. ¿Qué hay que resolver?
2. ¿Cómo puede ser resuelto?

El primer mapa que este modelo utiliza ha sido llamado **Mapa de Experiencia** y su objetivo es dejar claro el “hacer”, es decir que debemos hacer como ingenieros para agregar valor o resolver problemas, que al final termina teniendo el mismo significado. Este mapa descompone cada tarea que debe ser realizada en una *acción* y un *objeto de esa acción*, por ejemplo, si la tarea es “Análisis de la condición en compresores centrífugos”, entonces *analizar la condición* se ubicará en el eje-X, mientras que *Compresores Centrífugos* hará parte del eje-Y. Resumiendo el mapa de experiencia está compuesto por 2 ejes en el cual, los objetos de trabajo se ubican en el eje-Y, y las acciones que se deben hacer sobre esos objetos de trabajo se ubican en el eje-X.

Mapa de Experiencia

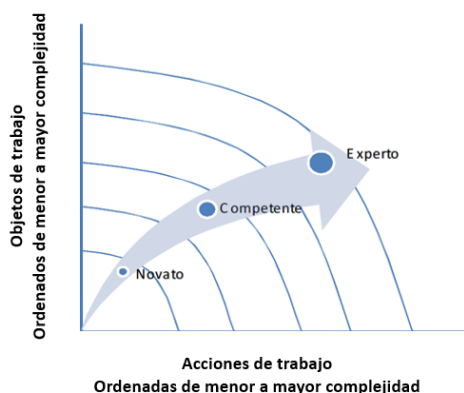


Fig. 2. Mapa de Experiencia

Claramente un ingeniero realiza diferentes acciones, unas más complejas que otras, en diferentes activos de la organización, unos más complejos que otros. Mapear “el hacer” de los ingenieros de esta forma permite:

- ✓ Distribuir las tareas de los profesionales acordes con el nivel de competencia requerido.
- ✓ Detectar brechas de experiencia, que no es otra cosa que profesionales con un nivel de competencia por debajo del requerido para hacer el trabajo que corresponde.
- ✓ Visualizar ruta de adquisición de competencias.

Para asegurar una buena definición de las tareas que debe realizar el ingeniero, se recomienda que las acciones se enmarquen en los ciclos que mejor se adapten a la disciplina o campo de aplicación. Una vez definidos estos ciclos, se pueden listar las actividades. Hacer el ejercicio de esta forma garantiza que las acciones sean mutuamente excluyentes. Para el caso de la Refinería fue clave establecer las actividades con base en el ciclo de vida de las Plantas operativas con los siguientes estados y/o fases:

- ✓ Fase de diseño
- ✓ Fase/estado de operación normal
- ✓ Fase/estado de transición
- ✓ Fase/estado anormal/emergencia
- ✓ Fase de parada de plantas. *Por sus siglas en inglés: turnaround (T/A)*
- ✓ Fase de expansión o ampliación

La figura 3 es un ejemplo de los ejes desarrollados para un hipotético mapa de experiencia, donde se observan objetos de trabajo ubicados en el eje-Y, ordenados de menor a mayor complejidad. En esta jerarquía se observa que el objeto de trabajo “Turbogenerador” es el más complejo, mientras que las “válvulas” tienen el nivel básico. De igual forma en el eje-X están definidos diferentes estados ordenados de izquierda a derecha, de menor a mayor complejidad, que agrupa a su vez las acciones o actividades que se deben ejecutar sobre los objetos de trabajo.



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia

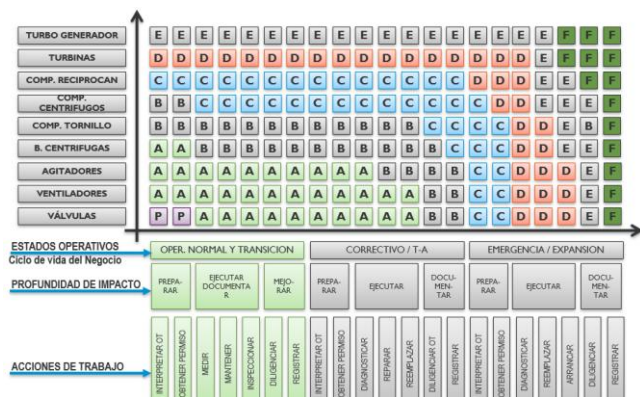


Fig. 3. Mapa de Experiencia hipotético para un área de refinería

Este mapa, dentro del programa desarrollado, fue llamado **Mapa O/E** por sus siglas en ingles **Outcome/Experience** (Resultados/Experiencia) porque está basado en el resultado que el ingeniero produce, en otras palabras, las acciones materializadas, las cuales requieren de una experiencia para poderlas materializar.

Las celdas internas del mapa están llenas con los diferentes niveles de cargo existentes para los Ingenieros, siendo el nivel de profesional P(*Prentice*) de nivel básico o aprendiz, y el nivel mas avanzado corresponde al profesional de nivel F con mayor conocimiento y experiencia en el área de aplicación

El segundo mapa relaciona conocimiento vs capacidad, el cual se obtiene respondiendo estas 2 preguntas:

- ✓ ¿Qué **recursos** son necesarios para formar al ingeniero para que ejecute competentemente las tareas asignadas?
- ✓ ¿Cuál es el **nivel cognitivo**, de habilidad o rendimiento requerido para que el ingeniero realice las tareas de forma competente?

Los **recursos** están ordenados intuitivamente en el eje-Y, de abajo hacia arriba por grado de complejidad.

El eje-X se divide en 3 o 4 niveles de complejidad cognitiva derivados de la taxonomía de Bloom. Figura 4.

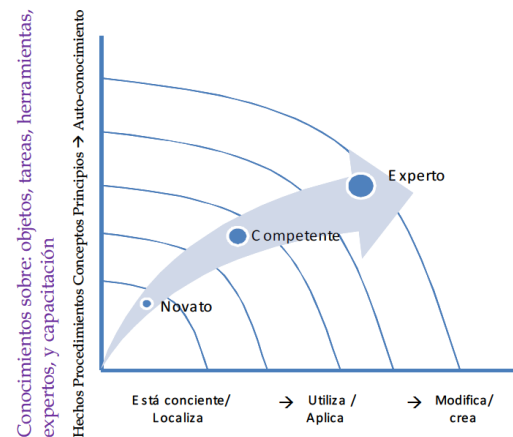


Fig. 4. Mapa de Conocimiento

Benjamin Bloom, profesor de la Universidad de Chicago, identificó 6 niveles cognitivos y los organizó en orden creciente de complejidad. Figura 5.

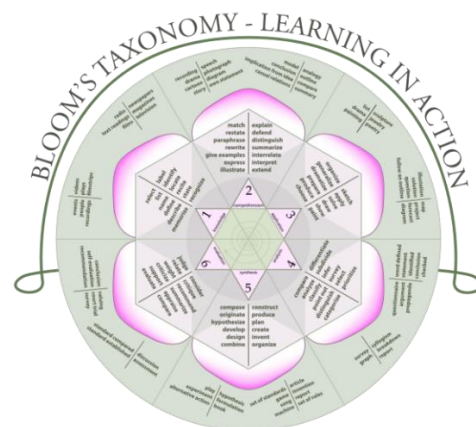


Fig. 5. Taxonomía de Bloom

La correlación entre los dos mapas, uno de experiencia y el otro de conocimiento se entiende mejor visualmente conectándolos como lo ilustra la figura 6.



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia

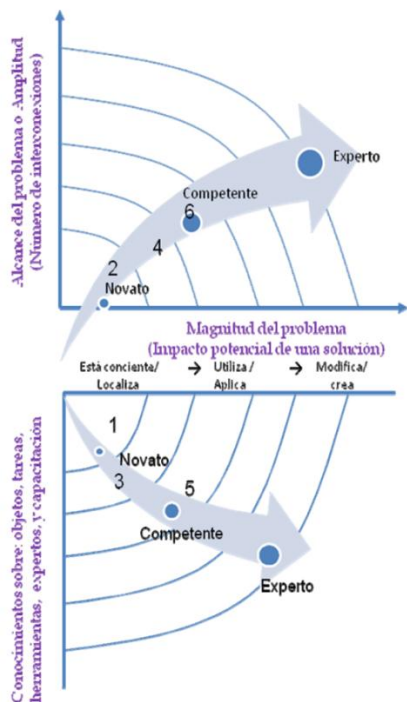


Fig. 6. Correlación de los mapas

El modelo visualmente indica que el estado 1 corresponde al nivel de conocimiento básico, en el cual al profesional se le asignan responsabilidades o debe ejecutar acciones de nivel 2. Una vez cumpla con la experiencia requerida en este nivel de asignación, quedará habilitado para recibir el entrenamiento que le dé el conocimiento nivel 3, para posteriormente ir al nivel de aplicación 4 y así sucesivamente.

Este mapa dentro del programa desarrollado fue llamado **mapa K/C** por sus siglas en inglés **Knowledge/Competence**.

La figura 7. Ilustra una sección de un mapa de conocimiento para un ingeniero de equipo rotativo de la Refinería de Cartagena donde se observan 3 objetos de conocimientos:

- ✓ Termodinámica,
- ✓ Interfases estructurales

✓ Respuesta dinámica y vibración

Adicionalmente se identifican 2 niveles de competencia L1 y L2, siendo el primero el nivel básico y el otro, el siguiente nivel de mayor complejidad. Las celdas internas describen específicamente el conocimiento detallado que ese nivel de competencia exige.

O.CONOCIMIENTO	L1	L2
DMTT12.0101A Termodinámica y Transferencia de Energía	Define y describe los principios y la aplicación del trabajo termodinámico, la energía, la eficiencia, el flujo de fluidos, la transferencia de calor y las máquinas.	Especifica los principios termodinámicos aplicables para resolver problemas de transferencia de calor, flujo y trabajo con fluidos.
DMTT12.0102A Interfaces Estructurales y de Cementación	Describe los conceptos estructurales y de cimentación y su impacto en el rendimiento del equipo, así como la interfaz de montaje típica utilizada para soportar equipos rotativos y las opciones de interfaz del montaje.	Define el estándar industrial y de la compañía en cuanto a los requisitos estructurales y de cimentación, calcula los límites de diseño de la cimentación y especifica la interfaz de montaje que se utilizará para los equipos rotativos.
DMTT12.0103A Respuesta Dinámica y Vibración	Define la causa y el efecto de los diferentes tipos de vibración, la recopilación de datos precisos sobre éstas y la forma de mitigarlas en la maquinaria.	Describe la dinámica principal de respuesta, identifica la causa y los efectos de las vibraciones, calcula los diferentes tipos de frecuencia, y construye datos de vibración en máquinas simples.

Fig. 7. Sección de Mapa de Conocimiento y competencias de ingenieros de equipo rotativo

La implementación de esta metodología permitió el logro de los siguientes aspectos destacados entre otros:

- ✓ Ajustar las funciones de los profesionales mediante el mapeo de experiencia de los diferentes procesos core del negocio de la refinería de Cartagena.
- ✓ Determinar el conocimiento necesario que debía apropiar la población de profesionales de la nueva refinería.
- ✓ Diseño y ejecución oportuna de planes de entrenamiento para contar con el personal competente para arrancar, estabilizar y operar de forma limpia, sana y segura la nueva refinería.



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



Resultados y beneficios

La implementación exitosa de este modelo contribuyó con la obtención de los siguientes resultados

Entrenamientos:

- ✓ 351 asistencias en introducción a nuevos procesos de Unidades de operación
- ✓ 1412 asistencias a cursos genéricos
- ✓ 760 asistencias a cursos específicos de unidades
- ✓ 96% de personal entrenado en manual de descripción de procesos de las unidades operativas

Creación de materiales de entrenamiento

- ✓ 16 manuales escritos de descripción de procesos (MDPU).
- ✓ 15 diagramas grande control diseñados (DGC).
- ✓ 30 cursos diseñados genéricos y específicos.
- ✓ 1408 procedimientos desarrollados de Paro, Arranque, Emergencias, Operación especiales, Mantenimiento.
- ✓ 4 manuales de entrenamiento en simuladores.
- ✓ 4 modelos de entrenamiento en e-learning.
- ✓ 5000 guías de entrenamiento aplicadas a operadores de campo.
- ✓ 2000 guías de entrenamiento aplicadas a operadores de consola.
- ✓ Otros cursos diseñados: panorama de riesgos, *flare mitigation* y distribución eléctrica.
- ✓ Arranque limpio y seguro con cero accidentes incapacitantes en la nueva Refinería ampliada y modernizada.

Reconocimientos.

1. Certificación del proceso de entrenamiento 2014



2. Opiniones del modelo de entrenamiento

- **"El mejor y más robusto Modelo de entrenamiento que haya visto implementado"** Jerry Isch – Gerente de Entto de KBC



"El mejor Modelo de entrenamiento que haya visto en cualquier Proyecto en el Mundo.. Y he estado en muchos.."

Rixio Medina – Guru Mundial en HSE y Control de Emergencias



"Este modelo asegura que el personal tendrá todas las competencias necesarias para el reto de la puesta en marcha, operación y mantenimiento de la nueva Refinería"

Larry Myers – Director Performance & Technical Solutions GP Strategies



- **"Tiene todos los elementos de un entrenamiento Clase Mundo"**

Marcos Arraes – Superintendente de PC&S Foster Wheeler

- **"Un Modelo de entrenamiento muy Robusto. Nunca había visto una compañía invertir tanto en la formación de su gente"**

Dave Loubser – Consultor Senior KBC



21

Referencias

- [1] B. Bloom, et al., Taxonomy of Educational Objectives: Handbook I, The cognitive domain (New York, David McKay & Co., 1956). Bloom's work has been used worldwide for developing assessments and for defining educational objectives.
- [2] Saidas Ranade, Cassio Tamara, Edgar Castiblanco, y Anibal Serna. **MAPPING competencias:** *Application of a visual method to determine the abilities of engineers reveals new and useful insights*



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



Agradecimientos

Se agradece a los siguientes profesionales por sus aportes, apoyo y acompañamiento durante el desarrollo de este programa.

- Ingeniera Aslid Cervantes Gonzales. Líder de Excelencia Operacional para el arranque y estabilización de la nueva Refinería de Cartagena – Ecopetrol. Hoy se desempeña como Profesional Senior de desarrollo y competitividad empresarial.
- Ingeniero Saidas Ranade, *Learning Consultant*. Gerente de procesos e innovación de producto de *RWD's energy group* en Houston Texas de la época de desarrollo del proyecto.

Guillermo Benavides Nieves

Ingeniero
Mecánico de la
Universidad
Tecnológica de
Bolívar (UTB),
Especialista en
Gerencia de
proyectos de
ingeniería de la Universidad del Norte.



Ingeniero Integral de Mantenimiento y
Confiabilidad Departamento de Confiabilidad de
Equipo Rotativo– Ecopetrol S.A.
Celular: (+57) 300-6933505.
Oficina: Km 10 vía Mamonal – Refinería de
Cartagena
E-mail: guillermo.benavides@ecopetrol.com.co