

Ingeniería de Requerimientos

Diseño de Equipos Electrónicos
ITBA

Nicolás Nemirovsky

Sistema, subsistema o módulo

- Puede verse como una caja negra o una caja blanca.
- La caja negra es tal que no podemos saber lo que hay adentro; sólo podemos interactuar con ella y ver cuál es su “transferencia”.
- La caja blanca es tal que sabemos exactamente todo lo que hay dentro y cómo es que la “transferencia” es la que es.

Nota: aquí se usa “transferencia” como la relación entre todas las salidas y todas las entradas, eléctricas, mecánicas o de cualquier otra índole, intencionales o no intencionales.

Requerimientos

- El conjunto completo de requerimientos de un producto es aquello que define únicamente el comportamiento de dicho producto como caja negra ya sea en forma completamente específica, o con cotas.
- Un requerimiento NO define lo que hay dentro de la caja negra, sólo lo que se ve desde afuera.
 - Es decir, un requerimiento dice QUÉ, nunca debe decir CÓMO.
- Los requerimientos refieren a todos los aspectos del producto: tamaño, costo, interfaces eléctricas, mecánicas, tolerancias, rangos de operación, mecanismos de mantenimiento, servicio y manufactura, susceptibilidad electromagnética, etc (un gran ETC).

Clientes

- Se llama cliente de un producto a aquella persona o entidad que *impone uno o más requerimientos*.
- Nótese la diferencia con el **usuario**, que es quién usa el producto, y con el **comprador**.
- Ejemplo típico de cliente: el estado.
- Otros ejemplos para pensar:
 - Equipo de electroestimulación
 - Aire Acondicionado
 - Juguete



Tipos de requerimientos

Según procedencia:

- De un cliente externo
 - Ejemplo: necesito una fuente de 5V +/-0,5V como producto final.
- De un cliente interno
 - Vinculado usualmente con interfaces que forman parte de un producto mayor (ejemplo: un colega que arma el HW de un controlador de un motor dice: el PWM del µP debe ser programado en el pin 14, que es el que está conectado a un motor)
- Del mismo diseñador / empresa
 - Usualmente vinculados con roadmap, knowhow pre-existente, o planes comerciales pre-existentes. Ejemplos:
 - Un cliente pide una fuente de 5V +/- 0,5V, otro cliente pide una fuente de 5V +/-0,1V => es más económico diseñar una sola fuente con +/-0,1V de salida... pero este no era un requerimiento del primer cliente externo
 - Se desea diseñar un sistema de procesamiento con una interfaz gráfica genérica... pero la especialización del ingeniero o la empresa es el LabView => es más económico (y rápido) utilizar ese SW.
 - Ojo... define esto el producto como caja negra?
 - En realidad no son requerimientos! Cuáles serían los requerimientos reales en este caso?
 - Para evitar la trampa de poner condiciones al "cómo", siempre conviene preguntarse: ¿qué gano haciéndolo así?

Tipos de requerimientos

Según su expresión:

- Concretos: perfectamente definidos (debe conectarse a 220VAC+/-10%, 50Hz +/-1%)
- Ambiguos: debe poder conectarse a la pared.
- Tácitos:... ¿cuánto debería consumir?

Todos los aspectos de un diseño tienen siempre requerimientos asociados, que entran en alguna de estas tres categorías.

Que el cliente no lo haya pensado bien / decidido, no significa que el requerimiento no exista. Por eso estos requerimientos necesitan un análisis de distinto grado de profundidad.

Tipos de requerimientos

Según dirección de aplicación:

- Hacia el diseño: este LED deberá consumir menos de 10W de potencia eléctrica y generar al menos 8W de potencia lumínica en forma de X lúmenes con Y ángulo/dispersión, etc.
 - Este es un requerimiento que el diseñador deberá considerar: debe diseñar un LED que cumpla estas condiciones.
- Hacia el usuario: este LED sólo cumplirá lo aquí citado SI y sólo SI se lo alimenta con corrientes entre 0 y 2.5A, y tensiones entre 0 y 4V.
 - Este es un requerimiento de la interfaz hacia el usuario: el usuario deberá asegurarse de conectar el LED como es indicado.
- Hacia ambos: pin-out de un conector en la interfaz
 - Este es un requerimiento creado de común acuerdo con el usuario; define la interfaz de forma tal de garantizar compatibilidad, pero implica que el usuario deberá también respetar esa interfaz. Esto es muy común entre dos diseñadores de módulos interconectados.

Análisis de Requerimientos: el arte de preguntar(se)

- “Deberá alimentarse con 220VAC+/-10%, 50Hz +/-1%”
 - ¿Especificación de ruido?
 - ¿Cuál es la corriente máxima/mínima?
- “Deberá poder conectarse a la pared”
 - ¿A qué pared? (largo del cable)
 - ¿Con qué tipo de enchufe?
 - ¿Qué diámetro/tolerancia en las patas?
 - ¿Qué resistencia mecánica debería tener el cable? –nota: esto a veces es hilar demasiado fino... pero a veces no.
- Tácitos:... ¿cuánto debería consumir?
 - Método del absurdo: ¿1MW? ¿No, mucho? ¿10kW entonces? ¿También mucho? ¿100W? => Consumo máximo: 100W.
 - Ojo: el arte del análisis de requerimientos es saber dónde poner la línea para que el producto le sirva al cliente... y que exista una solución de diseño lo más simple posible.
- Cuidado: NUNCA se debe sobre-especificar. Esto puede llevar a limitar el trabajo de diseño.
- Nota: Como los requerimientos son previos al diseño, siempre se expresan con verbos como “debe”, “debería”, “deberá”, y otros sinónimos.

Análisis de Requerimientos

- A veces los requerimientos pueden ser concretos, pero no directamente vinculados a variables de diseño inmediatas. Esto puede deberse a:
 - Referirse a estándares (*debe cumplir con norma XXX*)
 - Referirse a compatibilidades con otros productos (*debe poder alimentarse de 2 baterías AA*)
 - Referirse a variables no “electrónicas”, o no vinculadas directamente a una interfaz (*debe poder moverse a más de 2m/s*)
 - Referirse a la performance del sistema completo (*debe controlar temperatura con un error máximo de 0.1ºC*)
- En todos los casos, es tarea del diseñador principal, el traducir estos requerimientos a definiciones concretas para los módulos del diseño.

Análisis de Requerimientos: del cliente al diseño

- Cada cliente tendrá una lista de requerimientos (**Requerimientos del Cliente**). Estos conforman un documento que puede (debe) ser firmado por ambas partes para establecer un contrato.
- Sin embargo, a la hora de realizar el producto, el diseñador contará con varios sets de requerimientos, a veces superpuestos (ejemplo: fuente de 5V+/-0.5V para cliente A y 5V+/-0,1V para cliente B).
- Por eso se elabora una lista más de requerimientos, de uso interno (**Requerimientos de Diseño**, a veces llamados **Especificaciones de Diseño**). Estos son los requerimientos “finales” que se utilizarán para comenzar el diseño.

Requerimientos: los “buenos” y los “malos”

Los requerimientos deben ser escritos de tal modo que para el cliente el resultado sea aceptable, pero limitando lo menos posible las opciones de diseño.

Ejemplos para un auto:

- El motor deberá tener al menos 4 cilindros.
- El auto debe funcionar con naftas de 95 octanos para arriba.
- La temperatura del motor no deberá superar nunca los 130ºC.
- Todos los instrumentos eléctricos deberán tener el fusible correspondiente.
- La computadora de abordo deberá estar resguardada en caso de impacto.
- Las emisiones deberán estar por debajo de x gCO₂/Km

Requerimientos: los “buenos” y los “malos”

Los requerimientos deben ser escritos de tal modo que para el cliente el resultado sea óptimo.

No: el usuario no tiene por qué enterarse cuántos cilindros tiene el motor... El problema del diseñador es realizar algo que se *comporte* de la manera que quiere el usuario. Cuáles son las diferencias de comportamiento entre 4 y 8 cilindros?

No; si bien esto es parte de una norma, sigue siendo problema del diseñador y no del usuario. Si el diseño no sigue la norma, no significa que no pase; significa que se debe verificar con tests (que pueden ser muy costosos), y tiene que ver (en este caso) con la seguridad contra un incendio.

Ejemplos para un auto:

- El motor deberá tener al menos 4 cilindros.
- El auto debe funcionar con naftas de 95 octanos para arriba.
- La temperatura del motor no deberá superar nunca los 130ºC.
- Todos los instrumentos eléctricos deberán tener el fusible correspondiente.
- La computadora de abordo deberá estar resguardada en caso de impacto.
- Las emisiones deberán estar por debajo de x gCO₂/Km

No: esto es problema del diseñador, no del usuario

Sí: es (parte de) una definición de una interfaz.

No: es problema del diseñador. Al usuario (y a la norma) sólo le importa que el auto no se rompa fácilmente. El “cómo” es problema del diseñador.

Sí: no sólo es una interfaz; también es parte de regulaciones

Requerimientos: aplicabilidad

- Ejemplos de requerimientos: ¿qué requerimientos puede tener...
 - ...un cable?
 - ... un conector?
 - ... una resistencia?
 - ... un soldador?
 - ... un teclado?
 - ... un aire acondicionado?
 - ... un protocolo de comunicación?

Por qué requerimientos

- Los requerimientos sirven como el contrato de desarrollo entre el cliente y el proveedor.
 - Hacia el cliente, se le promete así no sólo lo que SÍ va a hacer el producto, sino lo que NO va a hacer el producto (muy a menudo más importante que lo primero).
 - Hacia el proveedor, indicando exactamente aquello que el diseñador espera conseguir del producto que se compra.
- Un buen set de requerimientos hace posible contratar múltiples proveedores, y tener la seguridad de que lo provisto siempre cumplirá las expectativas... a costa del proveedor.
- Si un requerimiento no se cumple luego de realizado el diseño, hay tres opciones:
 - Ese requerimiento no era realmente un requerimiento, y al cliente no le importa.
 - Ese requerimiento DEBÍA ser cumplido: el proceso de diseño falló.
 - Ese requerimiento debía ser cumplido, pero una excepción puede ser permitida (con o sin un costo asociado) para los primeros N productos, o para la primera línea (defectuosa).

Especificaciones de Producto

- Las especificaciones de un producto son, básicamente, la “hoja de datos” del producto. No confundir con especificaciones de diseño (o requerimientos de diseño).
- Las especificaciones no tienen por qué ser iguales que los requerimientos (ni de cliente, ni de diseño).
- Las especificaciones sólo pueden ser escritas LUEGO de haber terminado el diseño del producto Y su validación.
- Cada requerimiento de cliente o de diseño deberá tener siempre una especificación que lo acompañe.
 - Nota: un mismo producto puede tener dos o más sets de especificaciones diferentes para no proveer a los clientes de información potencialmente sensible.

Ejemplo

- Requerimientos de Cliente
 - Cliente A necesita una fuente de 5V+/-0.5V.
 - Cliente B necesita una fuente de 5V +/-0.1V.
- Requerimientos de Diseño
 - Se diseñará una fuente de 5V+/-0.1V
- Objetivo de Diseño
 - Se diseñará una fuente de 5V +/- 0.05V (¿por qué no 0.1V...?)
- Especificaciones de Producto
 - (Interna) La fuente diseñada entrega 5V +/-0.04V.
 - (Al cliente A) La fuente diseñada entrega 5V+/-0.5V

Por qué especificaciones

- Las especificaciones sirven como el contrato de compra entre el cliente y el proveedor
 - A diferencia de los requerimientos, las especificaciones no tienen riesgo: dado que son medidas o son resultado directo de un diseño ya terminado, es imposible que no se cumplan en un producto en correcto funcionamiento.
 - Las especificaciones no son nunca discutibles.
 - Permiten al cliente decidir cuando un producto está defectuoso.
- Un set de especificaciones puede servir para múltiples clientes (múltiples requerimientos de clientes).
- Un set de requerimientos pueden traer múltiples proveedores (múltiples especificaciones de producto).

Propagación de Requerimientos

- Los requerimientos del cliente definen su visión de la caja negra.
- Los requerimientos de diseño definen la visión de la caja negra del diseñador.
- El momento del comienzo del diseño es el primer momento en que la caja negra comienza a volverse gris.
- La caja es blanca luego de terminado el diseño. Sin embargo, esto no se da en simultáneo en “toda” la caja.
- Si el diseño se realiza en forma modular, para cada módulo que hay, el proceso de requerimientos se repite.

Propagación de Requerimientos

- 1) Se divide el diseño en módulos
- 2) Se definen las interfaces entre módulos
- 3) Se definen los *requerimientos* de esas interfaces (ejemplo: ¿qué tensión requiere el μ P?)
- 4) Se buscan los requerimientos de diseño (ejemplo: si el micro tiene que disparar dos transistores, uno que requiere no menos de 4.5V, y el otro no menos de 3.5V, ¿cuál es el requerimiento de la salida del μ P?)
- 5) Se diseña el módulo
- 6) Se testea el módulo
- 7) Se verifican las especificaciones del módulo contra los requerimientos
- 8) ...and so on, and so forth...

Presupuestos y modularización

- Algunos requerimientos sólo serán aplicables a un módulo.
- Cuanto mejor sea la modularización del diseño, más “independientes” serán los requerimientos, y más simples las interfaces. Ejemplo: Si todas las protecciones de corto-circuito, sobre tensiones, etc, están en un mismo módulo, el resto del sistema no tiene que enterarse.
- Otros requerimientos, sin embargo, son imposibles de aislar. Ejemplos:
 - Costo
 - Consumo
 - Disipación
 - Error de sensado
 - Error de actuación
 - Confiabilidad
 - Etc.

Presupuestos y modularización

- Para todos estos casos, en la etapa de modularización, también debe realizarse un presupuesto. Este presupuesto deberá distribuir el total disponible según el requerimiento, a cada módulo.
 - Un buen diseñador sabe distribuir el presupuesto de tal modo que los módulos tengan la mayor simplicidad posible.
- Ejemplo: un monitor de temperatura de 0 a 100°C, con un error de 0.1°C.
 - Sensor: 0.01°C => elección del sensor
 - Acondicionamiento: 0.02°C => SNR, CMRR, offset/gain error, Zin/out, etc.
 - Adquisición: 0.02°C => #bits. ¿En este caso... ?
 - Procesamiento: 0.02°C (filtrado) => tipo de procesamiento
 - Margen: ... ? => ¿Y si nos olvidamos algo? ¿P.ej.: EMI?

Presupuestos y modularización

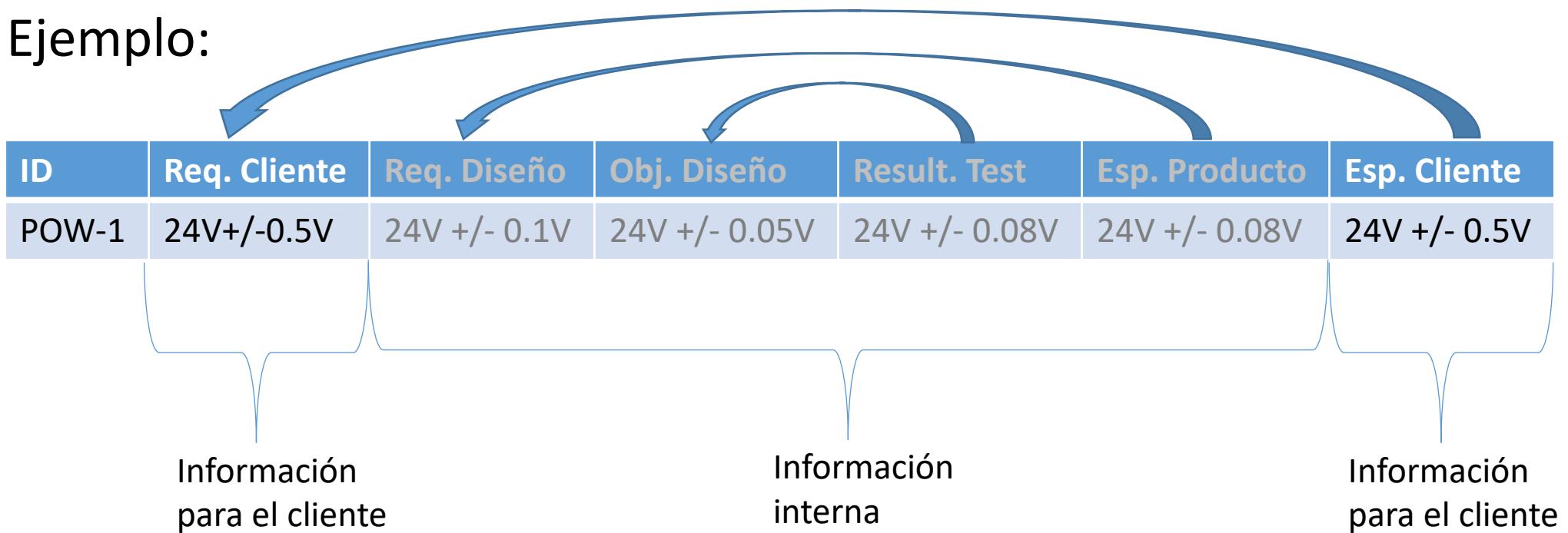
- Cada ítem del presupuesto se convierte en un requerimiento para el módulo.
- Estos requerimientos, en conjunto con los requerimientos de interfaz, definen el módulo como un “sub-producto” (una mini caja negra), cuyo comportamiento puede ser testeado y validado individualmente.
- De este modo, el módulo no sólo puede ser realizado por el mismo diseñador sino que también puede ser tercerizado.
- El proceso puede repetirse para cada módulo si se lo desea dividir en sub-módulos; esto es válido para un sistema de cualquier tamaño.

Trazabilidad de Requerimientos

- El cumplimiento de todos los requerimientos debe poder ser demostrado tanto para el diseñador (verificación de diseño) como para el cliente.
- Por esta razón, para cada requerimiento, puede haber cuatro opciones:
 - Se realiza un test.
 - Se simula/modela.
 - Se inspecciona.
 - Se da por verificado por diseño vía revisión de documentación (no recomendado).
- Para poder vincular requerimientos, especificaciones, y tests, a cada requerimiento se le da un nombre único. Esto permite ver qué sucede con cada requerimiento a lo largo de la vida de un proyecto.

Trazabilidad de Requerimientos

- Ejemplo:



Nota: esto es válido sólo para diseños “a caja negra”!!!

Trazabilidad de Requerimientos

- Luego de realizado un presupuesto para alguna característica determinada, llega el momento de trabajar en el (sub)módulo.
- Este (sub)módulo tendrá como requerimientos, aquellas decisiones del diseño del sistema o módulo superior.
- Así, todos los requerimientos, especificaciones y tests a nivel (sub)modular, sirven para analizar los resultados a nivel sistema.
- Ejemplo: fuente de tensión, fuente switching y gabinete para minimizar interferencia electromagnética

The diagram illustrates the traceability of requirements. It shows three rows of data in a table, each representing a different requirement type. Each row has seven columns: ID, Requer. Cliente, Requer. Diseño, Obj. Diseño, Result. Test, Esp. Producto, and Esp. Cliente. Orange arrows point from left to right between adjacent columns, indicating the flow of requirements from client needs through design objectives and test results to final product specifications. The first row (POW-1) shows requirements for power supply voltage. The second row (ERR-FSW1) shows requirements for error and switching. The third row (ERR-EMI1) shows requirements for EMI levels.

ID	Req. Cliente	Req. Diseño	Obj. Diseño	Result. Test	Esp. Producto	Esp. Cliente
POW-1	24V+/- 0.5V	24V +/- 0.1V	24V +/- 0.05V	24V +/- 0.04V	24V +/- 0.04V	24V +/- 0.5V
ERR-FSW1	24V +/- 0.04V	24V +/- 0.04V	24V +/- 0.02V	24V +/- 0.03V	24V +/- 0.03V	24V +/- 0.03V
ERR-EMI1	<0.01V	<0.01V	<0.005V	<0.004V	<0.004V	<0.004V

Caso de ejemplo: Proyecto Carlitos

Un breve análisis

Especificaciones funcionales

TECHNICAL REGULATION 1133

Voltage Converter 24/12 V

For car radio

Operating data

Supply voltage: 24V, negative ground

Output voltage: 12.0V to 14.5V

Load: ≤3.0A constant

Others: According to RT1011 Issue 1 "Electronic control units and sensors"

However, the following changes and additions apply:

EMC : Susceptibility/The lower requirement en 1011, Item 1.4 applies (not affecting road safety)

Location: Cab environment

Protection IEC529:IP21

Polarising protection: According to TR1011 item 1.6 or alternatively to have polarized connector which reduce risk of erroneous connection

Function test : According to 1011 and load according to above specification

Datos para el diseño del producto

TECHNICAL REGULATION 1011	
Electronic control units (ECUs) and sensors	
General	
1 Operating data	
1.1 Supply voltage	
24V, negative earth 12V, negative earth	
1.2 Operating voltage	
22 V to 30 V (typical voltage 28 V) 10 V to 15V (typical voltage 14V)	
Electrical noise: 5 Vp-p, 50Hz-50 kHz (With disconnected battery: 10 Vp-p) 35V resp. 17.5V during at least 1 h (bad alternator,quick charging or booster start)	
Exception: Sensors supplied from an ECU, see the ECU specification	
1.3 Transient voltages	
The ECU/sensor shall resist transient voltages according to ISO/DIS 7637/2 or ISO/DIS 7637/1. Following additions and changes are valid.	
For sensors supplied from an ECU, some of the pulses are eventually not valid (see drawing).	
ISO/DIS 7637/2 Test pulse 1 : Vs=-150V, Ri=10 ohm Test pulse 2 : Not applicable Test pulse 3a: Vs=-150 V Test pulse 3b: Vs=+100V Test pulse 4 : Vs=16V,Va=-12V,Ri=0.001 ohm Test pulse 5: Vs=+125V, Ri=1.5 ohm, t _d =0.48s, t _r =10 ms	
ISO/DIS 7637/1: Test pulse 2 Not applicable Test pulse 5 Vs=+70V, Ri=1 ohm, T=0.27s, t _r =10ms Test pulse 6 Not applicable	
Pulse 1,4,5 and 7 occur on conductors that are in galvanic contact with the supply voltage. Pulse 3a and 3b are present on all conductors.	
1.4 EMC	
Susceptibility	
The ECU/sensors shall withstand a electromagnetic field strength of: 50V _{RMS} /m from 10 kHz to 2 MHz 100V _{RMS} /m from 2 MHz to 1 GHz	
Functions which have no influence on traffic safety: 25V _{RMS} /m from 10 kHz to 2 MHz 50V _{RMS} /m from 2 MHz to 1 GHz	
The electromagnetic field shall be modulated by 1 kHz (AM, sinusoidal) 100%	
Emission	
Electromagnetic radiation from ECU/sensor and its wiring harness may not exceed: -15 dBuV (0.2 uV) over 50 ohms in a frequency range of 20 mHz to 1J GHz. 0 dBuV in a frequency range of 500 kHz to 20 MHz.	
1/5	

1.5 Degrees of protection IEC529		
Engine	IP67	
Gearbox	IP67	
Chassis	IP67	
Brake drum	IP67	
Cab	IP54	
The ECU/sensor shall withstand a free fall from 1 m to ground (concrete floor)		
1.6 Reversed polarity protection		
The ECU/sensor shall withstand reversed polarity at the supply voltage		
1.7 Short circuit protection		
All inputs and outputs shall withstand continuous short circuit to earth/supply voltage. When the short circuit is removed the ECU/sensor returns to normal function		
1.8 Temperatures		
Storage	-40°C till +80°C (100°C 1 h)	
Operation		
Engine	-40°C till +125°C	
Gearbox	-40°C till +125°C	
Chassis	-40°C till +70°C	
Brake drum	-40°C till +200°C	
Cab	-40°C till +70°C	
1.9 Vibrations		
Vibration type : Random		
		ASD level
		Frequency range
Engine	0.4 g ² /Hz	50-1500 Hz (25 g _{RMS})
Gearbox	0.15 g ² /Hz	50-1500 Hz (15 g _{RMS})
Chassis	0.1 g ² /Hz	50-500 Hz (7 g _{RMS})
Brake drum	0.45 g ² /Hz	50-500 Hz (15 g _{RMS})
Cab	0.02 g ² /Hz	50-500 Hz (3.3 g _{RMS})
1.10 Function		
See drawing/additional specification		
1.10 Labelling		
Unless otherwise specified.		
The ECU/sensor shall have a type number and a serial number that enable traceability to the week of production		
2/5		

Datos para el diseño del producto

1.12 Documentation

Unless otherwise specified.

The documentation of the ECU/electronic sensor shall comprise:

- circuit diagram
- component list
- detailed component data
- circuit board layout including location of components and test points
- estimated MTBF- value according to MIL-HDBK 217 representative for ground mobile operation, ambient temperature 50°C
- production quality plan
- drawing showing the size of the ECU/sensor

1.13 Miscellaneous

Preceding the test and approval of the ECU/sensor the above described documents shall be delivered

Modifications of the documents, that means directly or indirectly the ECU/sensor, done after the approval shall be reported and must be approved

2. Testing

Operating voltage 28V and room temperature unless otherwise specified. The functional requirements according to 1.10 shall be fulfilled. Number of samples, at least 10 (5 in each test group). Each samples shall be marked with an individual number

Test group 1

The same samples are used in test 2.1,2.2,2.3,2.4,2.5 and 2.6. Exception: Electromechanic sensors are tested according to 2.3,2.4,2.5 and 2.12

Test group 2

The same samples are used in test 2.7,2.8,2.9,2.10 and 2.11. The tests are performed in mentioned order

2.1 Transient voltage protection

The ECU/sensor shall be tested according to the requirements below (ISO/DIS 7637/2 AND ISO/DIS 7637/1) and operating data 1.3:

Test pulse 1:	Number of pulses	5000
	Functional status	Class C
Test pulse 3a:	Test time	1 h
	Functional status	Class A
Test pulse 3b:	Test time	1 h
	Functional status	Class A
Test pulse 4:	Number of pulses	1
	Functional status	Class A,B or C
Test pulse 5:	Number of pulses	10
	Pulse cycle time	10s
Test pulse 7:	Number of pulses	1
	Functional status	Class C

The functional status describes the performance requirements of the ECU/sensor during and after the exposure to the interference. The functional status for test pulse 4 is normally class C. For ECU/sensors, operating in a system where all or parts of the functions must be performed correctly during the start of the diesel engine, class A or B is valid

2.2 EMC Test

Susceptibility

The test are performed on both a modular level including a dummy wiring harness (strip line test) and on a complete vehicle. Electromagnetic field according to 1.4. Functional interferences will be judged in respects of safety and type of malfunction.

Emission

Test methods according to MIL 461C/UM03, MIL-STD-462 RE02 and on a complete vehicle. Measurement bandwidth: <10 kHz. Higher levels than those specified in 1.4 are allowed in frequency bands where no radio, CB or telephone communications exists (for instance TV band). Interferences in frequencies below 500 kHz will be judged as they occur.

2.3 Test of degree of protection

The ECU/sensor shall be tested according to IEC529 and Operating data 1.5. The ECVU/sensor is in power off mode.

2.4 Free fall test

The ECU/sensor shall be tested according to Operating data 1.5. No functional deterioration is permitted.

2.5 Reversed polarity protection

The ECU/sensor shall be installed for normal operation but in the worst case for this test. No damage may occur when the polarity of the supply voltage is reversed

2.6 Short circuit protection

The ECU/sensor shall withstand a short circuit to earth/supply voltage of any connection pin. The supply voltage is in certain cases available via a fuse. The requirement in 1.8 are valid.

2.7 Cold test

According to IEC-68-2-1 Aa

Engine	-40°C 2 h
Gearbox	-40°C 2 h
Chassis	-40°C 2 h
Brake drum	-40°C 2 h
Cab	-40°C 2 h

The ECU/sensor shall remain in power off mode. At the specified low temperature the function is finally verified. Operating voltage according to 1.2. No functional deterioration is permitted.

2.8 Dry heat

According to IEC-68-2-1 Aa

Engine	-40°C 2 h
Gearbox	-40°C 2 h
Chassis	-40°C 2 h
Brake drum	-40°C 2 h
Cab	-40°C 2 h

During the test the ECU/sensors shall operate at normal voltage, 28 V or 14V. Intermediate, after 2h, and final measurements shall be performed at the specified high temperature and with an operating voltage according to 1.2. No damage or interference may occur.

Datos para el diseño del producto

2.9 Change of temperature

Engine, Gearbox, Chassis, Brake drum

According to IEC 68-2-14Nc

5 min 0°C 5 min 100°C

The ECU/sensor shall alternately be immersed in two bath, one filled with ice water, and one filled with boiling water

Transition time : ≤ 3 s

Number of cycles: 10

The ECU/sensor shall have its connector attached but remain in power off mode. No damage or functional interference may occur.

Cab

According to IEC 68-1-14 Nb

1 h -25 °C 1 h 100°C

Rate of temperature change : 3 °C/60s

Number of cycles: 100

The ECU/sensor shall have its connector attached but shall remain in power off mode. No damage or functional interference may occur.

2.10 Vibration test

According to IEC 68-2-35 Fda and Operating data 1.9

Test time ECU : 30 H/axle

Direction : X,Y,Z

Test time sensor: 70 h/axle

Direction: X,Y,Z

During the test the ECU/sensor shall be installed for normal operation with power on. No damage or functional interference may occur.

2.11 Corrosion test

Engine, Gearbox, Chassis, Brake drum

According to IEC 68-2-11 Ka

144 h salt mist test

Cab

According to IEC 68-2-30 Db

Damp heat : 21 cycles

Upper temperature: 55°C

During both tests the ECU/sensor shall have its connector attached but remain in power off mode. After the test the ECU/sensor shall be stored 48 h in room temperature. Finally the function is verified. No functional deterioration is permitted.

2.12 Life test

This test shall be done only on sensors containing moving parts. The sensor shall be installed for normal operation.

For life length requirements and description of test cycle, see drawing.

Especificaciones del producto

TR1133

Transformador de tensión 24/12V para radio de vehículo

Datos

Tensión del sistema : 24 V, tierra negativa

Tensión de operación : 22 a 29 V (valor de operación típico 28 V)

Tensión de salida : 12 A 14.5 V

Carga : 1.5 A continuo, 3.0 A durante 1 s

Temperaturas : reposo -40 °C a 80°C (90°C máx 1 h)

Forma de protección : Según DIN 40050, hoja 9, IP20, similar a IEC 144

Protección contra inversión de tensión

El transformador de tensión tolerara continuamente polaridad inversa en todas las conexiones

Tolerancia a los cortocircuitos

El transformador de tensión estará asegurado contra los cortocircuitos.

Cuando el cortocircuito este solucionado el transformador volverá a funcionar

Interrupcion de tierra

Si se rompe la conexión a tierra del transformador de tensión la tensión de salida para la carga conectada no debe pasar la tensión de salida prescrita 14.5 V

Fiabilidad

El fabricante comunicara el valor del MTBF calculado para el aparato

Vibraciones

3.5 f (RMS)

Interferencias

$U=72.e^{-t/11}+28V$, $Rj=1$ ohm (aparece en la interrupción entre batería y generador)
 $U=-150e^{-t/002}V$, $Rj=10$ ohm (aparece en la interrupción de la corriente a inductancias sin carga paralela acoplada)
En lo demás según ISO/TC22/SC3/WG3/N88E parte 2 y 4

Zumbido

Zumbido de motores eléctricos: $U \leq 3$ Vp-p
Rango de frecuencia: 50 Hz a 10 kHz

Pruebas de validación

TR1133

PRUEBAS

Cantidad de ejemplares de prueba mínimo 5
Se emplearan los mismos ejemplares en las pruebas de protección contra inversión de tensión, prueba de cortocircuito, pruebas de función, prueba de temperatura, prueba de vibración y prueba de corrosión. Las pruebas se ejecutan en el orden mencionado.

Prueba de protección contra inversión de tensión

Según los datos de operación (protección contra inversión de tensión). Se prueba a $23^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ y con $27.5\text{V}\pm 0.2\text{V}$. No debe aparecer ningún daño.

Prueba de función 1

La función se prueba a -30°C y 70°C con 27V y 29V. Se verificará la tensión de salida con la carga prescripta según los datos de operación

Prueba de función 2

El aparato se deja en reposo 4 horas a -30°C sin tensión de alimentación. Luego se prueba inmediatamente el aparato a $23^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ y a 40-60% de humedad relativa.
No debe aparecer ninguna perturbación de función.

Prueba de temperatura

Ciclo de prueba:	2 h a -30°C , 0.5 h a 20°C 2 h a 80°C , 0.5 h a 20°C
Cantidad de ciclos de prueba:	12
No debe aparecer ningún daño	

Prueba de vibraciones

Tipo de vibración	Random
Valor RMS	3.3 g
Densidad espectral	10^{-2} g/Hz
Rango de frecuencias	20-1000Hz
Amortiguación	24 dB/octava
Dirección de la vibración	vertical
Tiempo de prueba	30 h

No debe aparecer ningún daño

Prueba de corrosión

240 h de prueba en agua condensada en clima cambiante según SFW DIN 50017, similar a IEC 144 (accelerated damp heat). No debe aparecer ninguna corrosión.
La función no debe empeorarse.

Ingeniería Concurrente

Ingeniería Concurrente y Modelo V

Los pasos para un desarrollo son:

- Diseño

Diseño de Alto Nivel

- Requerimientos del cliente
- Requerimientos del diseño (sistema)
- Presupuestos y diseño de sistema
- Requerimientos de (sub)módulos
- Presupuestos y diseño de (sub) módulos

Diseño Detallado

- Fabricación de (sub)módulos

Implementación

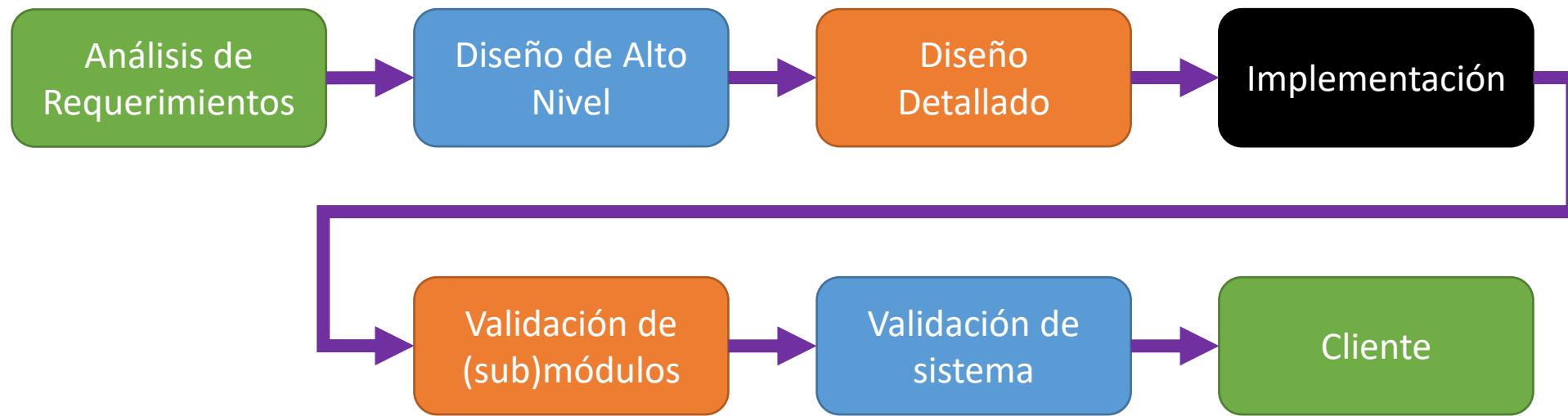
- Integración y test

- Test de (sub)módulos
- Especificaciones de (sub)módulos
- Integración y test de sistema
- Especificaciones de sistema
- Especificaciones al cliente

Validación de (sub) Módulos

Validación de Sistema

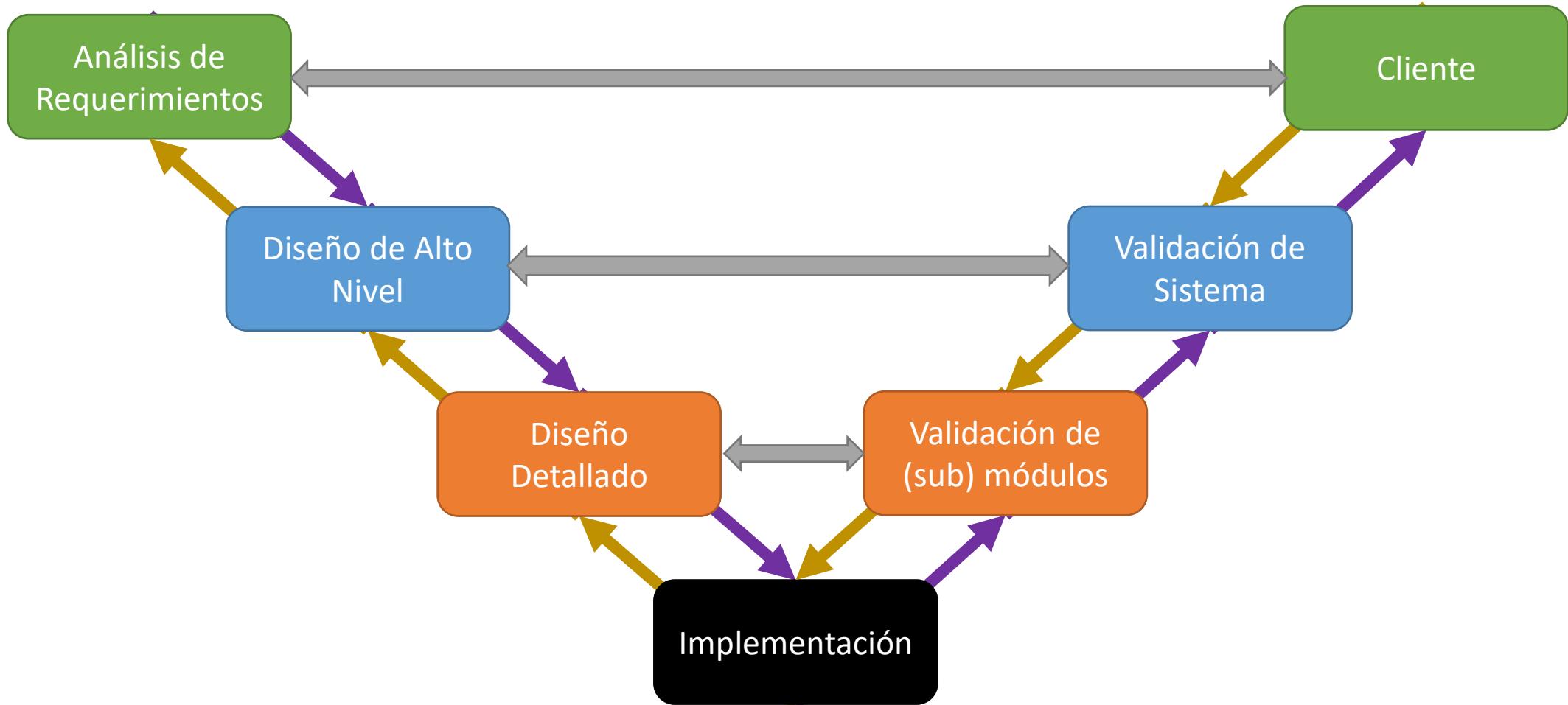
Modelo secuencial



Modelo V

- Sin embargo, por lo general, debido a limitantes de tiempo, no es posible realizar todas las tareas en forma secuencial, o en otras palabras, esperar a que una esté terminada para comenzar la otra.
- En estos casos, se realizan actividades en paralelo, comenzando tareas antes de que las otras terminen. Esto da lugar al llamado Modelo V.
- Es un modelo iterativo, basado en extensa comunicación entre partes, y, según el punto del diseño, requiere una visión de largo plazo.

Modelo V



Desarrollo Ágil y Deuda Técnica

Desarrollo Ágil

Scrum es el nombre con el que se denomina a los marcos de desarrollo ágiles caracterizados por:

- Adoptar una estrategia de desarrollo incremental, en lugar de la planificación y ejecución completa del producto.
- Basar la calidad del resultado más en el conocimiento tácito de las personas en equipos auto organizados, que en la calidad de los procesos empleados.
- Solapamiento de las diferentes fases del desarrollo, en lugar de realizar una tras otra en un ciclo secuencial o en cascada.

Deuda Técnica

- La deuda técnica es un eufemismo tecnológico que hace referencia a las consecuencias de un desarrollo apresurado de software o un despliegue descuidado de hardware.
- El sector informático presenta la particularidad de que permite la implantación de productos no acabados o con errores conocidos. En ocasiones, la política de ahorro de costos en la implementación de hardware o el desarrollo de software se centra en recortar los procesos de pruebas, control de calidad o documentación, o incluso algunos parámetros básicos de optimización de procesos, lo que compromete la viabilidad a largo plazo del proyecto a cambio de poder entregarlo en el plazo previsto y con el presupuesto acordado.

Deuda Técnica

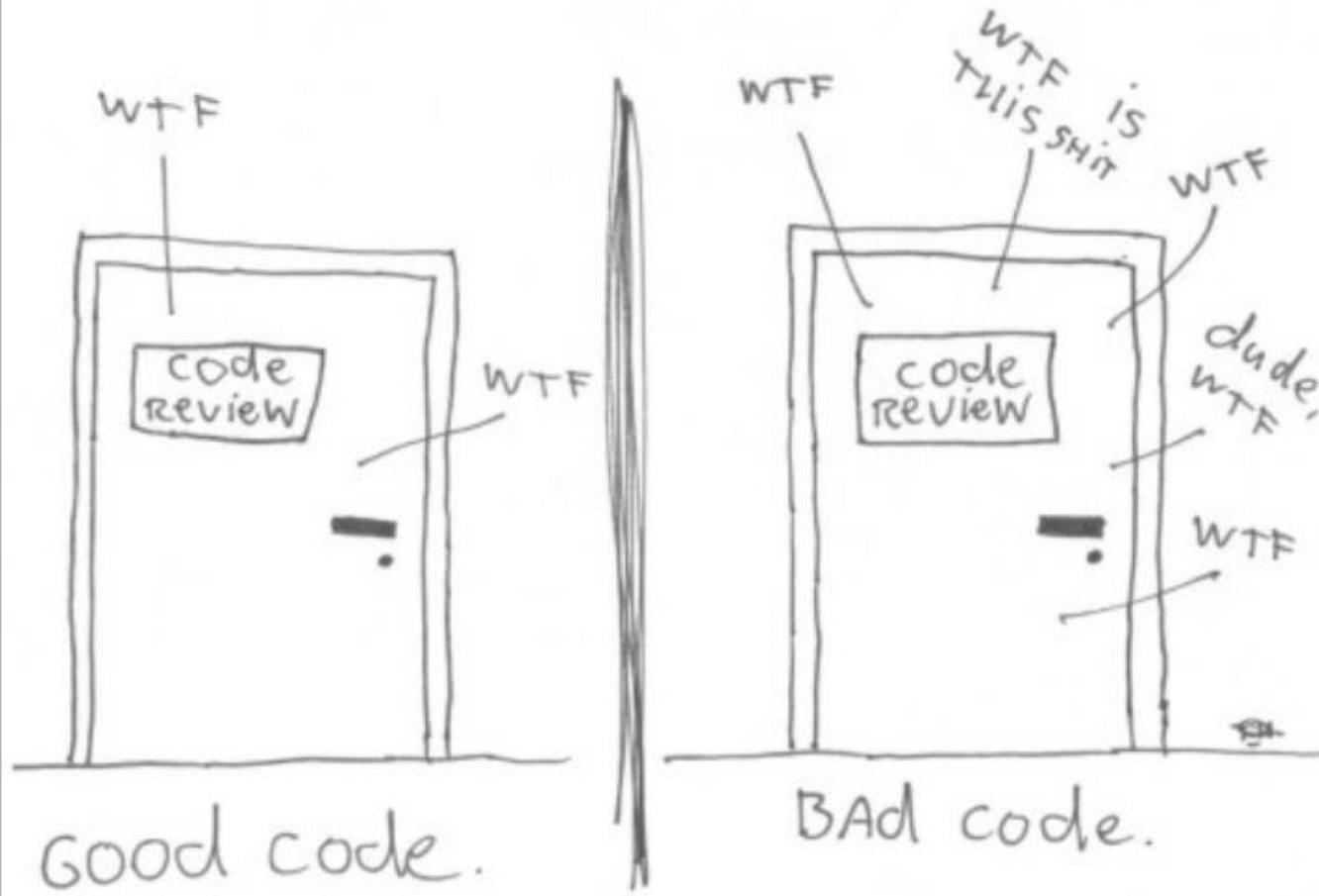
- El resultado de esta política implica que el desarrollo se prolonga en el tiempo más allá de la entrega del producto supuestamente concluido.
 - Es muy usual cuando hay entregas parciales, demos, etc.
- En concreto, la **deuda técnica** puede presentarse en alguna de las siguientes formas:
 - Documentación desactualizada, escasa, incompleta, inservible o inexistente.
 - Errores no subsanados o desconocidos.
 - Control de versiones ineficiente o inexistente.
 - Desarrollo no escalable.
 - Problemas al incorporar nuevas funcionalidades
 - Dificultades a la hora de actualizar la tecnología o migrar a una nueva plataforma.

Deuda Técnica

Como toda deuda, tarde o temprano, se debe pagar. Con intereses.



The ONLY VALID MEASUREMENT OF CODE QUALITY: WTFs/MINUTE



(c) 2008 Focus Shift

Arquitectura de Sistemas Complejos

Estructura de un Diseño

- Funciones
- Módulos
 - Interfaces internas
 - Interfaces externas
- Antes de un diagrama de HW o SW, es necesario un diagrama modular.
- Antes de un diagrama modular, es necesario una división funcional.
- Si el diseño es bueno, el diagrama modular coincidirá con la división funcional.

Arquitectura Centralizada

- Arquitectura Centralizada:
 - UN centro de control principal.
 - No puede haber otros centros.
 - Todas (o casi todas) las comunicaciones van a ese centro de control.
 - Maneja (casi) toda la información, toma (casi) todas las decisiones.
- Ventajas:
 - Es fácil hacer cambios incrementales pequeños: toda la información ya está presente en el centro principal.
 - La sincronización del sistema es sencilla.
 - Es ideal para sistemas pequeños y prototipos.
- Desventajas:
 - A partir de cierto punto el sistema ya no es escalable.
 - Dificulta el desarrollo en paralelo y la ingeniería concurrente.
 - Pone enormes demandas en el centro de control, lo que requiere usualmente tecnologías más caras y complejas.

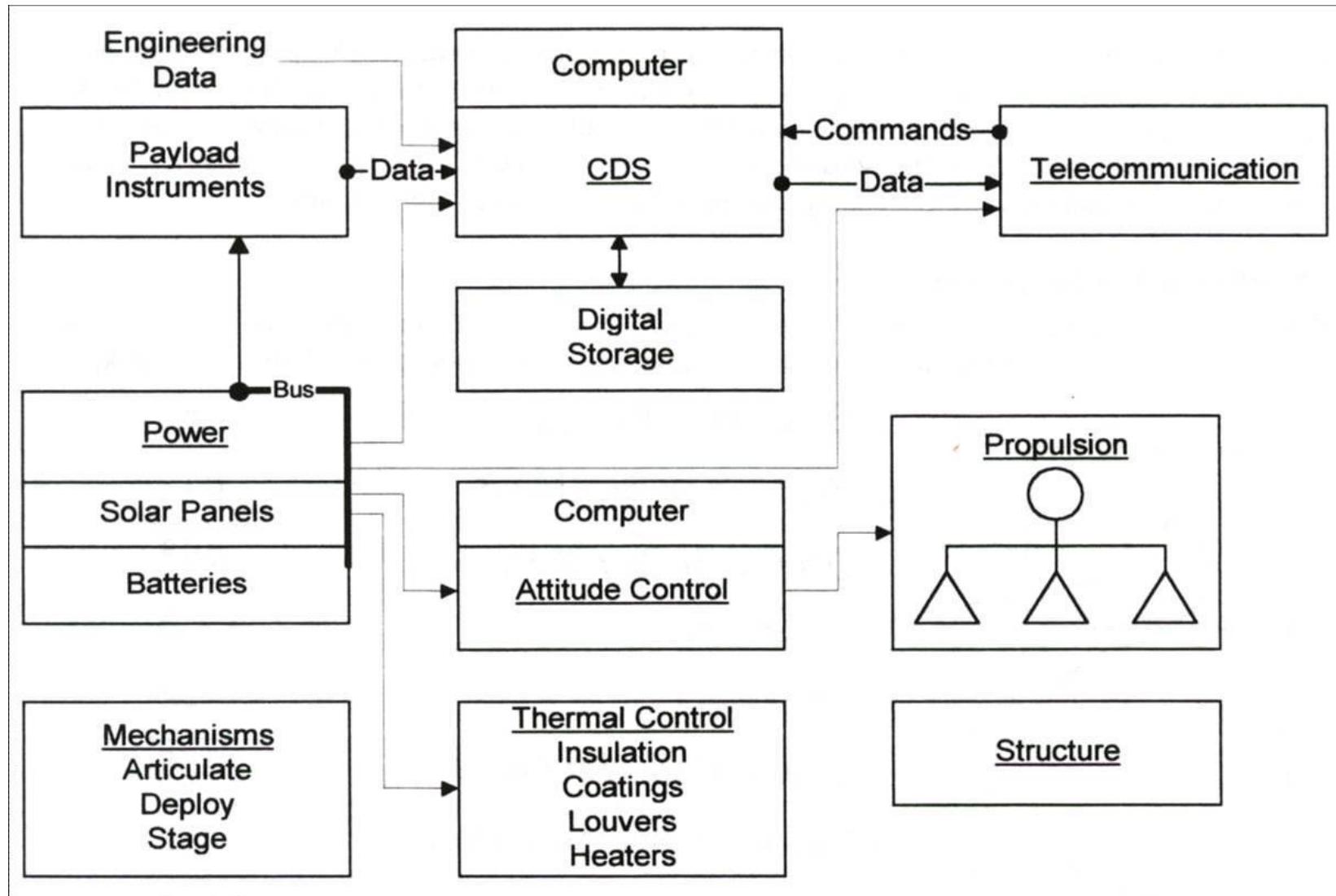
Arquitectura Distribuida

- Arquitectura Distribuida:
 - Sistema totalmente modular.
 - No hay un centro específico para todas las tareas.
 - Puede haber un centro para algunos ítems específicos, pero deben ser de complejidad mínima.
 - Los módulos se comunican entre sí, y nunca vía un tercero.
- Ventajas
 - El sistema es completamente escalable a cualquier tamaño.
 - Es fácil distribuir tareas y realizar desarrollos paralelos.
 - Es la única opción viable para sistemas suficientemente complejos.
- Desventajas
 - La sincronización del sistema puede volverse muy compleja
 - El flujo de información es complejo
 - Si el sistema no está bien planificado desde el principio, los desarrollos incrementales pueden volverse extremadamente difíciles y caros

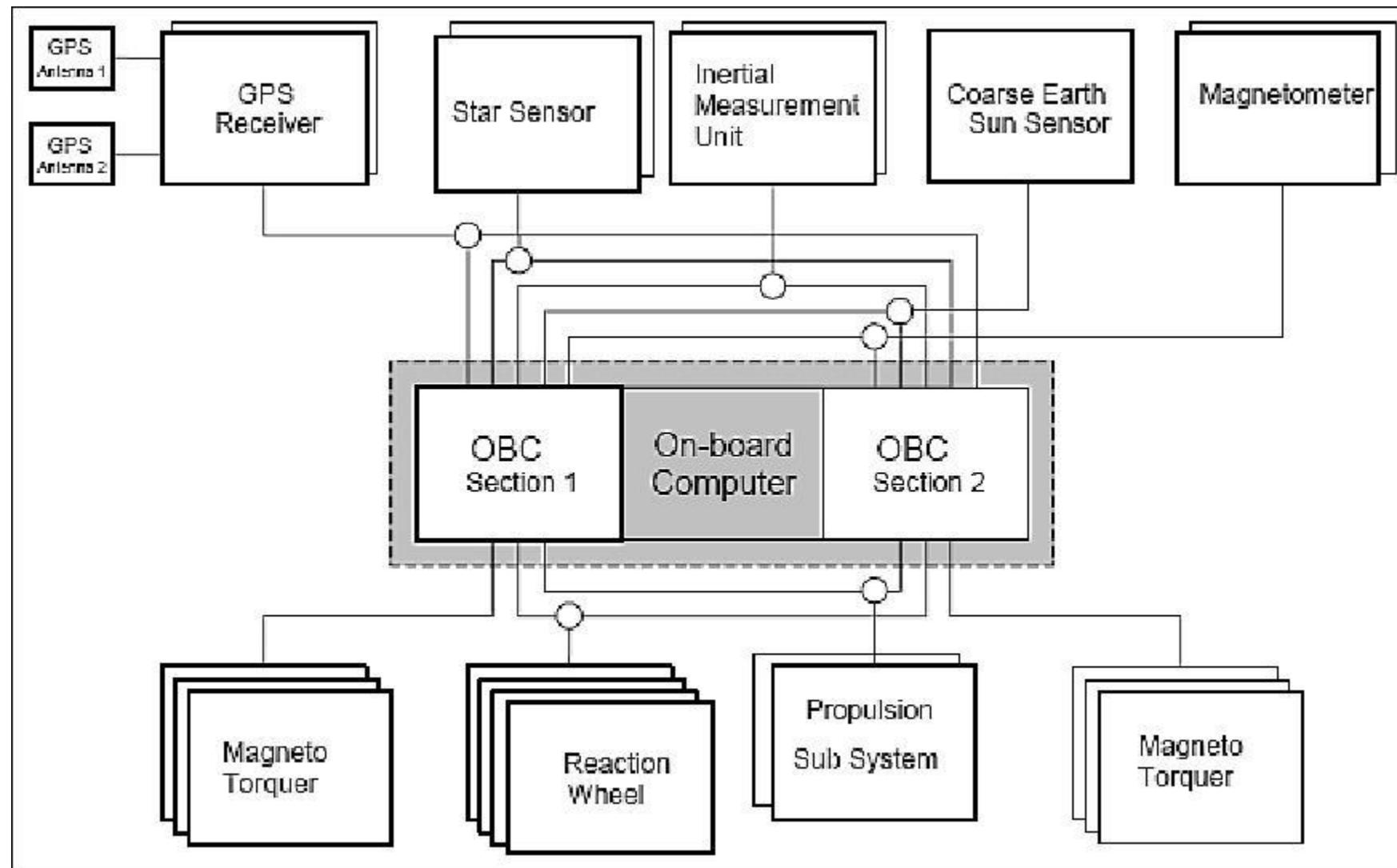
Ejemplo: funciones de un satélite

- Propulsión (despegue, órbita, terminación)
- Sistemas ambientales (para tripulados)
- Telecomunicaciones
- Sistema de alimentación
- Sistema de datos (GPS, telecom, etc)
- Diagnóstico y control general ambiental

Ejemplo: diagrama funcional de un satélite



Ejemplo: diagrama funcional de un satélite

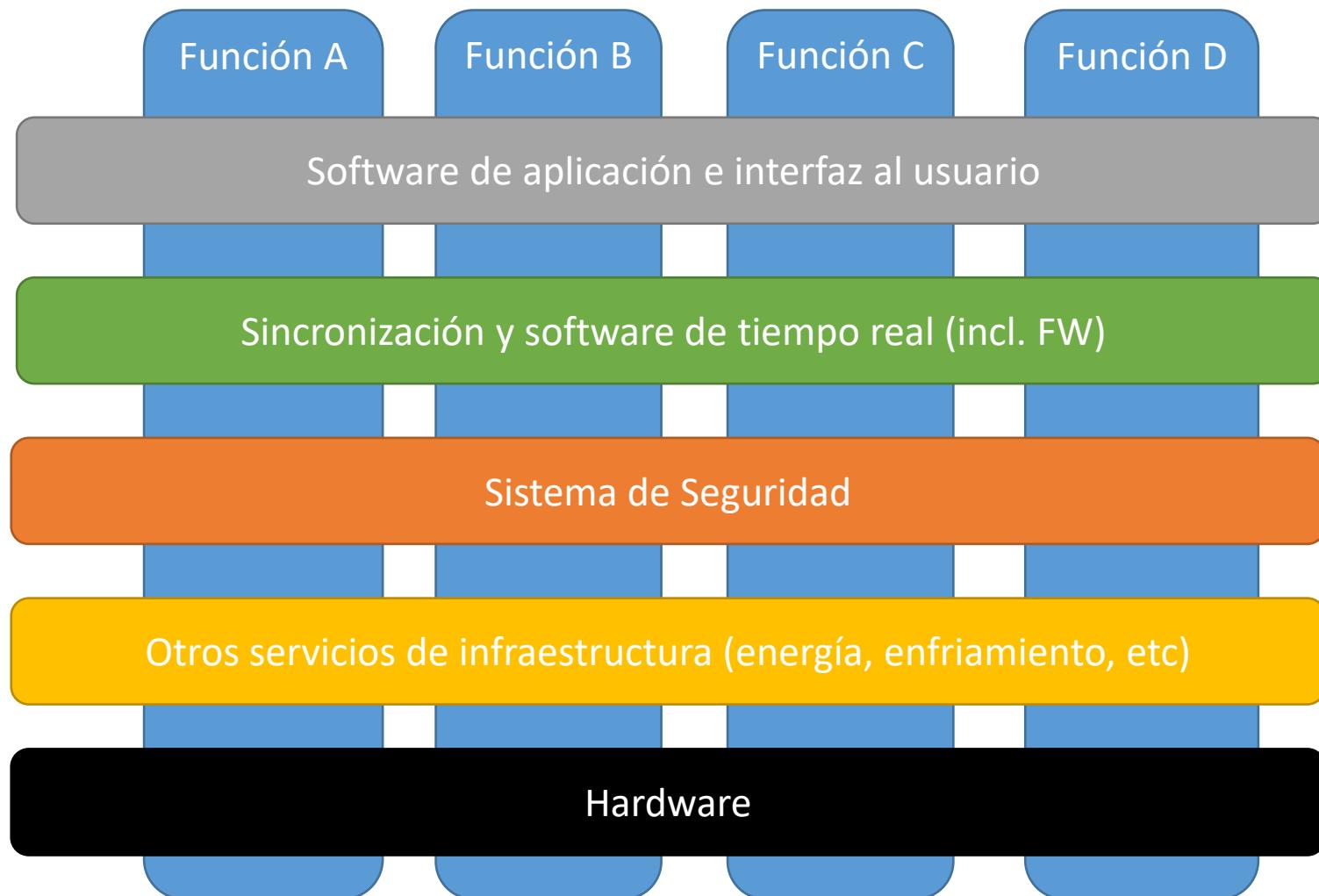


Modularización en sistemas complejos

- Los sistemas complejos se dividen siempre en funciones: control de temperatura, control de movimiento, sistema de comunicación, etc.
- Esas funciones son implementadas mediante módulos.
- La mayoría de los módulos, sin embargo, requiere servicios de infraestructura.
 - Potencia
 - Enfriamiento
 - Sistemas de Seguridad
 - Sistemas de Diagnóstico
 - Interfaces comunes (p.ej. GUI).
 - Etc.
- Esto determina una estructura jerárquica, con módulos funcionales y módulos de infraestructura.
- Esta división garantiza que se utilicen las soluciones adecuadas para los problemas planteados, y no utilizar soluciones más caras y complejas por tener que cumplir requerimientos que aplican a funciones distintas. Ejemplo: redundancia (PLC) y velocidad de procesamiento (FPGA) => PLC muy caro o FPGA con un diseño extremadamente complejo.

Arquitectura de un sistema

Diferencia entre funcionalidad e infraestructura



Ingeniería de Integración y Test

Diseño de Equipos Electrónicos
ITBA

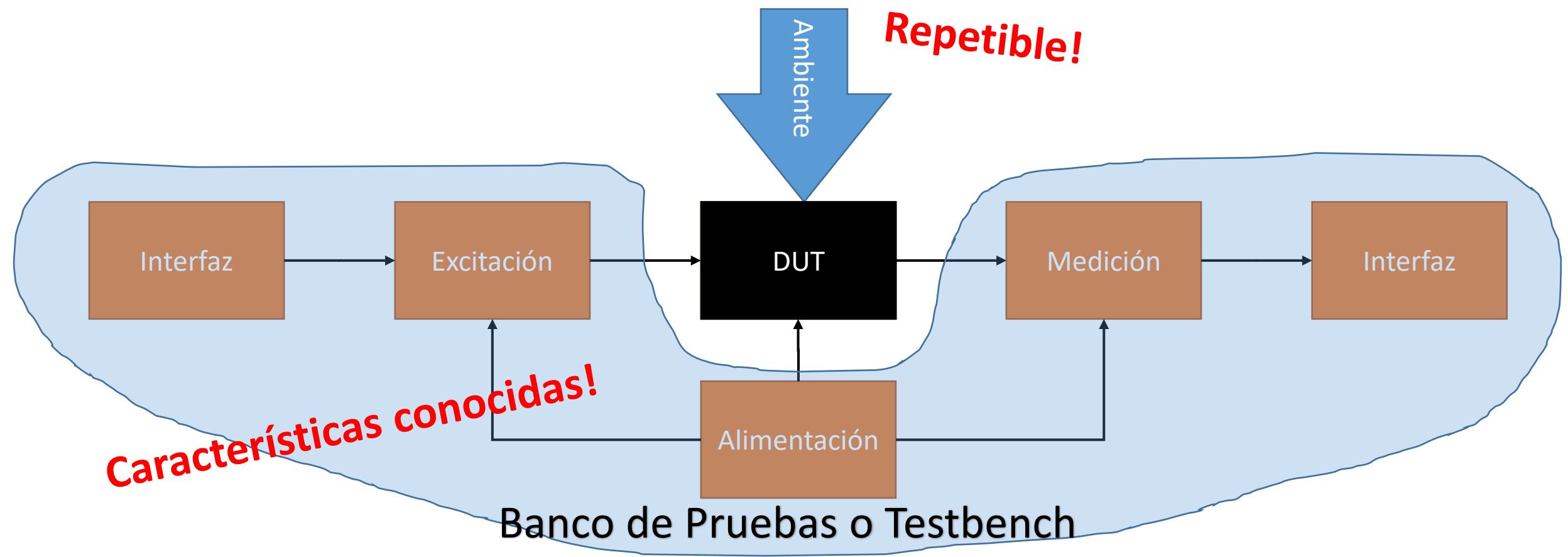
Nicolás Nemirovsky

Prueba y Experimento

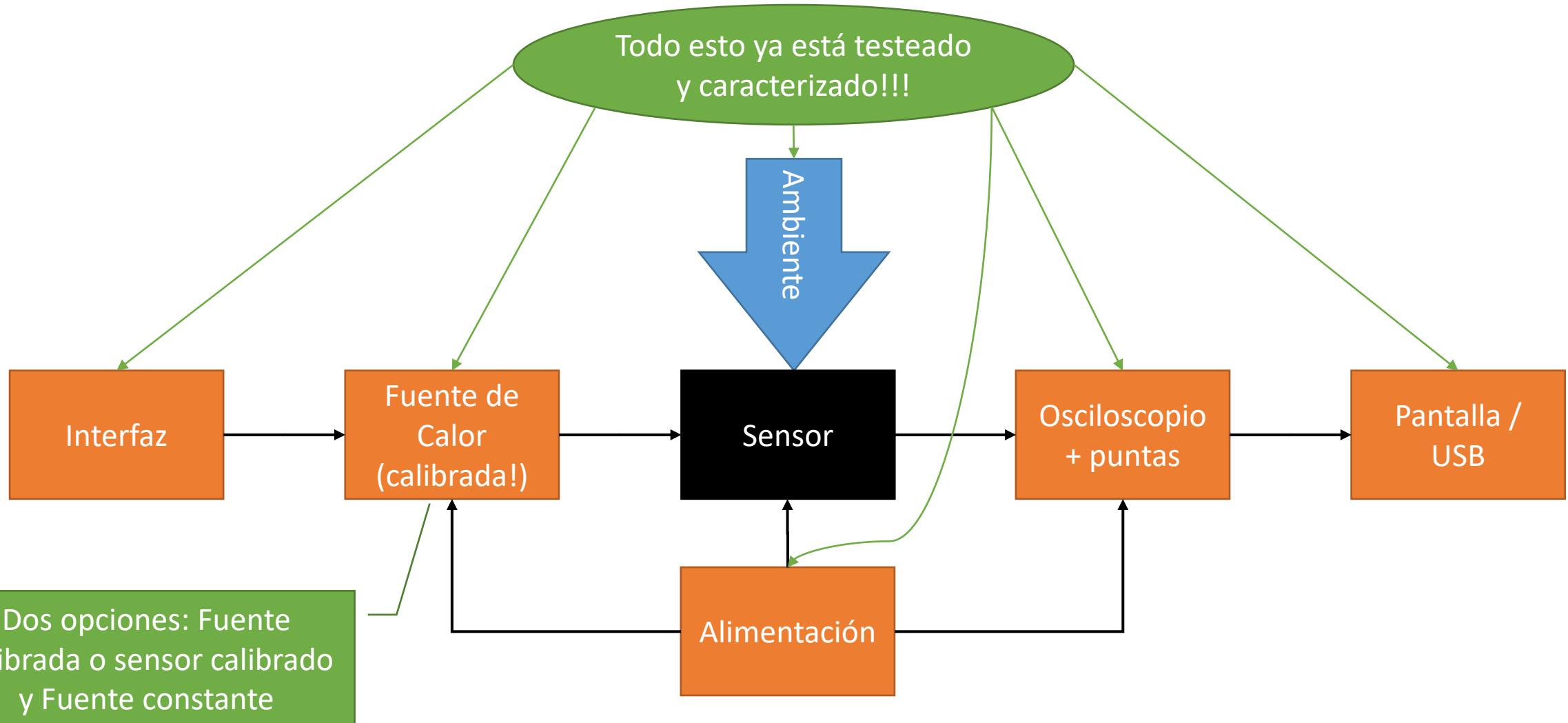
- Un experimento es un procedimiento mediante el cual se trata de soportar, confirmar o refutar una o varias hipótesis relacionadas con un determinado **fenómeno**, mediante la manipulación y el estudio de las correlaciones de las variables que son presumiblemente su causa.
- Una prueba es una operación técnica que consiste en la determinación de una o más características **de un determinado producto, proceso o servicio** de acuerdo con un **procedimiento especificado**.

Definición de una Prueba

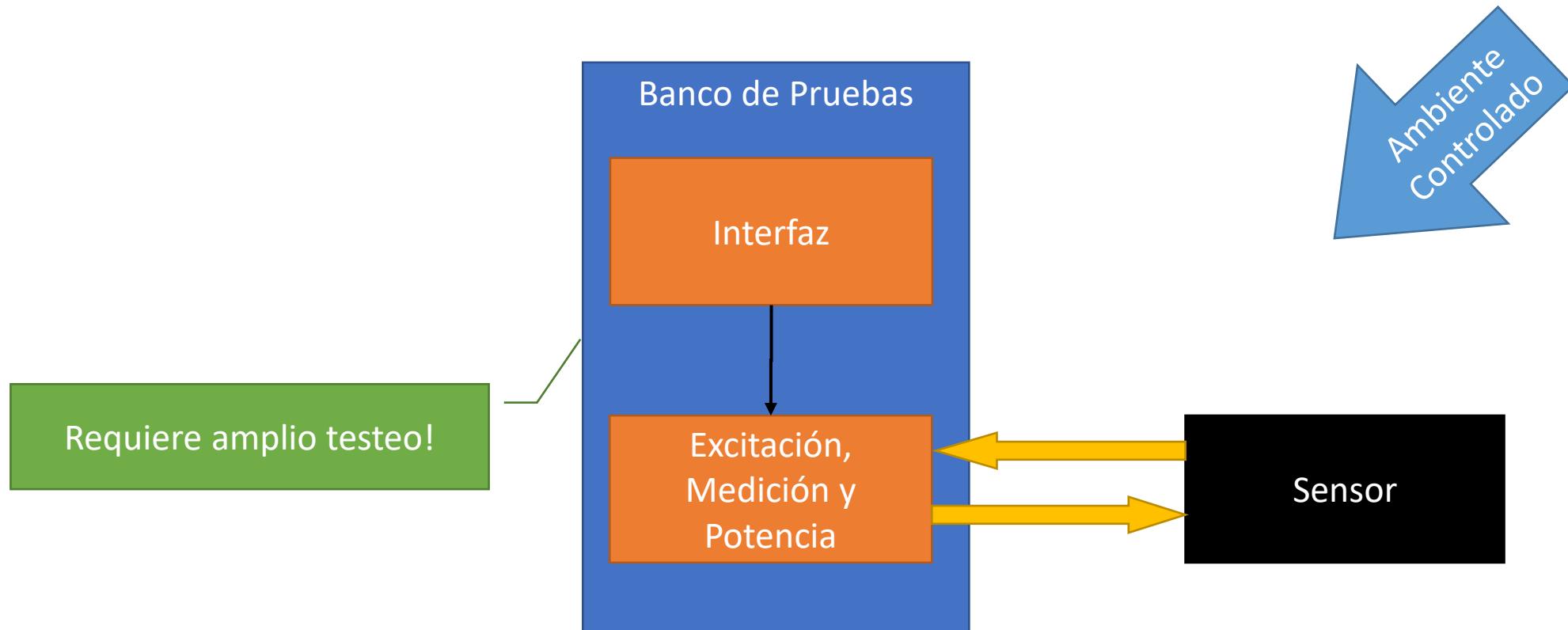
- Device / Unit / Equipment Under Test (DUT / UUT / EUT)



Ejemplo: test para un sensor



Modelo Genérico para tests automatizados

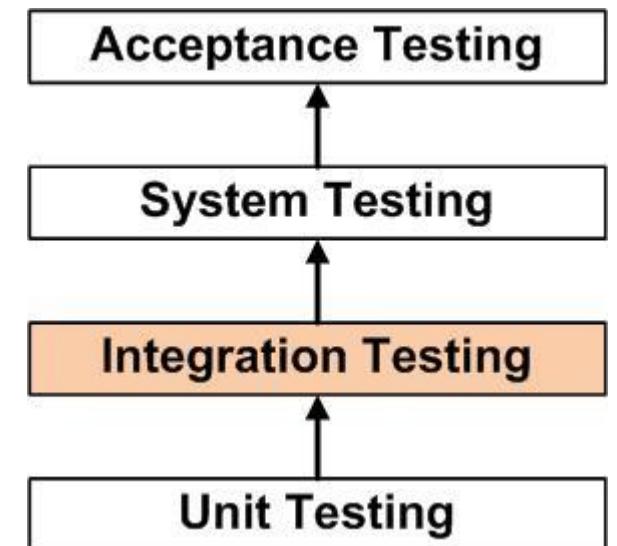


Pruebas a Caja Negra o Caja Blanca

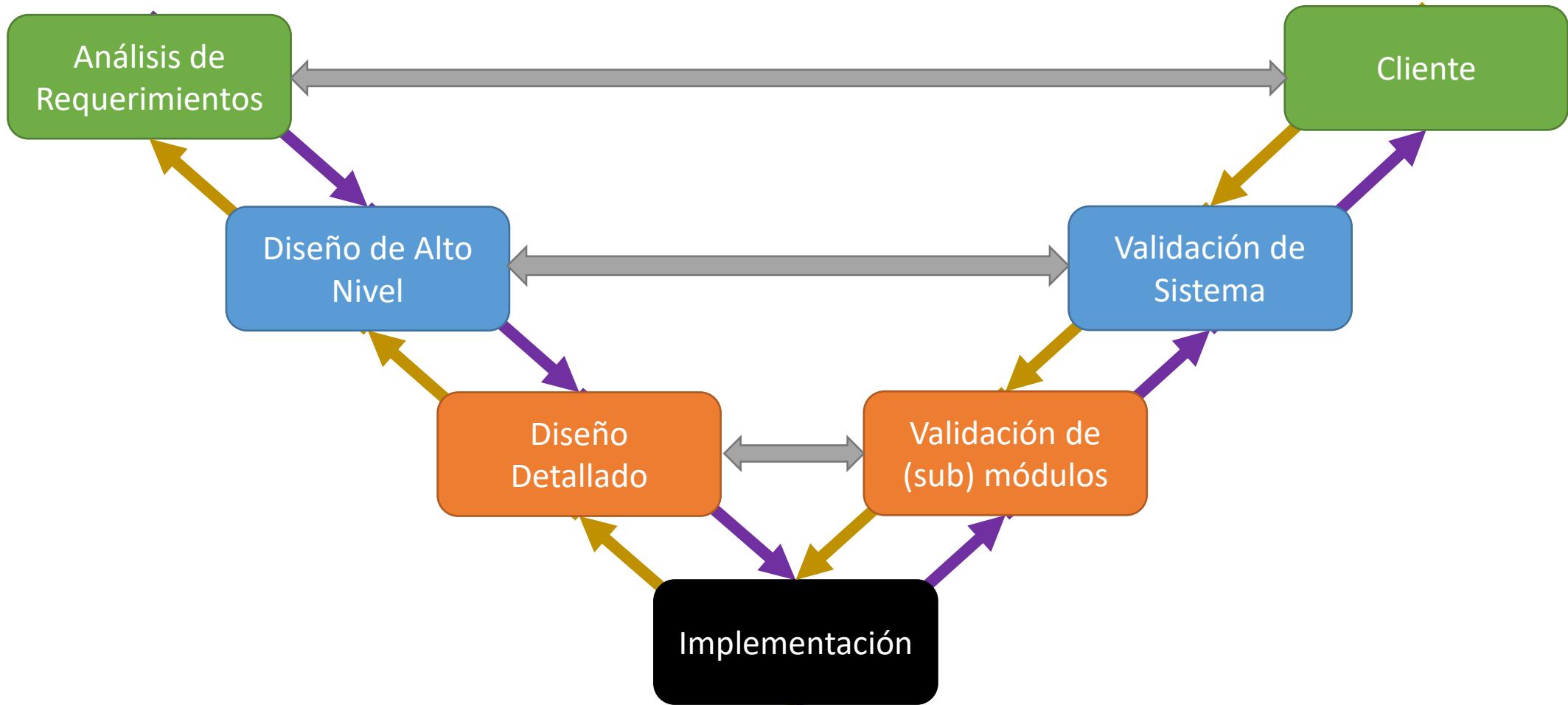
- Una prueba de caja negra se realiza sin mirar el funcionamiento interno del DUT.
 - No se miden nunca variables internas.
 - Durante el test no se realiza ningún análisis de causas.
 - No se requiere conocimiento de la ingeniería de detalle para realizar el test.
 - Se puede basar en el set completo de requerimientos *funcionales*.
- Una prueba de caja blanca (en HW conocido como *in-circuit-testing*) se realizará mirando detalladamente el funcionamiento interno del DUT.
 - Se requiere ver salidas intermedias y realizar un seguimiento paso a paso de las señales.
 - Requiere amplio conocimiento del HW/SW.
 - Este tipo de prueba no verifica que necesariamente se cumplan todos los requerimientos funcionales.

Integración

- Proceso de juntar distintos módulos e ir verificándolos a medida que se unen
- Puede ser
 - Top-Down 😞
 - Bottom-Up 😊
- También llamados
 - Pre-integración
 - Integración de módulo
 - Integración de Sistema



Modelo V



Prueba de (Validación de) Concepto

- Una prueba de concepto es una implementación, a menudo resumida o incompleta, de un método o de una idea, realizada con el propósito de verificar que el concepto o teoría en cuestión puede ser explotada de una manera útil. La Prueba de Concepto se considera habitualmente un paso importante en el proceso de crear un prototipo realmente operativo.

Pruebas de Validación

- Una prueba de validación es aquella que se utiliza para verificar que un módulo, subsistema o sistema cumple con todos los requerimientos / especificaciones de un contrato.
 - Las pruebas de validación sólo deben realizarse una vez para una configuración específica
- Cuando la prueba de validación se realiza sobre un sistema completo se la llama Prueba de Aceptación (Acceptance Test).

Pruebas de Validación

- FAT (Factory Acceptance Test)
 - Es una prueba de validación realizada por el fabricante del producto.
 - Es una prueba completa del producto que mira tanto aspectos funcionales como no funcionales (estéticos, mecanismos de fallas, etc.)
 - Sólo cuando esta prueba está pasada, se puede iniciar la fabricación y enviar el producto al cliente.
- Pruebas de Instalación
 - Si el producto requiere ser instalado en algún lado, estas pruebas verifican para cada paso de instalación que lo permita, que esta se haga en forma correcta.
 - Estas pruebas las realiza el fabricante en donde se instala el producto, y no necesariamente cubren la funcionalidad completa, pero al menos cubren los puntos relevantes donde la instalación puede afectar el desempeño.
 - Ejemplo: sujeción, alineación, EMC, sistemas de seguridad, sensores especiales, etc.

Pruebas de Cliente y Producción

- SAT (Site Acceptance Test)
 - Es una prueba de validación realizada por el cliente.
 - La prueba mira sólo aspectos funcionales y verifica que se cumplan los requerimientos.
 - Incluye cosas que se re-prueban en parte para satisfacer al cliente y en parte porque luego del FAT hubo un traslado y a veces instalación del producto, lo cuál puede afectar la funcionalidad total.
- Pruebas de Manufactura
 - Luego de haberse pasado las FAT y SAT, el producto está validado y listo para entrar en cadena de producción.
 - El proceso de manufactura puede introducir errores o defectos que alteren el sistema. Para evitar enviar productos con fallas se realiza un set de pruebas **limitado** sobre la población que se fabrica, como lo visto en Calidad.
 - Las pruebas de manufactura son formas de asegurar la calidad, no de demostrar la validez de un diseño.
 - Sólo para elementos específicos de seguridad se realizan pruebas en todas las unidades

Pruebas de Seguridad

- Realizadas en todas las unidades cuando hay potencial riesgo eléctrico
 - **Hi-Pot**
 - Verifica la tensión a la cuál el dieléctrico se rompe (por ejemplo entre HV y GND)
 - **Ground bonding**
 - Verifica que el circuito de tierra pueda absorber suficiente corriente.
 - Ejemplo: utilizar 12 V y verificar que circulan 120A o más durante 1 minuto.
 - **Insulation/Leakage**
 - Observa la corriente de pérdidas que hay entre dos conductores que deben estar aislados
 - Parecida a Hi-Pot, sólo que Hi-Pot es destructiva y aquí se verifica un comportamiento visible durante el funcionamiento normal.

Pruebas de Regresión

- Son pruebas que se realizan cuando se cambia un módulo o sub-módulo de un sistema ya validado.
- En un caso ideal, si la nueva versión del módulo (SW o HW) tiene especificaciones iguales o mejores que la anterior *en todo sentido*, pueden evitarse, pero normalmente no es el caso y en desarrollos profesionales se realizan siempre
- No son *necesariamente* un conjunto completo de pruebas de validación, pero sí deben apuntar a re-validar aquellos parámetros que puedan haber cambiado.
- En SW esto se suele implementar en forma de pruebas automáticas
- A veces se utilizan no sólo para verificar funcionalidad, sino para registrar cambios en la calidad de los procesos.

Plan de Integración y Test: Planificación

- A menudo se utiliza un PERT para ilustrar claramente las dependencias de las pruebas.
 - Por ejemplo, la prueba de la fuente de alimentación debería ir siempre antes que las pruebas de performance de aquello que alimenta la fuente.
 - Si no se respeta un orden inteligente, las pruebas deberán ser mucho más exigentes. Ejemplo: si se prueba primero un sensor y luego la fuente, se deberá demostrar que la fuente del equipo es *idéntica* en todos los factores relevantes a la fuente utilizada para probar el sensor

Plan de Integración y Test

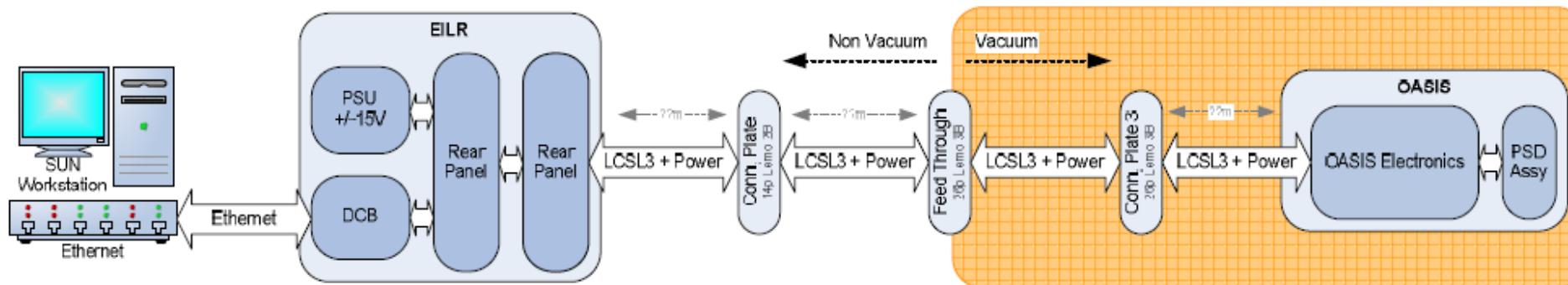
- Un plan de pruebas siempre incluye una descripción completa de:
 - Banco de Pruebas
 - Puede ser sólo instrumentación, en cuyo caso deberá tener información respecto del error, resolución, precisión, etc. necesario, así como también las interfaces necesarias para ser utilizado con el DUT.
 - En caso que se requiera algún desarrollo especial para realizar un test, este deberá también estar descripto aquí.
 - Si se requiere que el DUT esté funcionando en algún modo especial de prueba, esto también se menciona aquí.
 - Setup
 - Además del HW y SW necesario para realizar un determinado set de pruebas, se debe describir los accesorios, facilidades y entorno que debe haber para realizar dichas pruebas. Esto incluye pero no está limitado a:
 - Temperatura y humedad ambiente
 - Conexiones a red de línea
 - Cables (con largos y conectores definidos)
 - Etc.

Ejemplo de Descripción de Banco de Pruebas

- Nota: esto es sólo esquemático. La descripción completa incluye muchos más detalles!

3.2.3 TESTRIG

To be able to test the “complete” OASIS system, including SW, before installing into the illuminator a TestRig is used. This TestRig consists of all the electrical parts of the complete OASIS system as it will be implemented in the NXE 3300, including the interconnections (feedthrough and connection plate). This setup will be used for the Pre- and Module Integration phase.



Plan de Integración y Test

- Al conjunto de condiciones necesarias para realizar una prueba se las llama “pre-condiciones”. Estas pueden incluir:
 - Partes que deben estar ya validadas.
 - Estado del equipo para realizar el test (enchufado, prendido, cargado, en funcionamiento, en temperatura, etc.)
 - Estado del banco de pruebas.
 - Etc.
- Las condiciones en las que todo el equipo debe quedar luego de terminada la prueba se las llama “post-condiciones”. Estas pueden incluir:
 - Conclusiones del resultado de la prueba (módulo validado o descripción del problema).
 - Estado en el que el equipo debe quedar al realizar el test (esto involucra acciones descriptas en otra parte del test).
 - Estado del banco de pruebas.
 - Etc.

Plan de Integración y Test

- Cada prueba que se realice debe tener indicados:
 - **ID:** Esto permite realizar luego informes concisos de los resultados de las pruebas así como proveer de trazabilidad hacia la formulación de los requerimientos. Si se habla de validación, cada requerimiento deberá tener una verificación que puede ser por inspección visual, documentación de diseño, simulación o prueba.
 - Requerimientos que se están probando (si es el caso) u objetivos (puede estar separado en una matriz de trazabilidad).
 - **Entorno de pruebas / Banco de pruebas** (alcanza con una referencia a un banco de pruebas ya definido, por ejemplo, “*Banco 1 [ver sección 4.2]*”)
 - **Procedimiento** (instrucciones)
 - Esto deberá tener indicaciones claras para que cualquier persona pueda realizarlo. No se da nunca por sobrentendido que un instrumento debe tener una configuración específica. La configuración deberá estar ya indicada aquí. El procedimiento deberá ser, en ese sentido, inequívoco. Incluye, de ser necesario, verificaciones intermedias (p.ej., “*verificar que se prende el LED de encendido*”)
 - **Criterios de aceptación**
 - Se deberá definir antes de la prueba cuáles son los resultados esperados y qué se considera una prueba aprobada o rechazada. Estos criterios siempre se definen antes de realizar la prueba.
 - **Precondiciones y postcondiciones**

Ejemplo de descripción de Prueba

Test ID	Sensor – 01
Objective	Make sure that the test-bench can read the temperature sensors with sufficient accuracy
Test Environment	Testbench 1
Preconditions	See 3.1
Procedure	<ol style="list-style-type: none">1. Connect, power-up and initialize the system. Connect all the sensors according to Fig 4.5.2. Wait for 20 minutes so that the temperature around the temperature sensors reaches steady-state.3. Read the value of the sensors with the test-bench and record them in attached file.
Pass Criteria	The test is passed if the value of the temperature read by the test-bench differs from the golden standard by no more than 0.5°C
Postconditions	See 3.7
Comments	None

Ejemplo de descripción de Prueba

BFSR Internal 24V DC Power supply Output				
Test ID.	Description	Procedure	Criterion	OK / NOK
3.27	When Switched on, The Power led on the power supply should light up.	Look if the Power led of the PSU is lit	Led is on	OK/NOK
3.28	Verify if the output voltage is: 26VDC 26,5VDC	Check with a multimeter on X21; A1: 24V_Us, A2: 24V_Up, A3: GND, A4: GND	Voltage is between 26V and 26.5VVolt
3.29	Measure with scope 24VDC during: power up, power on and power off behavior	Measure with scope on 24VDC rail.	Rising slope, no dips	OK/NOK
3.30		Connect BTS MK2 E-assies + input simtool		
3.31	Verify if the output voltage is: 26VDC 26,5VDC	Measure Us and Up on X11 with multimeter and scope.	Voltage is between 26V and 26.5V	Us =V Up =V
3.32	X11 Us and Up is fused with 1.9A, currents to BTS MK2 hardware must be < 1.9A	Measure currents Is and Ip with multimeter and scope.	Is < 1.9A Ip < 1.9A	Is =A Ip =A
3.33		Connect APERTURES simtool		
3.34	Verify if the output voltage is: 26VDC - 5% 26,5VDC + 5%	Measure Us and Up on X... with multimeter and scope.	Voltage is between 24.7V and 27,82V	
3.35	X11 Us and Up is fused with 1.9A, currents to BTS MK2 hardware must be < 1.9A	Measure currents Is and Ip with multimeter and scope.	Ip < 1.9A Is < 1.9A	
3.36		Connect FFA-OP simtool		
3.37	Verify if the output voltage is: 26VDC - 5% 26,5VDC + 5%	Measure Us and Up on X... with multimeter and scope.	Voltage is between 24.7V and 27,82V	
3.38	X11 Us and Up is fused with 1.9A, currents to BTS MK2 hardware must be < 1.9A	Measure currents Is and Ip with multimeter and scope.	Ip < 1.9A Is < 1.9A	
3.39		Connect FFA-FU simtool		
3.40	Verify if the output voltage is: 26VDC - 5% 26,5VDC + 5%	Measure Us and Up on X... with multimeter and scope.	Voltage is between 24.7V and 27,82V	
3.41	X11 Us and Up is fused with 1.9A, currents to BTS MK2 hardware must be < 1.9A	Measure currents Is and Ip with multimeter and scope.	Ip < 1.9A Is < 1.9A	

Diseño para “testabilidad” (DFT)

- Implica dejar herramientas embebidas en el propio diseño sólo para poder realizar tests.
- En HW, puede referirse a dejar LEDs o pines que reaccionen con ciertas señales de prueba
- En SW implica que puede haber un modo de prueba que permite utilizar el dispositivo de una forma distinta a la requerida por el usuario y que permite acceder a parámetros de configuración interna u otras herramientas que permitan evaluar o diagnosticar el dispositivo.

Build-In Self Test (BIST)

- Es un procedimiento que se realiza internamente en muchos dispositivos electrónicos durante el cuál se chequea el estado del sistema, previo a habilitar la funcionalidad al usuario.
- Permite registrar problemas antes de que el usuario utilice el dispositivo (el usuario a menudo no genera reportes 100% confiables para el diagnóstico de fallas), y de encontrarse una falla peligrosa, previene la introducción de peligros en el sistema (ejemplo: detección de altas temperaturas).

Matriz de Trazabilidad

- En manufactura, se utiliza para tener un seguimiento de cada unidad.
- En diseño, se utiliza desde la formulación de los requerimientos, hasta el fin de la validación.
 - Cada fila comienza en la primera columna con un requerimiento.
 - La segunda columna, las especificaciones de diseño (según ID) que cumplen ese requerimiento
 - Luego, los objetivos de diseño.
 - Finalmente, van las pruebas de validación y la especificación de producto.
 - La matriz de trazabilidad en diseño permite verificar que todos los requerimientos se cumplan, y sirve para mantener unida toda la documentación del diseño.

Matriz de Trazabilidad

Requerimiento	Especificación Diseño	Objetivo Diseño	Test ID	Resultado Test	Especificación Producto
Req. POW01	ED POW01	ED POW01	Test POW01	OK	EP POW01
“Debe alimentarse de la pared”	Alimentación: 220 VAC + 10% -20%; 49.9- 50.1 Hz [ver doc reqs]	Alimentación 220 VAC +15% - 25% 49-51 Hz” [ver doc diseño]	Alimentar con 250VAC; 170 VAC; 49.5 – 50.5 Hz [ver doc test]	OK OK OK [ver doc test]	Soporta 220 +10% -20% 49.9-50.1 Hz [ver datasheet]
Req. SEN01	ED SEN01,02,03,etc	ED SEN01,02,03,etc	Test SEN01,02,03,etc	OK	EP SEN01
“Debe medir temperatura con 1°C de precisión”	Sensor: 0.02°C Amp: 0.02°C A/D: 0.005°C Ruido:0.5°C Total: 0.95°C [ver doc reqs]	Sensor: 0.01°C Amp: 0.01°C A/D: 0.002°C Ruido:0.4°C Total:0.422°C [ver doc diseño]	S: 0.012°C +/- 10% A: 0.002°C +/- 10% A/D: 0.002°C R: 0.3°C +/-10% Total:0.2846-0.3474 [ver doc test]	0.0132°C 0.0022°C 0.002°C 0.33°C Total: 0.3474°C [ver doc test]	0.5°C [ver datasheet]

Matriz de Trazabilidad

Requerimiento	Especificación Diseño	Objetivo Diseño	Test ID	Resultado Test	Especificación Producto
Req. POW01	ED POW01	ED POW01	Test POW01	OK	EP POW01
Req. SEN01	ED SEN01	ED SEN01	Test SEN01	OK	EP SEN01
	ED SEN02	ED SEN02	Test SEN02	OK	
	ED SEN03	ED SEN03	Test SEN03	OK	
Etc...					

CASA DE CALIDAD

Diseño de ingeniería se vincula con:

la concepción de sistemas, equipos, componentes o procesos con el fin de satisfacer una ***necesidad***,

y concluye con la ***documentación*** que define la forma de dar solución a dicha necesidad.

En las *normas ISO* el *proyecto de ingeniería* es definido como :

“Un *proceso único* consistente en un *conjunto de actividades coordinadas y controladas*,

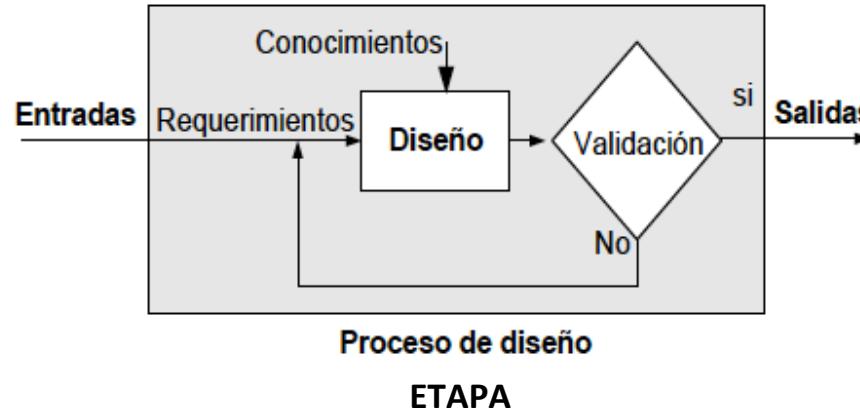
con *fechas establecidas de inicio y finalización*,

desarrolladas con el fin de alcanzar un *objetivo* para conformar *requerimientos específicos*,

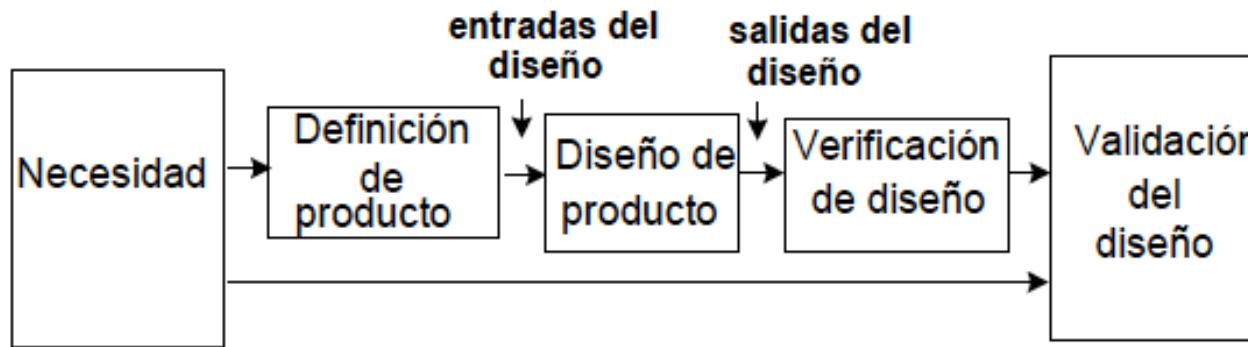
incluyendo *restricciones de tiempo, costo y recursos*”

En general el proceso de diseño tendrá muchas entradas y a lo sumo dos salidas:
la documentación y un prototipo.

La documentación es la salida del diseño **más importante**.



Al final de cada paso/etapa del diseño se debe comprobar que los *objetivos parciales* comprometidos en esa etapa han sido logrados



Una vez completado el diseño, se realiza una *verificación* del diseño en su totalidad para comprobar que satisface los *requerimientos* establecidos en las entradas.

Pasada la verificación, sigue el proceso de *validación del diseño*, cuya finalidad es comprobar que el producto satisface la *necesidad* para la que es propuesto

Las salidas deben resultar de un proceso de optimización del diseño, buscando simplificar, mejorar, innovar, reducir desperdicios, etc. valiéndose de herramientas específicas tales como:

- Despliegue de la Función de Calidad (QFD), como base para fijar criterios y metas para el producto y el propio desarrollo
- Análisis de los modos de falla (FMEAs) de los elementos seleccionados, buscando hallar sus causas y efectos, con el fin de definir y eliminar posibles modos de falla críticos
- Análisis del árbol de fallas (FTA), método usado para identificar los elementos causantes de posibles fallas críticas
- Diseño de experimentos (DOE), como medio de lograr un mayor conocimiento y optimizar el diseño y los procesos de manufactura
- Análisis de ingeniería del valor (VE), para evitar que las soluciones incluyan elementos innecesarios
- Análisis de tolerancias(DOT), para obtener altos rendimientos de producción
- Análisis de costo/desempeño/riesgo

QFD

El despliegue de la función de calidad es comúnmente conocido con el acrónimo inglés QFD (Quality Function Deployment). En 1966, Yoji Akao introdujo la idea de que el aseguramiento de la calidad contemplara como punto crítico, además de la fabricación, el diseño. Sin embargo el primer libro (en japonés) sobre este método no se publica hasta 1978, siendo traducido al inglés en 1994.

El Dr. Mizuno define el QFD como: “el despliegue paso a paso con el mayor detalle de las funciones que conforman sistemáticamente la calidad, con procedimientos objetivos, más que subjetivos” (Akao, 1993).

Con la acepción actual del término Calidad, como satisfacción de las necesidades y expectativas del cliente, la calidad de diseño, entendida como las características que ha de poseer un producto para satisfacer las necesidades y expectativas del cliente, adquiere una dimensión especialmente significativa.

La importancia del diseño es, por tanto, fundamental para el éxito. Este diseño debe traducir las demandas, expresadas y latentes del cliente, a las especificaciones del producto/servicio.

Así que ya no basta con producir de acuerdo a las especificaciones, sino que éstas han de partir del conocimiento sobre qué demanda el cliente e integrar demandas, necesidades y expectativas desde la fase de diseño de un producto o un servicio (Mizuno y Akao, 1994).

Son tres los objetivos que persigue el QFD:

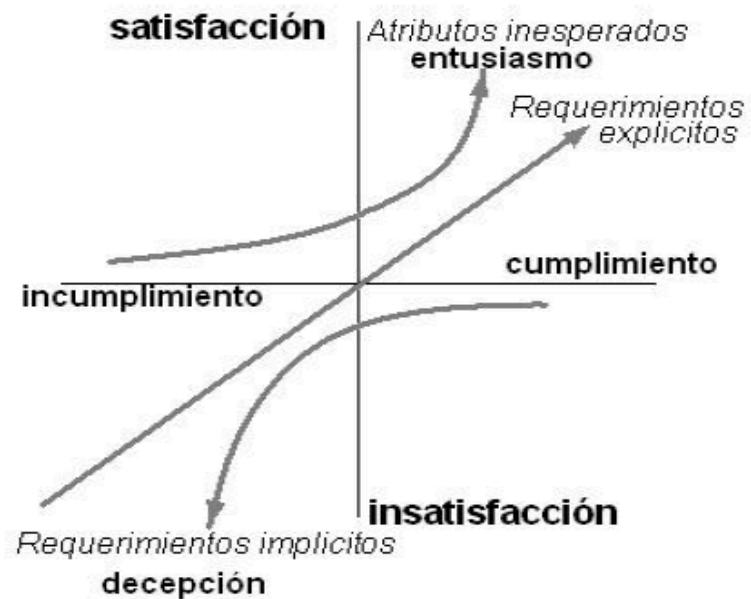
- Dar prioridad a las necesidades expresadas y latentes de los clientes con respecto a un producto.
- Traducir esas necesidades en términos de características y especificaciones técnicas.
- Diseñar, producir y entregar un producto o servicio de calidad, centrándose en la satisfacción de los clientes.

En definitiva, el Despliegue de la Función de Calidad es un método que integra las necesidades del cliente en el diseño mediante su conversión en características de calidad, a través del despliegue sistemático de las relaciones entre necesidades y características.

Modelo de Kano

Para ponderar según la visión del cliente las características del producto deben considerarse, siguiendo el modelo propuesto por Kano, tres tipos de atributos:

- los explícitamente formulados
- los implícitos y normalmente esperados por el cliente.
Considerados obvios.
- Los impensados y desconocidos por el usuario, pero cuya disponibilidad le entusiasmará.



Despliegue de la función de calidad (QFD)

La meta final de cualquier diseño es la satisfacción del cliente.

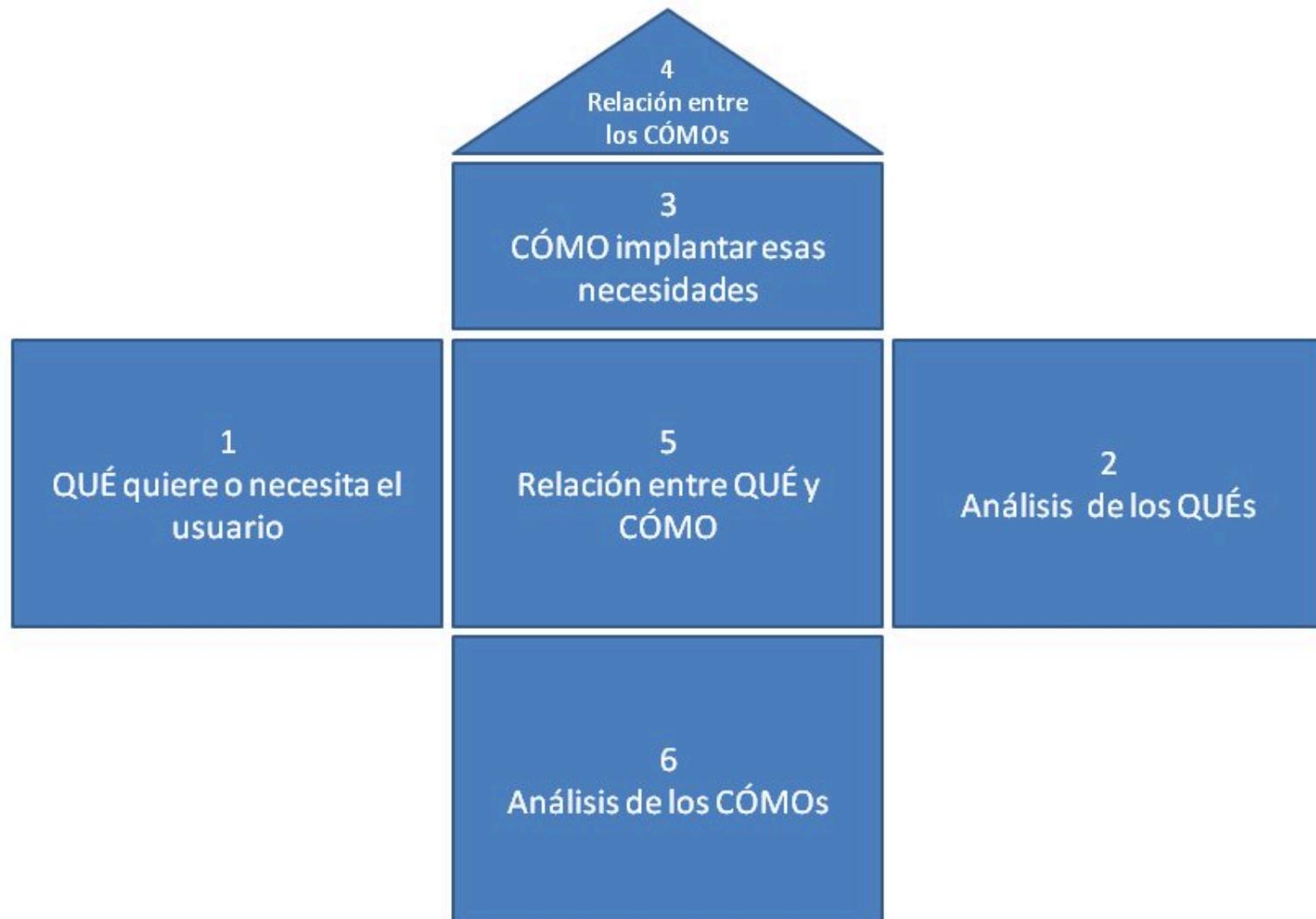
Por ello, una de las tareas más importantes es conocer y considerar desde el comienzo del desarrollo quien va a ser el usuario, cuáles son sus expectativas y con qué productos se debe competir...y relacionar esto con las características para el diseño.

A este fin se han propuesto diversas herramientas QFD, siendo la ***casa de calidad*** una de las más importantes surgidas en los últimos años.

La Casa de Calidad como herramienta permite:

- evaluar el ***producto*** bajo la percepción del usuario
- realizar un análisis comparativo con respecto a la ***competencia*** bajo la óptica del usuario
- realizar análisis de ***competitividad*** basado en las características técnicas
- evaluar las ***dificultades*** para alcanzar las metas
- establecer el ***compromiso*** de los distintos sectores internos de la empresa en el logro de las metas del producto
- establecer la ***interrelación*** entre las características

Casa de calidad



Ejemplo: Mejoras de Control de Proyector

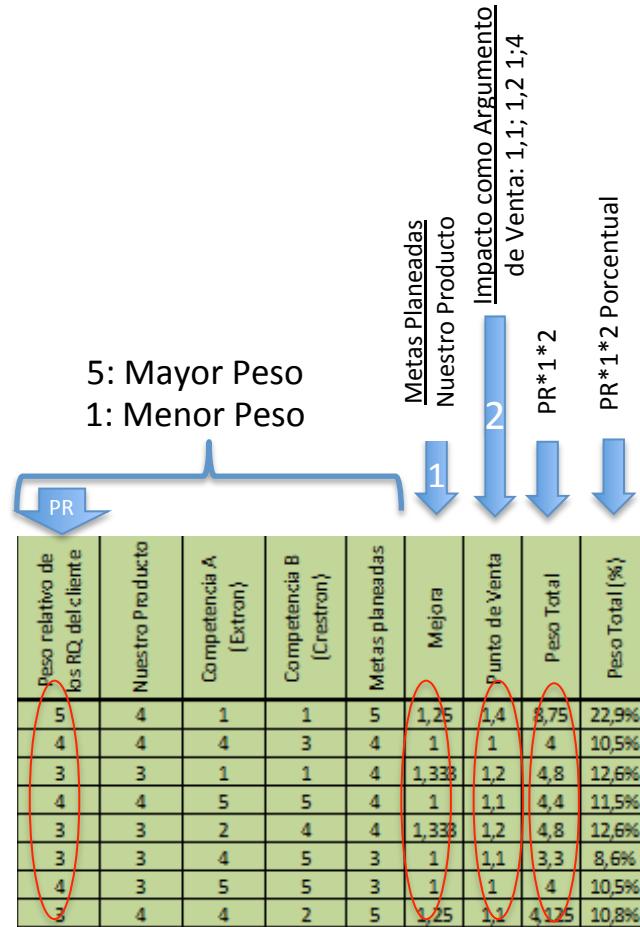
Requerimientos del Cliente
Bajo precio
Facilidad de uso
Seguridad
Comodidad
Versatilidad
Prestaciones
Confiabilidad
Facilidad de instalación

Qué



Requerimientos del Cliente							
Bajo precio							
Facilidad de uso							
Seguridad							
Comodidad							
Versatilidad							
Prestaciones							
Confiabilidad							
Facilidad de instalación							

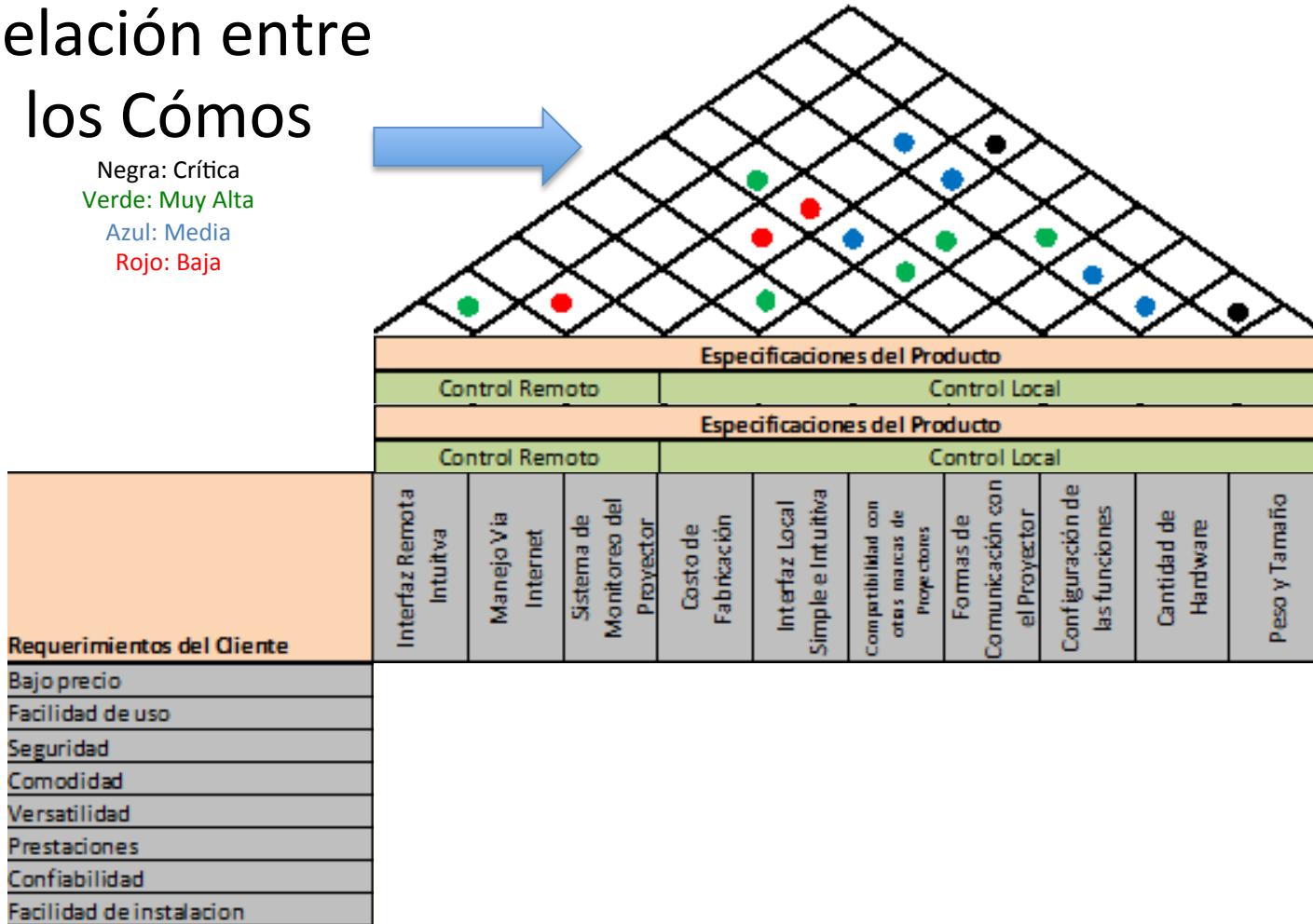
Análisis de los Qué

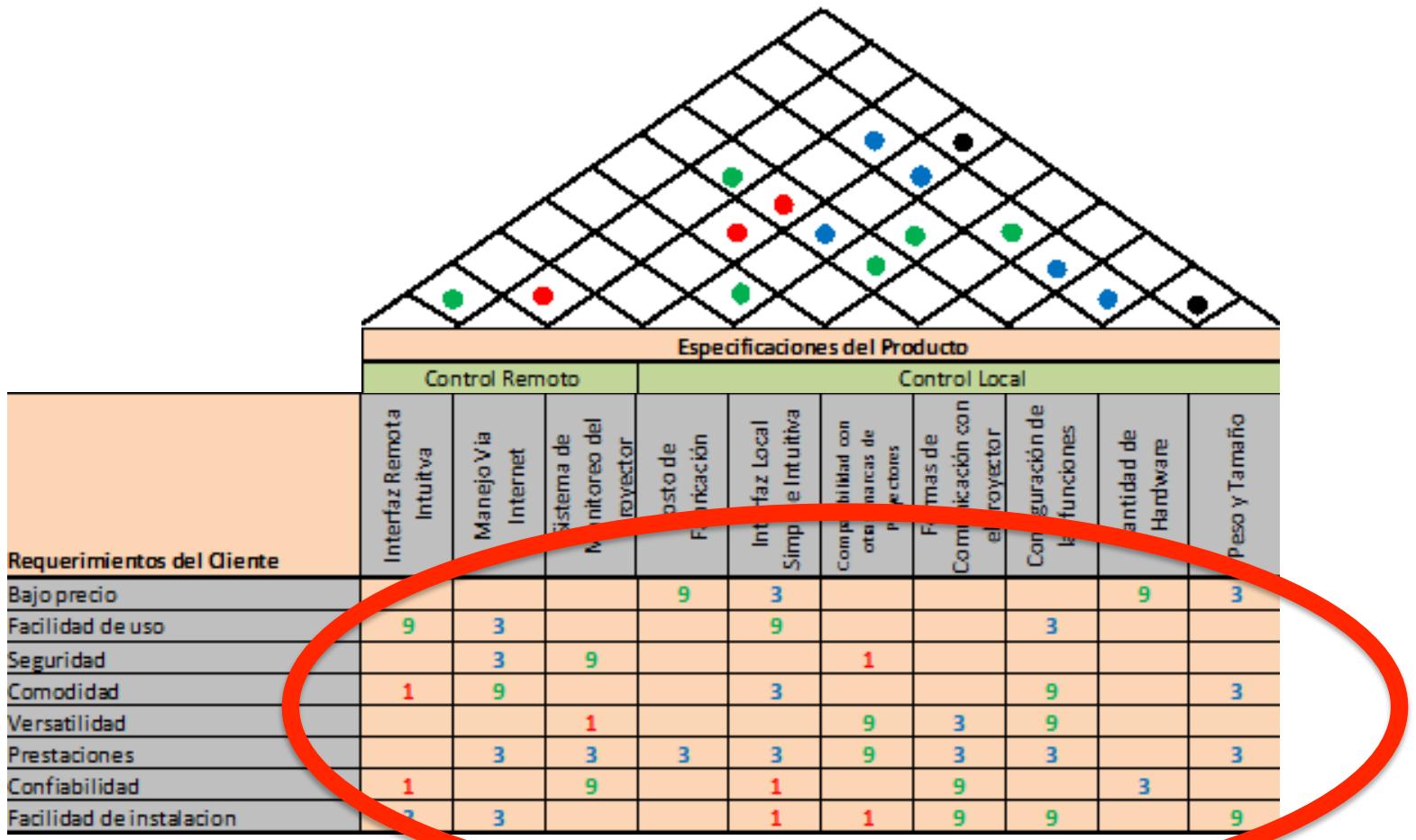


Cómo responder a las necesidades

Relación entre los Cómicos

Negra: Crítica
Verde: Muy Alta
Azul: Media
Rojo: Baja



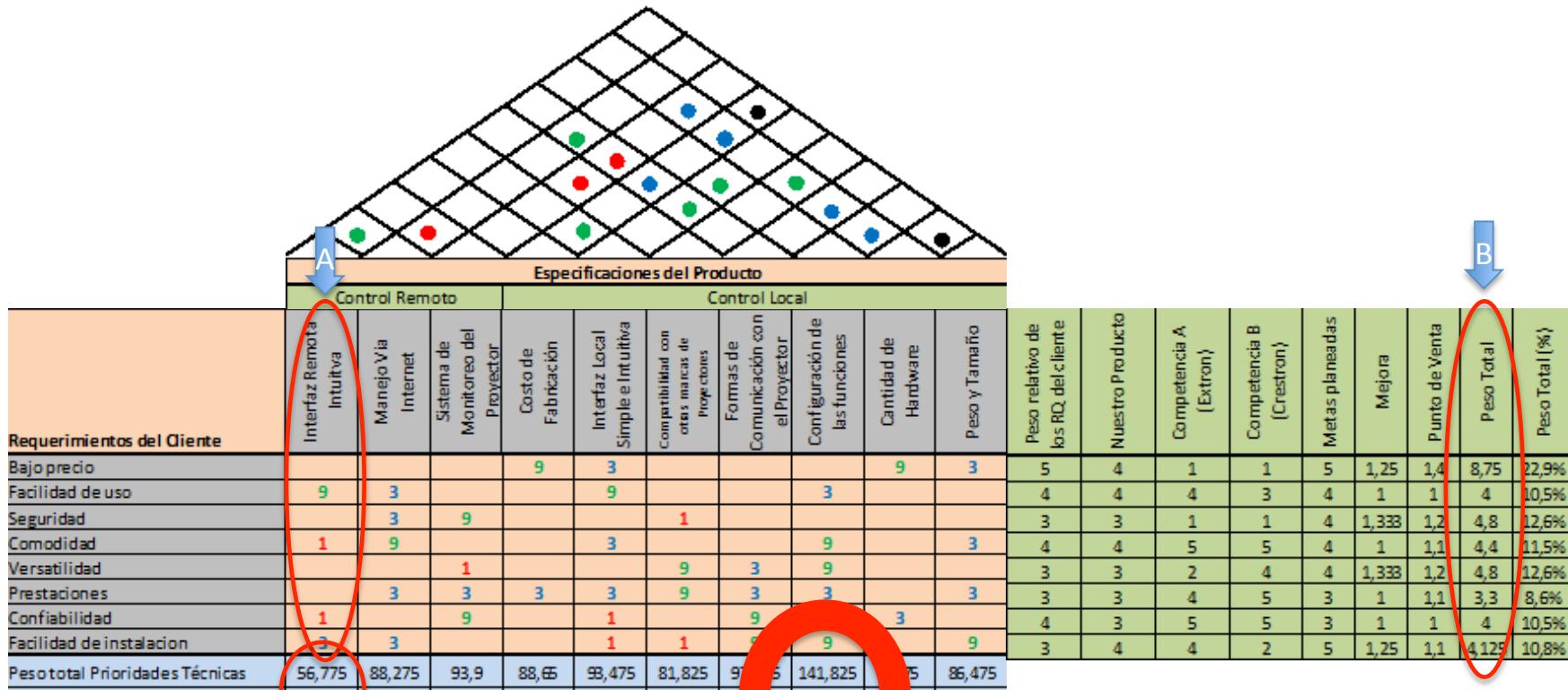


9: Máximo Peso

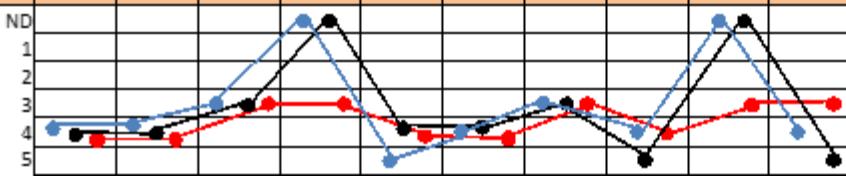
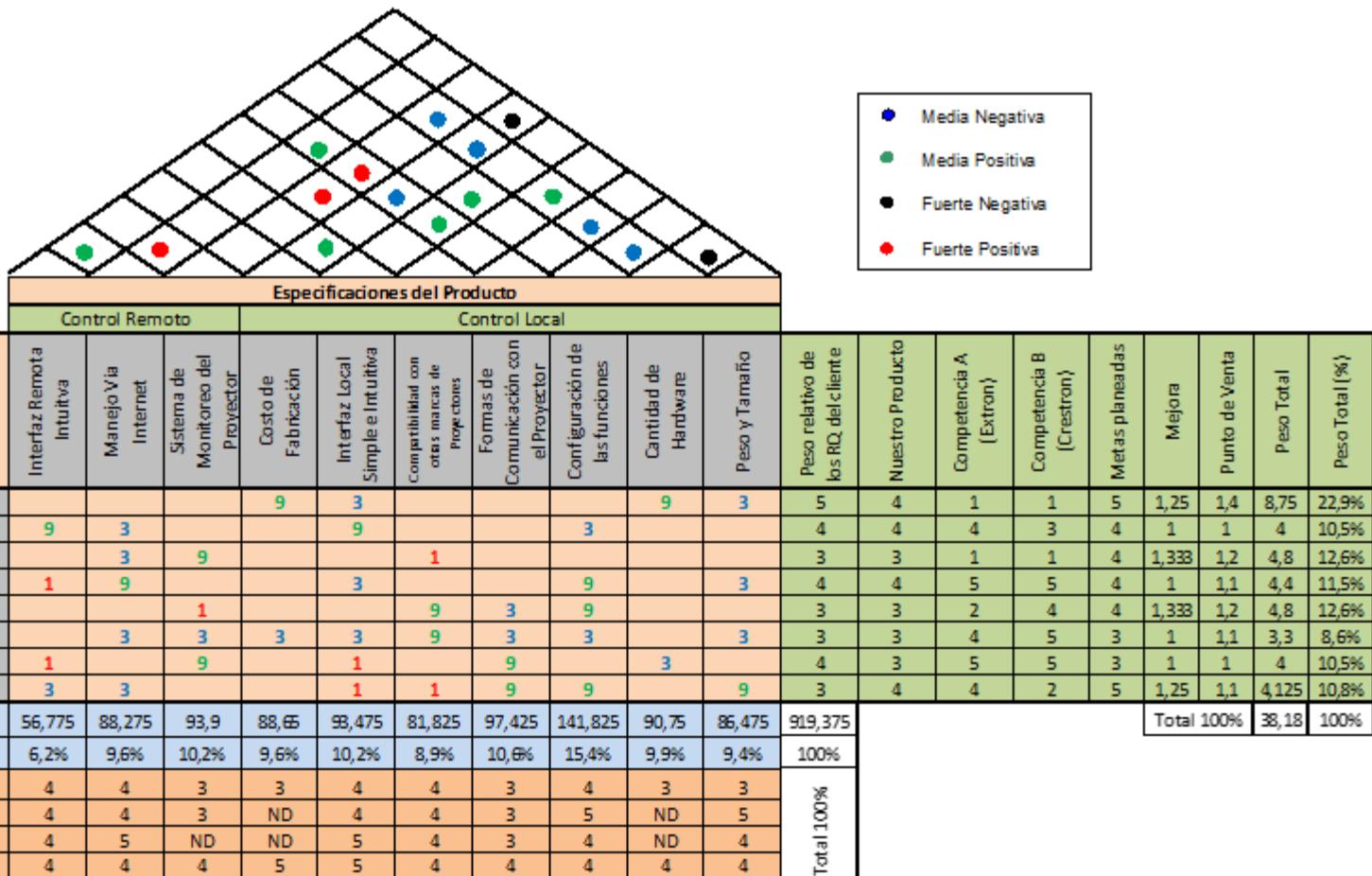
3: Mediano Peso

1: Mínimo Peso

Relación entre
Qués y Cósitos



Análisis de los Cómos
Peso Prioridades Técnicas
 $(\Sigma A.B)$

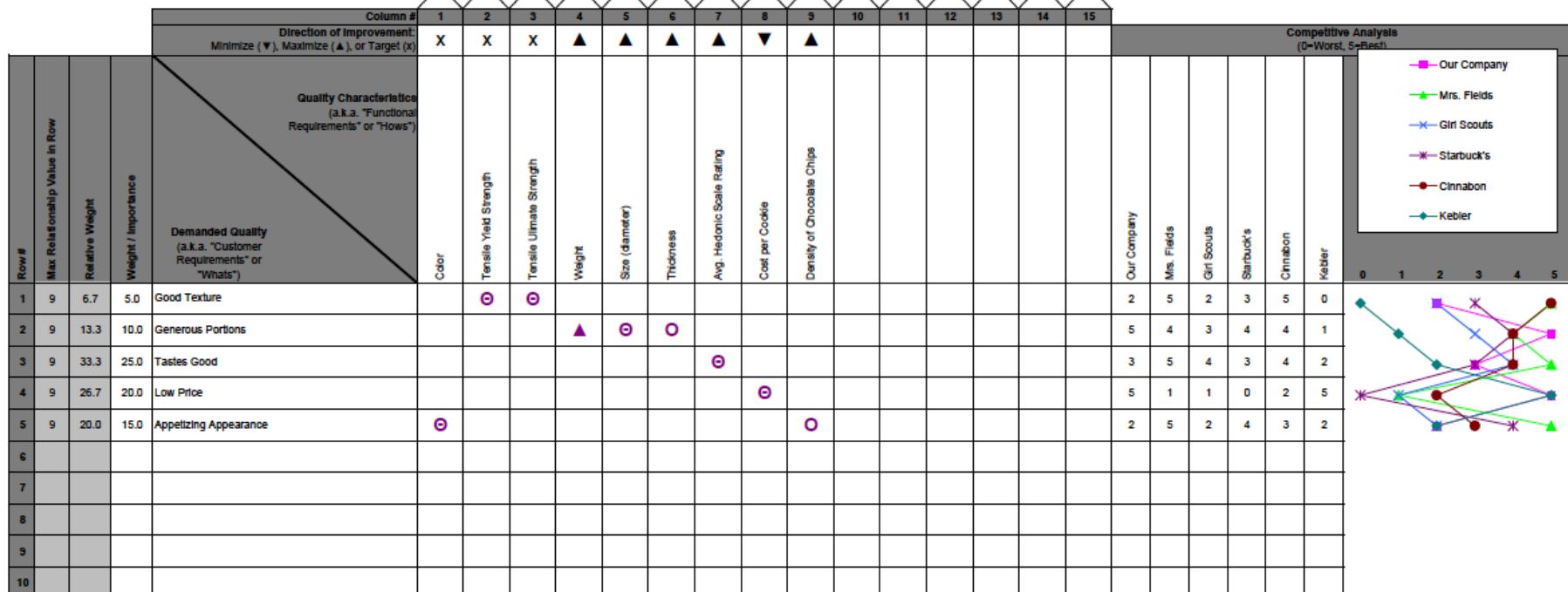


Análisis
Comparativo de
Características
Técnicas

Title: Chocolate Chip Cookies - Customer Req's vs Functional Req's
 Author: John Doe
 Date: 5/15/2008
 Notes: The quality characteristic "Weight" in column #4 may not be a valuable requirement. Its "Max Relationship Value In Column" is only a 1.

Otro Modelo: Chocolate Chip Cookies

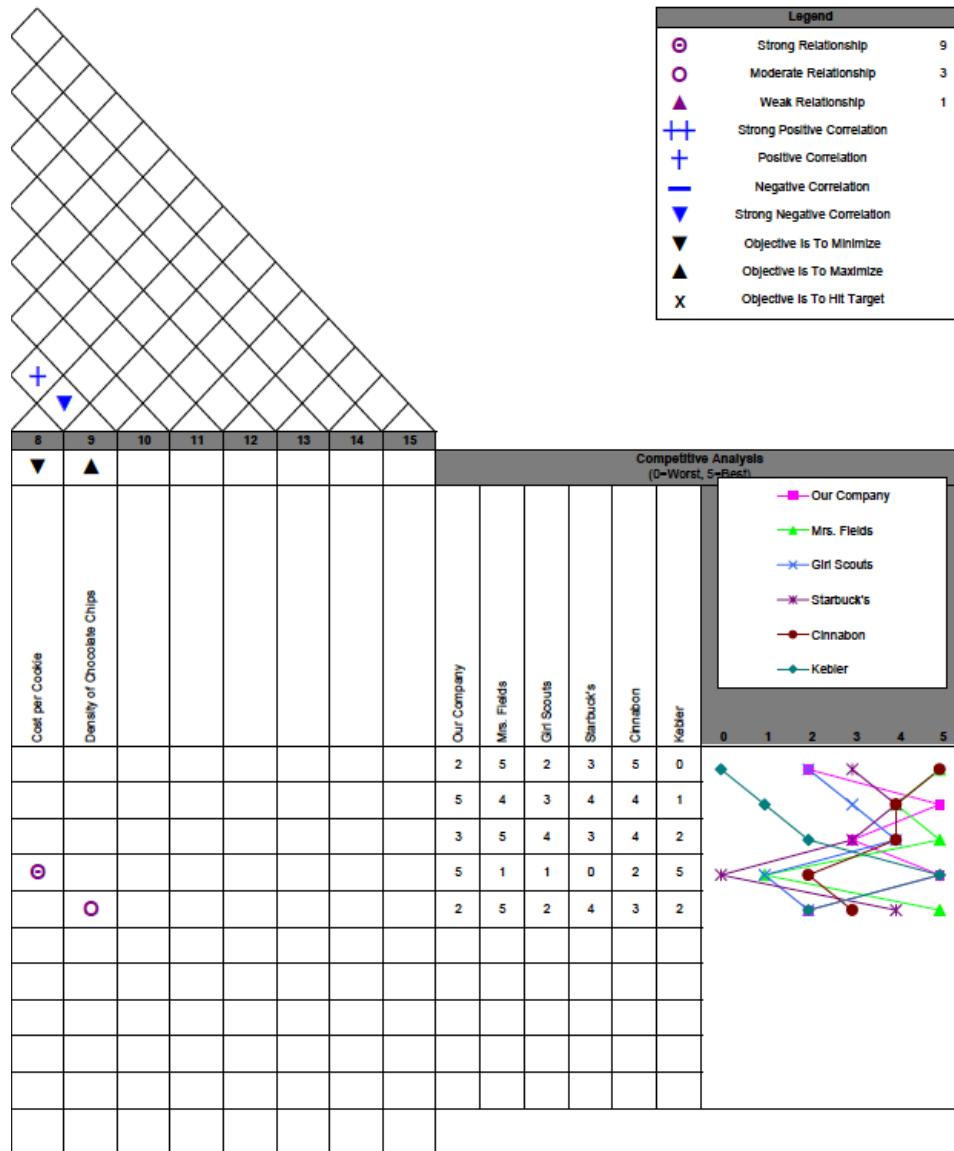
Legend	
◎	Strong Relationship 9
○	Moderate Relationship 3
▲	Weak Relationship 1
✚	Strong Positive Correlation
+	Positive Correlation
—	Negative Correlation
▼	Strong Negative Correlation
▼	Objective Is To Minimize
▲	Objective Is To Maximize
X	Objective Is To Hit Target



Target or Limit Value														
Difficulty (0=Easy to Accomplish, 10=Extremely Difficult)														
Max Relationship Value In Column														
#FFC125 (Hexadecimal RGB)	.01 MPa	.02 MPa	2 oz.	5 "	0.3"	\$1	5 psi							
5	7	5	2	3	5	8	7 (100+ Sample Size)	6	3					
9	9	9	1	9	3	9	9	9	3					
180.0	60.0	60.0	13.3	120.0	40.0	300.0	240.0	60.0						
16.8	5.6	5.6	1.2	11.2	3.7	28.0	22.4	5.6						

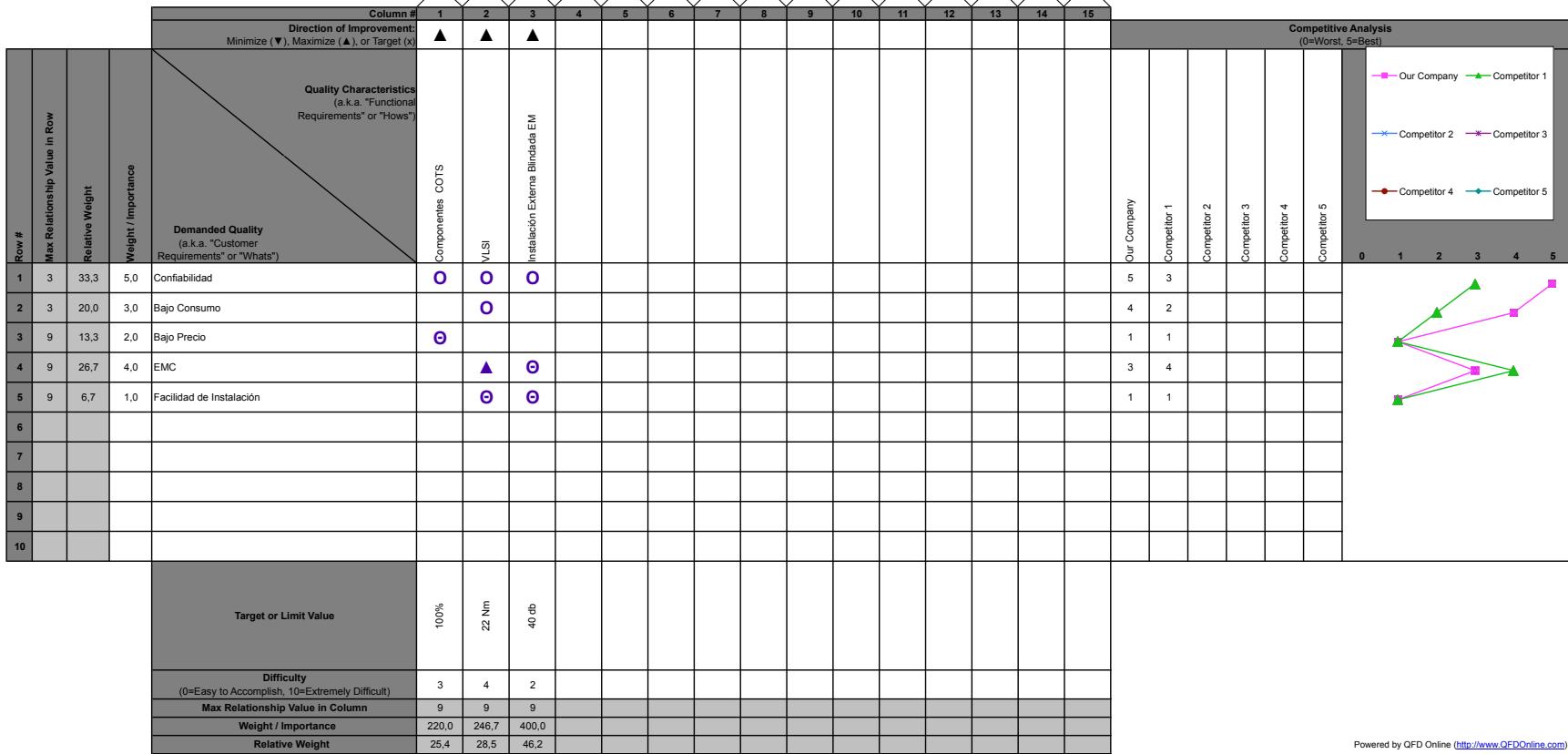
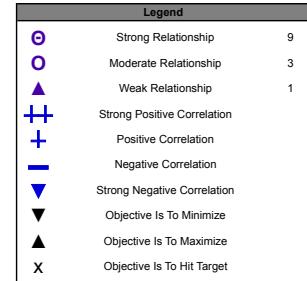
+

			Column #	1	2	3
	Direction of Improvement: Minimize (▼), Maximize (▲), or Target (x)					
	Quality Characteristics (a.k.a. "Functional Requirements" or "Hows")					
	Demanded Quality (a.k.a. "Customer Requirements" or "Whats")					
Row #	Max Relationship Value in Row	Relative Weight	Weight / Importance			
1	9	6.7	5.0	Good Texture		
2	9	13.3	10.0	Generous Portions		
3	9	33.3	25.0	Tastes Good		
4	9	26.7	20.0	Low Price		
5	9	20.0	15.0	Appetizing Appearance	○	○
6						
7						
8						
9						
10						
	Target or Limit Value					
	#FFC125 (Hexadecimal RGB)					
	Difficulty (0=Easy to Accomplish, 10=Extremely Difficult)					
	Max Relationship Value in Column					
	Weight / Importance					
	Relative Weight					

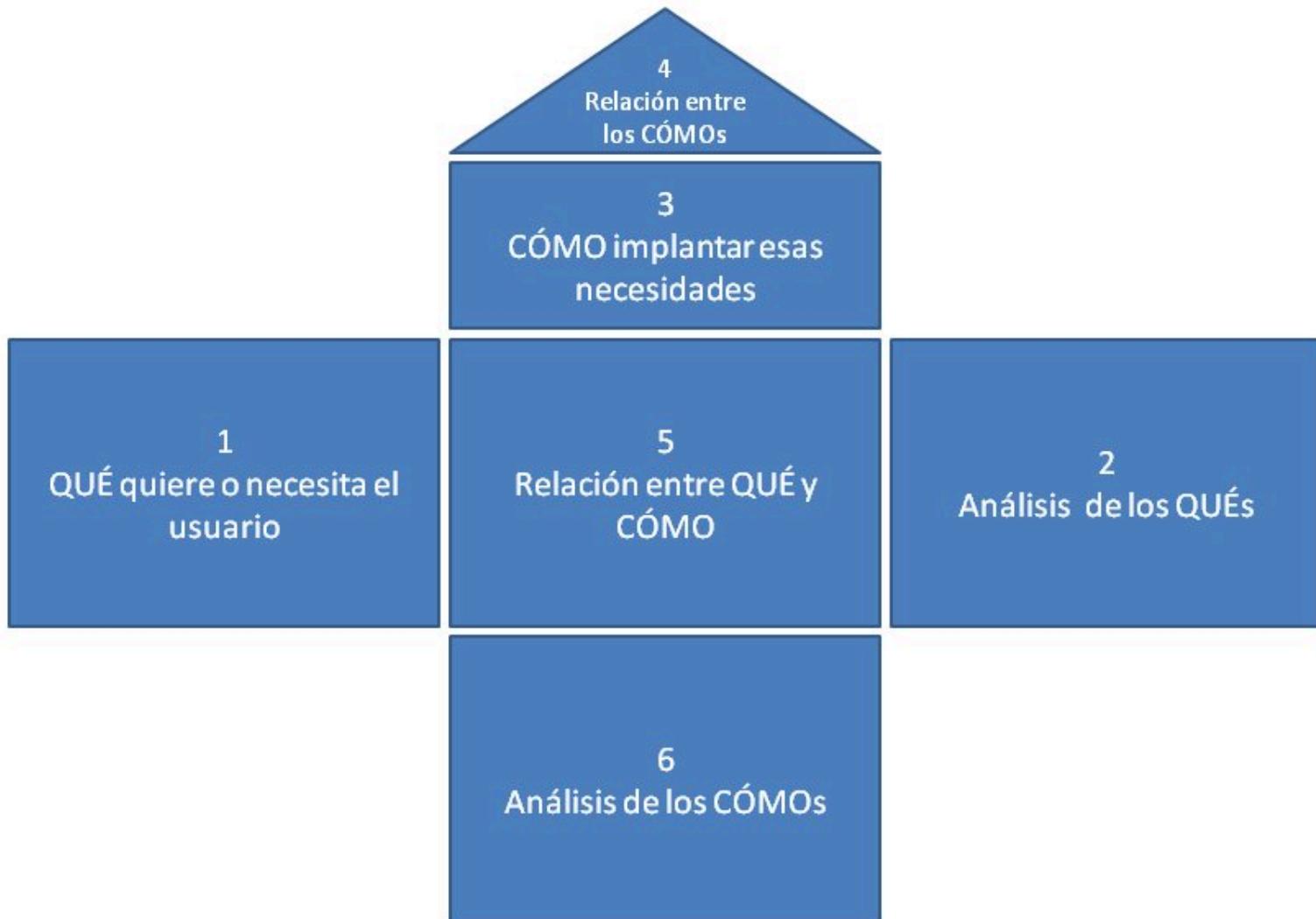


Nuestro Transformador 24 a 12 V

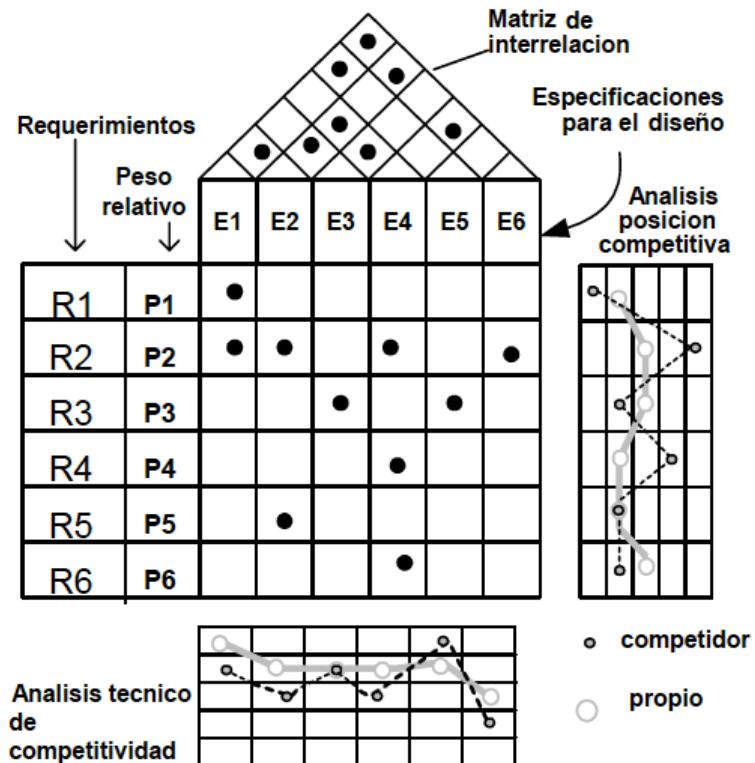
Title: Transformador 24/12 V para radio de vehículo
 Author: _____
 Date: _____
 Notes: _____



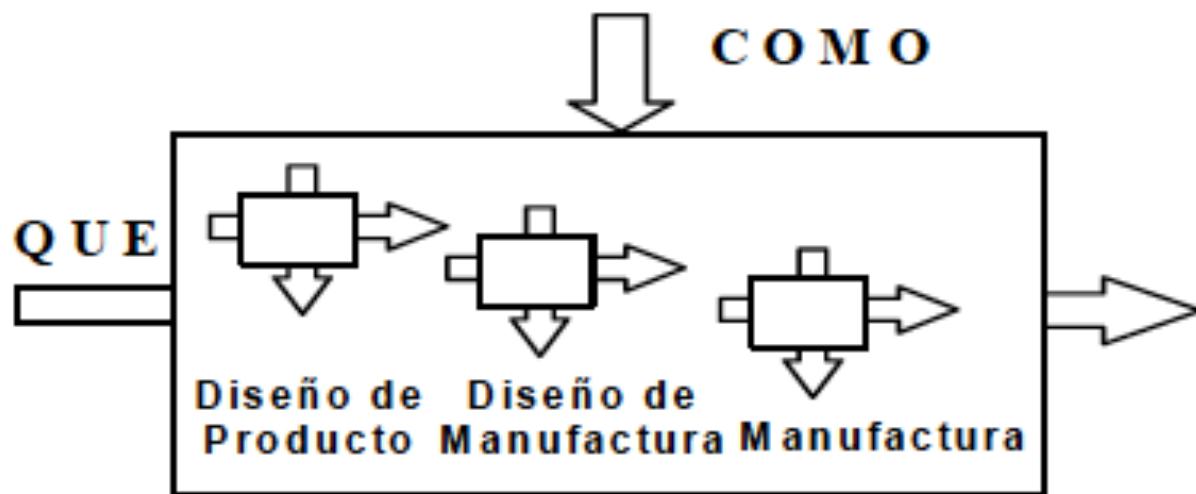
Casa de calidad



Casa de calidad



PROCESO EN CASCADA



La Casa de Calidad como herramienta permite:

- evaluar el ***producto*** bajo la percepción del usuario
- realizar un análisis comparativo con respecto a la ***competencia*** bajo la óptica del usuario
- realizar análisis de ***competitividad*** basado en las características técnicas
- evaluar las ***dificultades*** para alcanzar las metas
- establecer el ***compromiso*** de los distintos sectores internos de la empresa en el logro de las metas del producto
- establecer la ***interrelación*** entre las características

FIN

Diseño de Equipos Electrónicos

Planificación, Programación y Control



ITBA
2020

Temas a Desarrollar



- ❖ Introducción
- ❖ Planificación y Programación
 - ❖ Gestión de Proyectos. Conceptos Generales
 - ❖ Técnica de evaluación y revisión de programa (PERT) y método del camino crítico (CPM)
 - ❖ Estimación de la duración de un proyecto
 - ❖ Márgenes de las tareas
 - ❖ Caminos semicríticos
 - ❖ Compromisos entre tiempo y recursos
 - ❖ Técnica de Simulación de Monte Carlo
 - ❖ Técnica de Diagrama de Gantt
 - ❖ Asignación de recursos
- ❖ Control

Introducción

Un proyecto es una empresa humana con un principio y un final definidos (si no lo están, ambos deben ser clarificados!).

Todos los proyectos grandes o pequeños tienen algunas características comunes:

- Combinación de actividades
- Relación secuencial entre algunas de esas actividades.
- Preocupación por el tiempo
- Preocupación por los recursos.

Planificados con acierto y detalle, los proyectos pueden superar exitosamente los desafíos que plantea su ejecución (tecnológicos, políticos, sociales, económicos, legales, etc.).

Introducción

- ❖ Un proyecto tecnológico exitoso no puede limitarse a cumplir sólo con requerimientos tecnológicos:
- ❖ Existen muchas variables de contorno a considerar, tales como el tiempo, el financiamiento, los recursos humanos y materiales, las necesidades del marketing, los costos y los beneficios económicos proyectados, los aspectos legales a tener en cuenta, el cuidado del medio ambiente, etc.

La planificación, la programación y el control no sólo determinan que las metas pueden ser cumplidas, sino que además permiten alcanzarlas con mayor eficiencia

Introducción

- A veces, el desarrollo de proyectos específicos hace que se **formen equipos de trabajo temporales**, los cuales una vez concluída la tarea, dejan de funcionar como tales. Sin embargo, muchos de sus integrantes volverán a trabajar juntos en el futuro...
- La GESTIÓN DE PROYECTOS contempla tres aspectos principales:

PLANIFICACIÓN

PROGRAMACIÓN

CONTROL

Planificación

- ❖ La **planificación** de un proyecto implica:
 - ❖ Tener claro su **objetivo específico**
 - ❖ Determinar/Conocer:
 - ❖ la **fecha de cumplimiento**
 - ❖ las **actividades o tareas** y sus **costos** asociados, detalladamente
 - ❖ los **recursos necesarios**, (personal, suministros y equipos)
 - ❖ Establecer una **organización** adecuada para cumplirlo.

Programación

- ❖ La **programación** consiste en determinar las actividades necesarias **en secuencia**, considerando el **tiempo necesario**, los **materiales**, los **equipos**, las **maquinarias** y el **personal** responsable con que se las ejecutará.
- ❖ Una **herramienta sencilla** muy utilizada es el **Diagrama Gantt** que refleja el **cronograma** de actividades que deben ser ejecutadas en base al **tiempo**.

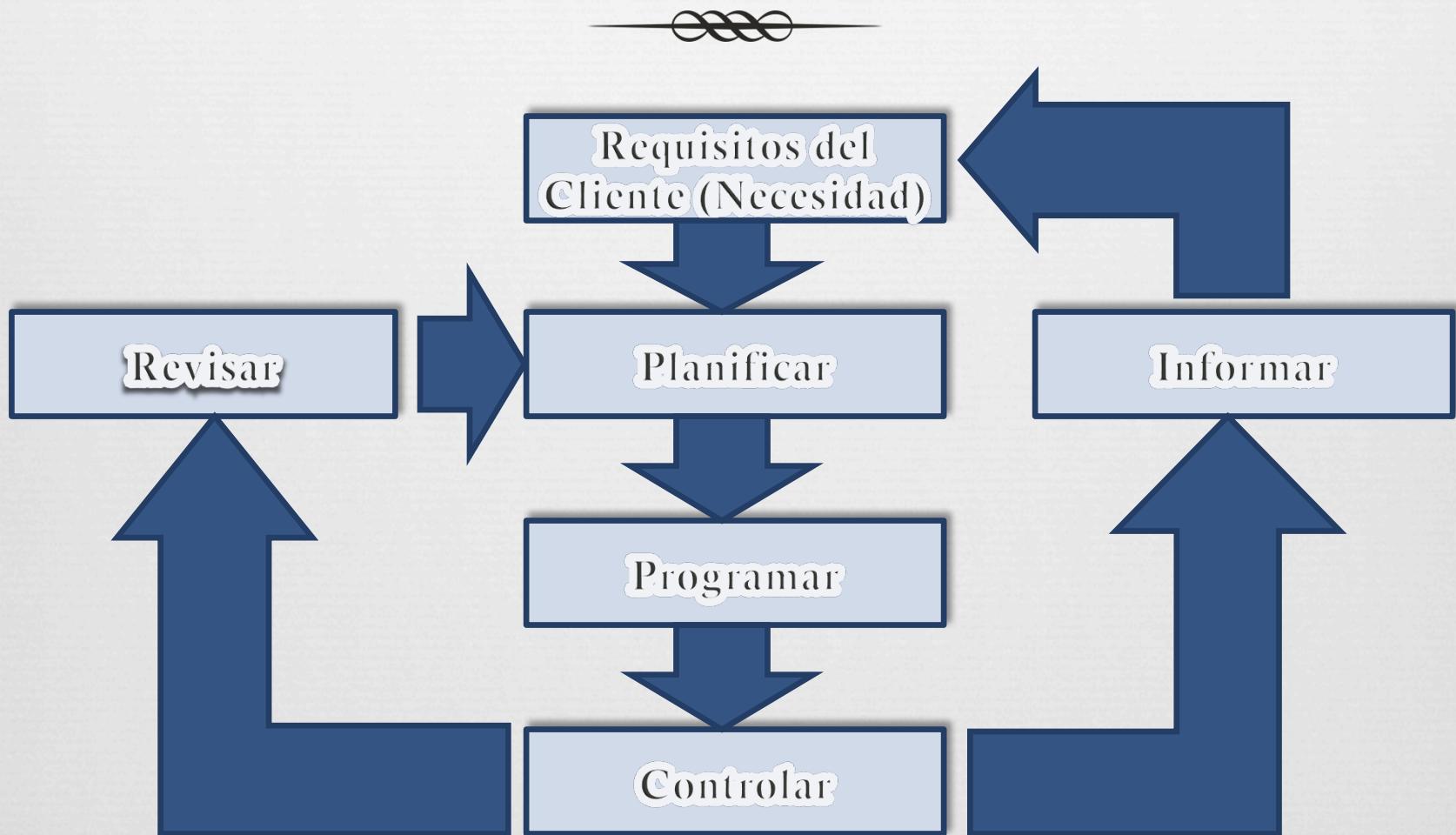
Control

- ❖ El **control** de un proyecto - como el control de cualquier sistema - implica el **monitoreo** cercano de los **tiempos, recursos, costos, la calidad** y el **presupuesto** del mismo.
- ❖ El **control** significa también establecer un ciclo de **retroalimentación** para **revisar** el plan del proyecto y/o reformular las necesidades si es imperativo.

Actualmente existen **herramientas computarizados** que ayudan en estas tareas, tales como MS Project, Harvard Total Project Manager (HTPM), Primavera, Open Project, MacProject, Pertmaster, VisiSchedule, Time Line, etc.

Planificación, Programación, Control

Un ciclo continuo...



Gestión de Proyectos

A Force for Change: How **Leadership** Differs from **Management**. John Kotter, 1990

Procesos de Management

Kotter señala el foco más específico y de mediano/corto plazo de los procesos de management. Enuncia tres procesos que tienden a identificarse más con el management:

- **Planeamiento y Presupuestación** (objetivos típicamente a un año o un mes, establecimiento de pasos/tareas para alcanzarlos, previsiones de tiempo y asignación de recursos para cumplir el plan) (**Planificación**)
- **Organización y Asignación de Recursos** (estructura organizacional, asignación de tareas del plan, capacitación del personal, comunicaciones al personal, delegación de responsabilidades, sistemas de monitoreo de la implementación) (**Planificación y Programación**)
- **Control y Resolución de Problemas** (resultados del monitoreo versus lo planeado por medio de reportes, reuniones, etc., identificación de los desvíos -usualmente llamados "problemas"-, replanificación para resolverlos) (**Control**)

Procesos de Liderazgo

Kotter indica una diferenciación entre el Management y el Liderazgo, identificando en éste último tres procesos:

Establecimiento de una Dirección (desarrollo de una VISIÓN del futuro -a menudo distante- junto con las estrategias para producir los cambios necesarios para alcanzarla)

Alineamiento (comunicando la dirección a seguir a aquellos capaces de generar coaliciones que entiendan y compartan la visión)

Motivación e Inspiración (manteniendo a la gente en movimiento en la dirección correcta a pesar de barreras presupuestarias, burocráticas o políticas, apelando a las necesidades, valores y emociones humanas)

Gestión de Proyectos



La Planificación de un proyecto determina sus objetivos, indicando *QUÉ* debe hacerse, *QUIÉN* debe hacerlo, *CUÁNDO*, *DÓNDE* y *POR QUÉ*, al igual que *CÓMO* y con *QUÉ RECURSOS* se contará para llevar a cabo las tareas a ejecutar.

las 5 “W”:

What, Who, When, Where y Why + Cómo y Con qué

La planificación es la premisa del control: SÓLO LO QUE ESTÁ DEBIDAMENTE PLANIFICADO PUEDE CONTROLARSE

Gestión de Proyectos



Los objetivos de un proyecto deben incluir información de su *justificación (Por Qué)*; las razones por las que se lleva a cabo. Estas razones deben aparecer en *términos medibles* como: dinero, volumen, etc.

Tener siempre presente

“el propósito último del proyecto”

Gestión de Proyectos



- ❖ Los objetivos deben cumplir ciertas condiciones que se resumen en la expresión **SMART**.
- ❖ Un objetivo **SMART** es:

S	Specific	CONCRETO
M	Measurable	MEDIBLE
A	Achievable	ALCANZABLE
R	Relevant	PERTINENTE (tiene “peso”?)
T	Trackable	TRAZABLE EN TIEMPO (fue alcanzado?)

Gestión de Proyectos

- ❖ El esfuerzo en planificar es importante, demuestra que las metas pueden ser cumplidas.
- ❖ Las normas ISO exigen proyectos apoyados por un plan.....
- ❖ Plan de proyecto: *Documento en el cual se expresan la organización, los recursos, las actividades y -si se incluye la programación, la secuencia- que hacen falta para cumplir con los objetivos del proyecto.*
- ❖ El proyecto está conformado por *tareas*.
- ❖ Su alcance debe ser lo suficientemente “acotado” como para permitir su seguimiento, control y COMUNICACIÓN.

Gestión de Proyectos

- ❖ El desglose de tareas genera **hitos visibles, medibles y tangibles del proyecto.**
- ❖ Las tareas deben tener claramente establecidas la iniciación y terminación.
- ❖ Inicialmente, en la Planificación **no interviene el tiempo calendario** (sólo la duración de la tarea). En la Programación, sí.

Planificación y Programación



ITBA
2015

Técnicas PERT/CPM



ITBA
2015

Historia



- ❖ PERT (Técnica de Evaluación y Revisión de Programas) fue introducido a fines de la década de 1950 específicamente para planificar, programar y controlar el proyecto de los misiles Polaris, de la US Navy.
- ❖ Dado que muchas actividades asociadas al proyecto nunca habían sido intentadas previamente, era difícil prever los tiempos que demandarían.
- ❖ Por lo tanto, PERT fue desarrollado con el objetivo de poder manejar incertidumbres (PROBABILIDADES) en los tiempos de ejecución.

Historia



- ❖ CPM (Método del Camino Crítico), por su parte, fue desarrollado en la misma época para programar y controlar proyectos industriales en los cuales los tiempos de las actividades se consideraban conocidos.
- ❖ CPM ofrecía la opción de reducir los tiempos de las actividades, mediante la asignación de más personal y/o recursos materiales, generalmente a un costo mayor.
- ❖ Por lo tanto, CPM presentó la posibilidad de analizar los Trade-Offs de tiempos y costos sobre valores DETERMINÍSTICOS.

Historia



- ❖ Hoy, la distinción entre PERT y CPM como dos técnicas separadas ha desaparecido en la práctica.
- ❖ Las versiones computarizadas del método CPM/PERT normalmente contienen opciones para considerar las incertidumbres en los tiempos, así como los trade-offs de tiempo y costo. En este sentido, los procedimientos modernos de planificación, programación y control utilizan los conceptos combinados de PERT y CPM, por lo cual la distinción entre ambas técnicas ya no es necesaria.

PERT/CPM



- ❖ PERT/CPM se utiliza para planificar, programar y controlar una gran variedad de proyectos, tales como:
 - ❖ Investigación y desarrollo de nuevos productos y procesos
 - ❖ Construcción de plantas, edificios, autopistas
 - ❖ Mantenimiento de equipos grandes y complejos
 - ❖ Diseño e instalación de nuevos sistemas.
- ❖ Es fácil advertir que ese tipo de proyectos involucra numerosas tareas (p.ej. miles), muchas de las cuales dependen de que otras estén completadas para iniciarse (y otras no!). Si imaginamos la importancia de que un proyecto cumpla con los tiempos y costos previstos, es entendible que los Project Managers busquen procedimientos que los ayuden a responder preguntas tales como:
 - ❖ Cuál es el tiempo total para terminar el proyecto?
 - ❖ Cuáles son las fechas de inicio y terminación de cada actividad en particular?
 - ❖ Qué actividades son CRÍTICAS y deben ser completadas EXACTAMENTE según lo programado para mantener el proyecto en calendario?
 - ❖ Cuánto pueden demorarse las actividades no-críticas antes de que causen demoras en el proyecto total?

Redes PERT/CPM



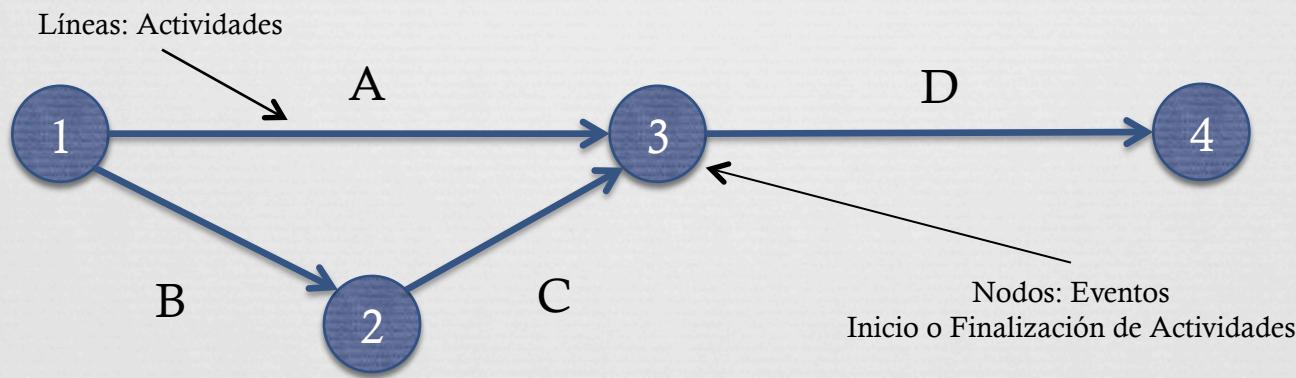
❖ Imaginemos un proyecto que busca comprar un negocio pequeño. Asumamos que se ha desarrollado un cuidadoso planeamiento que arroja la siguiente lista de actividades:

Actividad	Descripción	Predecesora Inmediata
A	Desarrollar lista de fuentes de financiamiento	--
B	Analizar los registros financieros del negocio	--
C	Desarrollar un Plan de Negocios	B
D	Presentar una propuesta a una entidad crediticia	A,C

Redes PERT/CPM



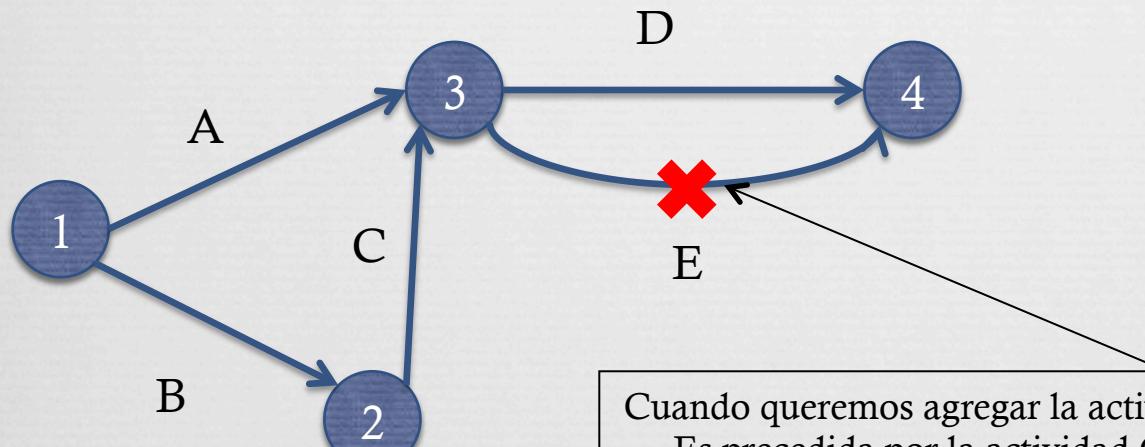
Actividad	Descripción	Predecesora Inmediata
A	Desarrollar lista de fuentes de financiamiento	--
B	Analizar los registros financieros del negocio	--
C	Desarrollar un Plan de Negocios	B
D	Presentar una propuesta a una entidad crediticia	A,C



Redes PERT/CPM



- ❖ Imaginemos ahora un proyecto con la siguiente lista de actividades:



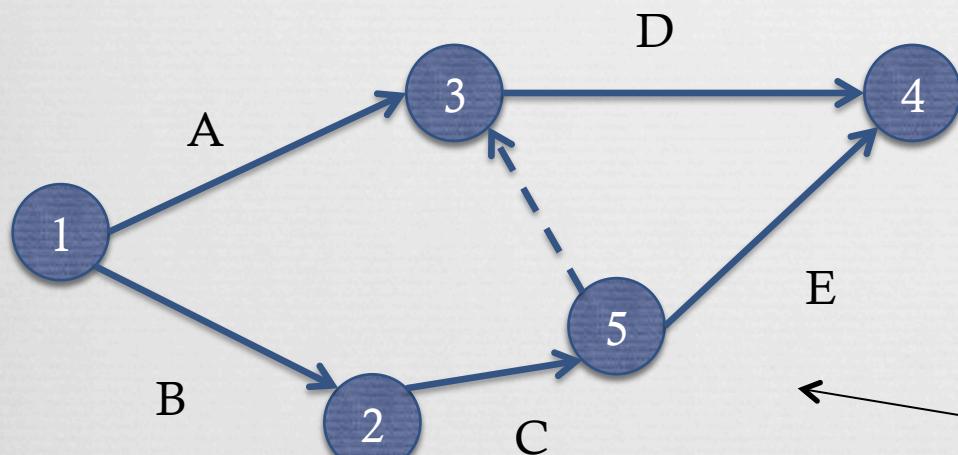
Actividad	Predecesora Inmediata
A	--
B	--
C	B
D	A,C
E	C
F	C
G	D,E,F

Cuando queremos agregar la actividad E, encontramos un problema:
Es precedida por la actividad C, pero no puede salir del nodo 3,
porque eso implicaría que también es precedida por la actividad A.

Redes PERT/CPM



- ❖ Agregamos una actividad FICTICIA (línea punteada)



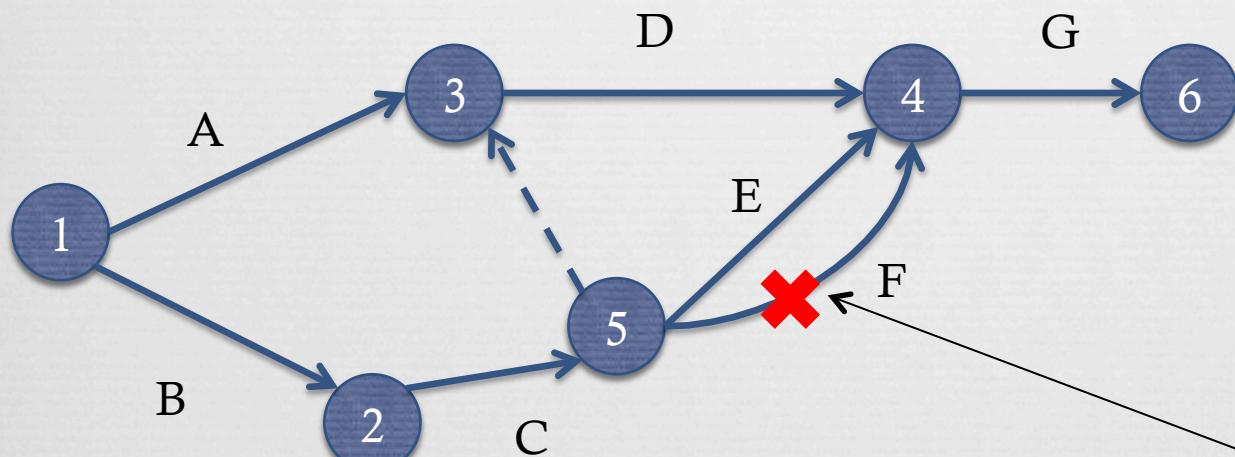
Actividad	Predecesora Inmediata
A	--
B	--
C	B
D	A,C
E	C
F	C
G	D,E,F

Con lo cual las precedencias quedan aclaradas.
La actividad D continúa estando precedida por las A y C
y la actividad E comienza sólo luego de la C.

Redes PERT/CPM



❖ Continuamos completando...



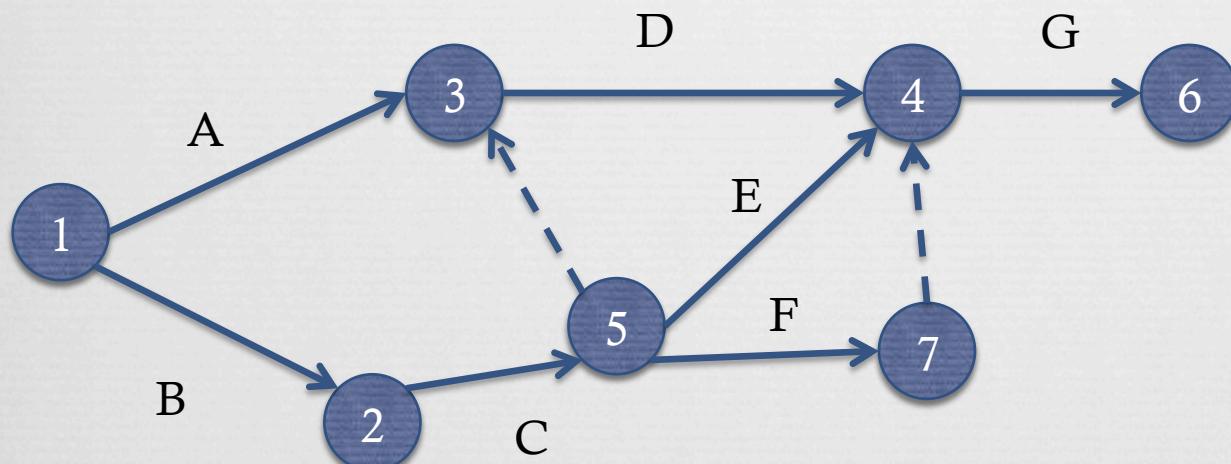
Actividad	Predecesora Inmediata
A	--
B	--
C	B
D	A,C
E	C
F	C
G	D,E,F

La situación puede causar problemas computacionales:
ambas actividades podrían ser reconocidas como una sola
pues salen y llegan a los mismos nodos

Redes PERT/CPM



❖ Generamos otra actividad ficticia:



Actividad	Predecesora Inmediata
A	--
B	--
C	B
D	A,C
E	C
F	C
G	D,E,F

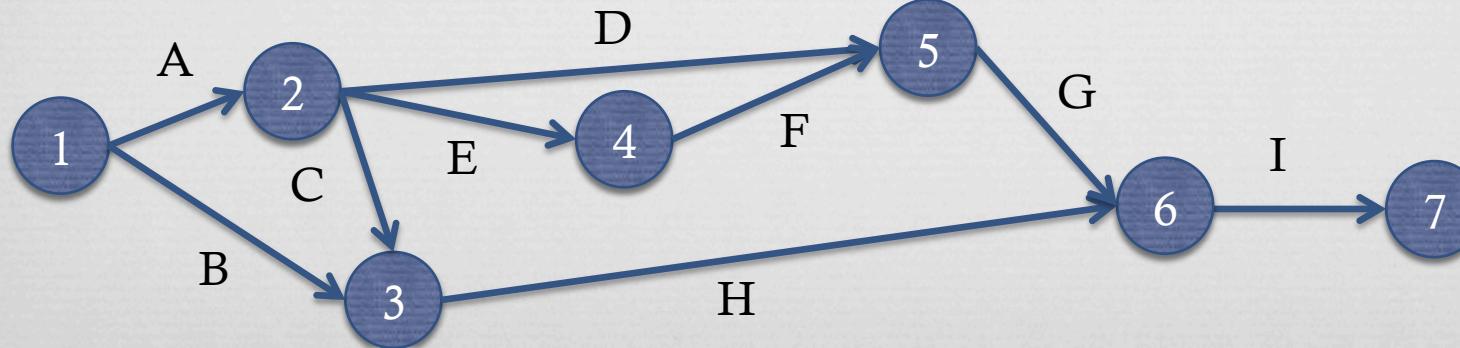
Y tenemos la red PERT/CPM

Programación de Proyectos con PERT/CPM

- ❖ Los propietarios de un Shopping de 32 locales están pensando en modernizar y ampliar el complejo a 42 locales. La financiación ha sido acordada con un inversor privado.
- ❖ La lista de actividades y la Red PERT/CPM son las siguientes:

Programación de Proyectos con PERT/CPM

Actividad	Descripción	Predecesora Inmediata	Duración (Semanas)
A	Preparación de Planos de Arquitectura	--	5
B	Identificar Posibles Inquilinos	--	6
C	Desarrollar Documentación para Potenciales Nuevos Inquilinos	A	4
D	Seleccionar Contratista de la Obra	A	3
E	Preparar Documentación para Permisos Municipales	A	1
F	Obtener Habilitación de Permisos Municipales	E	4
G	Construcción	D,F	14
H	Firma de Contratos con Nuevos Inquilinos	B,C	12
I	Mudanza de Nuevos Inquilinos	G,H	2
			"Total" 51 ???

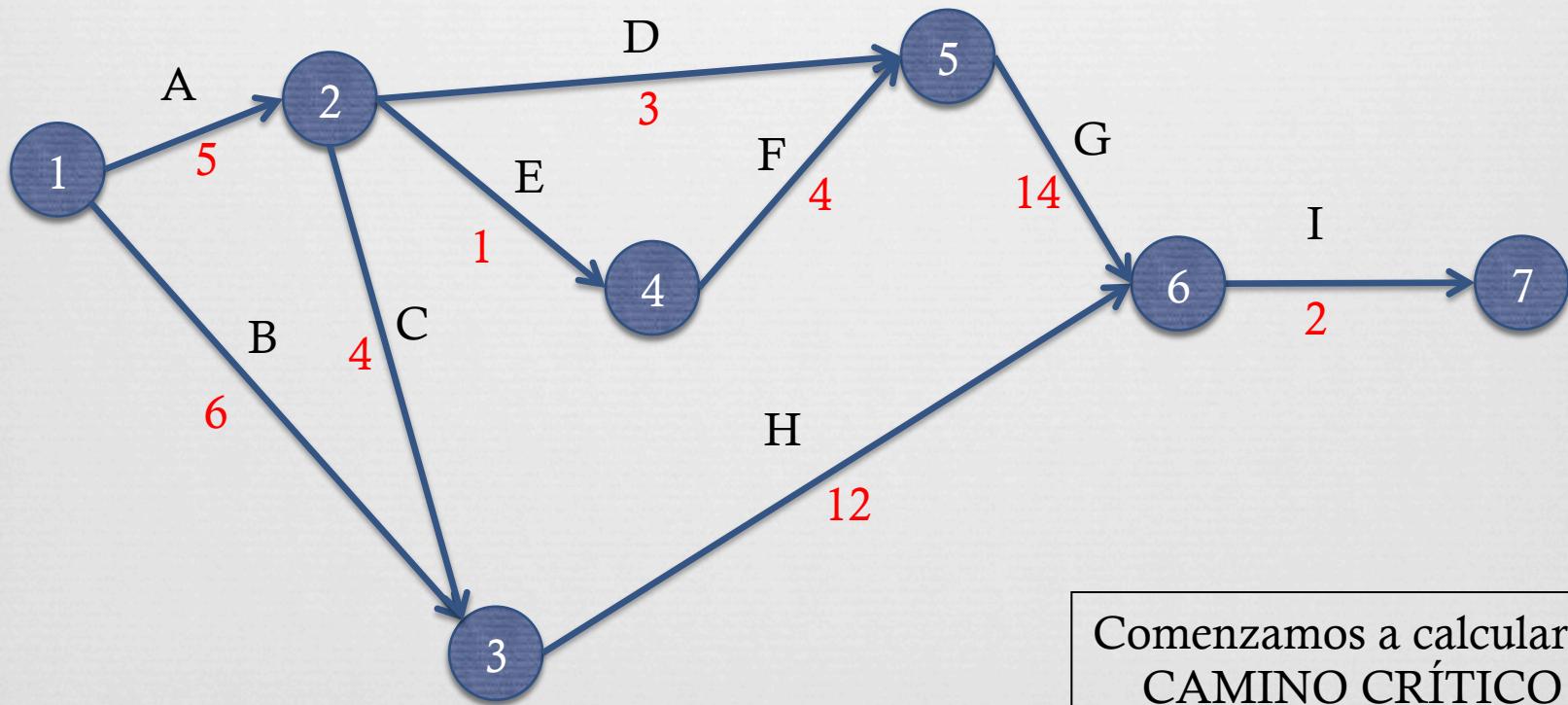


COMO VEMOS,
HAY TAREAS QUE
SE PUEDEN REALIZAR
DE MANERA
SIMULTÁNEA
=> EL TIEMPO TOTAL
SE PUEDE REDUCIR

Programación de Proyectos con PERT/CPM



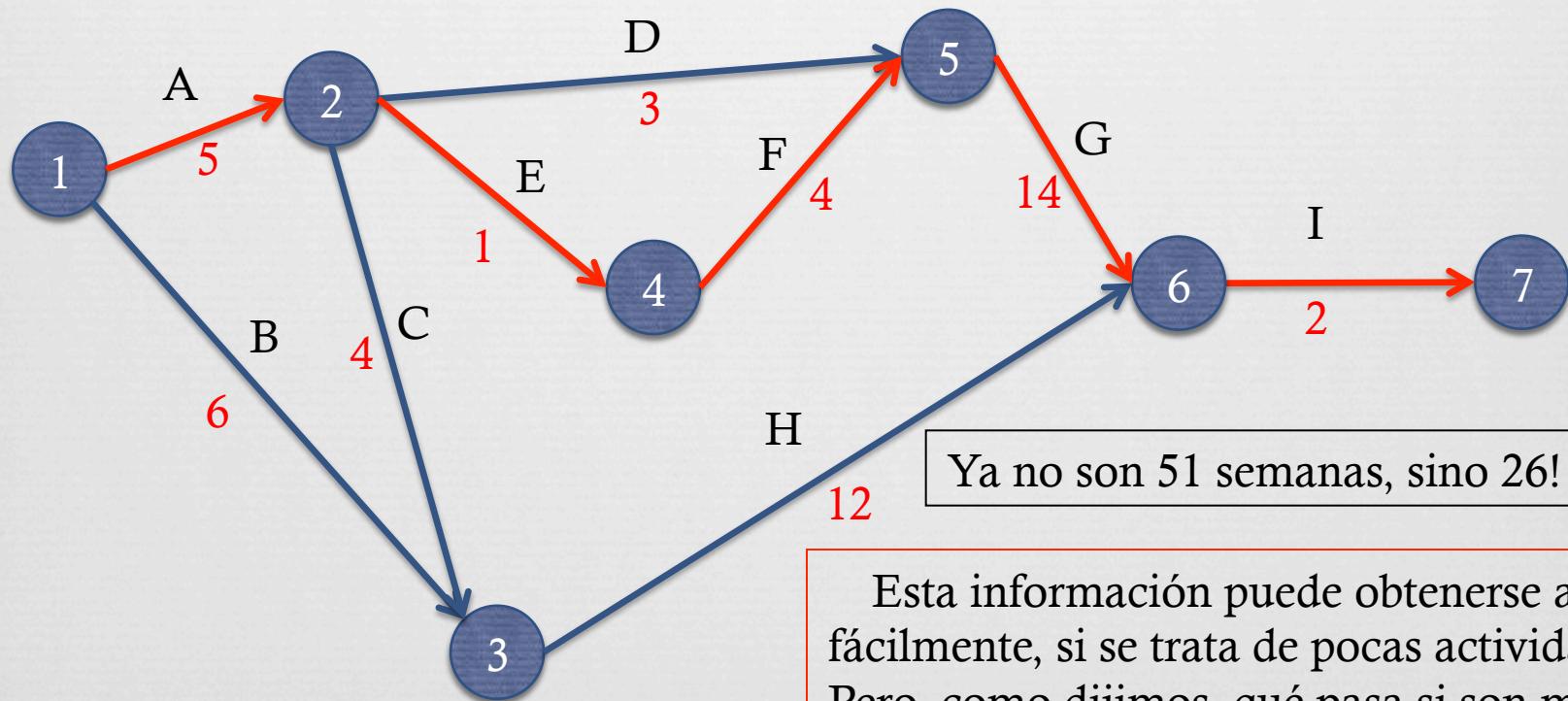
≈ Agregando los tiempos de duración de las actividades:



Programación de Proyectos con PERT/CPM



❖ El camino más largo es el CAMINO CRÍTICO:



Programación de Proyectos con PERT/CPM



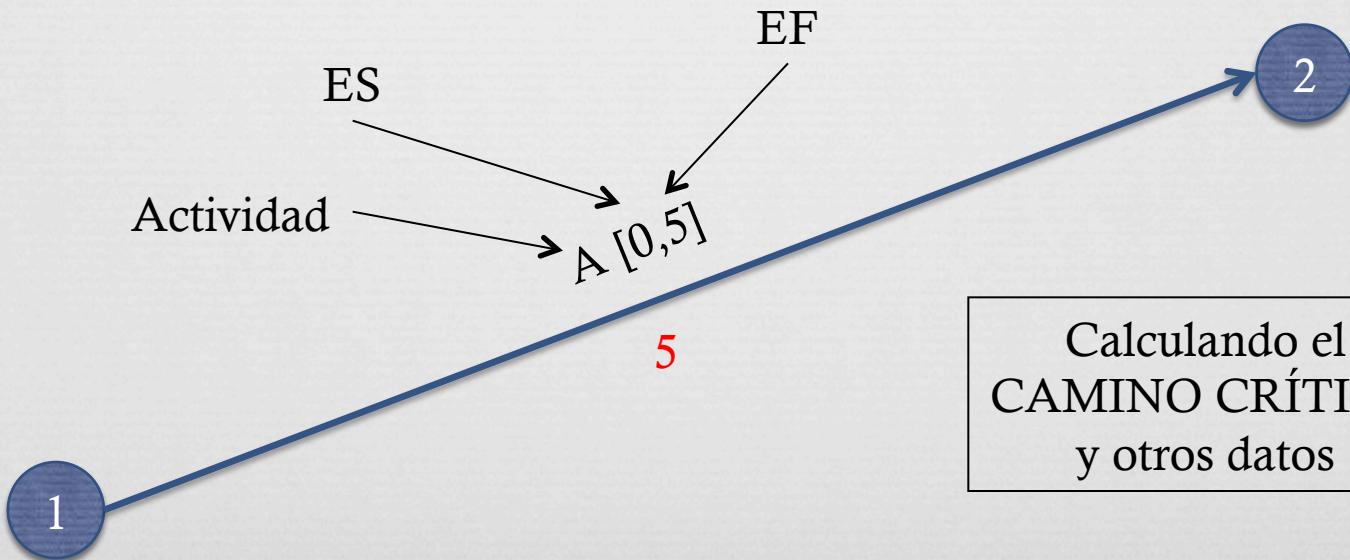
- ❖ Introducimos ahora los conceptos de ES (Earliest Start Time o Tiempo de Inicio Más Próximo) y de EF (Earliest Finish Time ó Tiempo de Finalización Más Próxima) de una actividad:
 - ❖ $EF = ES + t$ (donde t es la duración de la actividad)
 - ❖ **REGLA DEL ES:** El ES de una actividad que sale de un nodo en particular es igual al MAYOR de los EF de todas las actividades que entran a ese nodo.

Programación de Proyectos con PERT/CPM



- ❖ Gráfica del ES (Earliest Start Time) y del EF (Earliest Finish Time)

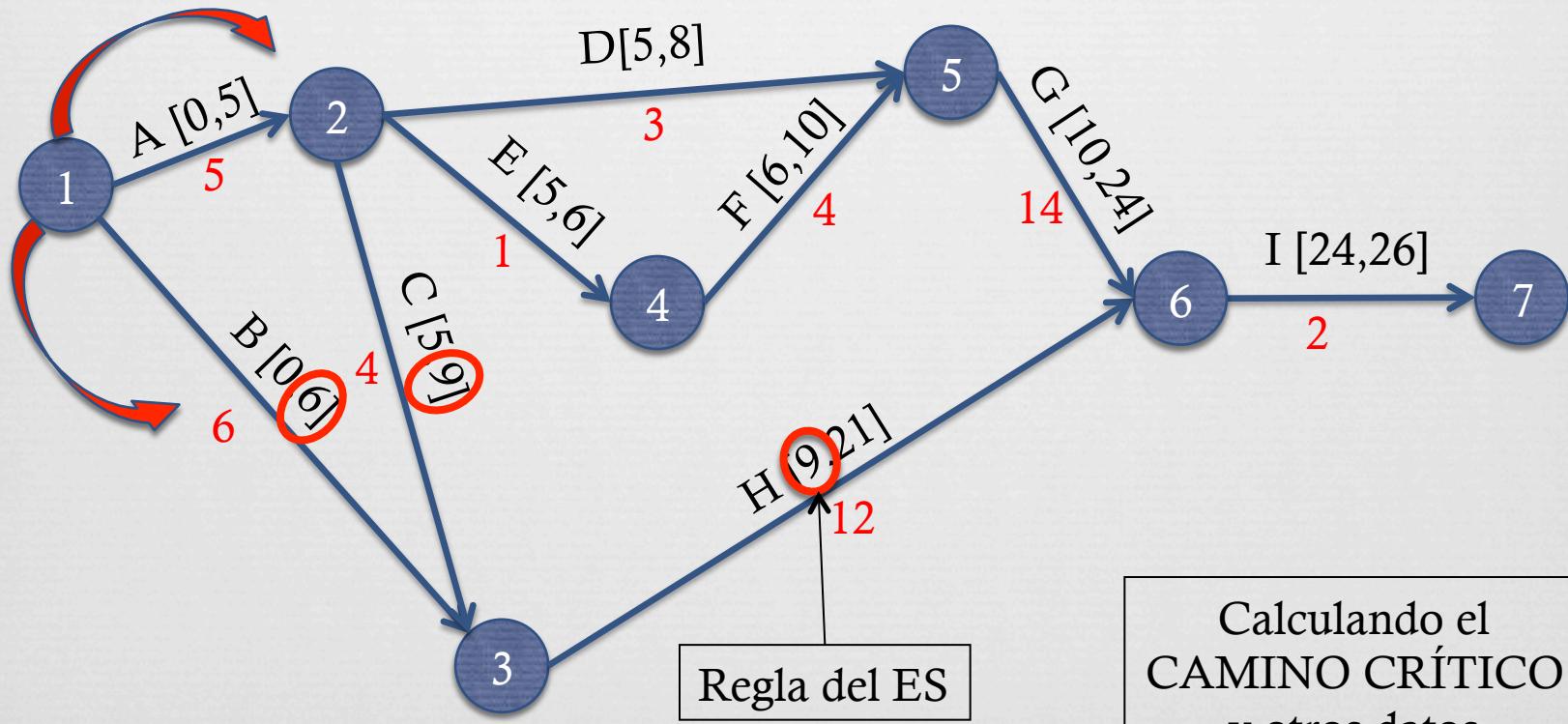
Actividad	Descripción	Predecesora Inmediata	Duración (Semanas)
A	Preparación de Planos de Arquitectura	--	5



Programación de Proyectos con PERT/CPM



≈ Agregando los ES y EF de las actividades:



Programación de Proyectos con PERT/CPM

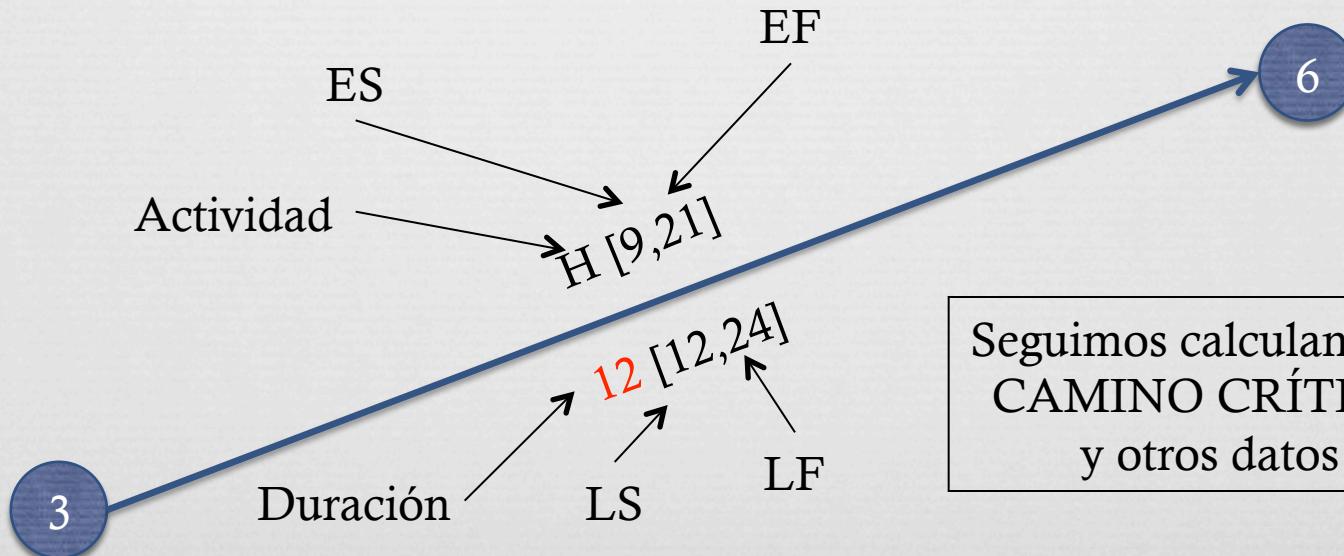
- ❖ Introducimos ahora los conceptos de LS (Latest Start Time o Tiempo de Inicio Lejano) y de LF (Latest Finish Time ó Tiempo de Finalización Lejano) de una actividad:
- ❖ $LS = LF - t$, (donde t es la duración de la actividad)
- ❖ **REGLA DEL LF**: El LF de una actividad que entra a un nodo en particular es igual al MENOR de los LS de todas las actividades que salen de ese nodo.

Programación de Proyectos con PERT/CPM



- ❖ Gráfica con LS (Latest Start Time) y LF (Latest Finish Time)

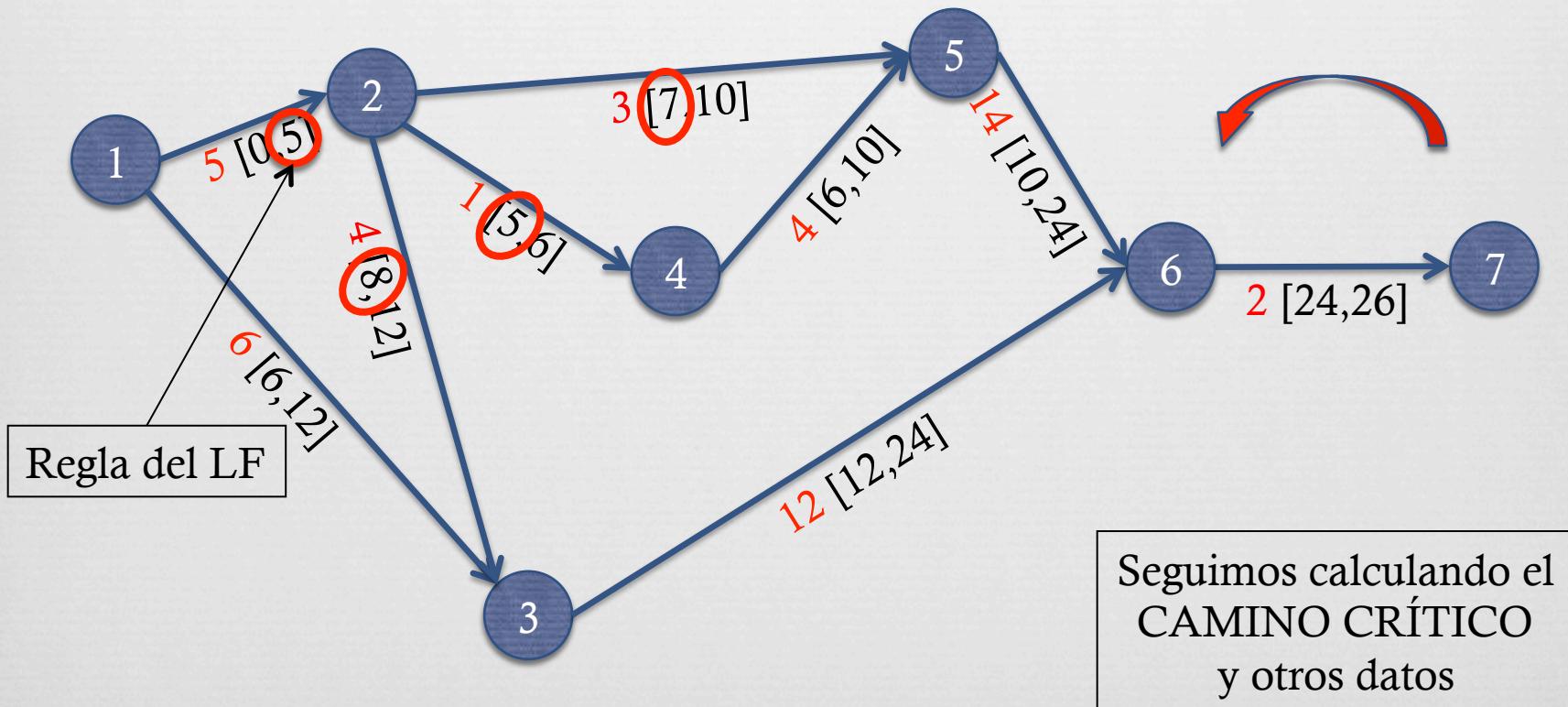
Actividad	Descripción	Predecesora Inmediata	Duración (Semanas)
H	Firma de Contratos con Nuevos Inquilinos	B,C	12



Programación de Proyectos con PERT/CPM



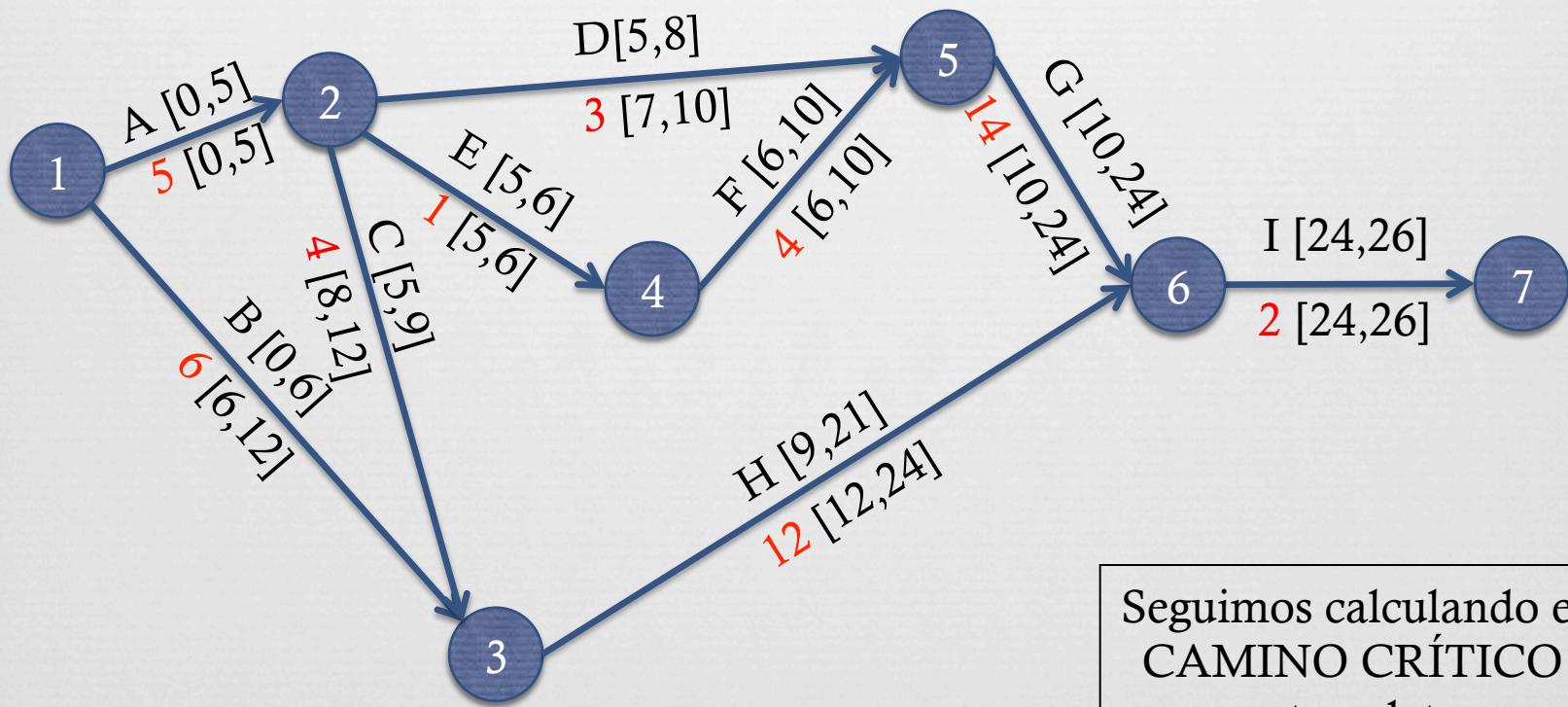
≈ Agregando los LS y LF de las actividades:



Programación de Proyectos con PERT/CPM



≈ Agregando los LS y LF de las actividades:



Programación de Proyectos con PERT/CPM

- ❖ Luego de calcular los tiempos los tiempos de inicio y finalización tal como se ha descripto, introducimos ahora el concepto de HUELGO (ó tiempo libre ó SLACK) asociado a cada actividad:
- ❖ $H = LS - ES = LF - EF$,
- ❖ Las actividades sin Huelgo ($H = 0$) pertenecen al CAMINO CRÍTICO porque no pueden ser demoradas, sin que ello demore también la finalización del proyecto total.

Programación de Proyectos con PERT/CPM



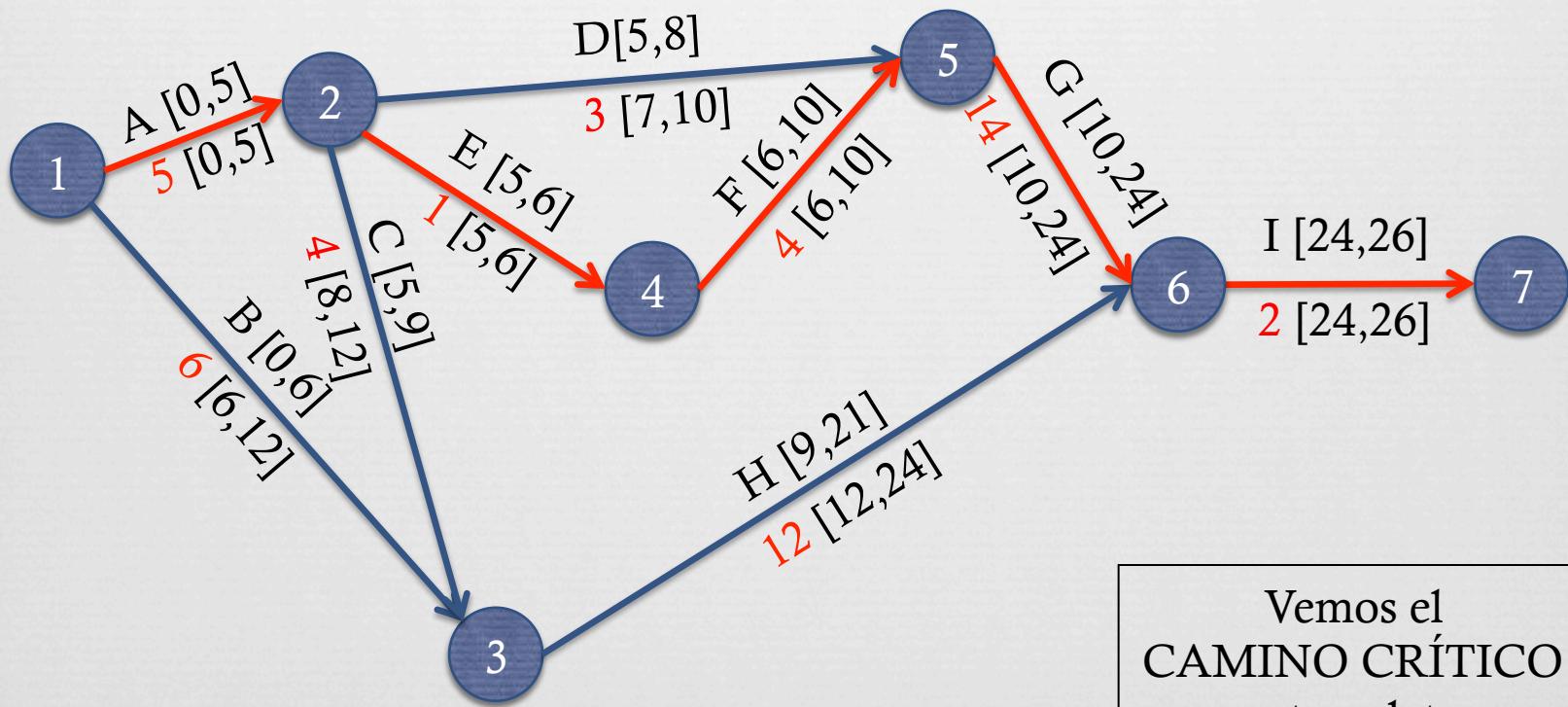
Actividad	ES	LS	EF	LF	Slack (LS-ES)	Crítico?
A	0	0	5	5	0	SI
B	0	6	6	12	6	
C	5	8	9	12	3	
D	5	7	8	10	2	
E	5	5	6	6	0	SI
F	6	6	10	10	0	SI
G	10	10	24	24	0	SI
H	9	12	21	24	3	
I	24	24	26	26	0	SI

PROGRAMA DE ACTIVIDADES PARA EL PROYECTO SHOPPING

Programación de Proyectos con PERT/CPM



❖ Recordamos la Red:



Programación de Proyectos con PERT/CPM

- ≈ Veamos como la aplicación de la red PERT/CPM y los cálculos relacionados con el camino crítico responden a las preguntas del Project Manager señaladas al principio:
 - ≈ Cuál es el tiempo total para completar el proyecto?
R: 26 semanas, si todo se cumple según lo previsto
 - ≈ Cuáles son las fechas de comienzo y finalización de cada actividad?
R: La tabla anterior muestra el ES, LS, EF y LF de cada una.
 - ≈ Qué actividades son críticas y deben ser completadas sin demoras?
R: Hay cinco: A, E, F, G e I.
 - ≈ Por cuánto tiempo pueden demorarse las actividades no-críticas?
R: La tabla anterior muestra los huelgos para todas las actividades.

Programación de Proyectos con tiempos inciertos

- ❖ Una conocida empresa fabricante de aspiradoras tiene intención de producir un nuevo producto: una aspiradora portátil a batería recargable.
- ❖ El producto, denominado “*Porta-Vac*”, podría contribuir a la expansión de la empresa en el mercado. La gerencia espera que pueda ofrecerse a un costo razonable y que sus características inalámbricas lo hagan extremadamente atractivo.
- ❖ A fin de completar un estudio de factibilidad, se necesita información de los sectores de I&D, Producción, Estimación de Costos, Investigación de Mercado y Pruebas.
- ❖ Cuánto durará dicho estudio de factibilidad? Cuándo deberá comenzar el grupo de pruebas de equipos? Como no se cuenta con suficiente información para responder éstas y otras preguntas, es necesario -como siempre- confeccionar una lista de actividades con sus predecesoras:

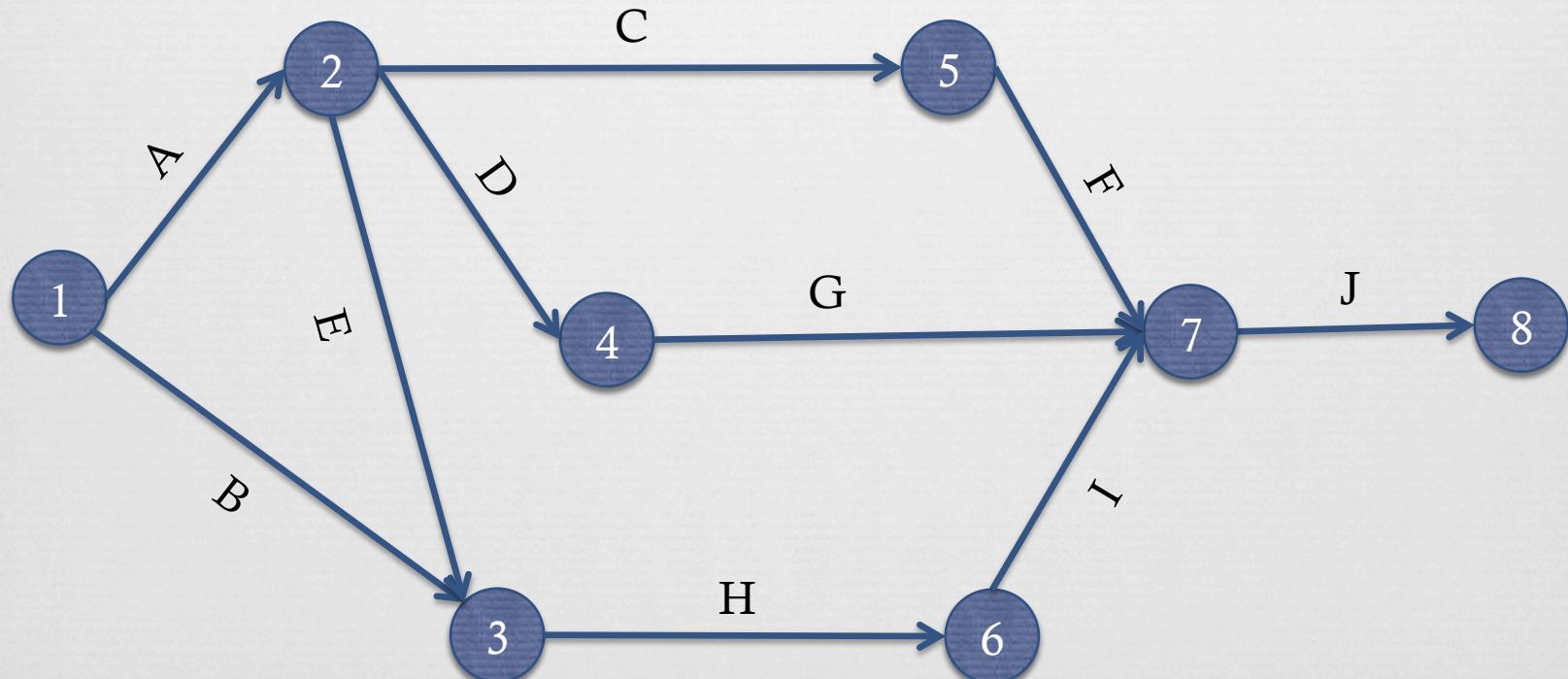
Programación de Proyectos con tiempos inciertos

Actividad	Descripción	Predecesora Inmediata
A	Diseño del Producto por I&D	--
B	Planificar Investigación de Mercado	--
C	Ingeniería de Fabricación	A
D	Construcción del Prototipo	A
E	Preparación de Folletos del Producto	A
F	Estimación de Costos (Ingeniería Industrial)	C
G	Pruebas Preliminares del Producto	D
H	Encuesta de Mercado	B,E
I	Informe de Precios y Proyecciones	H
J	Informe Final	F,G,I

Programación de Proyectos con tiempos inciertos



❖ Red del Proyecto “*Porta-Vac*”:



Programación de Proyectos con tiempos inciertos

- ❖ Dado que para la empresa se trata de un Proyecto enteramente “nuevo” y no cuenta con datos precisos, deberá manejar los tiempos de duración inciertos como variables aleatorias.
- ❖ Como resultado, las respuestas a los diferentes tiempos que insumirá el proyecto serán de carácter probabilístico.
- ❖ Para ello, se utilizarán tres estimaciones para cada actividad:

Programación de Proyectos con tiempos inciertos

- ❖ **Tiempo Optimista (a):** La duración de la actividad si todo progresá de manera *ideal*.
- ❖ **Tiempo Más Probable (m):** La duración más probable de la actividad en condiciones estimadas *normales*.
- ❖ **Tiempo Pesimista (b):** La duración de la actividad si se encuentran *dificultades significativas*.

Programación de Proyectos con tiempos inciertos



Tiempo en Semanas

Actividad	Optimista (a)	Más Probable (m)	Pesimista (b)
A	4	5	12
B	1	1.5	5
C	2	3	4
D	3	4	11
E	2	3	4
F	1.5	2	2.5
G	1.5	3	4.5
H	2.5	3.5	7.5
I	1.5	2	2.5
J	1	2	3

Programación de Proyectos con tiempos inciertos

Actividad	Optimista (a)	Más Probable (m)	Pesimista (b)
A	4	5	12

- Tomando como ejemplo la actividad A, vemos que las estimaciones van desde 4 semanas (optimista) hasta 12 semanas (pesimista), con un tiempo más probable de 5 semanas.
- Si la actividad se repitiera un gran número de veces, el *tiempo esperado* (t) podría determinarse con la siguiente expresión (*valor esperado, esperanza matemática*):

$$t = \frac{a + 4(m) + b}{6}$$

$$t = \frac{4 + 4(5) + 12}{6} = 6$$

Programación de Proyectos con tiempos inciertos

Actividad	Optimista (a)	Más Probable (m)	Pesimista (b)
A	4	5	12

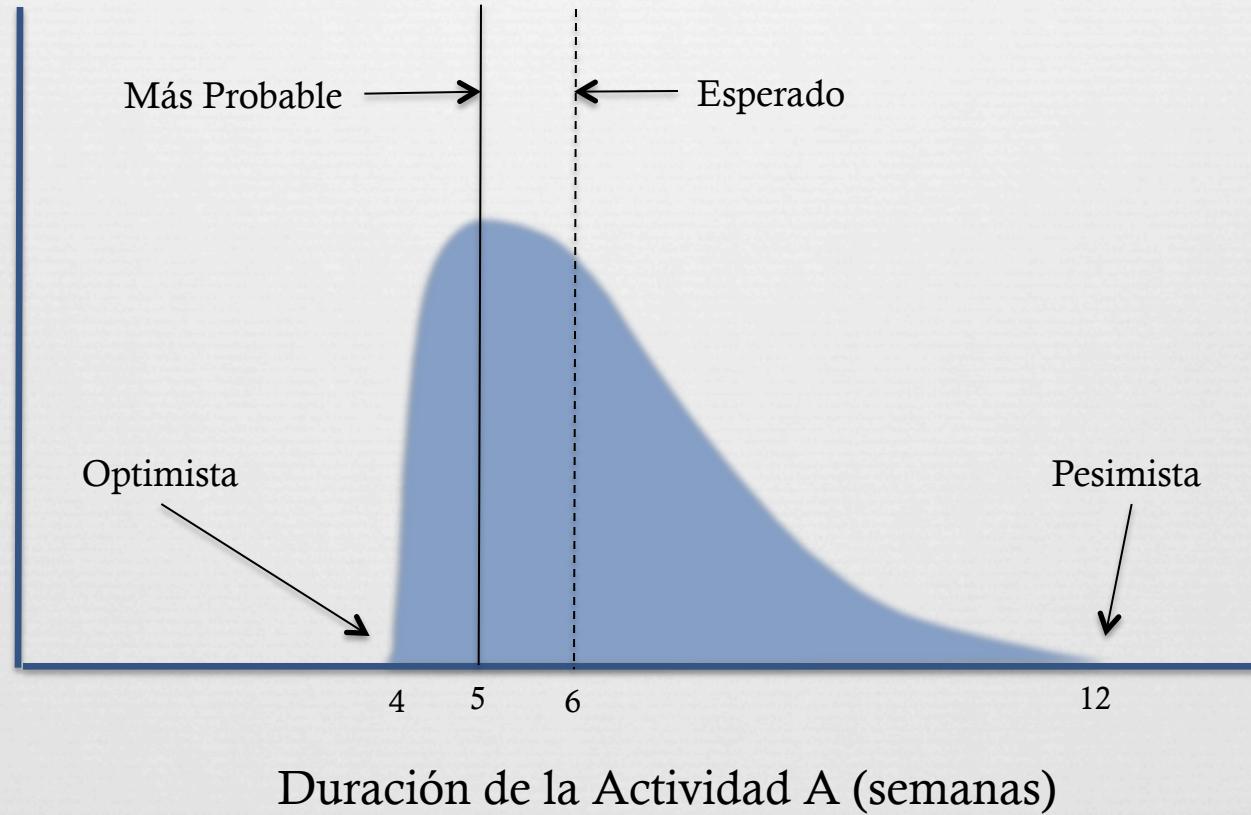
- ❖ También podemos utilizar la medida estadística común de la varianza para describir la dispersión de tiempos:

$$\sigma^2 = \left(\frac{b - a}{6} \right)^2$$

$$\sigma^2 = \left(\frac{12 - 4}{6} \right)^2 = \left(\frac{8}{6} \right)^2 = 1.78$$

- ❖ Estas ecuaciones pueden aplicarse asumiendo una Distribución de Probabilidades *Beta*

Programación de Proyectos con tiempos inciertos



Programación de Proyectos con tiempos inciertos

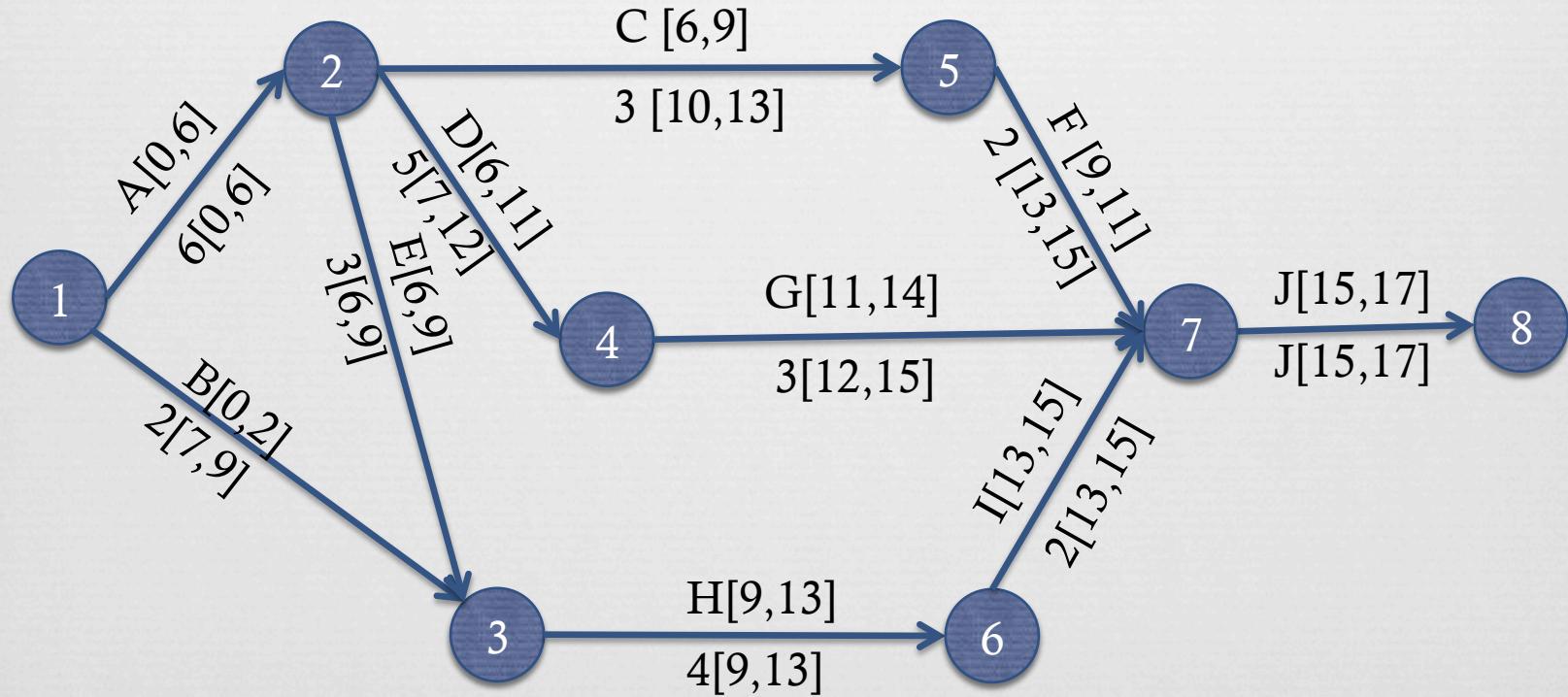
Tiempo Esperado y Varianzas para el Proyecto “*Porta-Vac*”

Actividad	Tiempo Esperado	Varianza
A	6	1.78
B	2	0.44
C	3	0.11
D	5	1.78
E	3	0.11
F	2	0.03
G	3	0.25
H	4	0.69
I	2	0.03
J	2	0.11

Programación de Proyectos con tiempos inciertos



- ❖ Red del Proyecto “*Porta-Vac*” utilizando los tiempos esperados:



Programación de Proyectos con tiempos inciertos



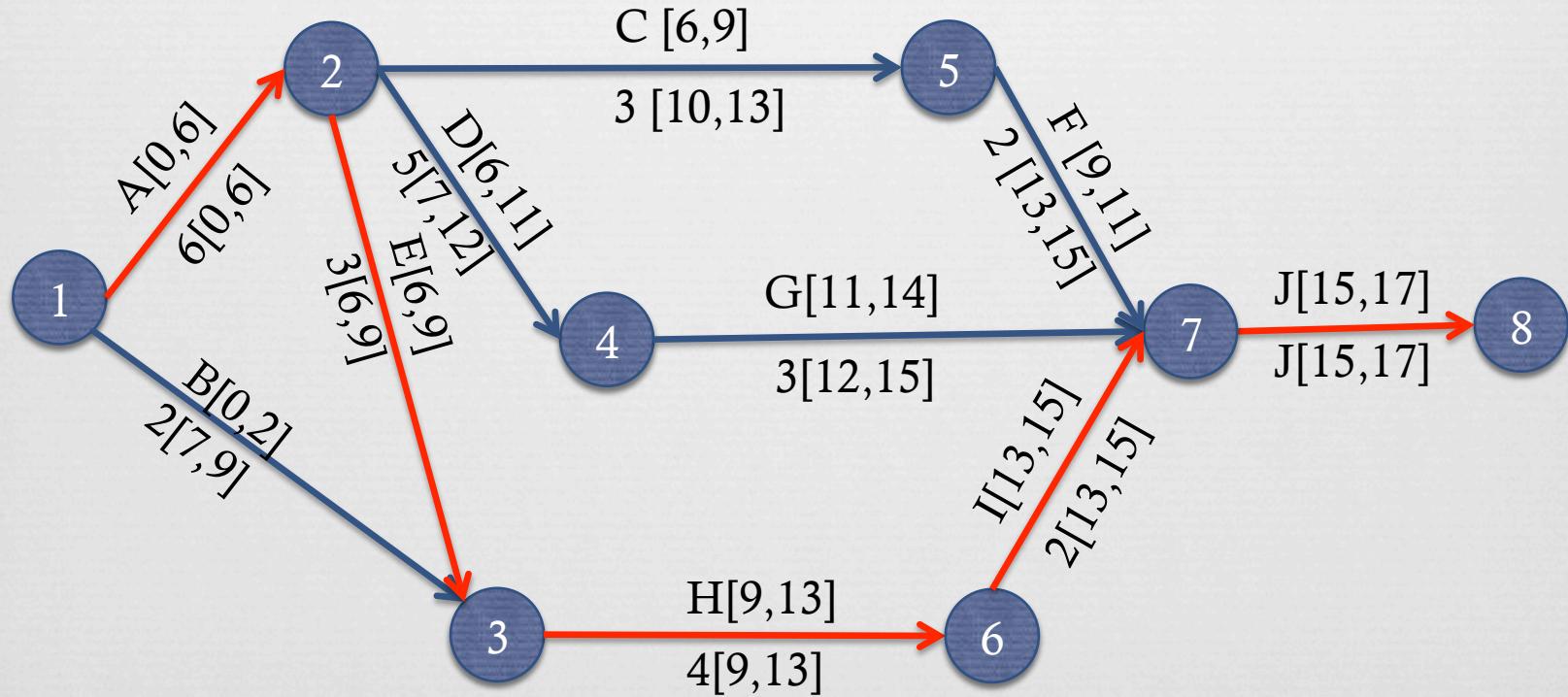
Actividad	ES	LS	EF	LF	Slack (LS-ES)	Crítico?
A	0	0	6	6	0	SI
B	0	7	2	9	7	
C	6	10	9	13	4	
D	6	7	11	12	1	
E	6	6	9	9	0	SI
F	9	13	11	15	4	
G	11	12	14	15	1	
H	9	9	13	13	0	SI
I	13	13	15	15	0	SI
J	15	15	17	17	0	SI

PROGRAMA DE ACTIVIDADES PARA EL PROYECTO “*Porta-Vac*”

Programación de Proyectos con tiempos inciertos



- ❖ Camino Crítico del Proyecto “*Porta-Vac*” utilizando los tiempos esperados:



Programación de Proyectos con tiempos inciertos

- ❖ Y cuál es la variabilidad del tiempo total del proyecto?
- ❖ Asumiendo que los tiempos de las actividades son independientes entre sí y que el número de actividades es lo suficientemente grande, podemos utilizar el Teorema del Límite Central:
- ❖ “La suma de los tiempos de las actividades independientes sigue una Distribución de Probabilidades *Normal*”, donde

$$T = t_A + t_E + t_H + t_I + t_J$$

$$\begin{aligned} T &= 6 + 3 + 4 + 2 + 2 \\ &= 17 \end{aligned}$$

Programación de Proyectos con tiempos inciertos

- ❖ Variabilidad del tiempo total del proyecto:
- ❖ De manera similar, la varianza de la duración del proyecto estará dada por la suma de las varianzas:

$$\sigma^2_T = \sigma^2_A + \sigma^2_E + \sigma^2_H + \sigma^2_I + \sigma^2_J$$

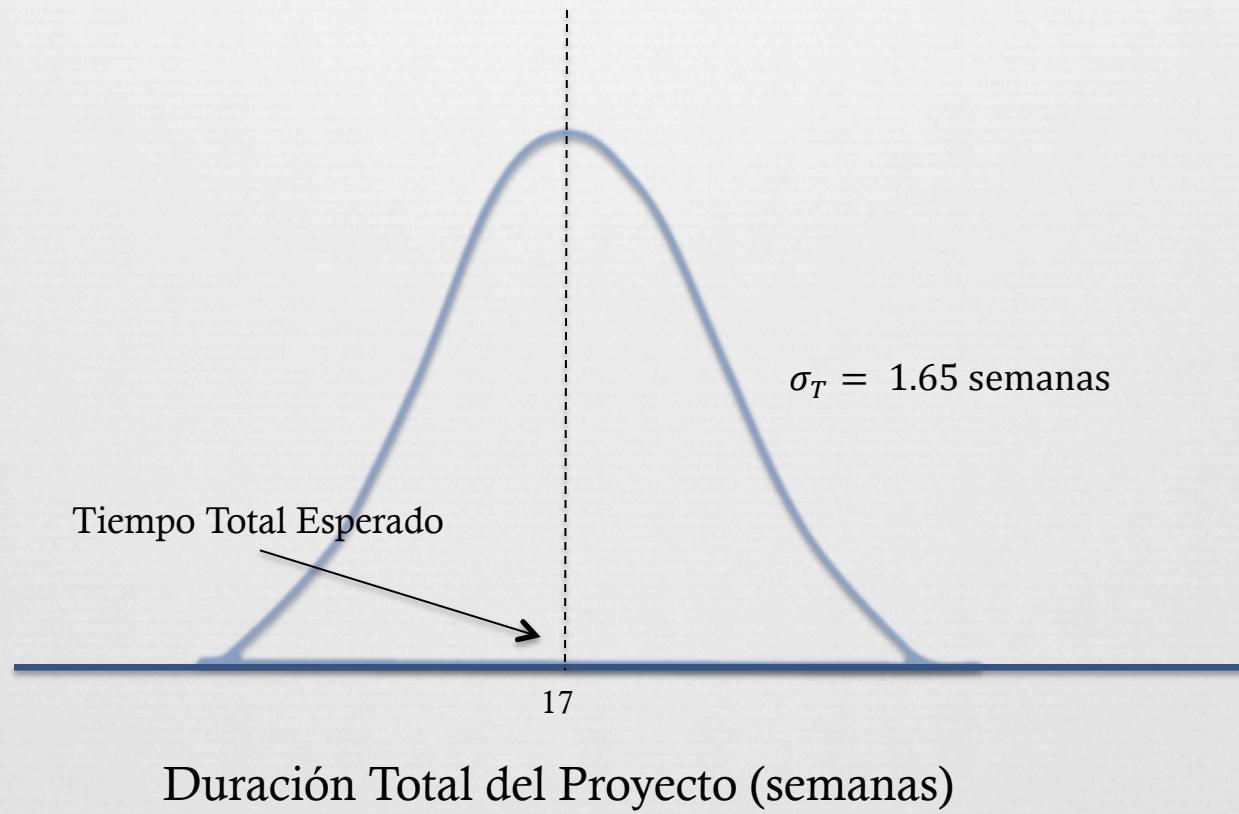
$$\sigma^2_T = 1.78 + 0.11 + 0.69 + 0.03 + 0.11$$

$$\sigma^2_T = 2.72$$

$$\sigma_T = 1.65$$

- ❖ Donde σ_T es el desvío standard del tiempo total.

Programación de Proyectos con tiempos inciertos

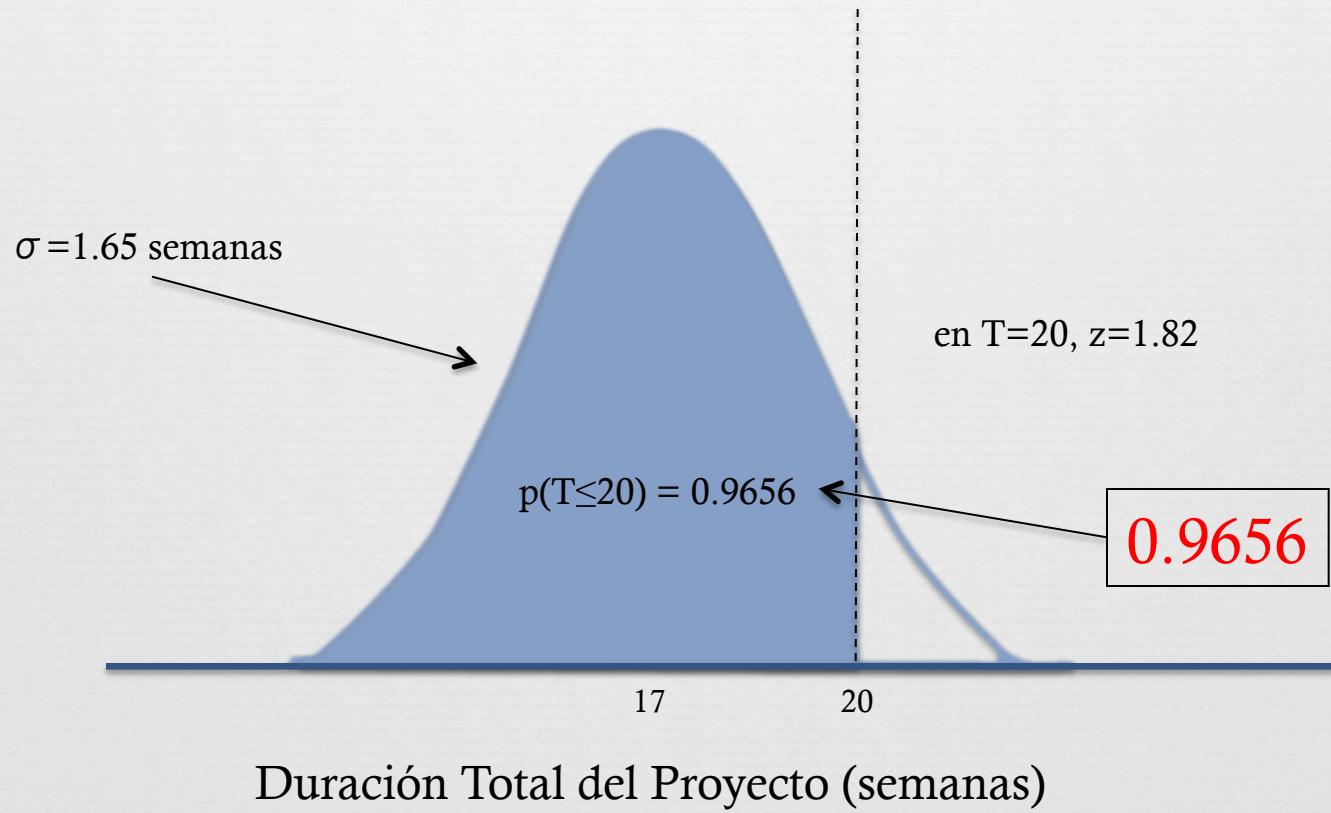


Programación de Proyectos con tiempos inciertos

- Con esta distribución del proyecto, podemos computar la probabilidad de finalizarlo antes (o después) de cierto tiempo. Supongamos que es de interés saber cuál es la probabilidad de completarlo antes de 20 semanas:

$$z = \frac{20 - 17}{1.65} = 1.82$$

Programación de Proyectos con tiempos inciertos



Programación de Proyectos con tiempos inciertos

La probabilidad de que el proyecto pueda completarse dentro de las 20 semanas es del **96.56%**.

Programación de Proyectos con tiempos inciertos

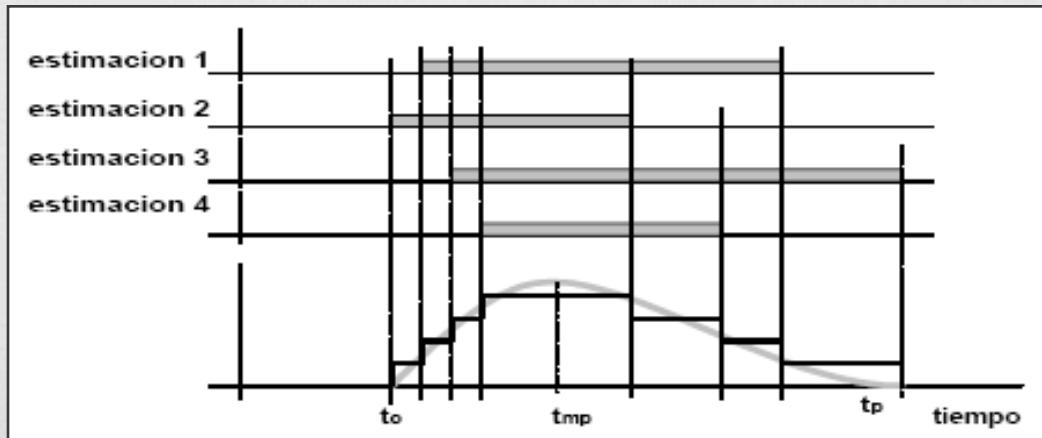
- ❖ Consideraciones sobre la determinación de t_0 , t_m y t_p
- ❖ Estimar los tiempos optimista, pesimista y más probable implica tener claramente identificada cada tarea, y definido exactamente que es lo que debe hacerse en su ejecución.
- ❖ Para poder realizar una correcta estimación se recurre a:
 - ❖ Consulta de expertos
 - ❖ Técnicas de modularización.
- ❖ Todas las tareas son siempre una combinación de actividades varias; algunas tendrán poca incertidumbre y en otras habrá gran incerteza. Se trata, diferenciándolas, de reducir lo más que se pueda la incertidumbre

Programación de Proyectos con tiempos inciertos

- ❖ Determinación de t_0 , t_m y t_p
 - ❖ Resultados históricos
 - ❖ Recurriendo a una base datos o paralelismos con actividades similares desarrolladas anteriormente
 - ❖ Estimación paramétrica
 - ❖ Se puede tratar de relacionar la duración con algún parámetro (por ejemplo, la duración en el desarrollo de un software con la cantidad de líneas, y éstas con la cantidad de operandos y operadores)
 - ❖ Técnica de Delfos

Programación de Proyectos con tiempos inciertos

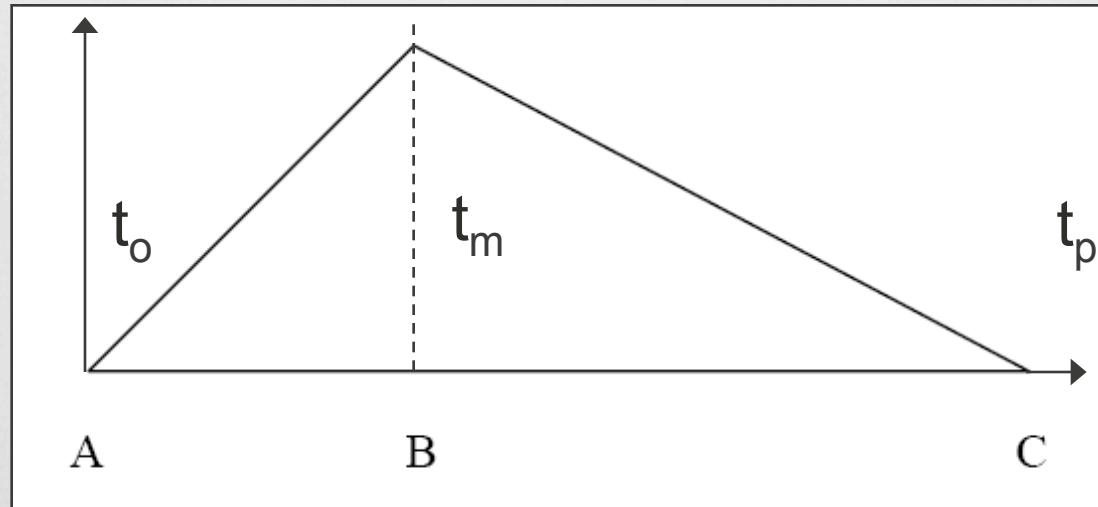
- ❖ Determinación de t_o , t_m y t_p (cont)
- ❖ Basándose en diferentes estimaciones de duración de cada una de las tareas, con datos obtenidos en forma independiente entre sí, es posible hacer una mejor estimación de los tiempos optimista, pesimista y más probable, tal como muestra la figura.



Programación de Proyectos con tiempos inciertos

❖ Distribución triangular

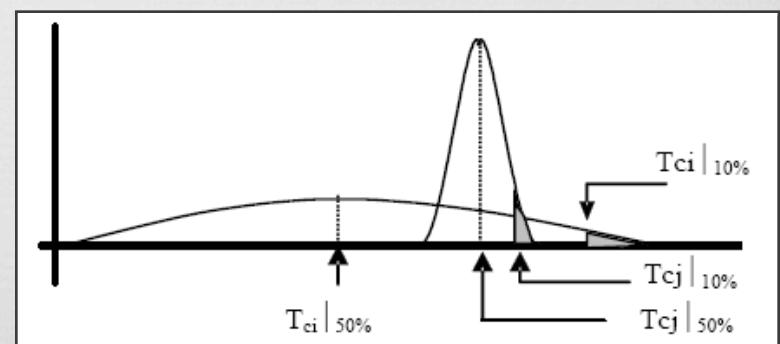
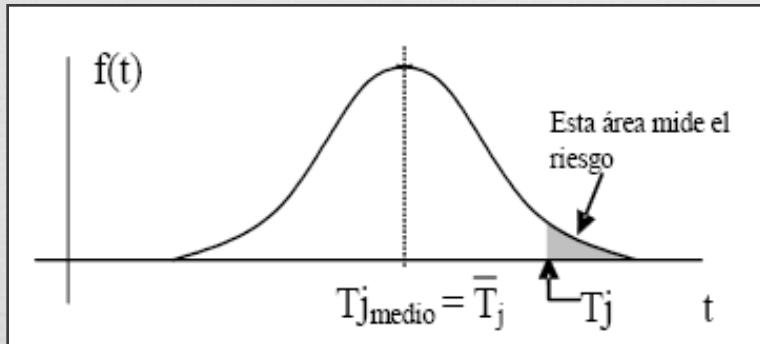
❖ Cuando el PERT fue creado, se comenzó usando la distribución beta (como se explicó anteriormente), para realizar la estimación de tiempos. Hoy en día, gracias al incremento en la capacidad de procesamiento de los computadores, se puede utilizar una distribución triangular.



Programación de Proyectos con tiempos inciertos

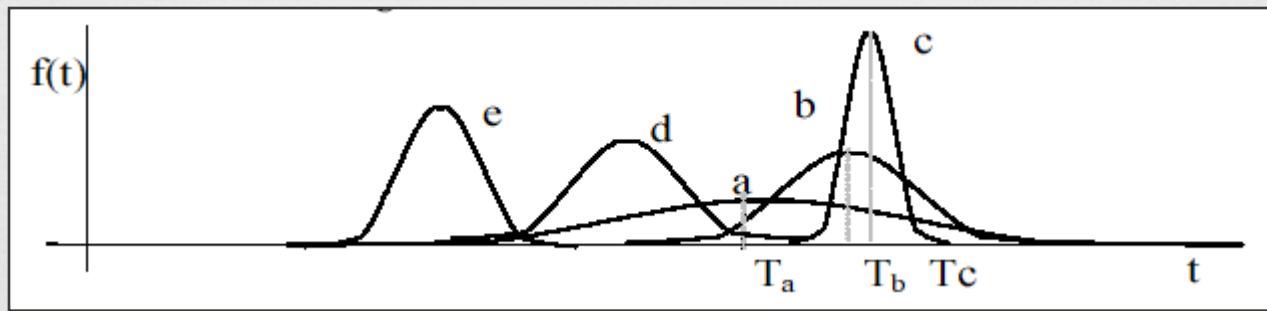
(riesgo y caminos semicríticos)

- El riesgo α es la probabilidad de que no pueda concretarse el proyecto en el tiempo estimado
- Prefijado un riesgo, la duración del proyecto quedará determinada por el camino de mayor duración, el cual pasa a ser el camino crítico.
- Si se adoptara otro riesgo puede resultar otro camino crítico, tal como muestra la figura, en la cual se indican las funciones de densidad de dos caminos, el i y el j. Para un riesgo del 50%, el camino crítico es el j. Si en cambio se plantea un riesgo del 10%, el camino crítico sería el i.



Programación de Proyectos con tiempos inciertos (riesgo y caminos semicríticos)

- ❖ Si las curvas de densidad de los distintos caminos se solapan, cualquiera podría convertirse en crítico
- ❖ Los caminos a, b y c de la figura son todos caminos semicríticos.



Una vez fijado un riesgo sólo uno de ellos es crítico.
Con un riesgo del 50%, pasa a ser crítico el camino c

PERT / CPM

Trade-Offs de Tiempo y Costo



- ☞ Imaginemos un sencillo proyecto de mantenimiento de dos máquinas

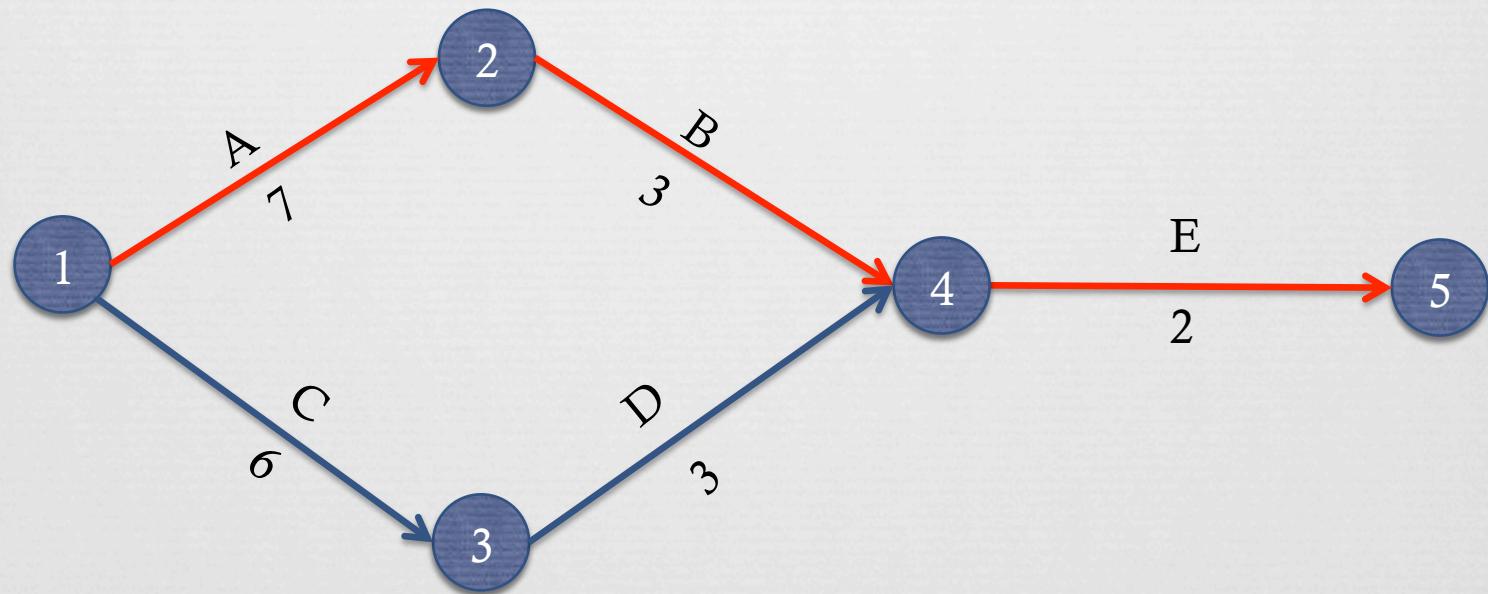
Actividad	Descripción	Predecesora Inmediata	Tiempo Esperado (Días)
A	Recorrido de Máquina I	--	7
B	Ajuste de Máquina I	A	3
C	Recorrido de Máquina II	--	6
D	Ajuste Máquina II	C	3
E	Pruebas del Sistema en Conjunto	B,D	2

PERT / CPM

Trade-Offs de Tiempo y Costo



❖ Red del proyecto



PERT / CPM

Trade-Offs de Tiempo y Costo



Actividad	ES	LS	EF	LF	Slack (LS-ES)	Crítico?
A	0	0	7	7	0	SI
B	7	7	10	10	0	SI
C	0	1	6	7	1	
D	6	7	9	10	1	
E	10	10	12	12	0	SI

PROGRAMA DE ACTIVIDADES PARA EL PROYECTO MANTENIMIENTO

PERT / CPM

Trade-Offs de Tiempo y Costo



- ❖ Supongamos que los actuales niveles de producción hacen imperativo que el proyecto de mantenimiento finalice en 10 días.
- ❖ Una primera observación nos permite deducir que no podremos finalizarlo 2 días antes, a menos que acortemos el tiempo de una o más actividades. Normalmente, ello incrementará los COSTOS, ya sea por el empleo de más personal o material.
- ❖ Será de interés, entonces, descubrir qué actividades –y en qué medida- deben ser acortadas al menor costo.
- ❖ Inicialmente, podríamos pensar que dicho/s acortamiento/s (Crashing) debería/n efectuarse siempre en las actividades del camino crítico.

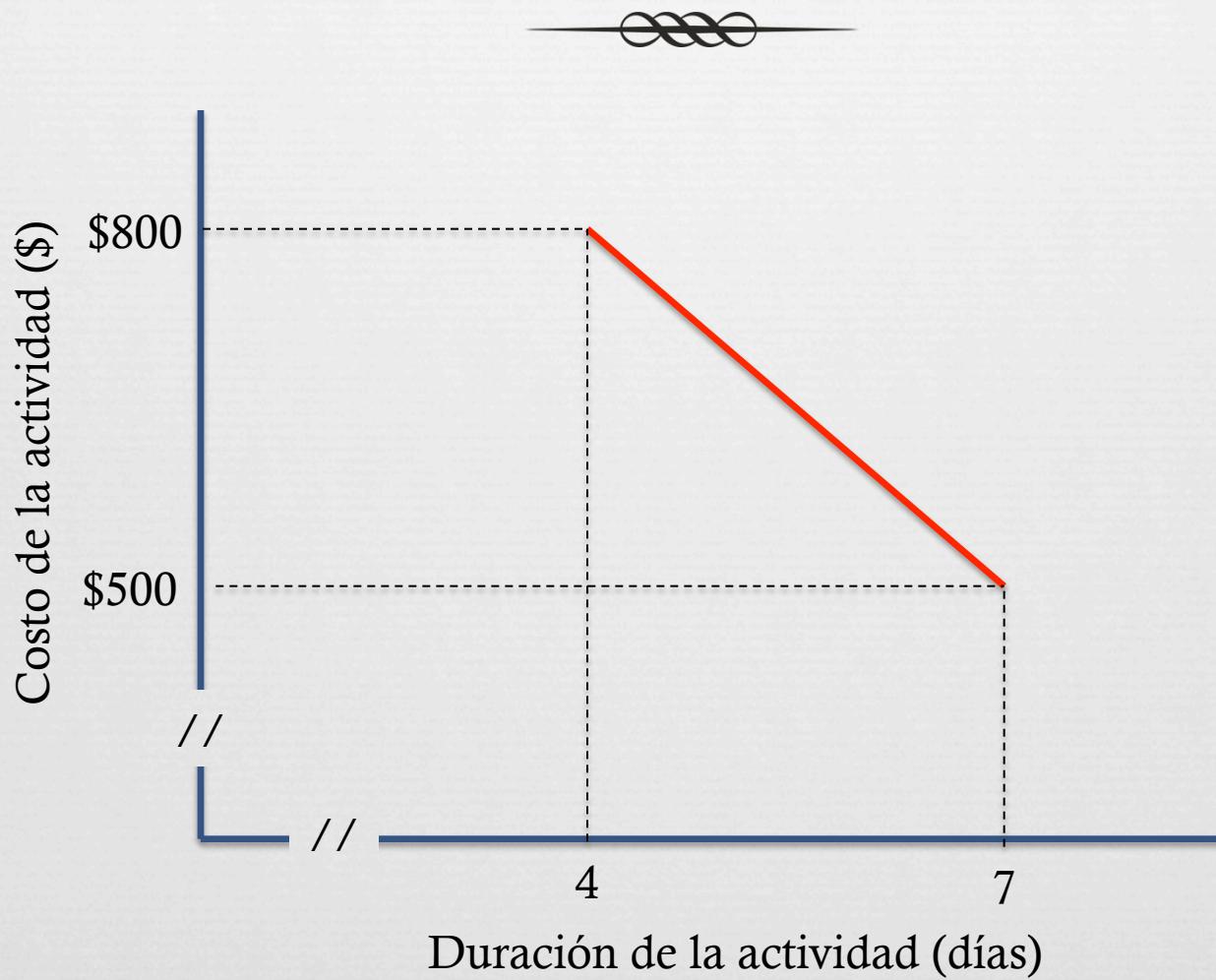
Tiempo-Costo Trade-Offs



- ❖ Sin embargo, deberá tenerse en cuenta que, a medida que acortamos las actividades del camino crítico, otros caminos pueden convertirse en críticos!
- ❖ Lo primero que se debe hacer para manejar el crashing de actividades es obtener la siguiente información:
 - ❖ Costo estimado de cada actividad a tiempo normal (C_j a T_j)
 - ❖ Mínima duración para cada actividad, con máximo acortamiento (T'_j)
 - ❖ Costo estimado para cada actividad con máximo acortamiento (C'_j)
- ❖ Asumiendo una relación lineal entre el costo de cada actividad y su duración, tal como podemos observar como ejemplo para la actividad A:

PERT / CPM

Trade-Offs de Tiempo y Costo



PERT / CPM

Trade-Offs de Tiempo y Costo



❖ Podemos confeccionar una Tabla de Tiempos y Costos

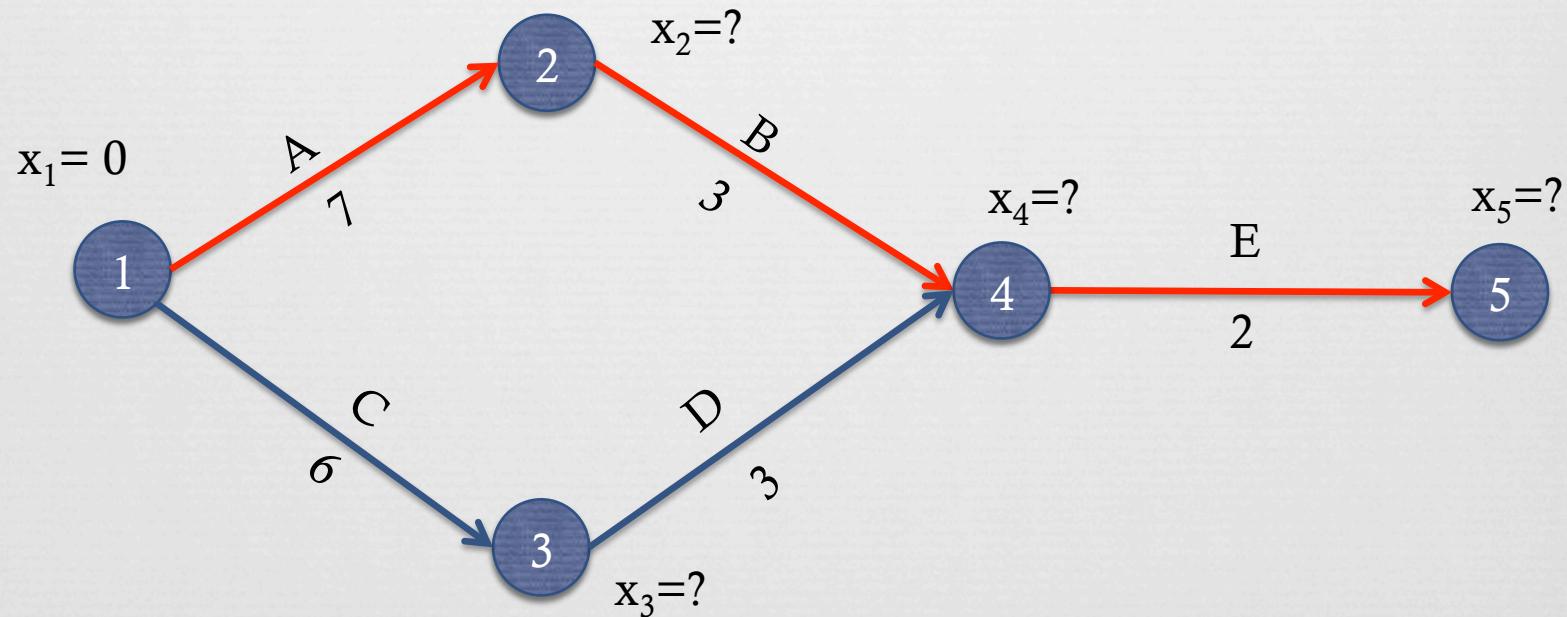
Actividad	Duración Normal T_j (Días)	Mínima Duración T'_j (Días)	Costo Normal C_j (\$)	Costo a Crashing Total C'_j (\$)	Máximo Crashing $T_j - T'_j$	Costo del Crashing por Día $K_j = C'_j - C_j$ $T_j - T'_j$
A	7	4	500	800	3	100
B	3	2	200	350	1	150
C	6	4	500	900	2	200
D	3	1	200	500	2	150
E	2	1	300	550	1	250
			\$1700	\$3100		

PERT / CPM

Trade-Offs de Tiempo y Costo



- Podremos utilizar programación lineal, empleando la variable x_i (tiempo de ocurrencia del evento i)



PERT / CPM

Trade-Offs de Tiempo y Costo



- ❖ Y la variable y_j (acortamiento para la actividad j), de modo que, por ejemplo para la actividad A:
 - ❖ $x_2 \geq (T_A - y_A) + x_1$
- ❖ Consideramos entonces la siguiente Función Objetivo:

$$\min \sum K_j y_j$$

- ❖ donde recordemos:
 - ❖ $K_j = (C'_j - C_j) / (T_j - T'_j)$ = costo del acortamiento por día para la actividad j
 - ❖ y_j = acortamiento para la actividad j

PERT / CPM

Trade-Offs de Tiempo y Costo



Actividad	Duración luego del Crashing	ES	LS	EF	LF	Slack (LS-ES)	Costo	Crítico?
A	7 -> 5	0	0	5	5	0	\$500+ \$200	SI
B	3	5	5	8	8	0	\$200	SI
C	6	0	0	6	6	0	\$500	SI
D	3 -> 2	6	6	8	8	0	\$200+ \$150	SI
E	2	8	8	10	10	0	\$300	SI
							\$2050	

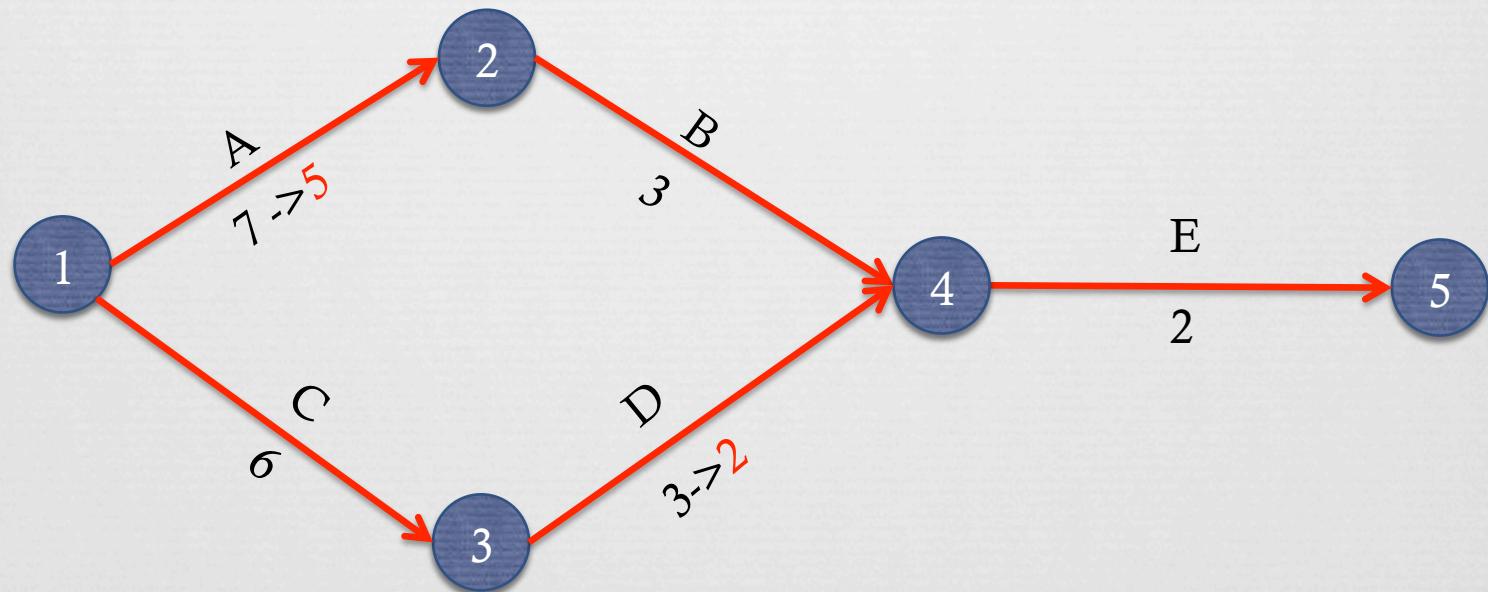
NUEVO PROGRAMA DE ACTIVIDADES PARA EL PROYECTO
 MANTENIMIENTO ACORTADO A 10 DÍAS
 $(\$1700+\$200(A)+\$150(D)=\$2050)$.
 Y todas las actividades son críticas!

PERT / CPM

Trade-Offs de Tiempo y Costo



- ❖ Red acortada del proyecto de mantenimiento ($T=10$ días)



Técnicas Simulación de Monte Carlo



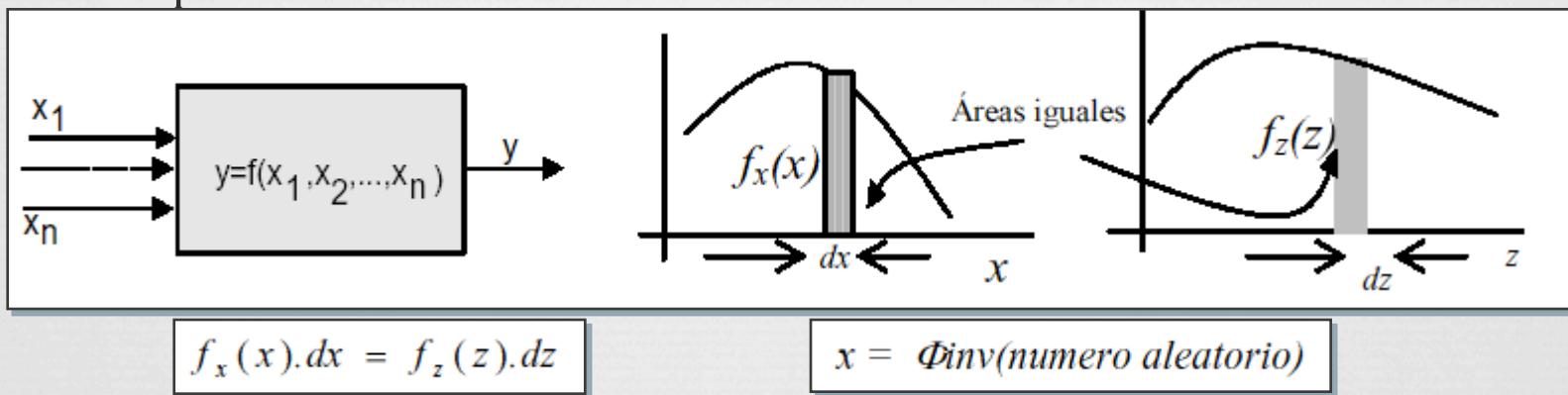
ITBA
2015

PERT/CPM

Simulación de MONTE CARLO



- ❖ Permite realizar una simulación del proyecto, con el fin de determinar el camino crítico teniendo en cuenta el carácter aleatorio de los tiempos de las tareas



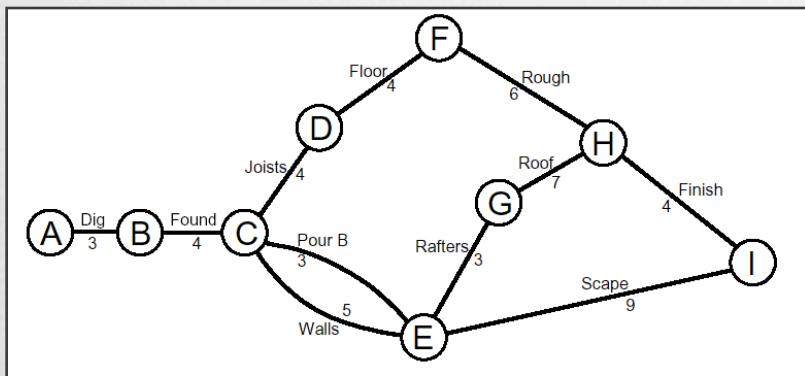
- ❖ El proceso de simulación se resume así:
 - ❖ Entrar en la función inversa de cada una de las variables de entrada con un número aleatorio. $\sim N(0,1)$
 - ❖ Obtener el valor que asume dicha variable en esa realización.
 - ❖ Conocidas todas las entradas, se puede hallar el valor de la salida de esa realización.
 - ❖ Ejecución reiterada de este proceso.

PERT/CPM

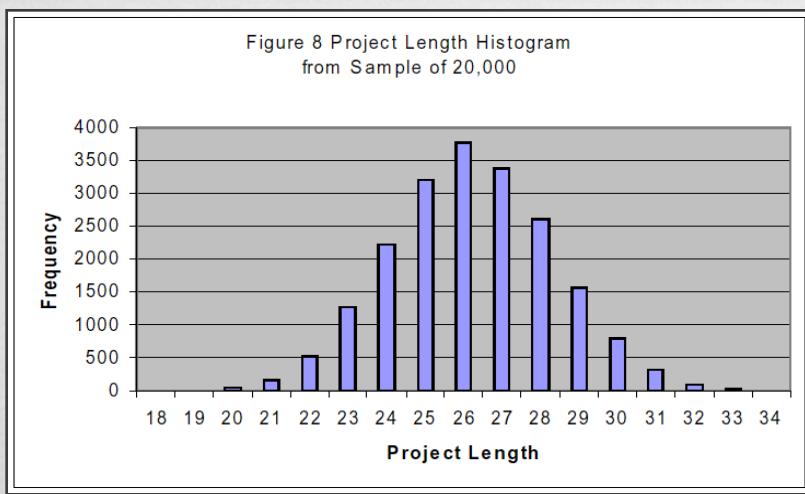
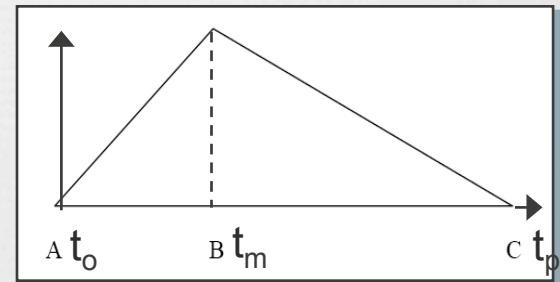
Simulación de MONTE CARLO



❖ Ejemplo:



TASK,	A,	B,	C
DIG	1	3	5
FOUND	2	4	6
JOISTS	2	4	6
POURB	1	3	5
WALLS	2	5	8
FLOOR	1	4	7
RAFTERS	1	3	5
ROUGH	3	6	9
ROOF	4	7	10
FINISH	2	4	6
SCAPE	3	9	15;



$$\bar{t}_{CP} = 26$$

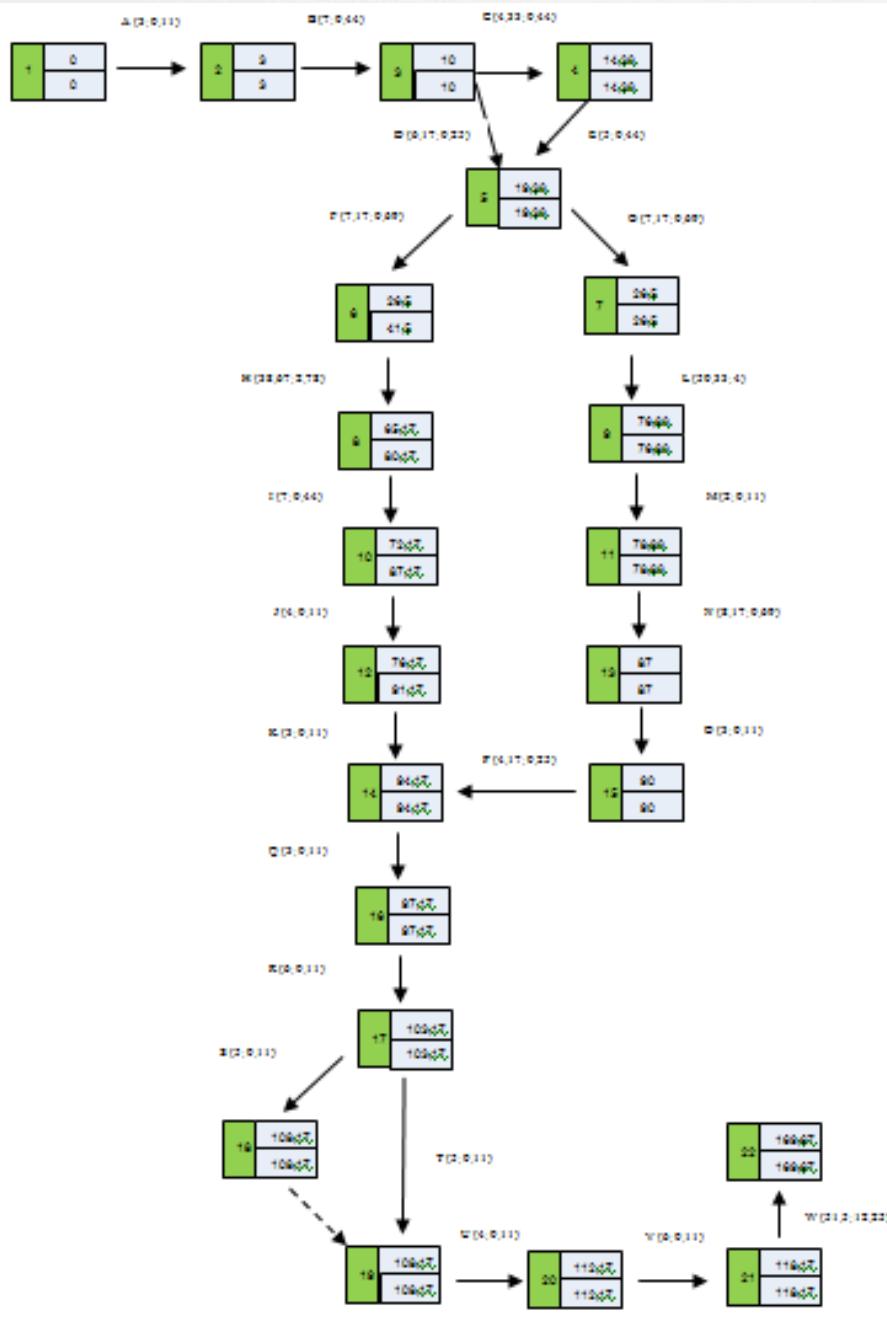
$$E\{t_{CP}\} = 26.708$$

$$P(t_{CP} \geq 29) = 0.14$$

Ejemplo

Tarea	Nombre de la tarea	Tiempo Optimista	Tiempo Estimado	Tiempo Pesimista	Tareas Preced.
A	Evaluación y elección de un tipo de producto	2	3	4	-
B	Análisis de soluciones actuales de mercado	5	7	9	A
C	Definición del producto	3	4	7	B
D	Estudio de factibilidad	5	6	8	B
E	Especificaciones finales del producto	3	5	7	C
F	Investigación y análisis de las posibilidades de implementación de Software	5	7	10	D,E
G	Investigación y análisis de las posibilidades de implementación de Hardware	5	7	10	D,E
H	Diseño detallado del Software	35	38	45	F
I	Simulación del Software	5	7	9	H
J	Depuración y debugueo de Software	3	4	5	I
K	Validación del Software	2	3	4	J
L	Diseño detallado del Hardware	45	50	57	G
M	Entorno de desarrollo	1	2	3	L
N	Simulación del Hardware	6	8	11	M
O	Construcción del Hardware	2	3	4	N
P	Validación del Hardware	3	4	6	O
Q	Integración del Software y Hardware	2	3	4	K,P
R	Testeo, análisis y medición del prototipo	5	6	7	Q
S	Implementación de mejoras del Hardware	4	5	6	R
T	Implementación de mejoras del Software	4	5	6	R
U	Ajustes finales al prototipo	3	4	5	S,T
V	Testeo final del prototipo	5	6	7	U
W	Documentación del proyecto	42	51	63	V

Tarea	Esperanza (días)	Varianza (días)
A	3,00	0,11
B	7,00	0,44
C	4,33	0,44
D	6,17	0,25
E	5,00	0,44
F	7,17	0,69
G	7,17	0,69
H	38,67	2,78
I	7,00	0,44
J	4,00	0,11
K	3,00	0,11
L	50,33	4,00
M	2,00	0,11
N	8,17	0,69
O	3,00	0,11
P	4,17	0,25
Q	3,00	0,11
R	6,00	0,11
S	5,00	0,11
T	5,00	0,11
U	4,00	0,11
V	6,00	0,11
W	51,50	12,25



Camino	Secuencia de tareas
Camino 1	A-B-C-E-G-L-M-N-O-P-Q-R-S-U-V-W
Camino 2	A-B-C-E-G-L-M-N-O-P-Q-R-T-U-V-W
Camino 3	A-B-C-E-F-H-I-J-K-Q-R-T-U-V-W
Camino 4	A-B-C-E-F-H-I-J-K-Q-R-S-U-V-W

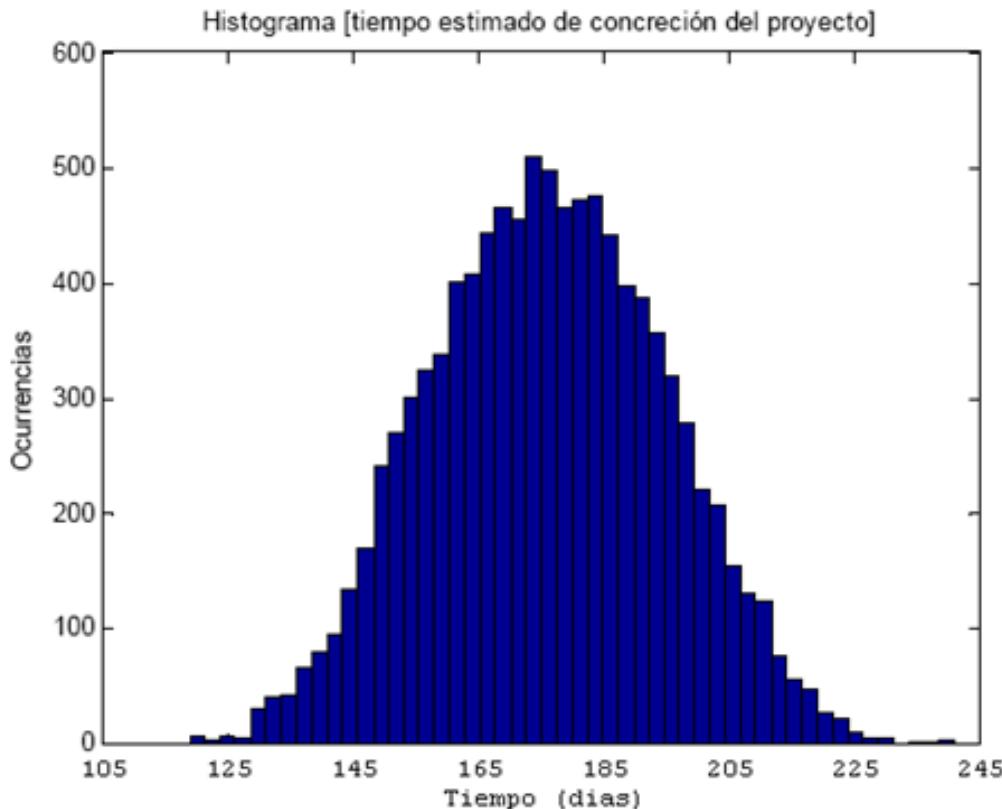
Realizando la sumatoria de todos los tiempos medios encontrados para las tareas involucradas en cada camino, podemos obtener la duración total del proyecto para cada uno de los caminos propuestos y así identificar cual de estos es crítico.

En nuestro caso el camino crítico resultó ser el segundo con 169,67 días de duración.

No se puso en consideración las varianzas

Camino	Ocurrencias	Porcentaje
Camino 1	4894	48.94 %
Camino 2	5092	50.92 %
Camino 3	5	0.05 %
Camino 4	9	0.09 %

Media	173,27 días
Desvío	7,77 días



Qué pasa si ahora consideramos los 4 caminos?

La distribución normal posee una media de 173,27 días y un desvío estándar de 7,77 días. Finalmente, para un nivel de confianza del 99,5% el proyecto durará como máximo 230,15 días

Técnicas Diagramas de Gantt



ITBA
2015

Historia



- ❖ Fue Henry Laurence Gantt quien, entre 1910 y 1915, desarrolló y popularizó este tipo de diagrama.
- ❖ Es una herramienta gráfica especialmente útil para programación y control, cuyo objetivo es reflejar las diferentes tareas o actividades a lo largo de un tiempo total determinado.
- ❖ A pesar de ello, el Diagrama de Gantt cuenta con la desventaja de que no indica fácilmente las relaciones de interdependencia existentes entre las actividades.

Diagramas de Gantt

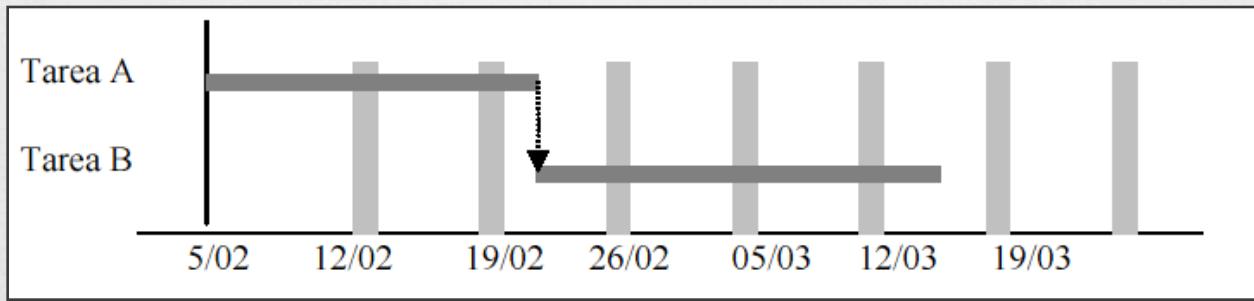


- ❖ Este diagrama tiene en su eje horizontal el tiempo calendario, orientado a los días laborables.
- ❖ Cada tarea está representada por una barra horizontal definiendo, por ejemplo:
 - ❖ Su fecha de inicio y finalización
 - ❖ Horas diarias de trabajo
 - ❖ Recursos

Diagramas de Gantt



- El diagrama marca la vinculación de precedencia entre tareas (no tanto su interdependencia).

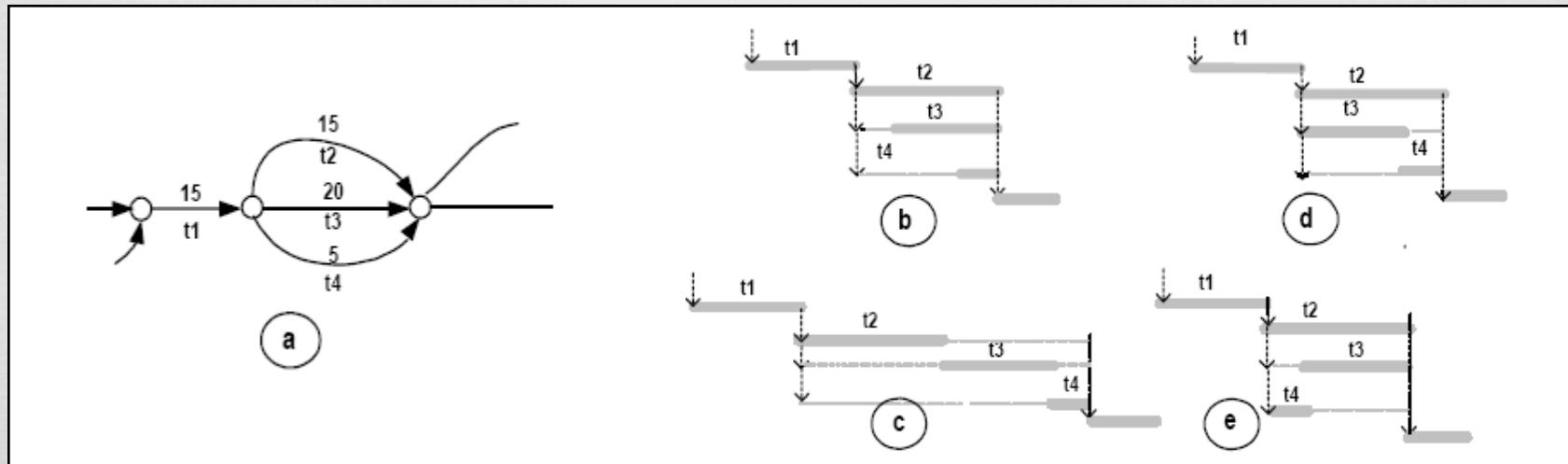


- El problema que se presenta para construir este diagrama es cómo representar la duración de una tarea que está sujeta a incertidumbre.

Diagramas de Gantt



- La asignación de recursos y el calendario que debe cumplirse se determina en base a los criterios que hayan sido fijados por la dirección de la empresa.
- Recordemos que la etapa de planificación determina el tiempo que lleva la ejecución de cada tarea

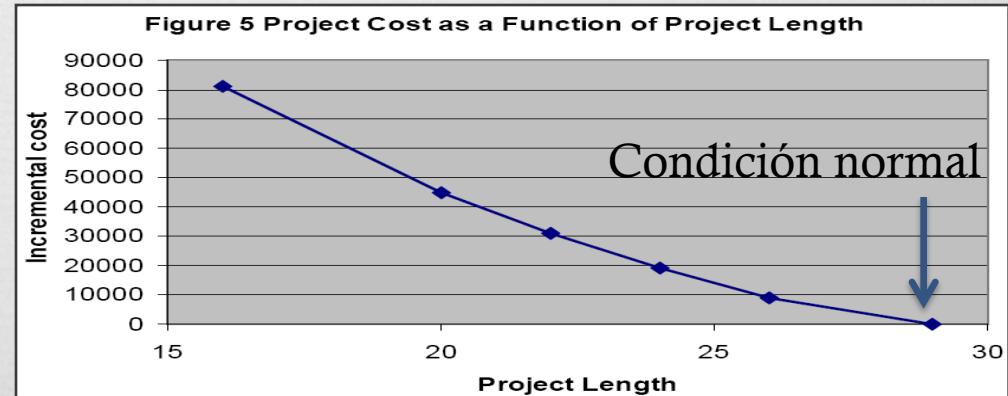
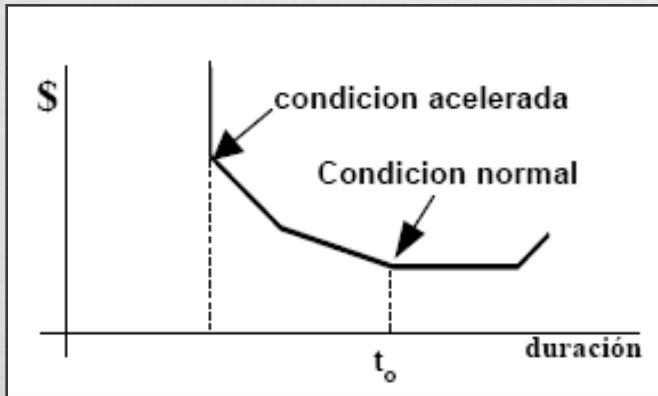


Diagramas de Gantt



❖ Recordemos que:

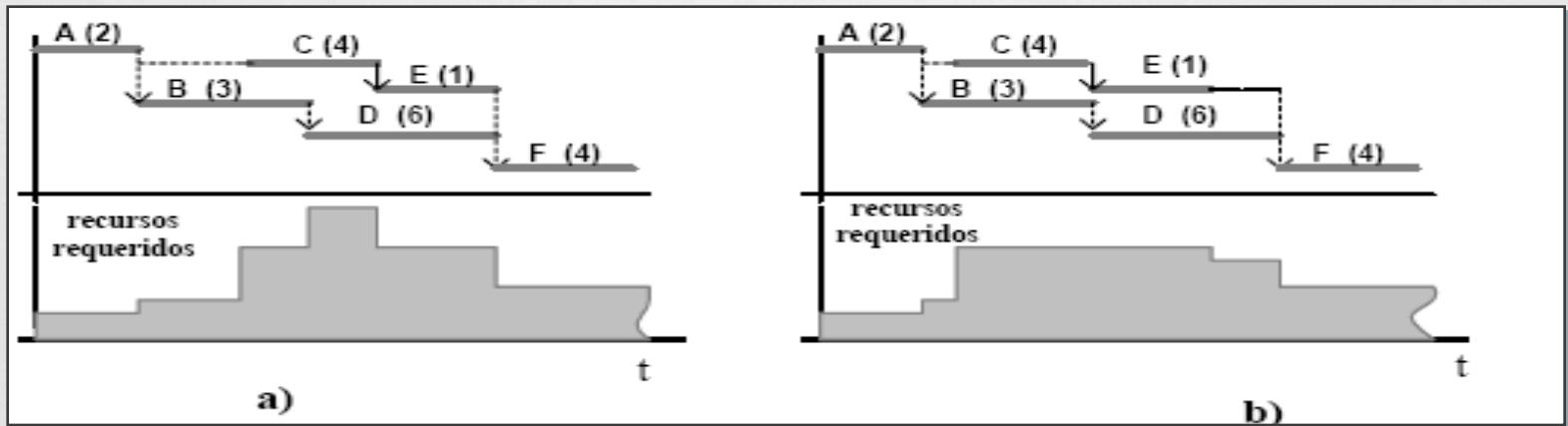
- ❖ Para ejecutar el proyecto en el menor tiempo se debe acelerar la ejecución de algunas de las tareas.
- ❖ La relación entre costo y duración toma típicamente la forma indicada en la figura
- ❖ Por más recursos que se dispongan no es posible acortar la duración más allá de un valor dado.
- ❖ Existe un tiempo óptimo que minimiza el costo



Diagramas de Gantt



- El perfil de **recursos** requeridos será diferente con cada asignación.



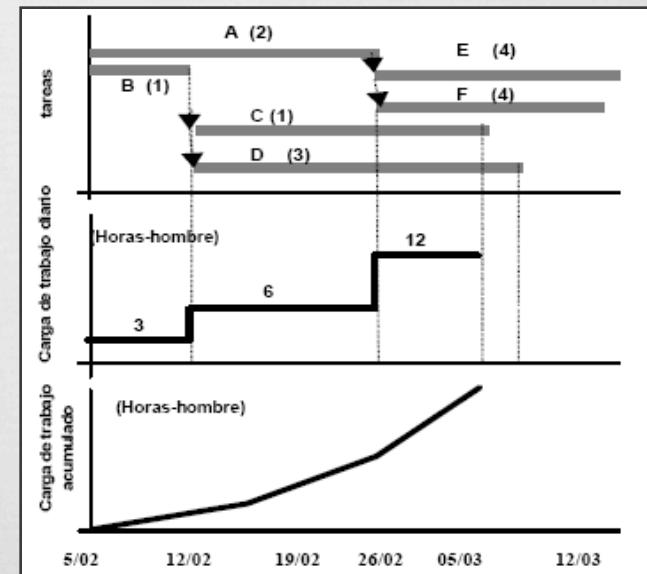
- (a) se han retrasado las tareas no críticas tanto como es posible.
 - Esto acarrea una fuerte desnivelación en los recursos requeridos.
- (b) Empleando los márgenes disponibles en las tareas C y E es posible lograr una mejor nivelación sin retrasar al proyecto.

Control de Proyectos

Diagramas de Gantt

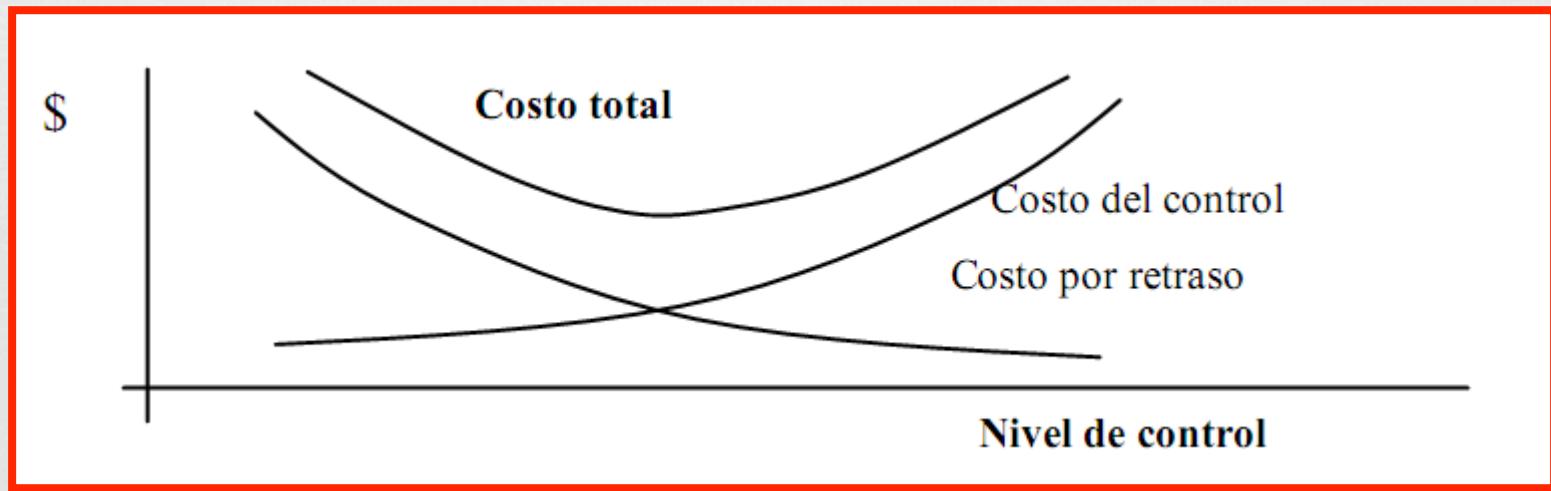


- ❖ Asignados los recursos y construido el diagrama de Gantt, se puede establecer el perfil de carga diario.
- ❖ La suma de las horas-hombre que está planeado ejecutar hasta un momento determinado indica el trabajo planeado total acumulado
- ❖ El control se realizará contra el trabajo acumulado buscando:
 - ❖ Saber si lo ejecutado está dentro de lo planeado
 - ❖ Estimar, en base a lo ejecutado, si va a cumplirse con la fecha de finalización
 - ❖ Determinar una nueva fecha de terminación, bajo el riesgo asumido.
 - ❖ Disparar acciones correctivas, para situarse dentro de lo planeado.



Control de Proyectos

Diagramas de Gantt



Los controles deben estar contemplados dentro de la planificación misma y su número resultará como balance de los costos del control, frente a los costos derivados de los retrasos.

Temas Desarrollados



- ❖ Introducción
- ❖ Proceso de Diseño
- ❖ Planificación y Programación
 - ❖ Gestión de Proyectos. Conceptos Generales
 - ❖ Técnica de evaluación y revisión de programa (PERT) y método del camino crítico (CPM)
 - ❖ Estimación de la duración de un proyecto
 - ❖ Márgenes de las tareas
 - ❖ Caminos semicríticos
 - ❖ Compromisos entre tiempo y recursos
 - ❖ Técnica de Simulación de Monte Carlo
 - ❖ Técnica de Diagrama de Gantt
 - ❖ Asignación de recursos
- ❖ Control

Ejercicio rápido



- ❖ Usted forma parte del equipo de dos (2) Ingenieros que debe desarrollar el producto tratado en las clases precedentes: **Un transformador de tensión 24/12 V para radio de vehículo**. El producto debe ser lanzado en **20 semanas**.
- ❖ Ambos han identificado una serie de tareas, algunas de las cuales podrían ser realizadas simultáneamente.
- ❖ Debido a su experiencia en el tema y a la información disponible en la empresa, han decidido utilizar tiempos determinísticos.

Ejercicio rápido

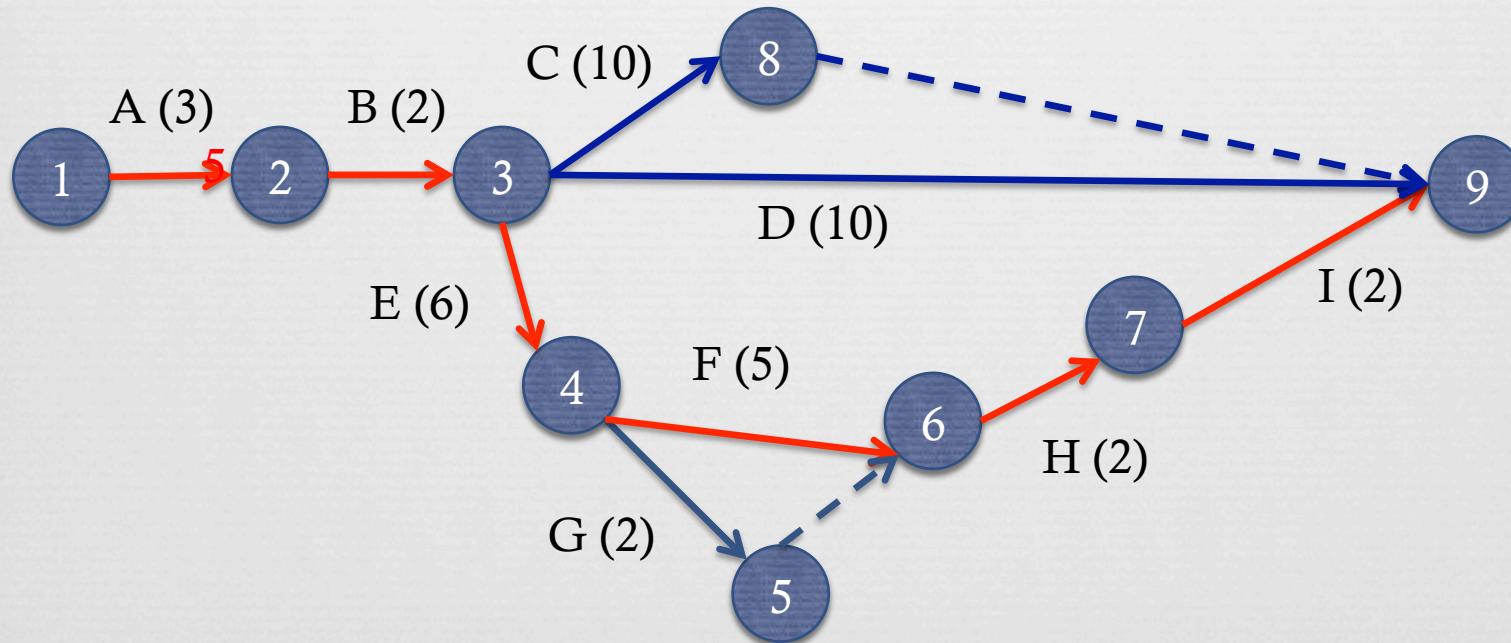


- ≈ Indique los Tiempos que asignaría a cada Tarea
- ≈ Diseñe la Red PERT/CPM y Determine el Camino Crítico resultante
- ≈ Realice el Diagrama de Gantt correspondiente, reflejando los huelgos, si los hubiera

Ejercicio rápido

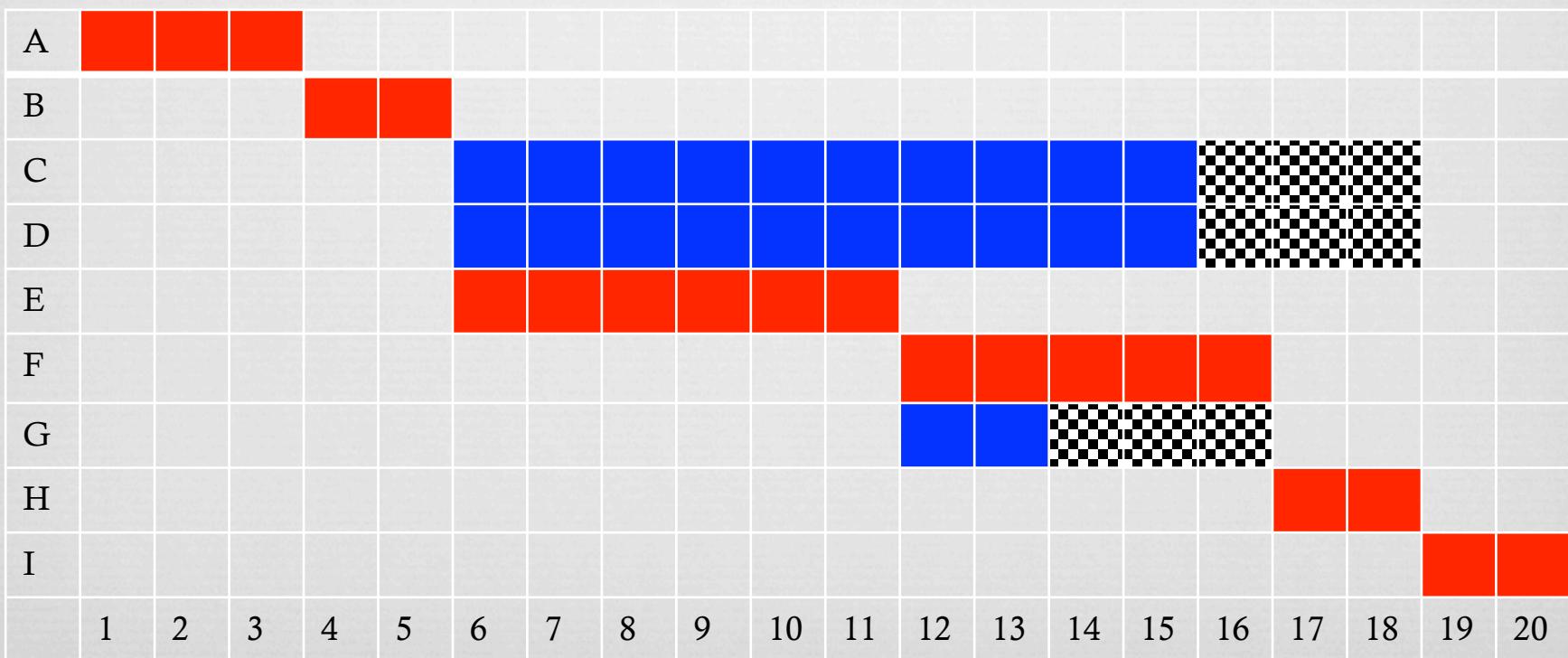
Actividad	Descripción de las Tareas	Predecesora Inmediata	Duración (Semanas)
A	Definición del Producto (Requerimientos y Especificaciones)		
B	Análisis de Propuestas Alternativas de Diseño/ Factibilidades		
C	Gestión de Patentes y Marcas (x Depto. Legales)		
D	Plan de Marketing (x Depto Marketing)		
E	Ingeniería de Detalle		
F	Construcción del Prototipo		
G	Plan de Validación		
H	Validación		
I	Preparación Final de Documentación		
Duración Total			20

Actividad	Descripción de las Tareas	Predecesora Inmediata	Duración (Semanas)
A	Definición del Producto (Requerimientos y Especificaciones)	-	3
B	Análisis de Propuestas Alternativas de Diseño/Factibilidades	A	2
C	Gestión de Patentes y Marcas (x Depto. Legales)	B	10
D	Plan de Marketing (x Depto Marketing)	B	10
E	Ingeniería de Detalle	B	6
F	Construcción del Prototipo	E	5
G	Plan de Validación	E	2
H	Validación	F, G	2
I	Preparación Final de Documentación	H	2
Duración Total			20



❖ El camino más largo es el CAMINO CRÍTICO: 20 s

Actividad	Descripción de las Tareas	Predecesora Inmediata	Duración (Semanas)
A	Definición del Producto (Requerimientos y Especificaciones)	-	3
B	Análisis de Propuestas Alternativas de Diseño/Factibilidades	A	2
C	Gestión de Patentes y Marcas (x Depto. Legales)	B	10
D	Plan de Marketing (x Depto Marketing)	B	10
E	Ingeniería de Detalle	B	6
F	Construcción del Prototipo	E	5
G	Plan de Validación	E	2
H	Validación	F, G	2
I	Preparación Final de Documentación	H	2
Duración Total			20



Diseño de Equipos Electrónicos

Planificación, Programación y Control



ITBA
2015