

Bases de la Ingeniería Lean



Objetivos de aprendizaje

Al final de este módulo, podrá:

- **Explicar cómo los principios y prácticas de Lean se aplican a la ingeniería**
- **Explicar la importancia del valor del cliente y el “*front end*” o punto de inicio de ingeniería**
- **Describir las herramientas de ingeniería Lean**
- **Describir cómo la ingeniería Lean habilita a Lean en la empresa, en todo el ciclo de vida del producto**
- **Aplicar técnicas de ingeniería Lean para rediseñar un avión simulado**

2 lecciones claves

- 1. El pensamiento Lean se aplica al proceso de ingeniería**
- 2. Ingeniería tiene un rol fundamental en la creación de valor en empresas Lean**

Aplicación de los fundamentos de Lean a la ingeniería

Pasos de pensamiento Lean	Fabricación	Ingeniería
Valor	Visible en cada paso Meta definida	Más difícil de ver Meta emergente
Flujo de valor	Flujos de piezas y materiales	Flujos de información y conocimiento
Flujo	Las iteraciones son desecho	Las iteraciones planificadas están bien Deben ser eficientes
<i>Pull</i>	Determinado por el tiempo Takt	Determinado por necesidades de empresa
<i>Perfección</i>	Proceso repetible sin errores	Proceso permite mejoramiento de empresa

Fuente: McManus, H.L. "Product Development Value Stream Mapping Manual", LAI, April 2004

La información fluye en el flujo de valor de ingeniería

Ocho desechos de *ingeniería*

1. Sobre producción	Análisis, informes, pruebas innecesarias
2. Inventario	Análisis, informes, pruebas no terminadas
3. Transporte	Trasposos, validaciones complejas
4. Desplazamiento innecesario	Tareas “detenerse y avanzar”. Trabajar en demasiados proyectos a la vez
5. Espera	Esperar decisiones o esperar insumos
6. Productos defectuosos	Reprocesamiento debido a requerimientos o insumos equivocados. Errores que obligan a repetir el esfuerzo para corregir el problema
7. Sobre procesamiento	“Ruido” innecesario de análisis, comunicaciones. Soluciones re-inventadas
8. Creatividad no utilizada de empleados	Ingenieros no participan en mejoramientos de proceso para ingeniería

Uso de procesos eficientes de ingeniería: Aplicación de pensamiento Lean para eliminar desechos y mejorar tiempo de ciclo y calidad en ingeniería



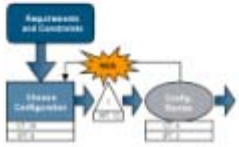
- **Pérdidas de esfuerzo**
 - 40% del esfuerzo en desarrollo de producto es “desecho puro”, 29% es “desecho necesario” (*encuesta de opinión realizada en un taller*)
 - 30% del tiempo asignado a desarrollo de producto es “ajuste y espera” (*encuesta de industrias aeronáutica y automotriz*)



- **Pérdidas de tiempo**
 - 62% de las tareas están detenidas en un momento dado (*estudio detallado de empresa*)
 - 50-90% del tiempo de detención de las tareas se encuentra en eventos tipo Kaizen

Mapa de flujo de valor aplicado a desarrollo de producto

Product Development Value Stream Mapping (PDVSM) Manual



Release 1.0
September 2005

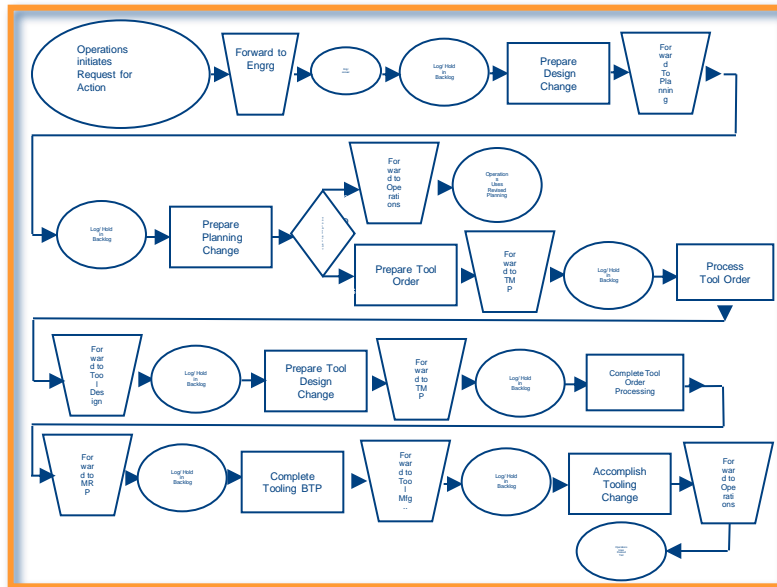
Hugh L. McManus, PhD



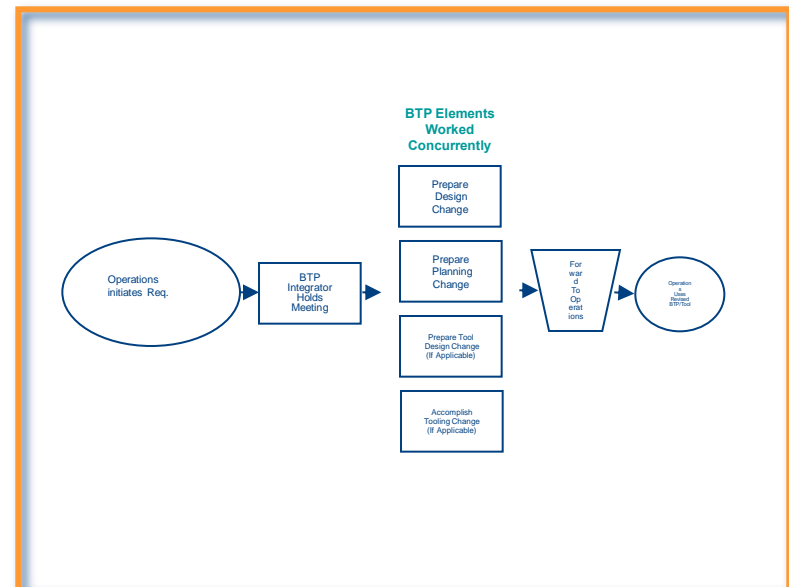
- Se aplica la misma técnica básica
- Los flujos son flujos de conocimiento e información en lugar de productos físicos
- Los pasos de proceso se pueden traslapar o involucrar iteraciones *planificadas*
- Los pasos de valor agregado agregan o transforman conocimiento o *reducen incertidumbre (rol de los pasos de análisis)*
- Cuantifica los parámetros claves de cada actividad (tiempo de ciclo, costos, calidad, defectos, inventario, Etc.)
- Permite un método sistemático para mejorar un proceso mediante eliminación de desechos

Mapa de flujo de valor de desarrollo de producto para el proceso *Build-To-Package* del F16

Proceso antes de Lean



Proceso después de Lean



Cortesía de Lockheed Martin Corporation. Utilizado con permiso.

Flujo único, ingeniería concurrente, co-ubicación

Resultados del centro de soporte Lean de *Build-To-Package* del F-16

- Alcance: *Mejoramientos de producción complementaria ECP Clase II y cambios de funcionamiento iniciados por requisiciones de producción*
- Mejoramiento objetivo: *Reducir el tiempo de ciclo promedio en 50%*
- Operacional: 1999
- Aplicaciones futuras: *Búsqueda de aplicación del concepto en otras áreas*



849 paquetes BTP desde 7/7/99 al 17/1/00

Categoría	% de reducción
Tiempo de ciclo	75%
Pasos de proceso	40%
Cantidad de transferencias	75%
Distancia de desplazamiento	90%

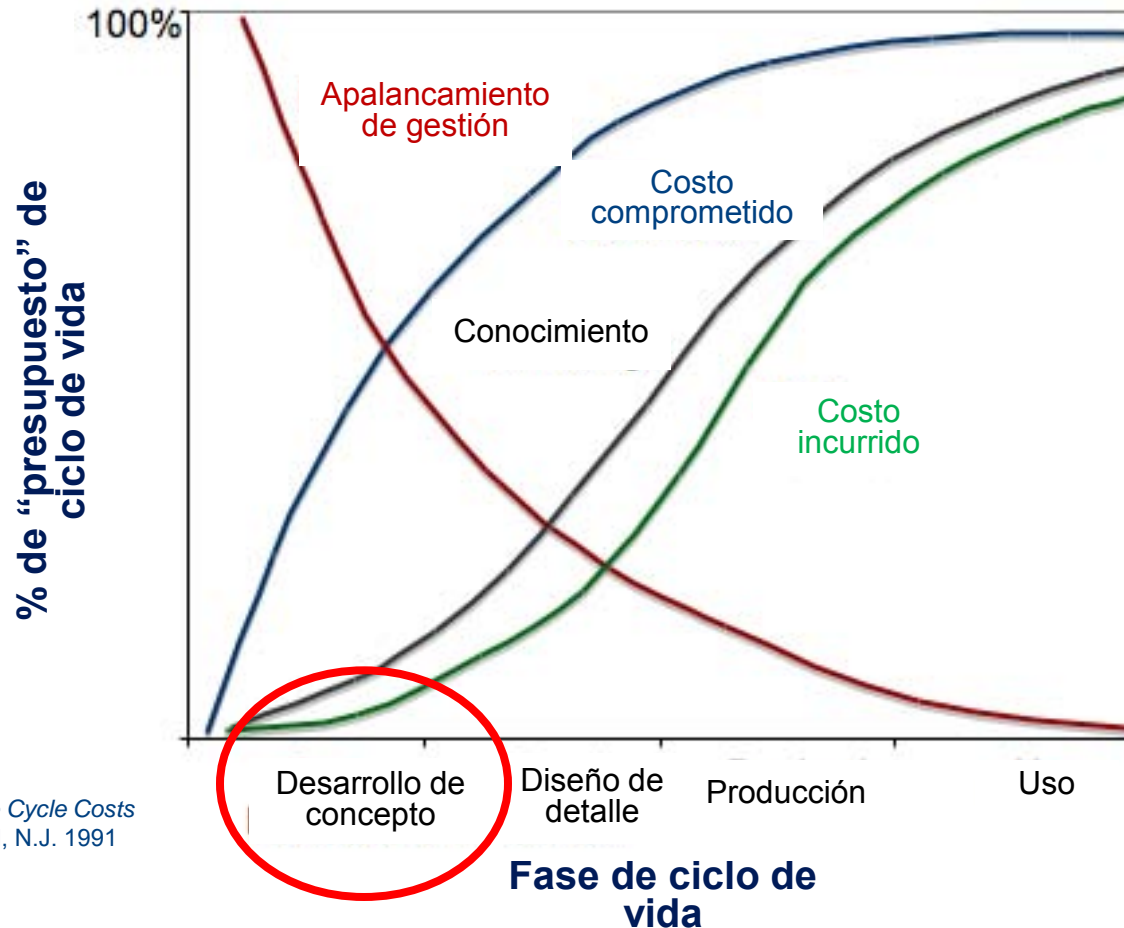
Cortesía de Lockheed Martin Corporation. Utilizado con permiso.

2 lecciones claves

1. El pensamiento Lean se aplica al proceso de ingeniería

2. Ingeniería tiene un rol fundamental en la creación de valor en empresas Lean

Focalización en el punto de inicio en donde se toman las decisiones críticas



Adaptado de Fabrycky, W. *Life Cycle Costs and Economics*. Prentice Hall, N.J. 1991

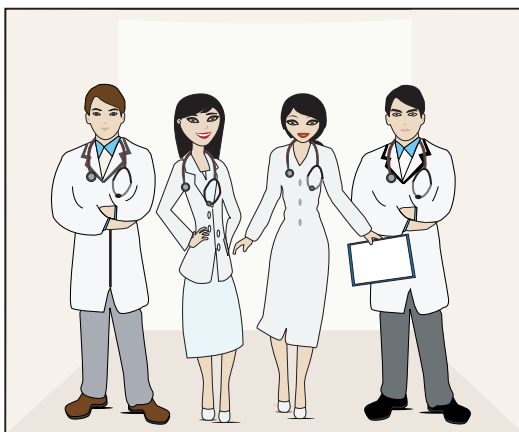
El pensamiento Lean debe partir por ingeniería

RPIW Participants

Objectives Resources



Sponsor



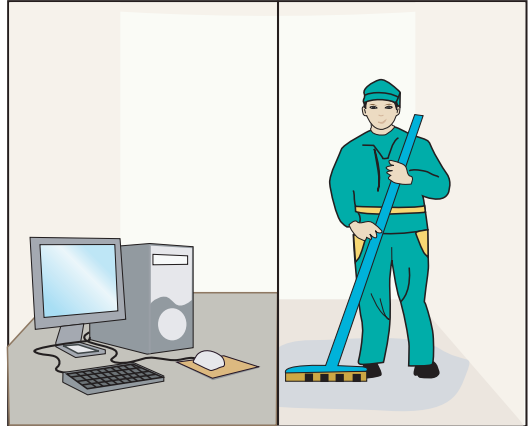
Team Domain Experts
Stakeholders



Champion



Lean Experts Facilitator
Lean Coach, Lean Fellow



Support Team
IT, Facilities...

→a U[Yb `XY`A →H`CdYb7ci fgYK UfY"

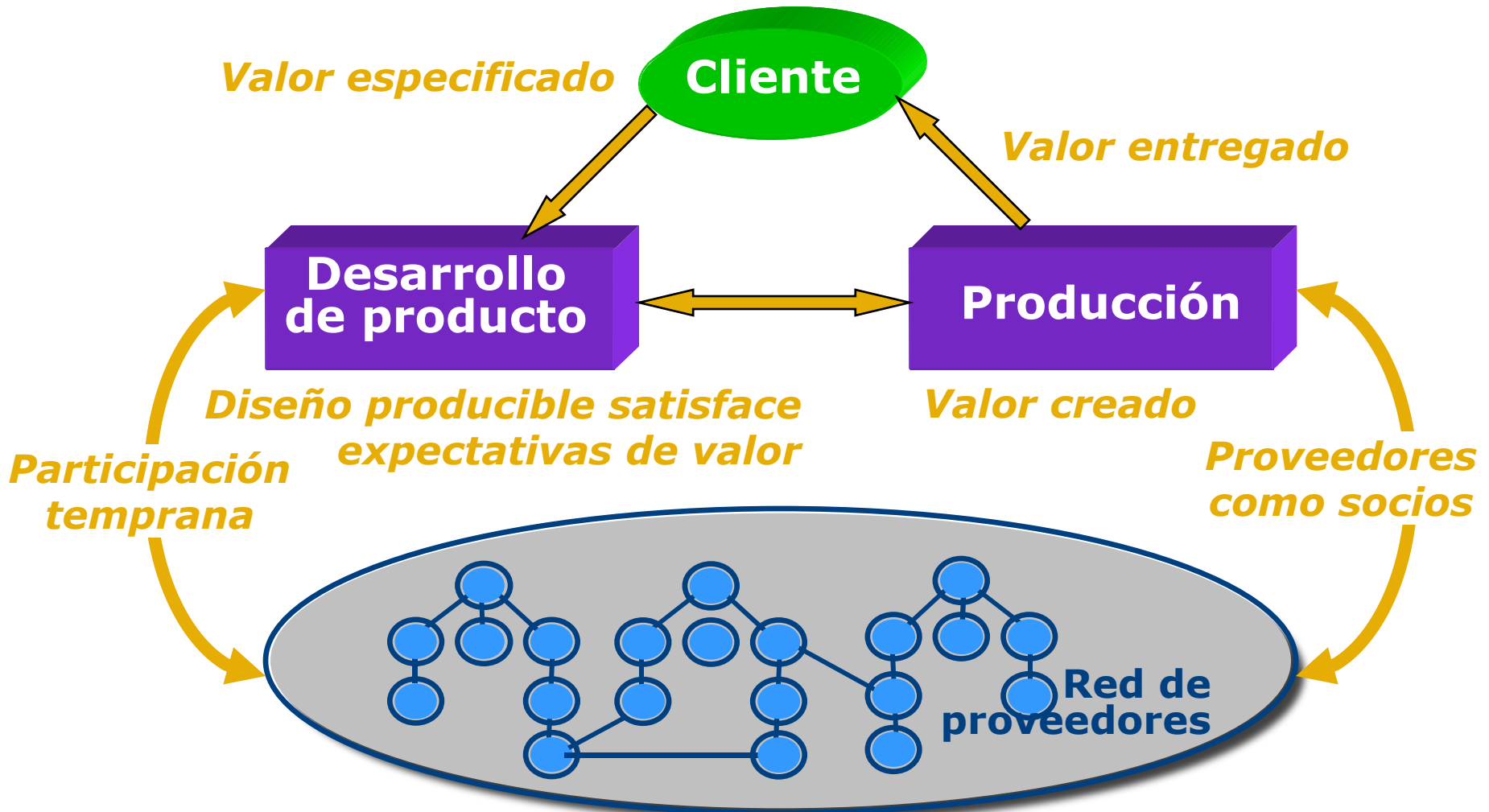
La ingeniería determina el costo

80% del costo de un producto está determinado por el diseño de ingeniería:

- **Cantidad de piezas / tolerancias**
- **Técnica de montaje (sujeciones, soldadura con haz de electrones, cocurado)**
- **Procesos (tratamiento térmico, granallado, Etc.)**
- **Enfoque de herramientas (matrices metálicas, moldeo por inyección, Etc.)**
- **Materiales (titanio, aluminio, compuestos, Etc.)**
- **Aviónica / software**
- **Complejidad de diseño**
- **Reutilización de diseño**

Los ingenieros deben tomar las decisiones correctas, al inicio del proceso, para garantizar la satisfacción del cliente y bajos costos de ciclo de vida

Los proveedores son críticos en la cadena de valor



Por lo general, entre un 60-80% del valor lo agregan los proveedores

Desarrollo integrado de producto y proceso - IPPD

- **Enfoque preferencial para desarrollar diseños producibles que satisfacen las expectativas de valor**
- **Utiliza:**
 - **Ingeniería de sistemas:** Traduce las necesidades y requerimientos de los clientes en arquitectura de producto y conjunto de especificaciones
 - **Equipos integrados de producto (IPT):** Incorporan conocimiento acerca de todas las fases del ciclo de vida
 - **Herramientas modernas de ingeniería:** Permiten los procesos Lean
 - **Capacitación:** Garantiza que los recursos humanos estén preparados

Se necesitan personas, procesos y herramientas capaces

Herramientas de ingeniería Lean

- **Las herramientas digitales integradas reducen los desechos de transferencias y espera y aumentan la calidad**
 - **Mecánicas (diseño basado en sólidos 3-D)**
 - **Juegos de herramientas VLSIC (circuitos integrados a escala muy grande)**
 - **Entornos de desarrollo de software/ingeniería en base a modelo**
- **Simulación de producción (y equivalentes de software)**
- **Piezas comunes/ especificaciones / reutilización de diseño**
- **Diseño para fabricación y montaje (DFMA)**
- **Gestión dimensional / configuración / interfase**
- **Reducción de variabilidad**
- **Software de gestión de ciclo de vida de producto (PLM)**

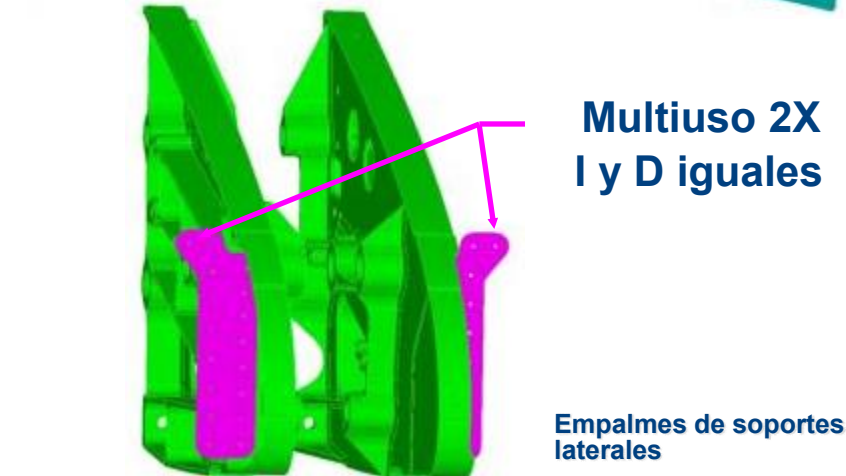
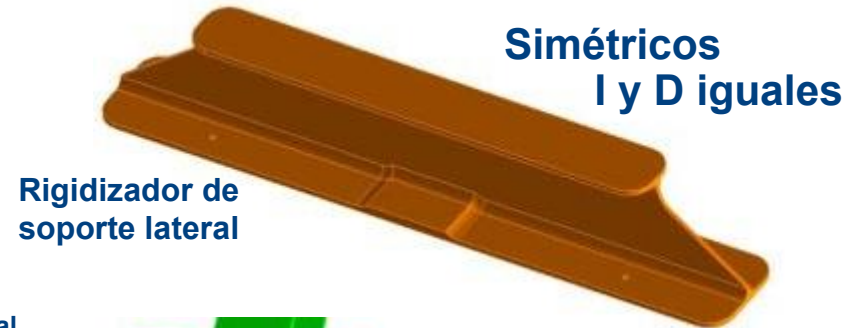
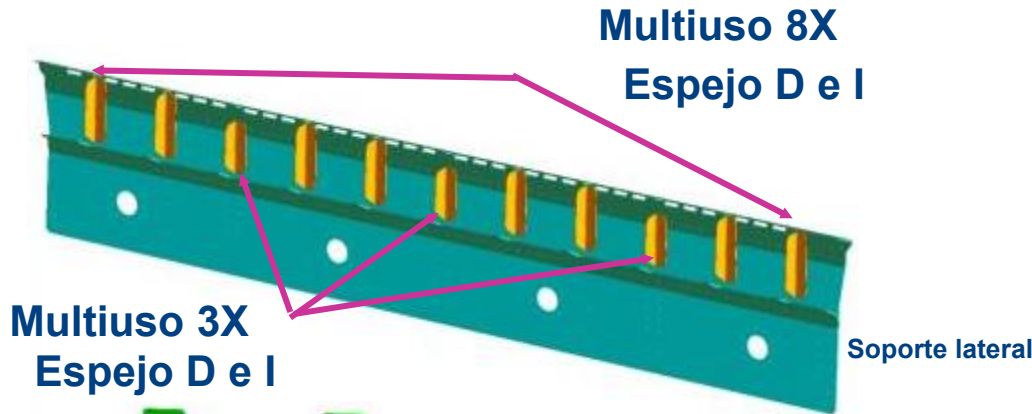
Todas estas herramientas en manos de personas que trabajan en equipos integrados de producto (IPTs)

Herramientas integradas digitales desde el concepto hasta la pieza



Cortesía de Boeing. Utilizado con permiso.

Piezas comunes, reutilización de diseño



Cortesía de Boeing. Utilizado con permiso.

Reduce costo de piezas y aumenta calidad

Reducción de cantidad de partes: DFMA

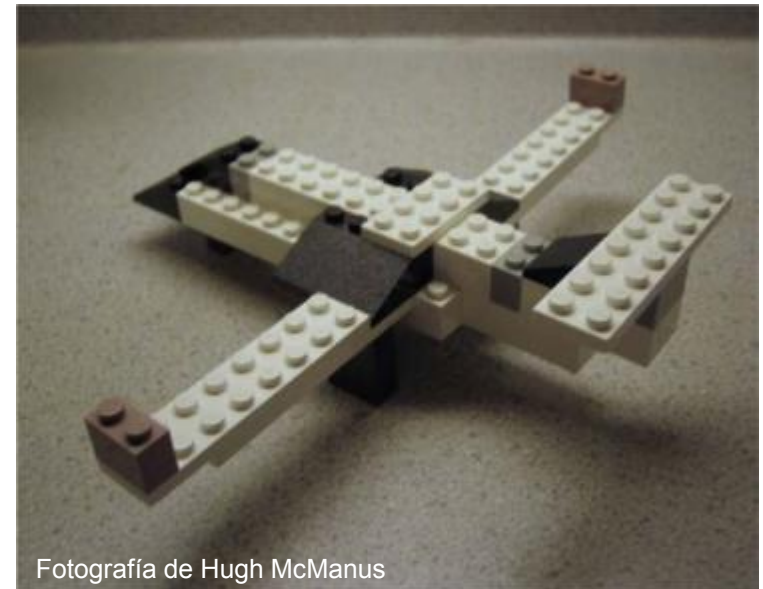
- ¿Por qué reducir la cantidad de partes?
 - Reduce los costos recurrentes y no recurrentes
 - Reduce trabajo de diseño, fabricación, montaje, prueba e inspección
 - Reduce inventario
 - Reduce repuestos de mantención
- Algunas veces requiere concesiones de “desempeño”, pero no siempre – y los ahorros de costo y programación por lo general son significativos

Ejercicio de simulación DFMA Lego

¡Rediseño del avión! Reglas:

- Satisfacer al cliente
 - La línea de moldeo (forma externa) debe permanecer *exactamente* igual
 - El tren de aterrizaje debe ser café (solo el tren de aterrizaje)
 - La calidad en servicio debe mejorar
 - Aumentar las cantidades de entrega
- Reducir costos de fabricación
 - Cantidad de piezas (\$5/pieza)
 - Menos piezas = más capacidad
- Incorporar proveedores
 - Innovaciones
 - Menos diversidad de piezas (?)

Presente su diseño a su facilitador
Demuestre que cumple con todos los
criterios



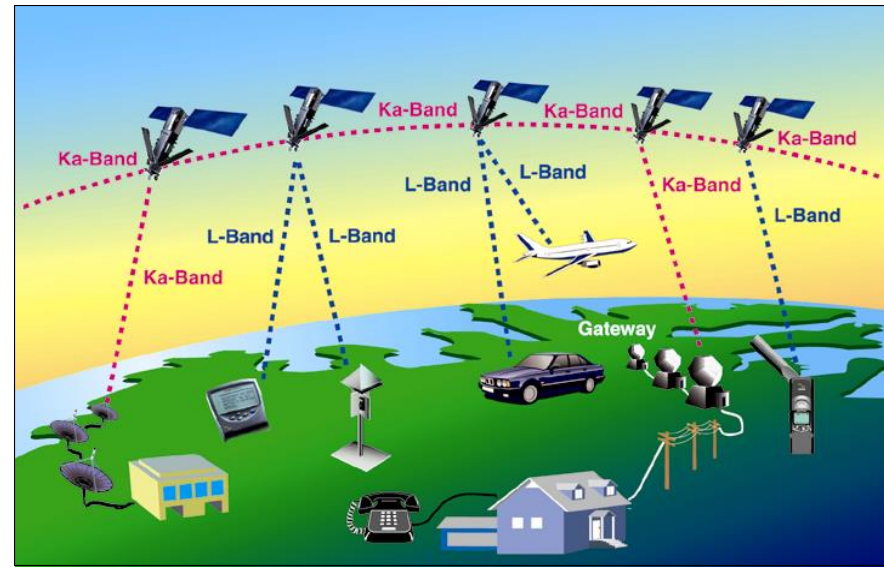
Fotografía de Hugh McManus

Ingeniería Lean en la práctica



Cortesía de Boeing. Utilizado con permiso.

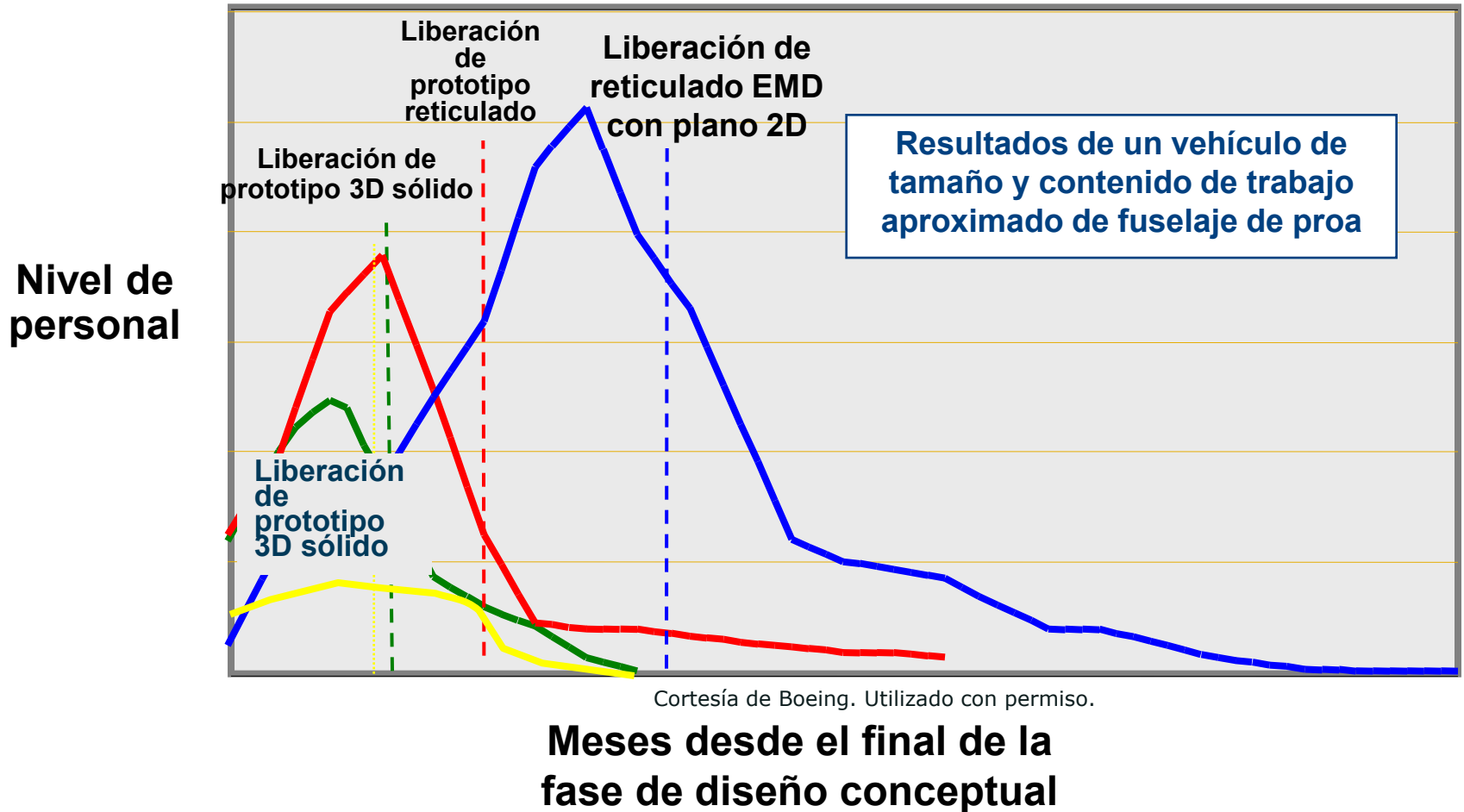
Veamos algunos ejemplos de la vida real de beneficios de ingeniería Lean...



Cortesía de Ray Leopold. Utilizado con permiso.

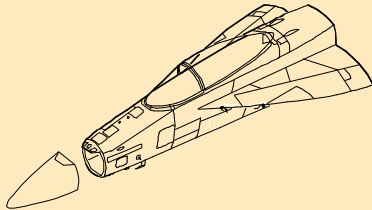
La ingeniería Lean permite un diseño más rápido y más eficiente

Total mano de obra IPT de desarrollo de fuselaje de proa



Reducción de cantidad de piezas: DFMA

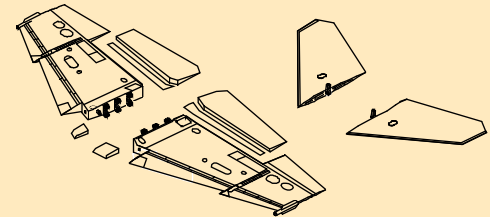
Fuselaje de proa y equipos



Piezas C/D
 5.907

Piezas E/F
 3.296

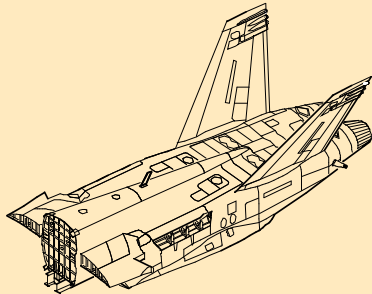
Alas y planos de popa horizontales



Piezas C/D
 1.774

Piezas E/F
 1.033

Fuselaje central/popa y planos de popa verticales y sistemas



Piezas C/D
 5.500

Piezas E/F
 2.847



Total*

Piezas C/D Piezas E/F
 14.104 8.099

*Incluye piezas de unión

Cortesía de Boeing. Utilizado con permiso.

El F-18 E/F es un 25% más grande, pero tiene un 42% menos de piezas que el C/D

La ingeniería Lean permite tiempos de entrega más rápidos

Fabricación de Iridium

- Tiempo de ciclo de 25 días vs. estándar de la industria de 12-18 meses
- Tasa “dock to dock” de 4,3 días



Cortesía de Ray Leopold. Utilizado con permiso.

Fuente: Ray Leopold, MIT Minta Martin Lecture, May 2004

Despliegue de Iridium

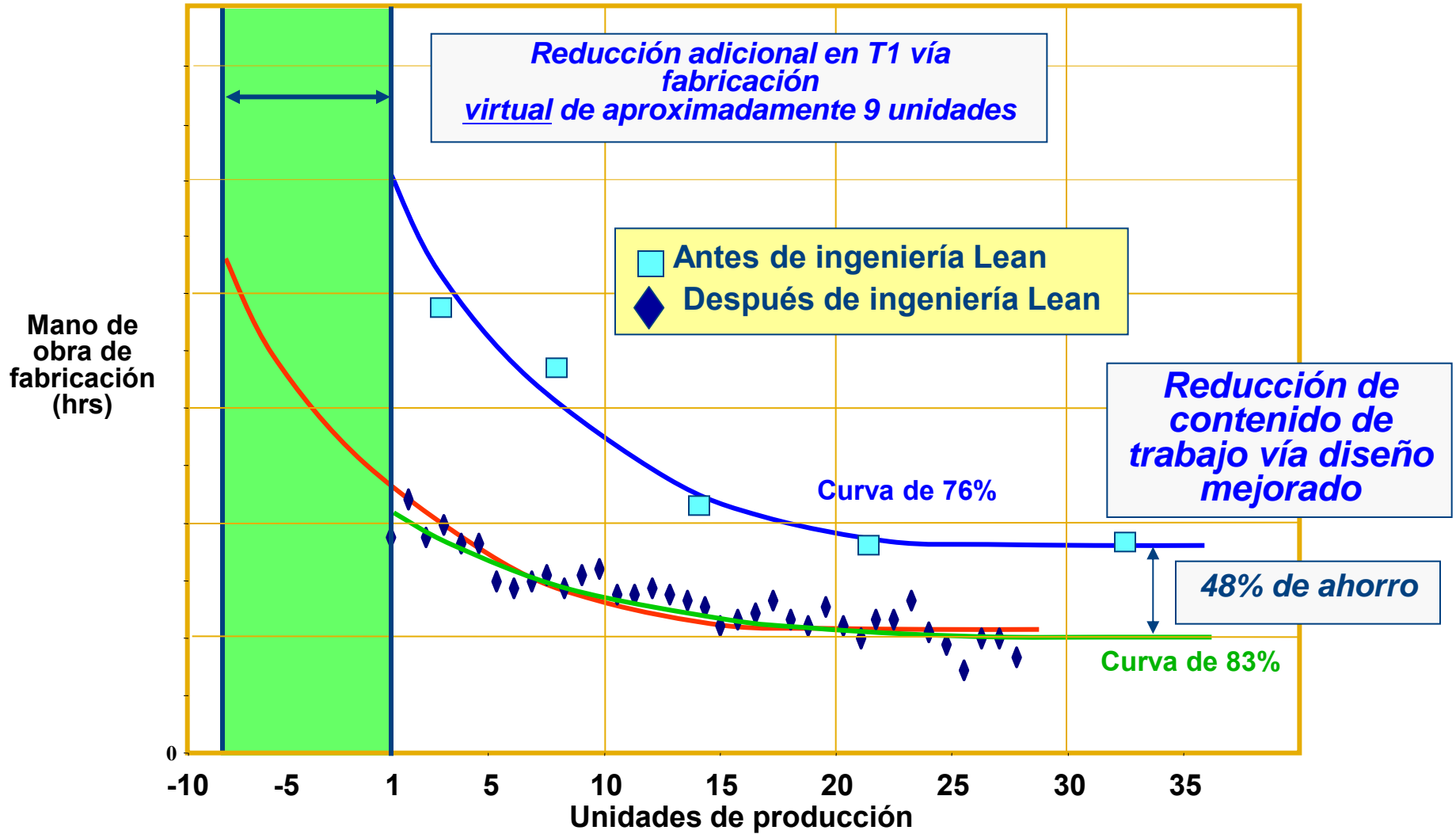


- 72 satélites en 12 meses, 12 días
- 14 satélites en 3 vehículos de lanzamiento desde 3 países en 13 días
- 22 lanzamientos exitosos consecutivos

Lean Engineering Basics V7.6 - Slide 24

© 2012 Massachusetts Institute of Technology. Translations provided by Seminario Internacional. Edits provided by GEPUC, Universidad Católica de Chile.

La ingeniería Lean reduce la mano de obra de fabricación



Cortesía de Boeing. Utilizado con permiso.

Resumen de ingeniería Lean

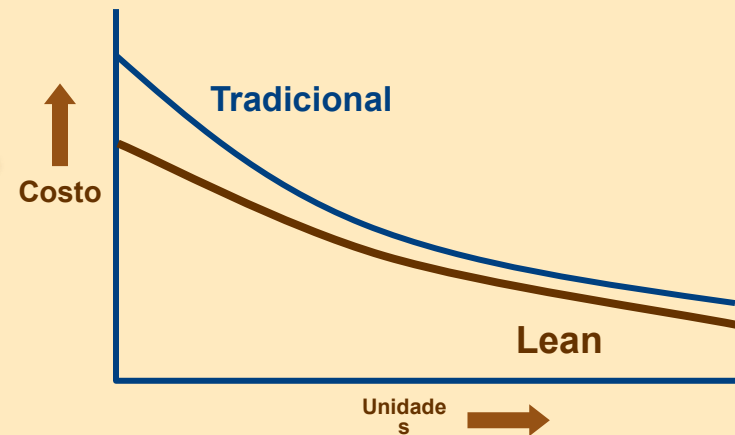
Ingeniería Lean

- ◆ Focalización en valor del cliente
- ◆ IPPD y IPTs
- ◆ Herramientas integradas de diseño digital
- ◆ Simulación de producción
- ◆ DFMA
- ◆ Reutilización de diseño y piezas comunes
- ◆ Reducción de variabilidad

Fabricación Lean

- ◆ Organización de trabajo de alto desempeño
- ◆ Montaje de tecnología avanzada
- ◆ Reducción de tiempo de ciclo
- ◆ Reducción de variabilidad/SPC
- ◆ Mapa de flujo de valor
- ◆ Eventos Kaizen
- ◆ Verificación de operador

Accesibilidad vía Lean



Cadena de abastecimiento Lean

- ◆ Reducción de cartera de proveedores
- ◆ Proveedores certificados
- ◆ Proveedores como socios
- ◆ Comercio electrónico/CITIS
- ◆ Participación IPT

Cortesía de Boeing. Utilizado con permiso.

Lecturas recomendadas

Clausing, D., *Total Quality Development*, ASME Press, New York, 1994

Haggerty, A., “Lean Engineering Has Come of Age, “30th Minta Martin Lecture, MIT Department of Aeronautics and Astronautics, Abril 10, 2002.

Lempia, D, “Using Lean Principles and MBe In Design and Development of Avionics Equipment at Rockwell Collins”, Proceedings of the 26th International Council of Aeronautical Sciences, Paper 2008-6.7.3, Anchorage, AK, Sept 14-19. 2008

McManus, H., “Product Development Value Stream Mapping (PDVSM Manual)”, Release 1.0, Sept 2005. Lean Advancement Initiative.

McManus, H., Haggerty, A. and Murman, E., “Lean Engineering: A Framework for Doing the Right Thing Right,” *The Aeronautical Journal*, Vol 111, No 1116, Feb 2007, pp 105-114

McManus, H. L., Hastings, D. E., and Warmkessel, J. M., “New Methods for Rapid Architecture Selection and Conceptual Design,” *J of Spacecraft and Rockets*, Ene.-Feb. 2004, 41, (1), pp. 10-19.

Morgan, J.M. and Liker, J.K., *The Toyota Product Development System*, Productivity Press, New York, 2006

Murman, E., “Lean Aerospace Engineering”, AIAA Paper 2008-4, 46th Aerospace Sciences Meeting, Reno, NV, Ene 208

Oppenheim, B., “Lean Product Development Flow”, *INCOSE J of Systems Engineering*, Vol. 7, No 4, pp 352-376, 2004

Nuffort, M.R., “Managing Subsystem Commonality,” Master’s Thesis, MIT, Cambridge, MA, 2001.

Slack, Robert A., “The Lean Value Principle in Military Aerospace Product Development,” LAI RP99-01-16, Jul 1999. <http://lean.mit.edu>, and “Application of Lean Principles to the Military Aerospace Product Development Process,” Masters thesis in Engineering and Management, Massachusetts Institute of Technology, Diciembre 1998.

Ward, Allen, *Lean Product and Process Development*, The Lean Enterprise Institute, Cambridge, MA, Mar 2007

Agradecimientos

Contribuyentes

- **Isabel Alarcón- GEPUC**
- **Allen Haggerty - MIT, Boeing (ret.)**
- **Dick Lewis - Rolls-Royce (ret.)**
- **Hugh McManus - Metis Design**
- **Earll Murman - MIT**
- **Annalisa Weigel – MIT**

Colaboradores

- **Venkat Allada - UMO, Rolla**
- **Ronald Bengelink - ASU, Boeing (ret.)**
- **John Coyle - Boeing**
- **Chuck Eastlake - Embry-Riddle**
- **Bo Oppenheim - Loyola Marymount Univ.**
- **Jan Martinson - Boeing, IDS**
- **Edward Thoms - Boeing, IDS**
- **Stan Weiss – Stanford**

MIT OpenCourseWare
<http://ocw.mit.edu>

RES.16-001 Lean Enterprise en Español

For information about citing these materials or our Terms of Use, visit: <http://ocw.mit.edu/terms>.