

Facultad de Ingeniería - UNJu  
Ingeniería Química

# Ingeniería de Procesos



ADS: Romina Gisela Huaranca  
PAdj.: Demetrio Humana

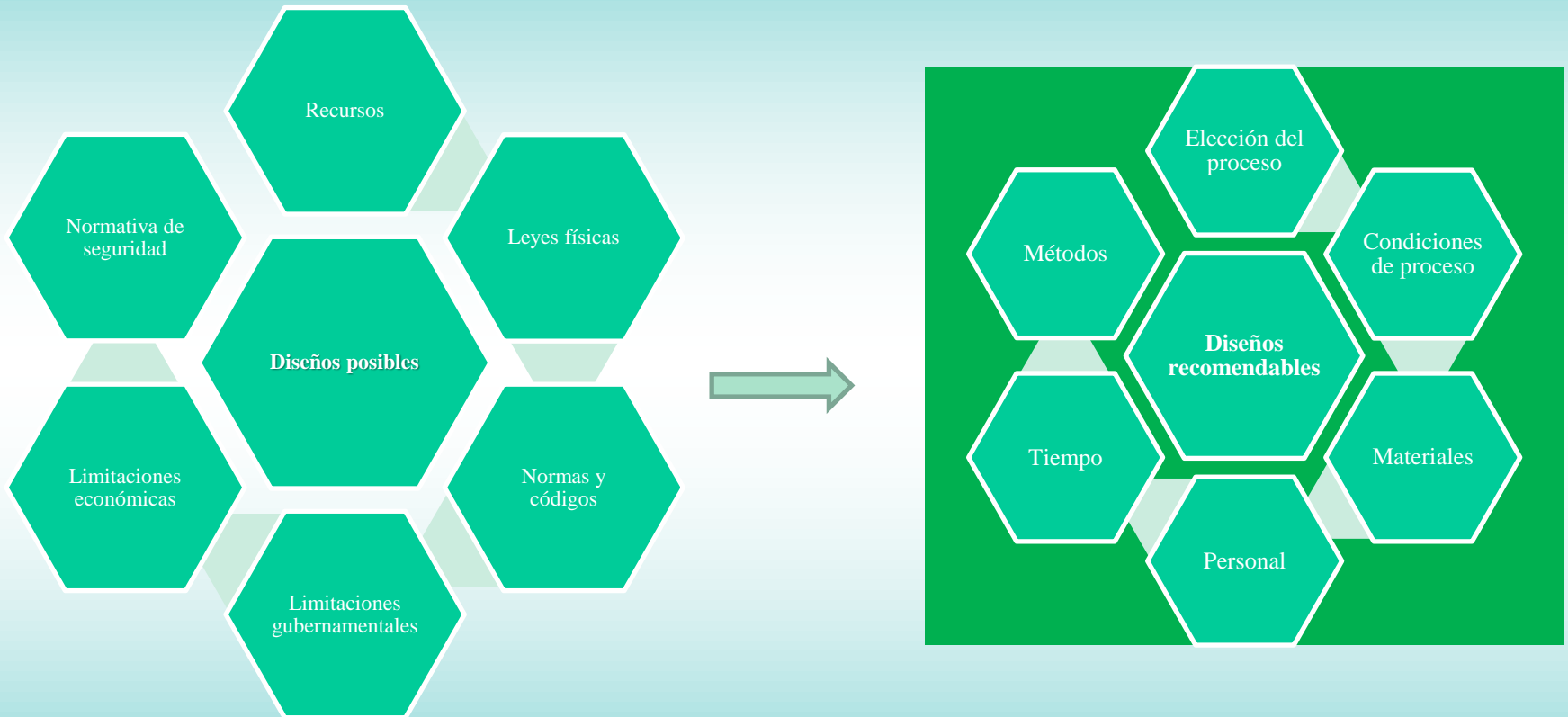
# Bases de diseño

## Selección de un proceso

# Problemas de Ingeniería

- **Problemas de diseño:** se presenta el diseño de equipo típico de proceso químico, y se discuten las restricciones y limitaciones del equipo.
- **Problemas de análisis / performance:** Las entradas y el proceso se conocen, es necesario conocer las salida del sistemas.
- **Problemas de diagnóstico / troubleshooting:** si se observa un cambio en la salidas de procesos (alteración del proceso, síntoma), se debe identificar la causa (cambio en la entrada, cambio en la *performance* del equipo).
- **Problemas de sistemas de control:** si un cambio en la salida del proceso es indeseable o un cambio en la entrada del proceso es anticipada, debe identificarse una acción compensatoria que puede tomarse para mantener el rendimiento del proceso.
- **Problemas de debottlenecking:** frecuentemente, un cambio en el proceso es necesario o deseado, tal como un *scale-up* (incremento de la capacidad de producción) o permitir un cambio en especificaciones del producto o la materia prima. La identificación de un equipo que limita la capacidad para realizar el cambio deseado o restricciones de cambio es necesaria.

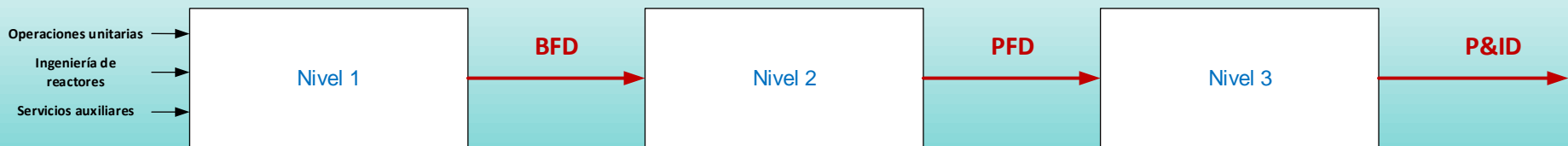
# Limitaciones al diseño



# Ingeniería de Procesos

Este sector se ocupa del adecuado planteamiento de las alternativas posibles de los problemas químicos, de la optimización de las mismas y de la previsión de las probables repercusiones por variaciones futuras de los factores en juego.

La creciente complejidad y auge de este sector es la señal más evidente de la creciente perfección de la moderna ingeniería química.



# Diagramas de procesos químicos

Estequiometría

Diagrama entrada – Salida (IN-Out)

Balance preliminar de materia

Diagrama de flujo de bloques (BFD)

Balance de materia y energía +  
Especificación de Equipos

Diagrama de flujo de procesos (PFD)

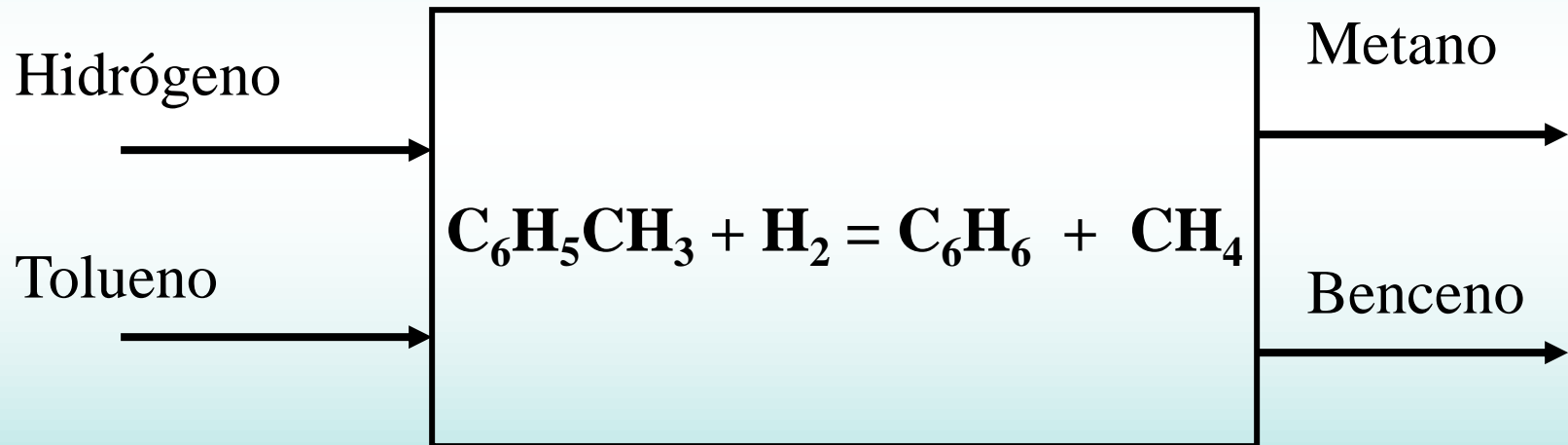
Información de instrumentos  
y Piping

Diagrama de instrumentación y cañerías  
(P&ID)

*“La manera mas efectiva de comunicar información de los procesos es por medio de Diagramas de Flujo.”*

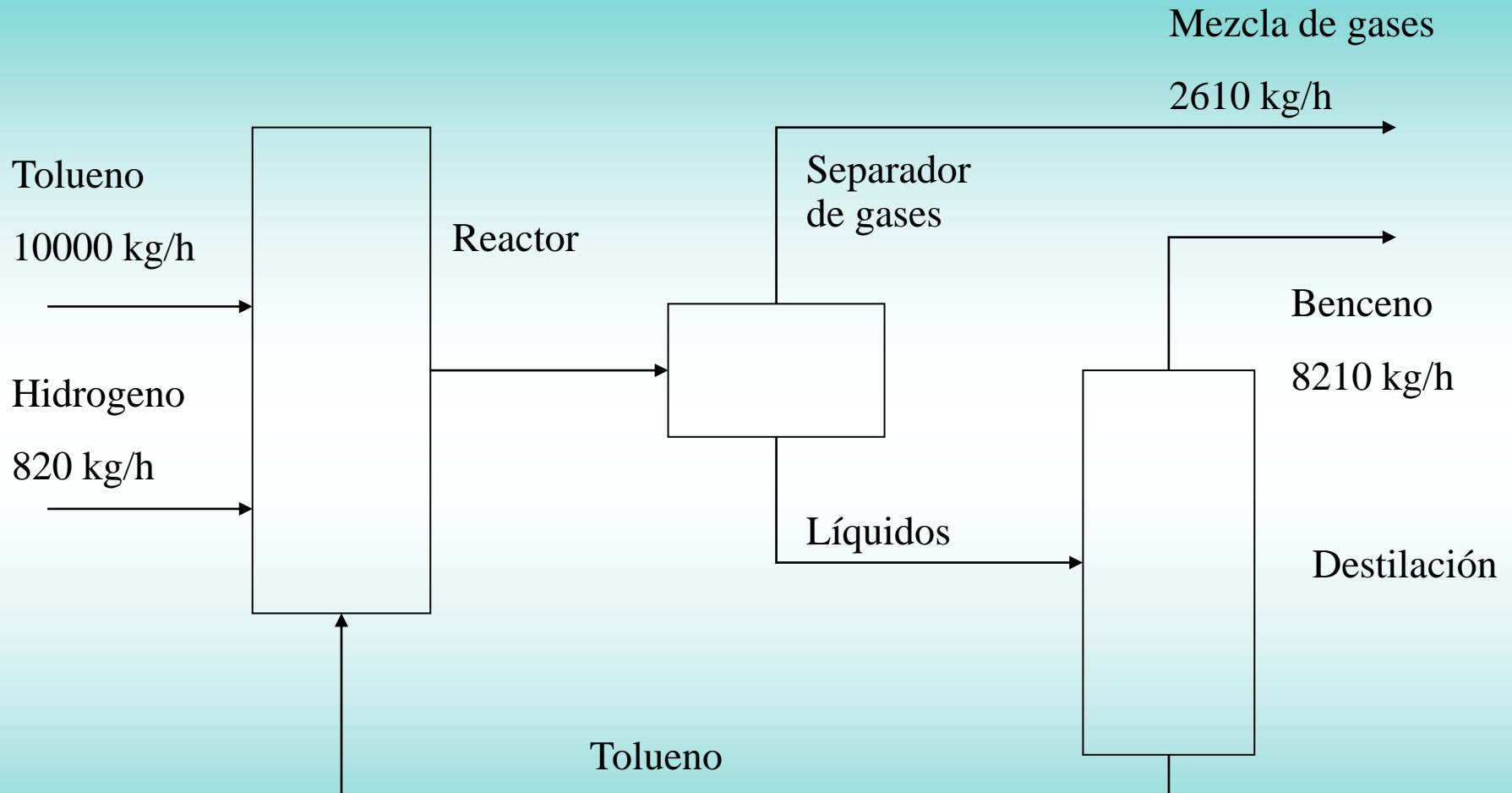
# Diagrama entrada – salida (in-out)

Se trata de la primera etapa de diseño de un proceso, donde el ingeniero de procesos representa diagrama de bloques con la alimentación y los productos.



- Información:
- Materia prima
  - Relación estequiométrica
  - Producto

# Diagrama de flujo de bloques (BFD)

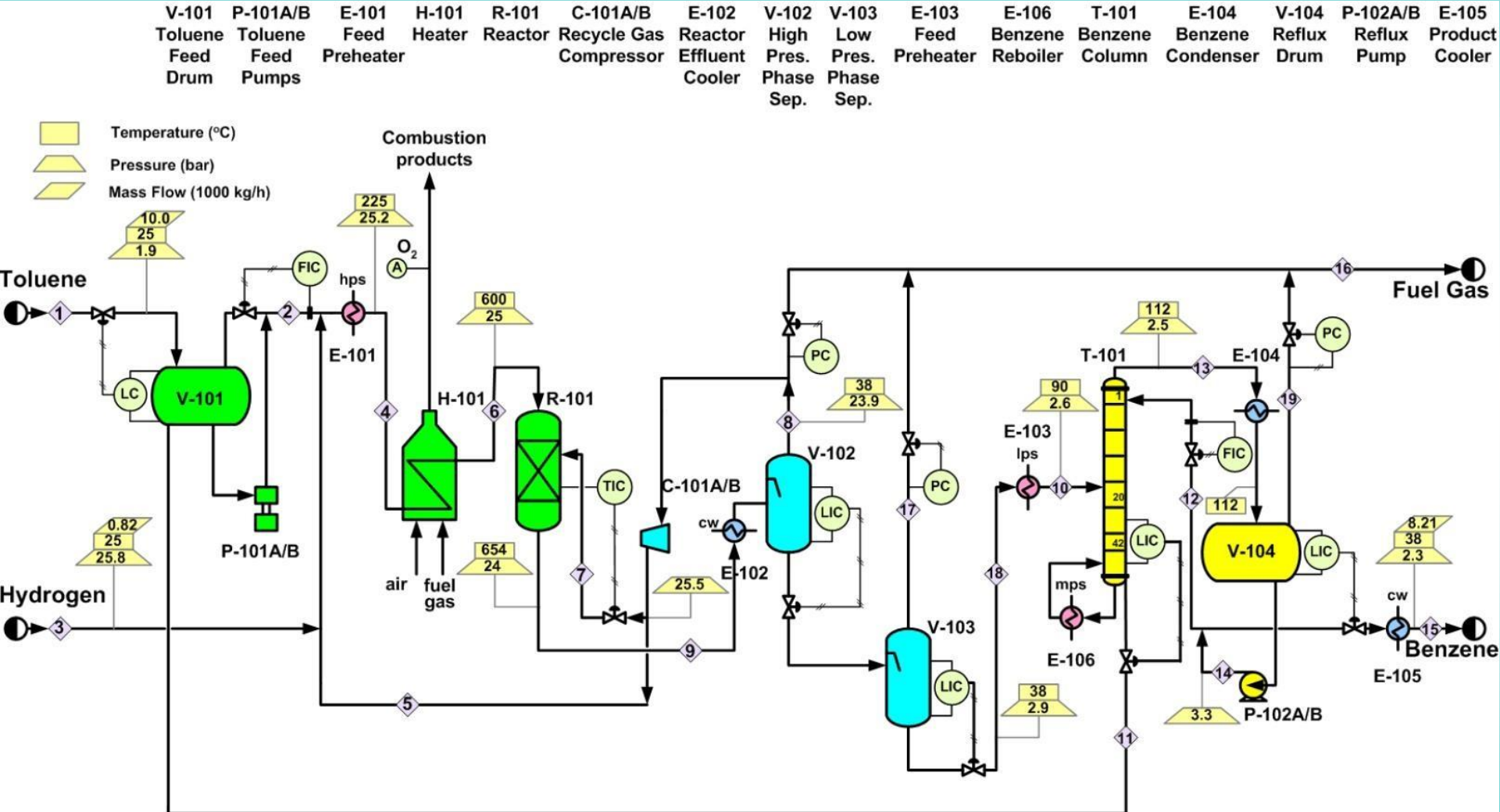


*Cada bloque representa una función y puede contener varios equipos de proceso*



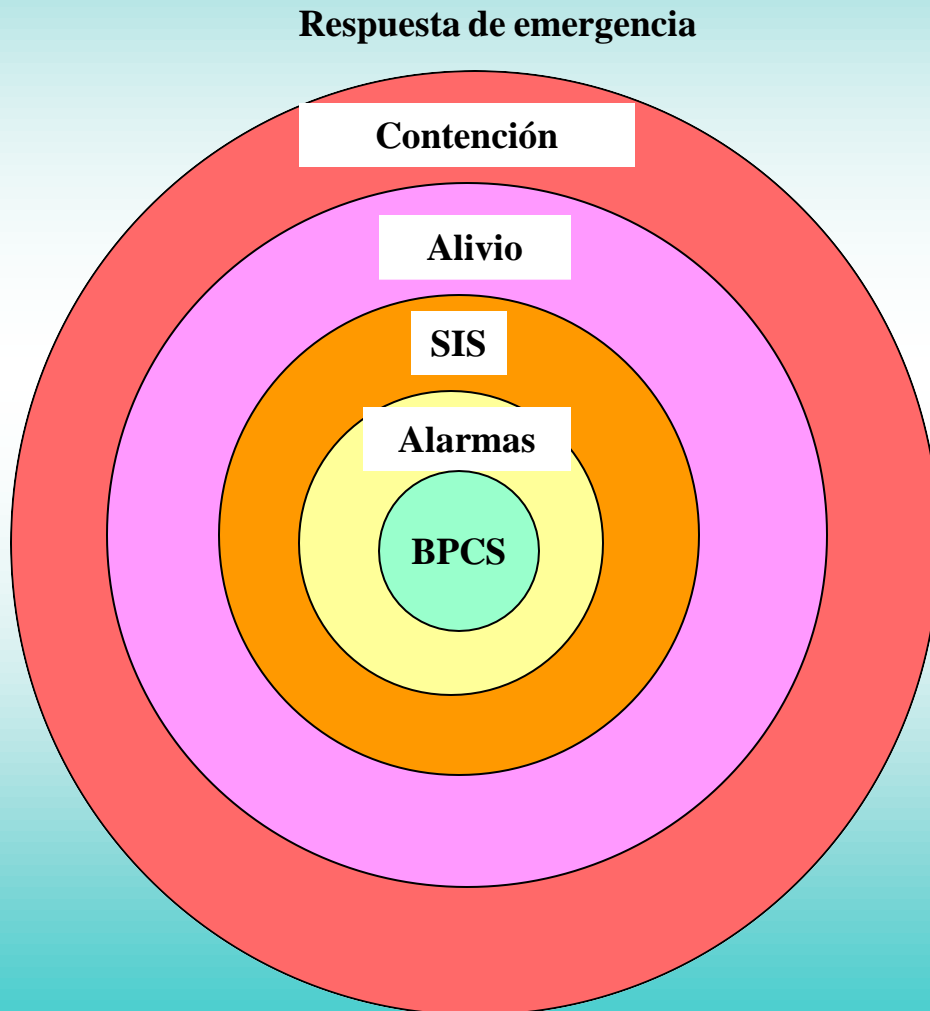
# PFD. Producción de benceno

*Un caso base*





# La seguridad de procesos implica muchas capas para proporcionar una alta confiabilidad.



C  
o  
n  
t  
r  
o  
l

- **BPCS** – Control básico de proceso
- **Alarmas** – llamar atención
- **SIS** - sistema de enclavamiento de seguridad de marcha/parada de equipos
- **Alivio** – Prevenir presión excesiva
- **Contención** - Evitar que los materiales lleguen a trabajadores, comunidad o medio ambiente
- **Respuesta de Emergencia** - evacuación, lucha contra incendios, emergencia médica, etc.

Respuesta de emergencia



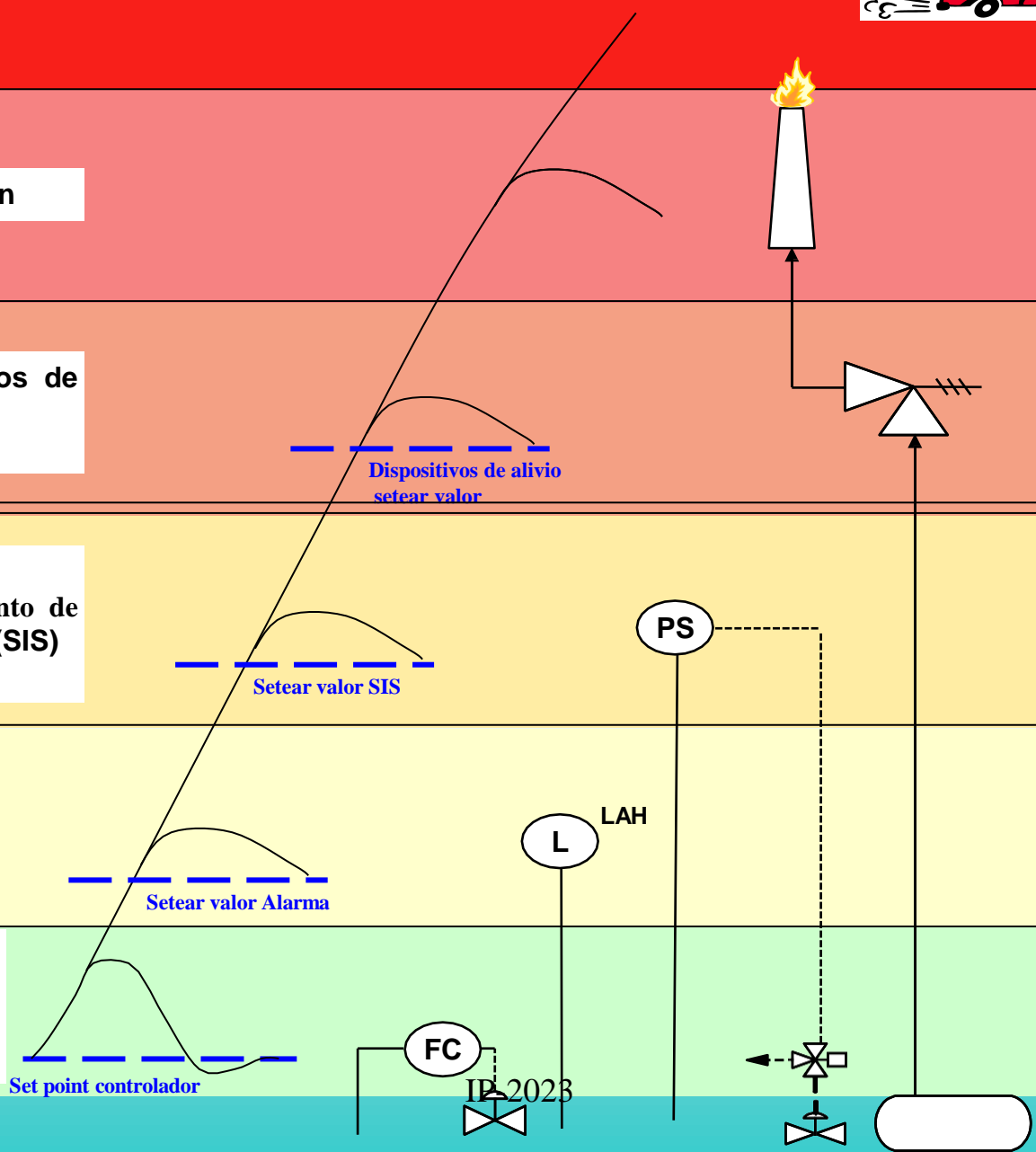
Contención

Dispositivos de alivio y seguridad

Sistema de enclavamiento de seguridad (SIS)

Alarmas

Sistema de control básico de procesos



# Concepto clave en la seguridad de proceso: Redundancia

## Niveles de seguridad

Gravedad del evento



Sistema de alivio

Desviar el material de forma segura

Sistema de bloqueo de seguridad (interlock)

Detener el funcionamiento de parte del proceso.

Sistema de alarma

Llevar una situación inusual a la atención de una persona en la planta.

Sistema básico de control de proceso

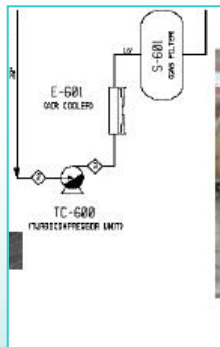
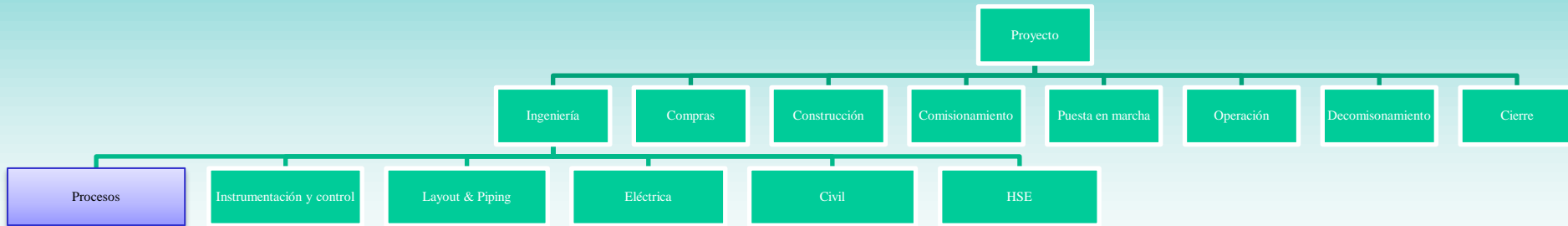
Control de lazo cerrado para mantener el proceso dentro de la región de funcionamiento aceptable.

Cuatro capas de protección independiente (IPL)

**Proceso**

# Entregables de ingeniería

## Disciplina Procesos



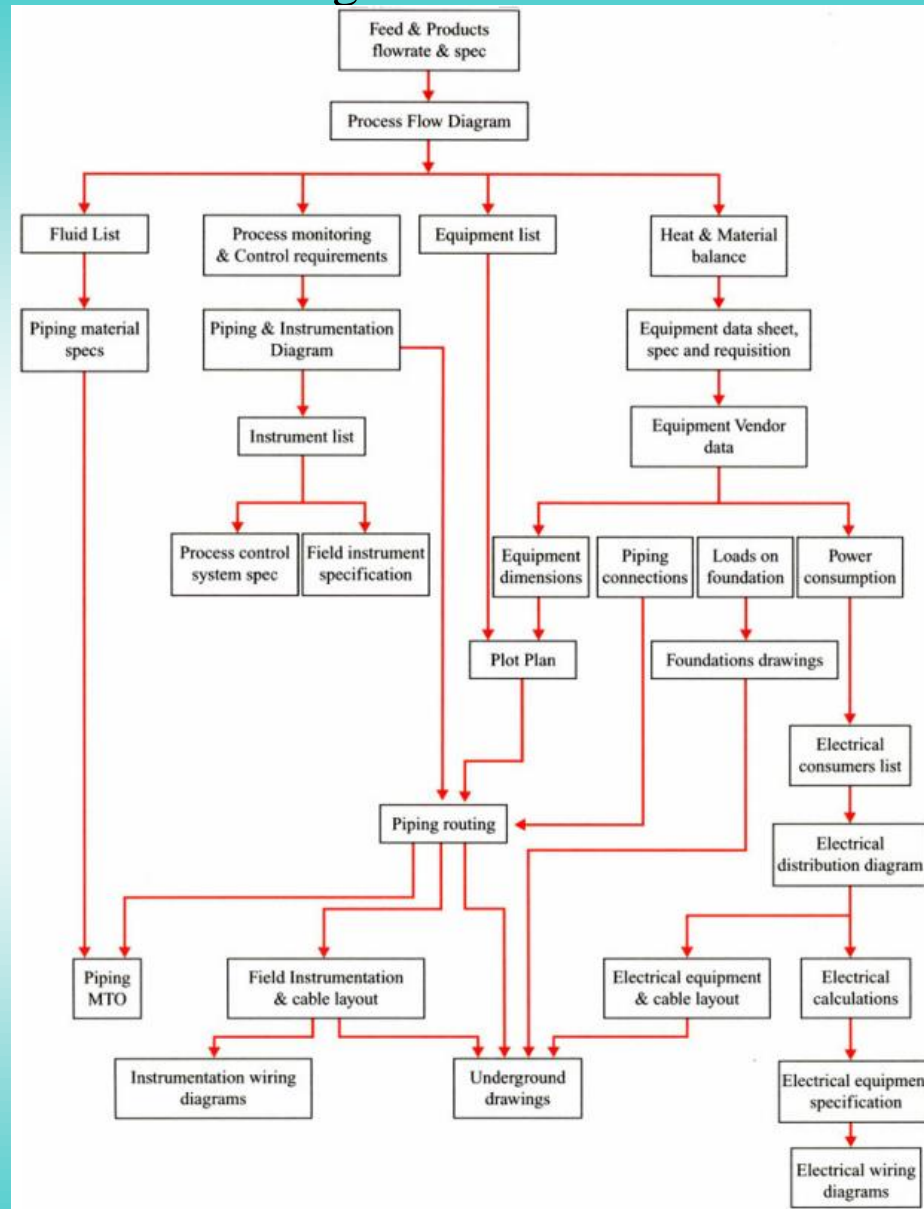
# Documentos de ingeniería

## Entregables de Procesos

| Engineering Discipline | Document title   |
|------------------------|--|
| General                | Engineering Design Data  |
|                        | Project engineering plan   |
|                        | Project Equipment list   |
|                        | Engineering document register  |
| Process                | Block Flow Diagram   |
|                        | Process flow diagrams  |
|                        | Process description and operating philosophy   |
|                        | Process Equipment list   |
|                        | Heat and material balance  |
|                        | Utility consumption list   |
|                        | Equipment process data sheets  |
|                        | Piping and Instrumentation Diagrams (P&IDs)  |
|                        | Cause and effect diagrams  |
|                        | Emergency shutdown simplified diagram  |
|                        | ESD logic diagrams   |
|                        | Flare Report   |
|                        | Process fluids list  |
|                        | Calculations notes   |
| Operating manual       |  |
| Equipment              | General specification per equipment type (pressure vessel, heat exchanger, pumps etc.) |
|                        | Pressure Vessels Design Specification  |
|                        | Equipment supply specification   |
|                        | Mechanical data sheet  |
|                        | Heat exchanger calculation sheet   |
|                        | Vessel guide drawing   |
|                        | Material requisition   |
|                        | Technical bid tabulation   |

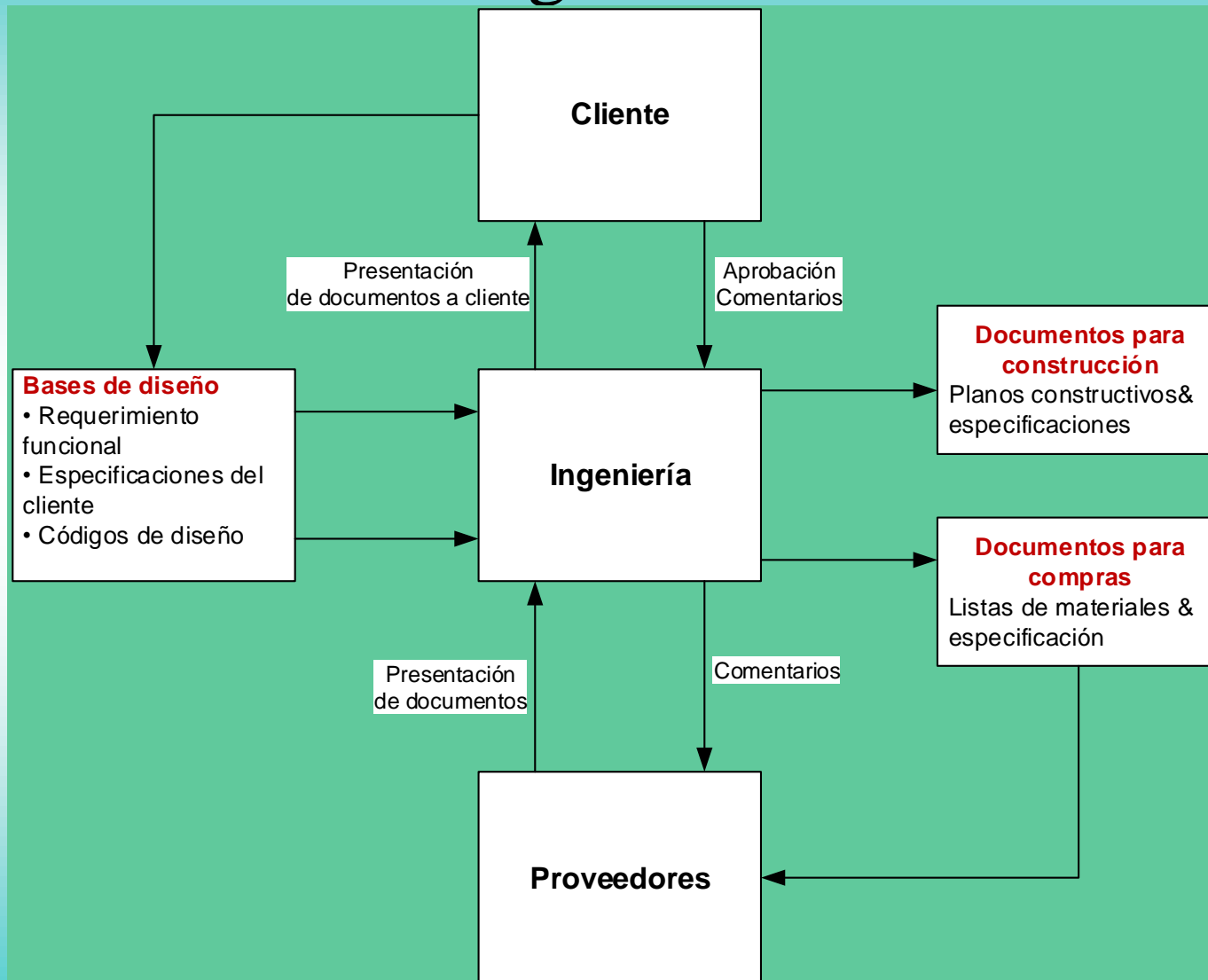
# Documentos de ingeniería

## Entregables de Procesos

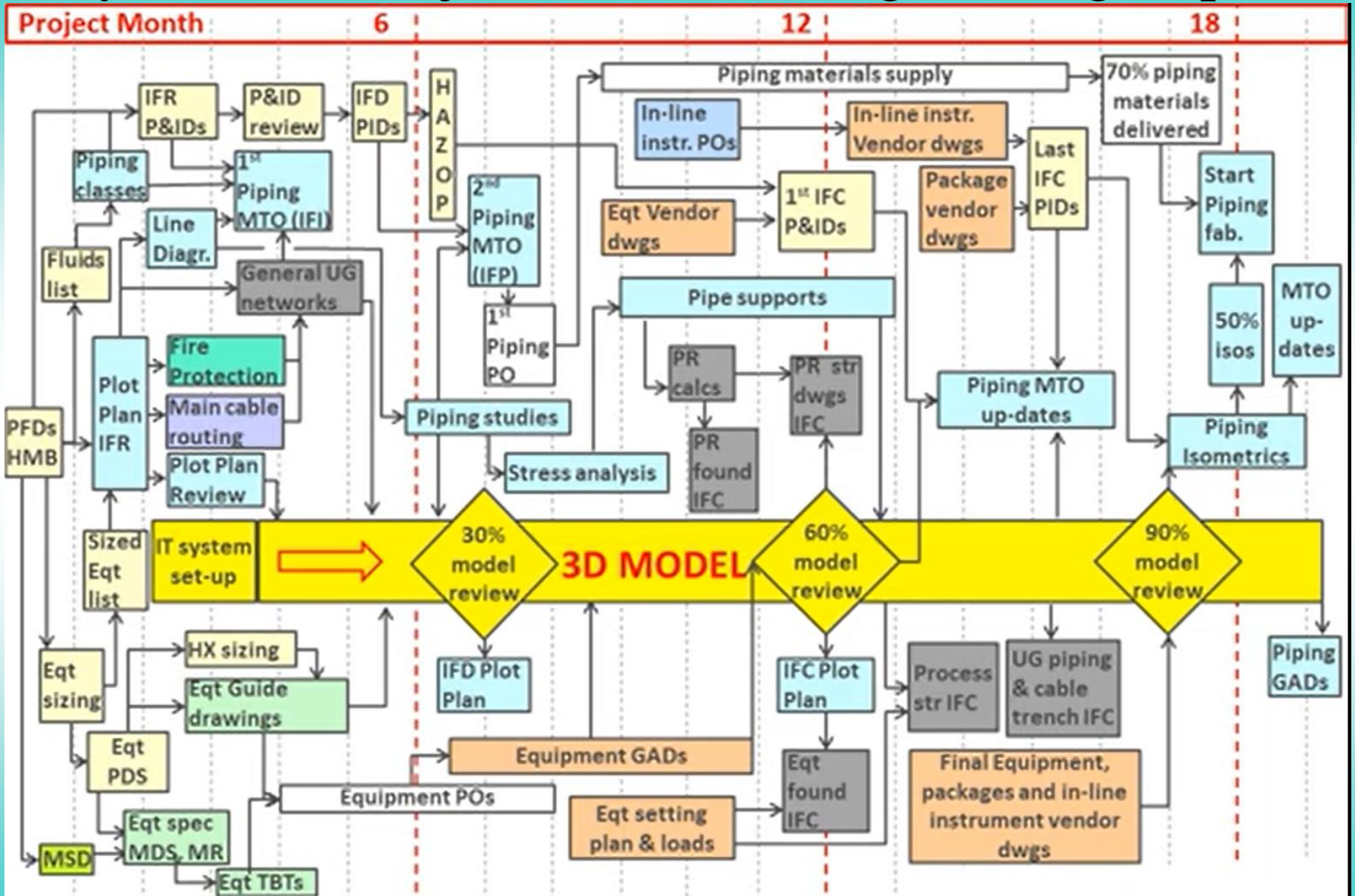




# Proyecto Integrador Ingeniería




# 3 year EPC Project – Overall Engineering sequence



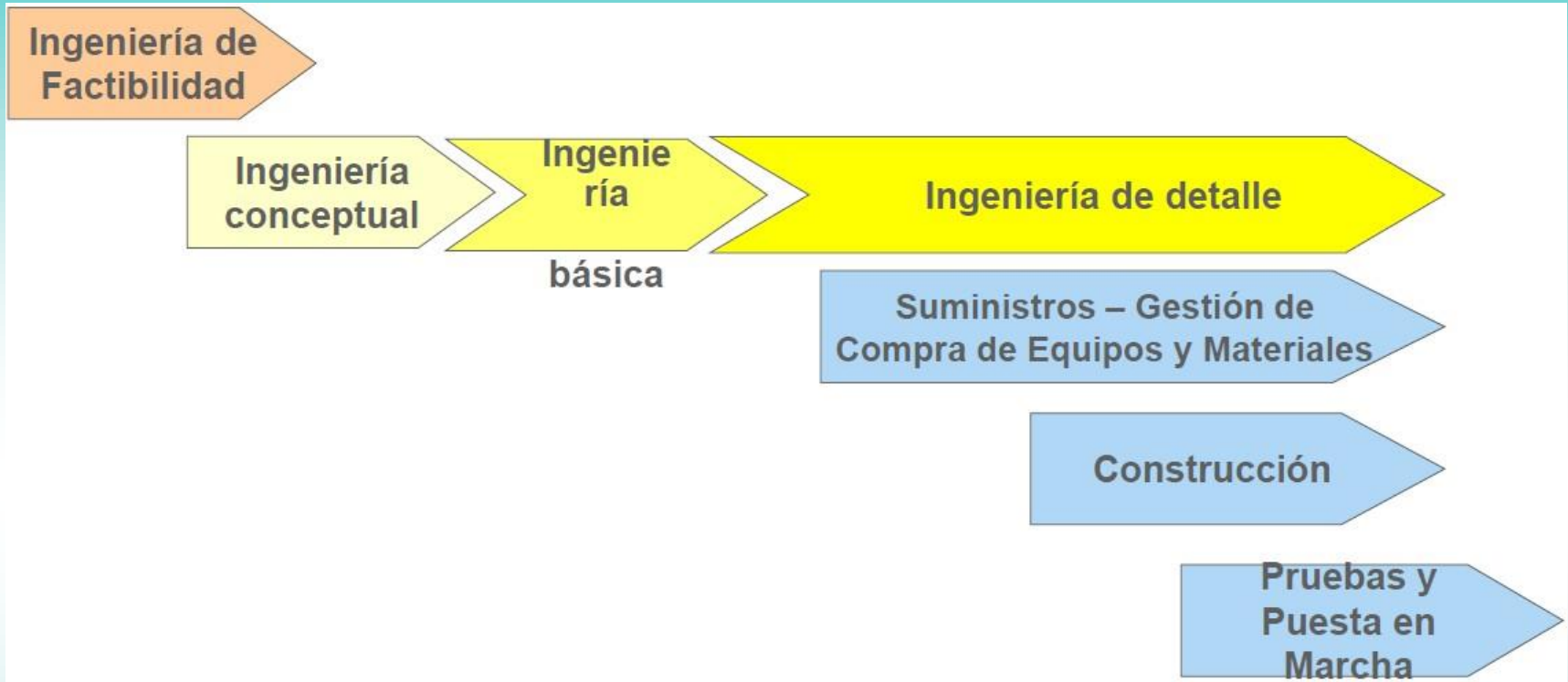
# Bases de diseño (CEPSI)

| ANEXO 3 Lista de entregables y contenido – Ingeniería Conceptual |  |
|--|--|
| FASE: Ingeniería Conceptual                                      |  |
| ESPECIALIDAD: GENERAL  |  |
| Entregable   | Descripción  |
| <i>Bases de Diseño</i>   | <p>Es un documento multidisciplinario que describe las pautas y condiciones de contorno del proyecto a desarrollar.</p> <p>Es un documento inicial del proyecto que establece las pautas de diseño que se utilizaron para realizar la ingeniería de visualización y que, una vez cerrado, sólo debería sufrir mínimas o nulas actualizaciones a lo largo del proyecto. Representa un acuerdo con el cliente.</p> <p>El siguiente representa un listado del contenido típico de este documento:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Descripción y Objetivos Generales del Proyecto</li> <li>2. Condiciones de Borde               <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1. Datos de Entrada (caudal, composición, etc.)</li> <li>2.2. Especificación de Productos</li> <li>2.3. Condiciones de sitio</li> <li>2.4. Restricciones de espacio</li> <li>2.5. Escenarios de Diseño</li> <li>2.6. Disponibilidad de servicios</li> <li>2.7. Requisitos de reserva/spare para equipos</li> <li>2.8. Requerimientos particulares de todas las especialidades</li> </ol> </li> <li>3. Normas y legislación aplicable</li> <li>4. Sistema de unidades del proyecto</li> </ol> |
| <i>Plan Ejecución Proyecto</i>                                   | Plan de ejecución de las fases siguientes del proyecto con un nivel de detalle que permita servir como base para la estimación de costos.  |

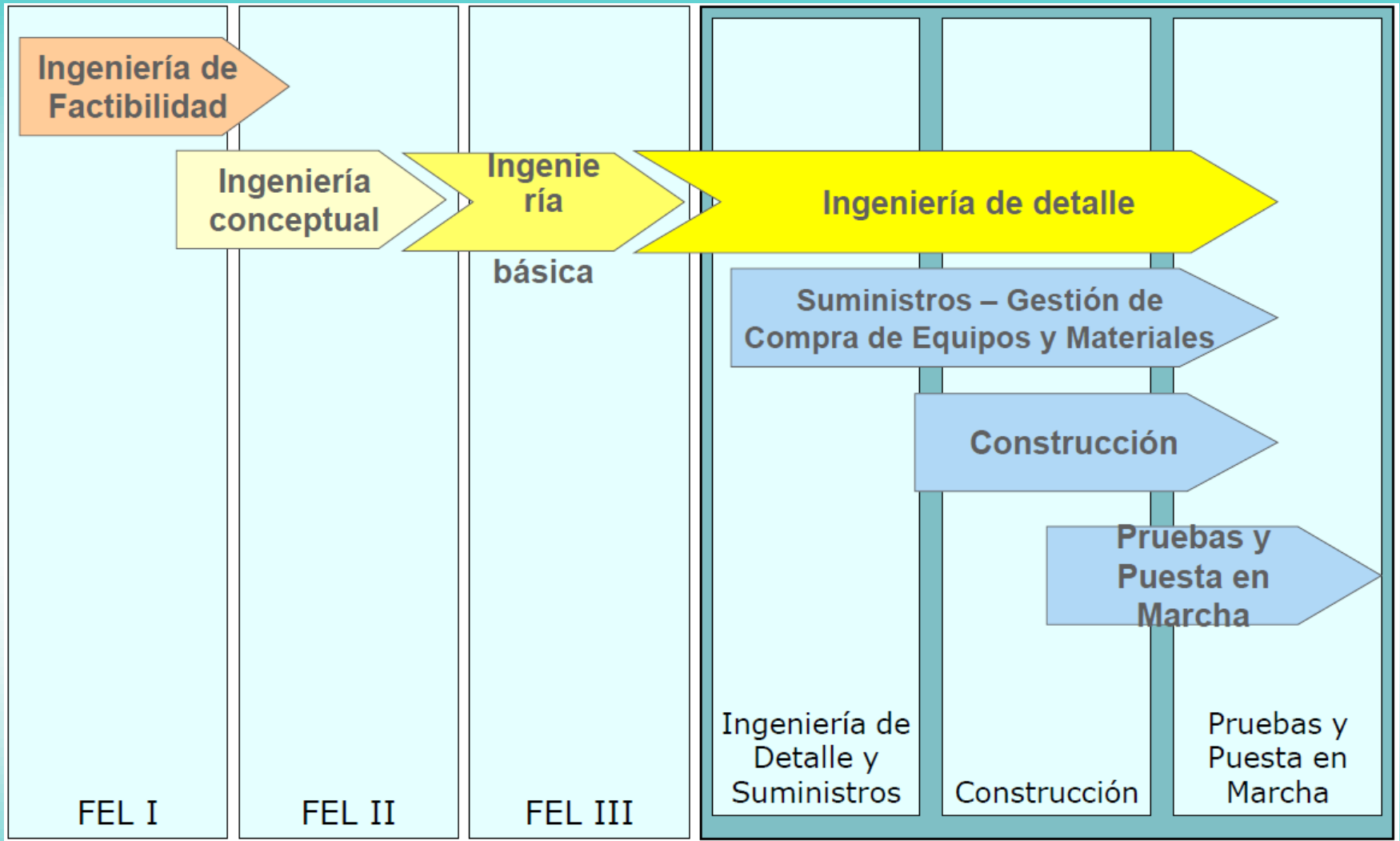
# Carátula

|   |                        |   |              |             |                 |
|---|------------------------|---|--------------|-------------|-----------------|
|   |                        |   |              |             |                 |
|   |                        |   |              |             |                 |
|   |                        |   |              |             |                 |
| <b>A</b>  | <b>Emisión Inicial</b> | <b>RH</b>   | <b>RH</b>    | <b>DH</b>   | <b>01-04-22</b> |
| <b>REV</b>  | <b>DESCRIPCION</b>     | <b>POR</b>  | <b>CHEC.</b> | <b>APR.</b> | <b>FECHA</b>    |
|  |                        | <p>Facultad de Ingeniería<br/>           Universidad Nacional de Jujuy</p> <p><b>INGENIERIA DE PROCESOS</b></p> <p><b>Trabajo Práctico N°1</b><br/> <b>Problemas y Documentos de Ingeniería</b></p> |              |             |                 |
| <b>Escala :</b> S/E   |                        | <p><b>2022-IP-00-R-TP-101</b></p> <p><b>Hoja</b><br/><b>1 de 5</b></p> <p><b>A</b></p>  |              |             |                 |
| <b>Proy:</b>  |                        |   |              |             |                 |
| <b>Arch:</b> 2022-IP-00-R-TP-101_A.doc  |                        |   |              |             |                 |

# Etapas de un proyecto



# Etapas de un proyecto



# Etapas de un proyecto (FEL)

**FEL 1:** Fase de identificación de oportunidad, sirve para validar de la oportunidad del negocio y se basa en estudios de factibilidad técnico-económicos. El proyecto está en el “mundo de los negocios”

**FEL 2:** Fase de proyecto conceptual, es el inicio del planeamiento del proyecto a fin de seleccionar una alternativa y avanzar en las definiciones de la misma. Hasta aquí no se ha desembolsado gran cantidad de dinero.

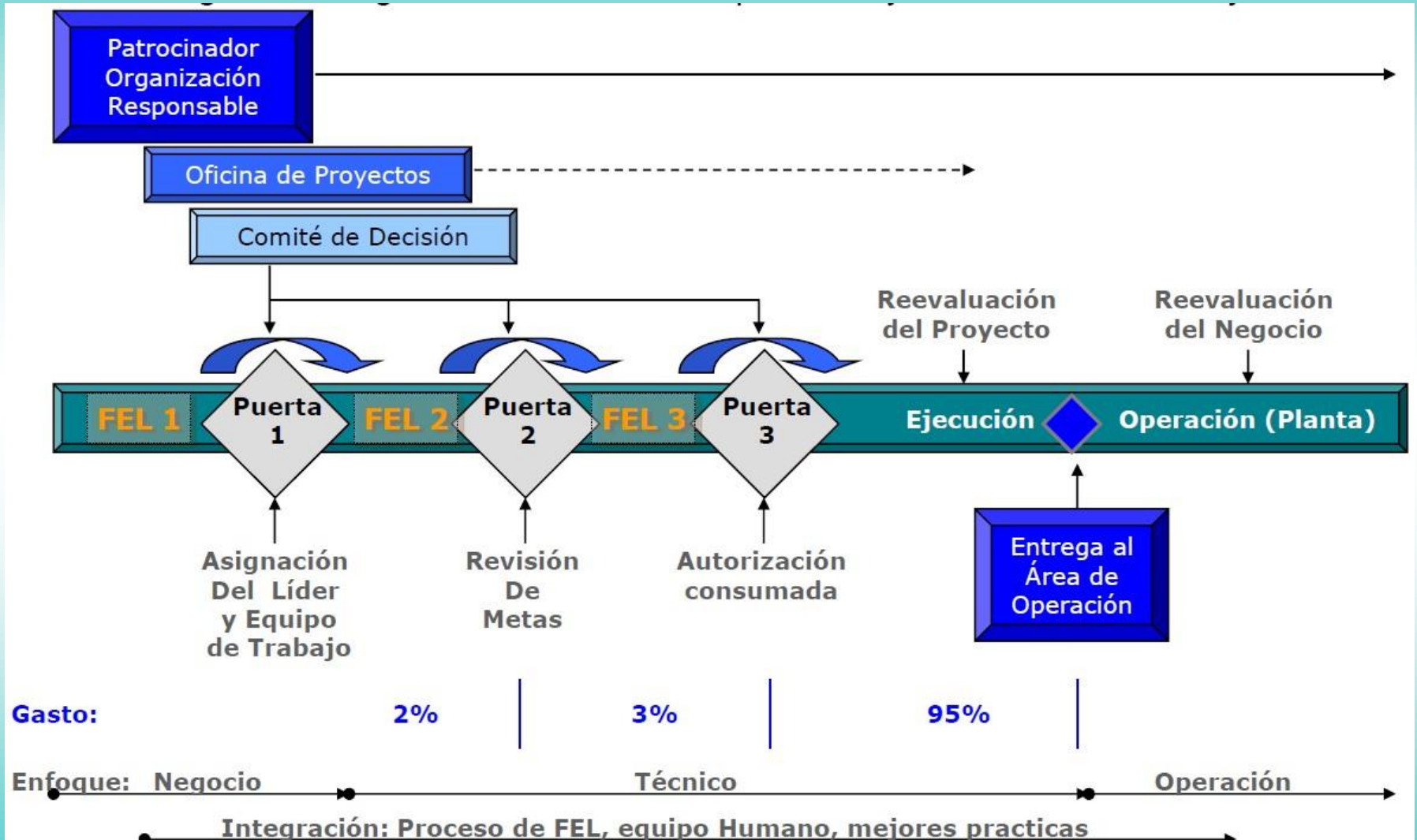
**FEL 3:** Fase de proyecto básico, en esta fase se desarrolla detalladamente el alcance, se elabora la ingeniería básica, se crea el plan de ejecución y se logra una la estimación final de las inversiones con un mínimo error.

**Fase de Ejecución:** se trata de la obra en sí, e incluye la ingeniería de detalle, la construcción y el montaje. Es la fase en la que más tiempo y dinero se invierten, y su éxito en parte queda determinado por la calidad de las fases anteriores.



# FEL Front End Loading

FEL significa cargar recursos en la etapa inicial y no solo durante la etapa de ejecución





# Garantías de Performance

➤ Las garantías de performance de procesos son otorgadas por la empresa que ha ejecutado la Ingeniería Básica o el tecnólogo según corresponda.

Definida la alimentación a la Unidad, los tecnólogos garantizan:

- Consumo de materia prima
- Capacidad de la Unidad
- Cantidad de Productos
- Calidad de Productos
- Parámetros de Procesos
- Consumo de catalizador
- Emisiones al medio ambiente

➤ Estas garantías se verifican mediante la realización de las Pruebas de Exigencias.

# Garantías del Contratista EPC

⑩ ➤ En forma general, el Contratista garantiza que la:

- Ingeniería de Detalle,
- Suministro de los Equipos y/o Materiales a incorporarse en Obra
- Construcción y Montaje
- serán de acuerdo a lo requerido por la Ingeniería Básica y los códigos y estándares aplicables y tendrán como resultado final que no exista ningún tipo de deficiencia que impida alcanzar los parámetros a verificar en las Pruebas de Exigencia.

⑩ ➤ Esto no considera las variables del proceso y las definiciones de la Ingeniería Básica que quedan bajo la responsabilidad de los Tecnólogos.

# Garantías típicas del Contratista EPC

## ➤ Capacidad Hidráulica de Procesamiento

▪ El Contratista garantiza que las instalaciones serán capaces de conducir los fluidos especificados en las cantidades y condiciones establecidas en la Ingeniería Básica, lo que pasa a constituir la Garantía Hidráulica de Procesamiento.

## ➤ Consumos de Servicios

▪ **Eléctricos:** Energía eléctrica consumida para el funcionamiento de la Unidad a las condiciones de diseño establecidas en la Ingeniería Básica

### Ejemplo

▪ **Consumo de Fuel Gas** de los Hornos de la Unidades

## ➤ Rendimiento de equipos

▪ **Hornos de proceso:** eficiencia

▪ **Compresores:** eficiencia

▪ **Turbinas:** consumo específico de vapor

# Exigencias asociadas a las garantías

## ➤ Exigencias Absolutas

Si el Contratista no cumple con las Exigencias Absolutas está obligado a modificar los Trabajos y/o instalaciones involucradas tantas veces como fuere necesario para alcanzar todas las Exigencias Absolutas sin cargo para el Cliente.

## ➤ Exigencias Punibles

Se definen como aquellas garantías que de no ser cumplidas podrán ser pasibles del pago de Multas.

Ej: rendimiento de equipos menores al cien por ciento (100%), pero siempre que fueran iguales o superiores al noventa y cinco por ciento (95%) de los valores garantizados.

# Mejores Prácticas

**BAT:** Best Techniques Available

Mejores técnicas disponibles (BAT, por sus siglas en inglés) significa las técnicas disponibles que son las mejores para prevenir o **minimizar las emisiones y los impactos sobre el medio ambiente**. Debe usar BAT si su operación es una instalación (por ejemplo, una instalación que lleva a cabo un proceso industrial como una refinería, una fábrica de alimentos, un sistema de generación de energía, etc.)

<http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/>

# Mejores Prácticas

**GEP:** Good Engineering Practice

(<https://ispe.org/publications/guidance-documents/good-practice-guide-good-engineering-practice>)

Las Buenas Prácticas de Ingeniería (GEP) consisten en métodos, procedimientos y prácticas de ingeniería probadas y aceptadas que proporcionan soluciones convenientes, rentables y bien documentadas para cumplir con los requisitos del usuario y el cumplimiento de las **normativas aplicables**. GEP respalda las actividades en las operaciones diarias y la planificación anticipada. La adopción de esta metodología conduce a un equilibrio del costo y la actividad.

Una buenas prácticas de ingeniería cubre el ciclo de vida completo de la ingeniería desde el concepto hasta su finalización.

# Normas

Objeto:

- Asegurar la calidad de los suministros
  - Obtener de los proveedores ofertas comparables
  - Simplificar el trabajo de especificación
  - Permitir intercambiabilidad
- 
- Son elaboradas por entes oficiales o asociaciones de usuarios o proveedores
  - La mayoría de los países adopta la normas de USA

# Normas

Indican los requerimientos mínimos de calidad que debe reunir un material para ser apto para determinado uso

Materiales (Ej: ASTM)

- Composición química
- Métodos analíticos
- Propiedades mecánicas y ensayos para determinarlas
- Dimensionales para materiales semielaborados (chapas , perfiles,etc)

Elementos elaborados (caños, válvulas, accesorios, cables, bulones etc) (Ej: ANSI/ASME)

- Materiales
- Dimensiones
- Tolerancias



# Normas

- Equipos: Tanques, bombas, intercambiadores, turbinas, compresores etc (Ej: API, TEMA)
- Por ejemplo: API 610 (Bombas centrífugas)
- Trata sobre:
  - **Nomenclatura,**
  - **forma de especificar,**
  - **Aspectos constructivos,**
  - **Materiales,**
  - **Tolerancias,**
  - **Ensayos,**
  - **Normaliza sistemas de lubricación , refrigeración y sistemas auxiliares,**
  - **hoja de datos**

# Normas para diseño

## Normas de Diseño

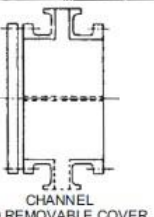
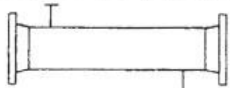
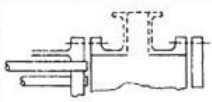
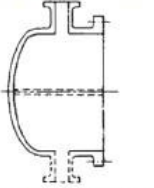
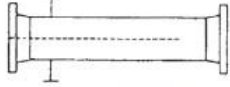
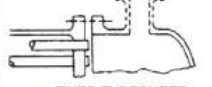
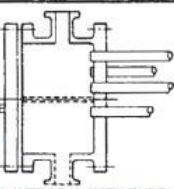
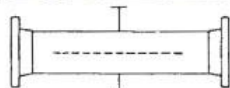
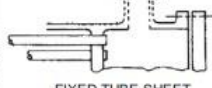
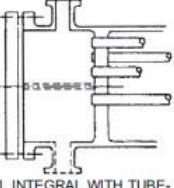
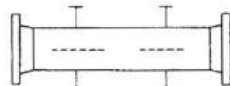
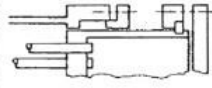
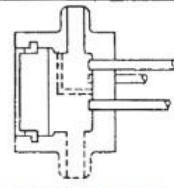
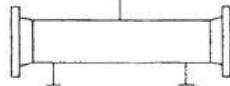
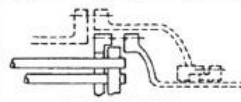
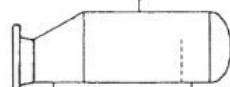
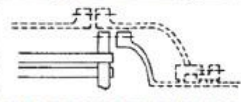
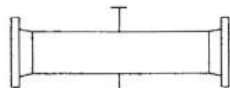
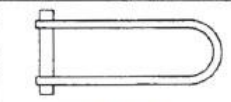
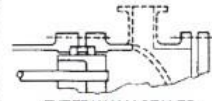
- Código ASME – Diseño de recipientes a presión
- ASME B.36.1 Instalación de cañerías
- NFPA: Protección contra incendio
- API 520/521: Diseño de sistemas de alivio de presión
- API 500 Clasificación eléctrica de áreas
- API 2000 Venteo de tanques atmosféricos
- TEMA. Tubular Exchanger Manufacturers Association
- API 2510: Instalaciones para almacenaje de gas licuado
- CIRSOC
- IEC 65511 Sistemas Instrumentados de Seguridad
- ISA 88: Diseño de sistemas de control de Procesos batch.
- ISO 50001: Gestión de energía.
- ISO 10628: Diagramas de flujo para plantas de proceso.
- ISO 15926: Sistemas de automatización industrial e integración.
- ISO 14051: Contabilidad de costos del flujo de materiales (Material flow cost accounting).

# Normas

- Son especificadas en los pliegos y en los contratos.
- No son obligatorias a menos que sean expresamente pedidas
- Muchas veces existe superposición (cláusula más restrictiva)
- La adopción de una norma puede tener un costo asociado muy importante.  
Tenerlo muy en cuenta en las ofertas
- La ignorancia conduce a la sobreespecificación y aumenta innecesariamente los costos (la pido por las dudas)
- Las empresas más grandes (Exxon, Shell , Repsol, Petrobras etc) tienen normas propias que cubren todos los aspectos de la ingeniería de un proyecto. En ciertos casos complementan las normas “oficiales” y en otros casos las superan

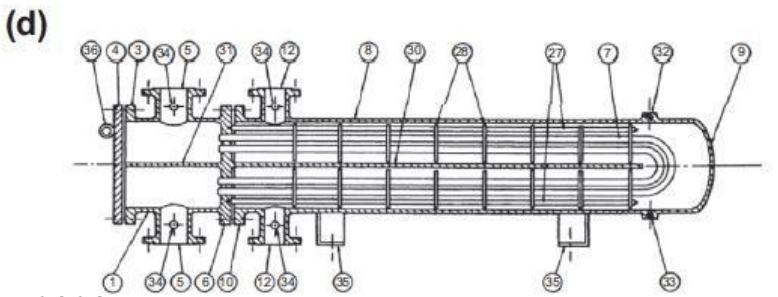
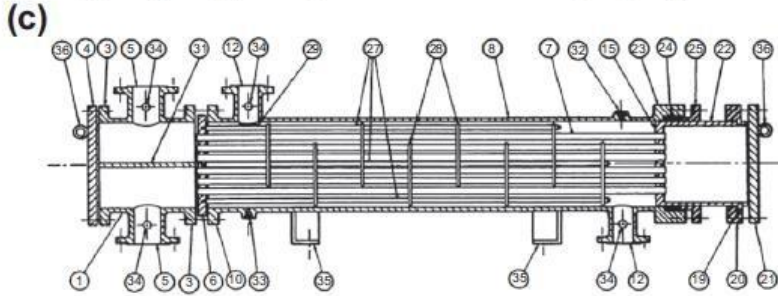
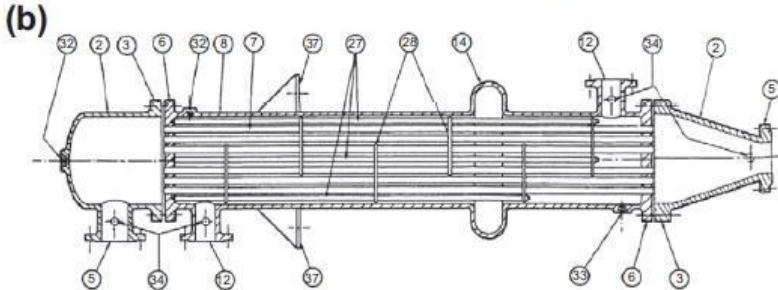
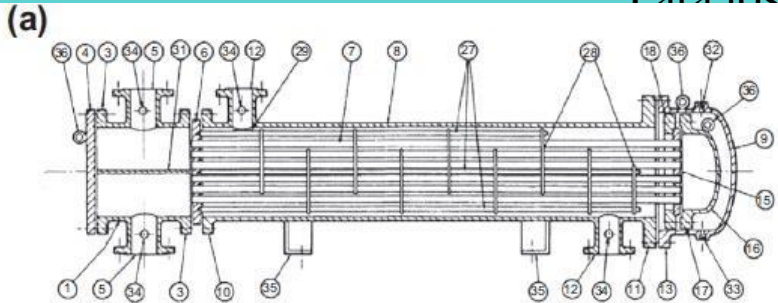
# Normas para diseño

## TEMA. Tubular Exchanger Manufacturers Association

|   | FRONT END STATIONARY HEAD TYPES  | SHELL TYPES  | REAR END HEAD TYPES   |
|---|--|--|---|
| A | <br>CHANNEL AND REMOVABLE COVER   | E<br><br>ONE PASS SHELL                          | L<br><br>FIXED TUBESHEET LIKE "A" STATIONARY HEAD  |
| B | <br>BONNET (INTEGRAL COVER)   | F<br><br>TWO PASS SHELL WITH LONGITUDINAL BAFFLE | M<br><br>FIXED TUBESHEET LIKE "B" STATIONARY HEAD  |
| C | <br>REMOVABLE TUBE BUNDLE ONLY<br>CHANNEL INTEGRAL WITH TUBESHEET AND REMOVABLE COVER | G<br><br>SPLIT FLOW                              | N<br><br>FIXED TUBE-SHEET LIKE "N" STATIONARY HEAD |
| N | <br>CHANNEL INTEGRAL WITH TUBESHEET AND REMOVABLE COVER                              | H<br><br>DOUBLE SPLIT FLOW                       | P<br><br>OUTSIDE PACKED FLOATING HEAD              |
| D | <br>SPECIAL HIGH PRESSURE CLOSURE   | J<br><br>DIVIDED FLOW                            | S<br><br>FLOATING HEAD WITH BACKING DEVICE         |
|   |  | K<br><br>KETTLE TYPE REBOILER                   | T<br><br>PULL THROUGH FLOATING HEAD               |
|   |  | X<br><br>CROSS FLOW                            | U<br><br>U-TUBE BUNDLE                           |
|   |  |  | W<br><br>EXTERNALLY SEALED FLOATING TUBESHEET    |

# Normas para diseño

Para los siguientes intercambiadores de calor, identificar



- |   |  |
|---|--|
| 1. Stationary Head-Channel                  | 21. Floating Head Cover-External         |
| 2. Stationary Head-Bonnet                   | 22. Floating Tubesheet Skirt             |
| 3. Stationary Head Flange-Channel or Bonnet | 23. Packing Box                          |
| 4. Channel Cover                            | 24. Packing                              |
| 5. Stationary Head Nozzle                   | 25. Packing Gland                        |
| 6. Stationary Tubesheet                     | 26. Omitted                              |
| 7. Tubes                                    | 27. Tie rods and Spacers                 |
| 8. Shell                                    | 28. Transverse Baffles or Support Plates |
| 9. Shell Cover                              | 29. Impingement Plate                    |
| 10. Shell Flange-Stationary Head End        | 30. Longitudinal Baffle                  |
| 11. Shell Flange-Rear Head End              | 31. Pass Partition                       |
| 12. Shell Nozzle                            | 32. Vent Connection                      |
| 13. Shell Cover Flange                      | 33. Drain Connection                     |
| 14. Expansion Joint                         | 34. Instrument Connection                |
| 15. Floating Tubesheet                      | 35. Support Saddle                       |
| 16. Floating Head Cover                     | 36. Lifting Lug                          |
| 17. Floating Head Cover Flange              | 37. Support Bracket                      |
| 18. Floating Head Backing Device            | 38. Weir                                 |
| 19. Split Shear Ring                        | 39. Liquid Level Connection              |
| 20. Slip-on Backing Flange                  | 40. Floating Head Support                |

(a): corresponde a **AES**

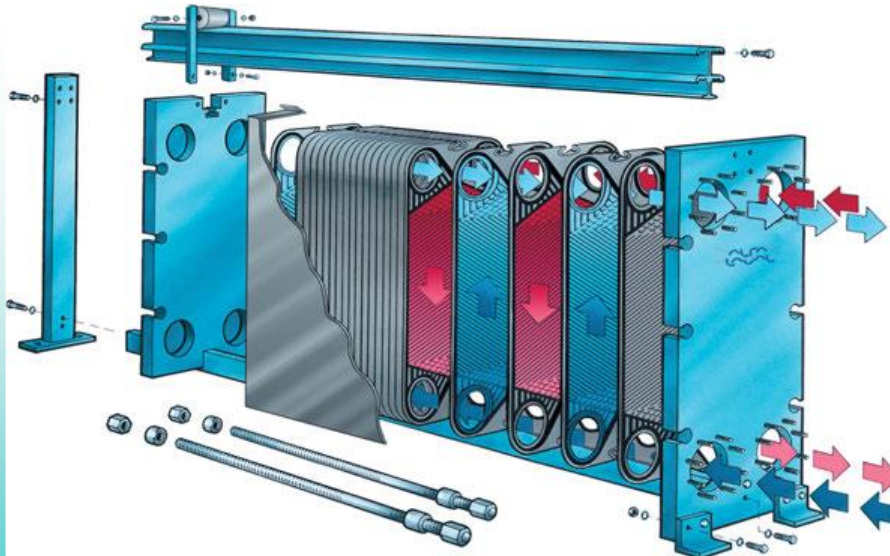
(b): corresponde a

(c): corresponde a (d):

corresponde a

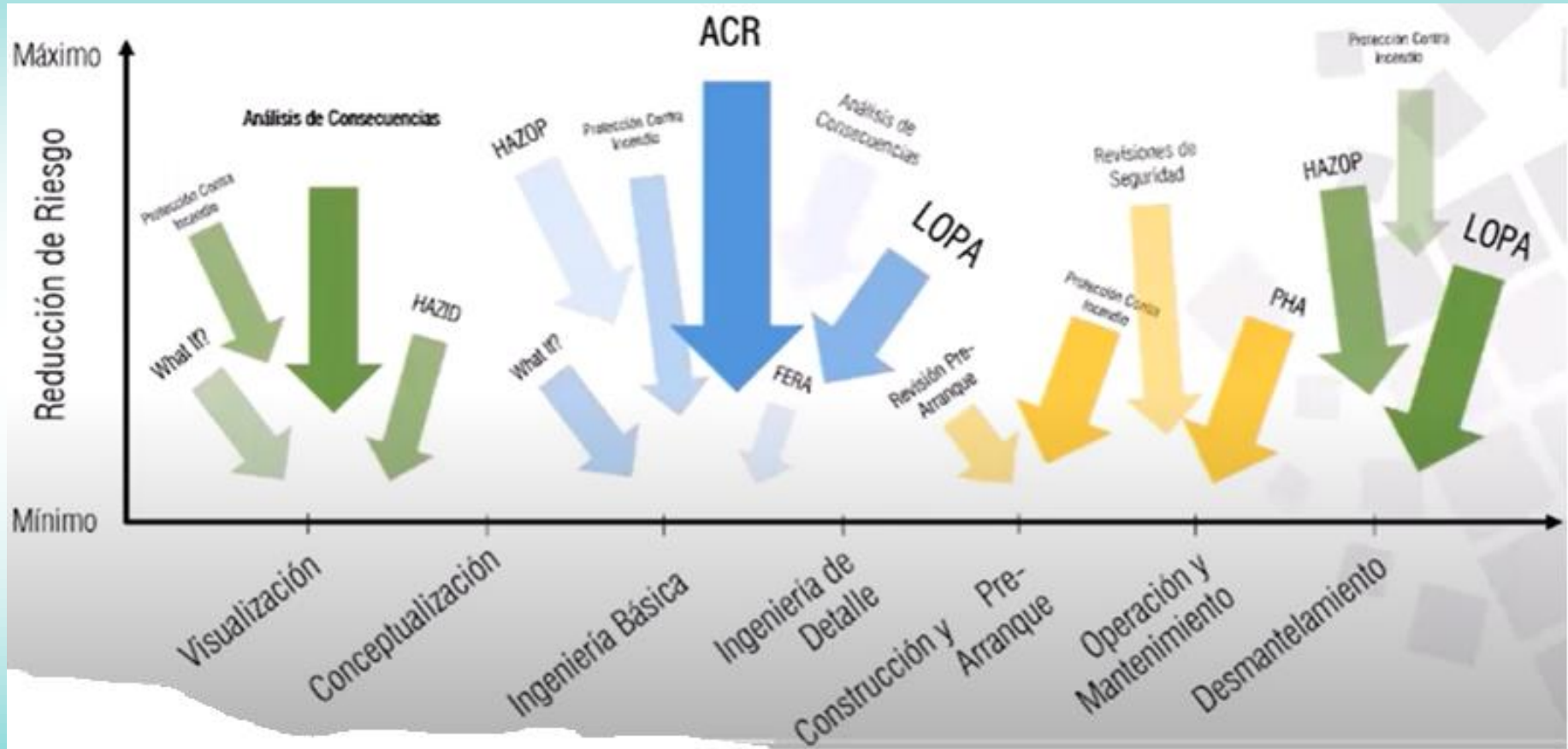


# Estandares

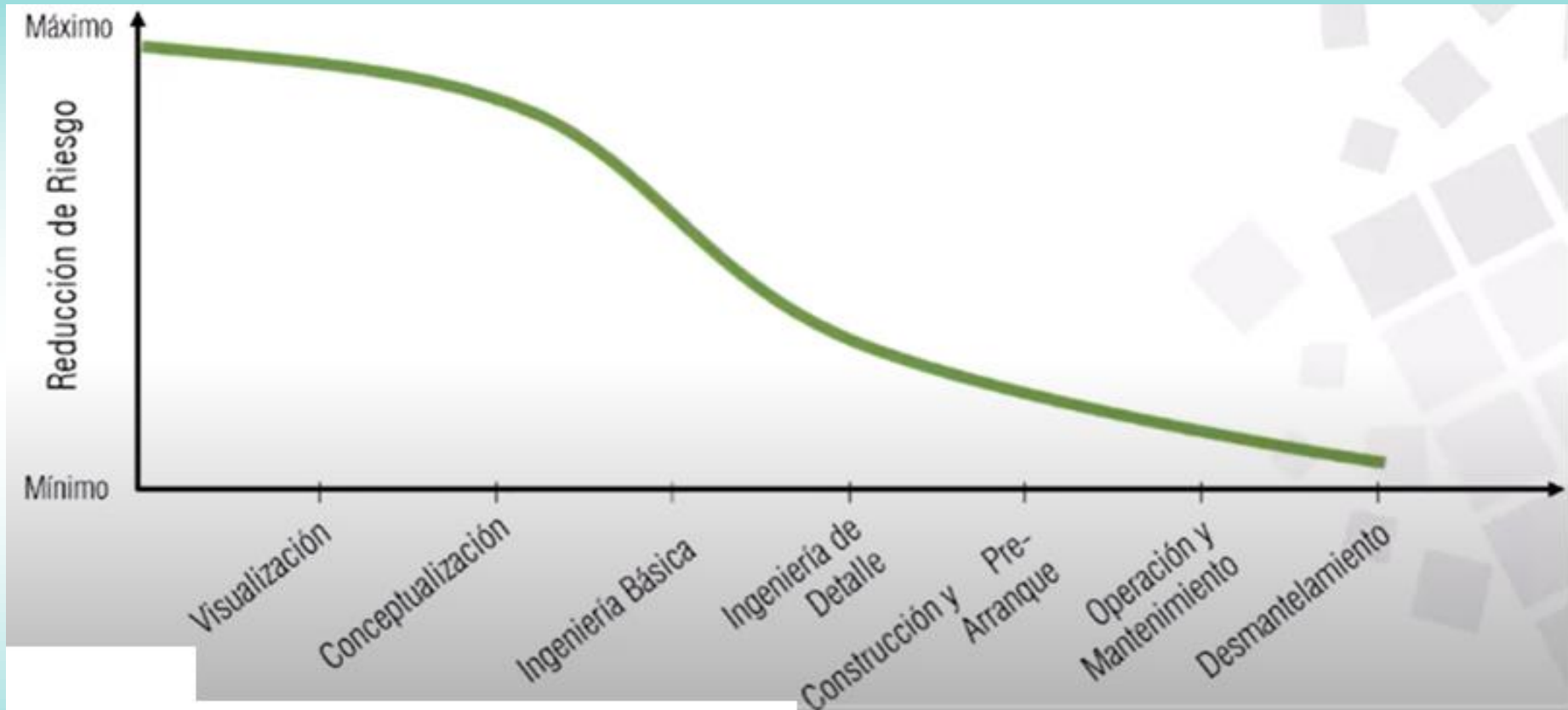


# Seguridad de Procesos. Oportunidad de Reducción de riesgo

“Es preferible gastar recursos eliminando un problema, que gastar recursos que se ocupen de sus efectos”.



# Seguridad de Procesos. Oportunidad de Reducción de riesgo





# Seguridad de Procesos. Oportunidad de Reducción de riesgo

| Fases \ Estudios de Riesgos               | Lista de Verificación | HAZID / APP | What If | HAZOP | Análisis de Consecuencias | Revisión Pre-Arranque | ACR (QRA) | FERA | Protección Contra Incendios | LOPA - SRS Diseño SIS | BOWTIE FTA / ETA | Revisiones de Seguridad |
|---|-----------------------|-------------|---------|-------|---------------------------|-----------------------|-----------|------|-----------------------------|-----------------------|------------------|-------------------------|
| Visualizar y Conceptualizar               | ●                     | ●           | ●       |       | ●                         |                       |           |      | ●                           | ○                     |                  | ●                       |
| Ing. Básica                               | ○                     |             | ○       | ●     | ●                         |                       | ●         | ●    | ●                           | ●                     | ○                | ●                       |
| Ing. Detalle                              | ○                     |             | ○       | ○     | ○                         |                       | ○         | ○    | ○                           | ○                     | ○                | ●                       |
| Construcción y Commissioning              | ●                     | ○           | ○       | ○     |                           | ●                     |           |      | ●                           |                       |                  | ●                       |
| Operación, Mantenimiento y Modificaciones | ●                     | ○           | ○       | ○     | ○                         | ●                     | ○         | ○    | ●                           | ○                     | ●                | ●                       |
| Desmantelamiento                          | ●                     |             | ○       |       |                           |                       | ○         |      | ●                           |                       |                  | ●                       |

Altamente Recomendable     
  Recomendable

ACR (QRA): Quantitative Risk Assessment

FERA: Fire and explosion risk assessment

LOPA: Layers of Protection Analysis

PHA: Preliminary Hazard Analysis

SRS: System Risk Structures

FTA: Fault tree analysis

ETA: Event Tree Analysis

HAZOP: Hazard and Operability Analysis