

METODOLOGÍA PARA PROMOVER LA INGENIERÍA BASADA EN MÚLTIPLES ALTERNATIVAS

Pablo Orihuela¹, Karem Ulloa²

RESUMEN

Como es sabido el Lean Design es la segunda fase del Lean Project Delivery System (LPDS), etapa donde, entre otras cosas, hay que desterrar la práctica de la única solución y prevenir la toma de decisiones prematuras. Por ello la filosofía LEAN aconseja evaluar diferentes alternativas antes de tomar una decisión en el diseño o el proceso, aconsejando además hacerlo en etapas tempranas del proyecto, de tal manera de reducir las futuras y frecuentes pérdidas que se generan en la construcción e incluso en el mismo diseño, a esto se le conoce como Ingeniería Basada en Múltiples Alternativas (Set-Based Design). El presente artículo propone una metodología cuyo propósito es identificar y generar múltiples alternativas para decidir, en la etapa de Diseño, los mejores recursos que se utilizarán en los procesos constructivos y luego evaluar cada una de ellas y elegir la más conveniente, no sólo basándose en el costo inmediato, sino considerando una evaluación integral que además considere aquellos factores cualitativos que muchas veces no sabemos como cuantificar.

ABSTRACT

As everybody knows, Lean Design is the second phase of the Lean Project Delivery System (LPDS); in this stage, the single solution approach must be eradicated and early decisions must be prevented. Therefore, LEAN philosophy suggests evaluating different alternatives before taking a design or process-related decision and doing so at early stages of the Project, thus minimizing future and frequent losses originated in the construction and even in the design itself; this is known as Concurrent Set-Based Engineering (Set-Based Design). This article proposes a methodology that is aimed at identifying and generating several alternatives to decide the best resources to be used in construction processes during the design stage. These alternatives will be then evaluated in order to choose the most suitable one, based not only on immediate costs but also on a comprehensive evaluation which also considers those quality factors we do not always know how to assess.

KEYWORDS: LEAN CONSTRUCTION, LEAN DESIGN, CONCURRENT ENGINEERING, DECISION THEORY

¹ Motiva S.A., Prof. Asociado P.U.C.P., MDI CEMTRUM, Conde de La Monclova 193 Of. 2 San Isidro, 2211093, fax 4210160, porihuela@motiva.com.pe

² Motiva S.A., Conde de La Monclova 193 Of. 2 San Isidro, 2211093, fax 4210160, kulloa@motiva.com.pe

LA INGENIERÍA BASADA EN MÚLTIPLES ALTERNATIVAS

El Lean Project Delivery System³ considera 5 fases y 13 módulos para la gestión de un proyecto:

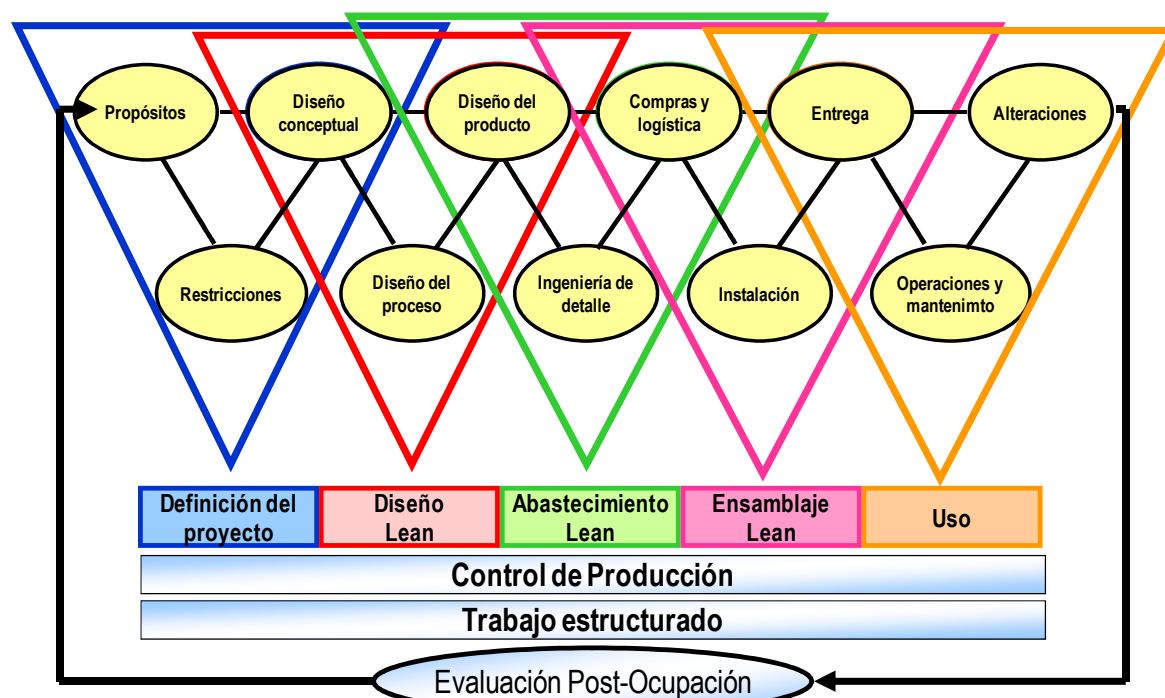


Figura 1. Sistema de Entrega de Proyectos sin Pérdida (LPDS)

En la fase de DISEÑO LEAN luego de haber organizado un equipo multidisciplinario, recomienda desarrollar la ingeniería basada en múltiples alternativas, lo cual implica desterrar la práctica de de la única solución y prevenir la toma de decisiones prematuras (Glen Ballard y Todd Zabelle (2000)).



Figura 2. Pasos recomendados para el desarrollo de un Diseño Lean

³ "Lean Project Delivery System: An Update" (Glenn Ballard (2008))

Frecuentemente, se trabaja haciendo una ingeniería secuencial y no simultánea (o concurrente) como debería ser, es decir primero el equipo de diseño por su lado, decide o asume algunas alternativas y luego los constructores al momento de ejecutar la obra las corroboran o las cambian.

En ambos equipos, en la mayoría de los casos, la elección de estas alternativas, no obedece a un análisis formal, sino que simplemente se reduce a la elección de la alternativa más común, la más usada, o la considerada como “única”.

De acuerdo a los resultados obtenidos de una encuesta realizada a 30 empresas constructoras limeñas para una tesis de grado⁴, se encontró que la mayoría de las empresas constructoras hacen sus evaluaciones de alternativas durante la construcción y no cuentan con un procedimiento formal, haciendo sus evaluaciones de manera intuitiva.

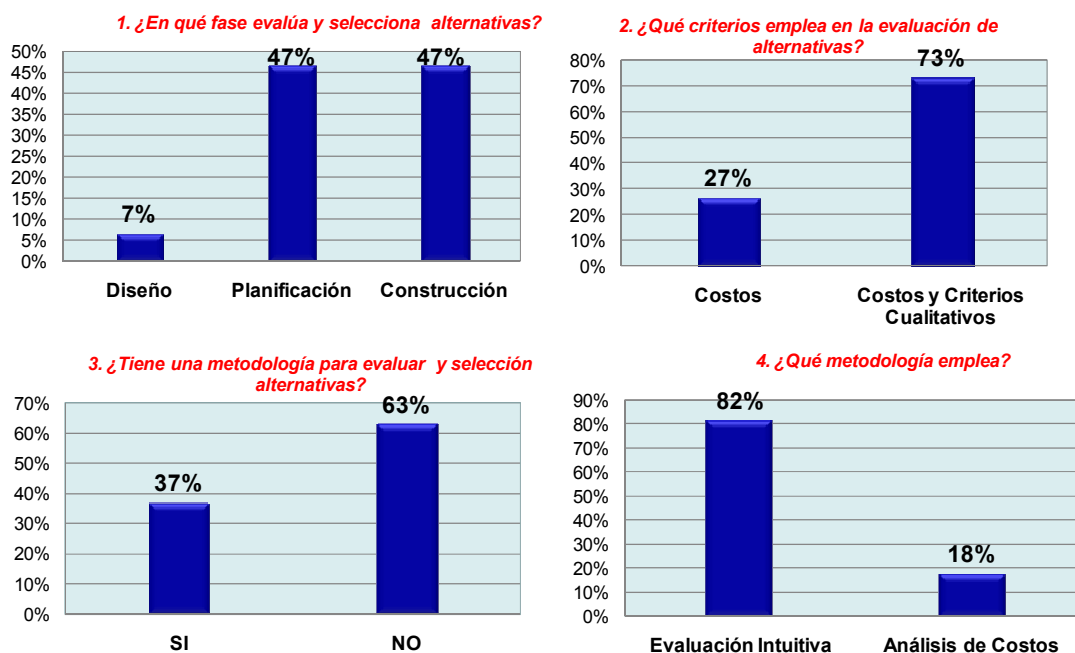


Figura 3. Resultado de encuestas sobre selección de alternativas

DISEÑO SIMULTÁNEO DEL PRODUCTO Y DEL PROCESO

Otro concepto clave del pensamiento Lean es el diseño simultáneo del producto y del proceso, el diseño del producto debe ser la respuesta a las necesidades, deseos y valores de los clientes, y el diseño del proceso debe ser la elección de alternativa más óptima de construir dicho producto, en cuanto a costo, calidad y alcance.

Para que esto sea así, es de suma importancia practicar la ingeniería basada en múltiples alternativas, ya sean tanto alternativas de producto, como alternativas de proceso y poner en práctica la ingeniería simultánea (o concurrente), es decir no seleccionar las alternativas secuencialmente sino hacer que todas las opiniones del equipo del proyecto concurren simultáneamente.

El presente artículo propone una metodología para considerar y evaluar múltiples alternativas de forma simultánea y presenta además una aplicación para los Procesos Constructivos de Obras de Edificación.

⁴ “Técnicas y Herramientas para la Gestión del Abastecimiento”, tesis de grado, (Karem Ulloa (2009)).

La taxonomía tradicional (no siempre la más conveniente, ya que está en función a su materialidad) para fraccionar una Obra de Edificación generalmente considera la siguiente estructura:

- Los Sistemas Estructurales
- Los Rubros
- Las Partidas
- Los Recursos
- Los Insumos

En función a esta estructura, se elaboran los metrados, se calculan los presupuestos, se hacen las programaciones de obra, se realizan los controles de procesos y se elaboran las valorizaciones de avance de un proyecto de edificación.

Para la definición de cada sistema, rubro, partida, recurso o insumo, hay que seleccionar entre las múltiples alternativas existentes, estas alternativas pueden ser las convencionales que se manejan en el medio local, las que se usan en otros sectores, en países extranjeros, o las alternativas nuevas e innovadoras que se quieran proponer.

En la práctica, esta selección de alternativas se va definiendo conforme el proyecto va avanzando, avance que puede dividirse en las siguientes fases:

- Fase de Definición del Diseño
- Fase de Diseño
- Fase de Ingeniería de Detalle (Planeamiento)
- Fase de Abastecimiento
- Fase de Construcción
- Fase de Uso

En cada una de estas fases participa un equipo diferente de profesionales y técnicos, por lo que conforme el proyecto va avanzando, generalmente algunas de las alternativas elegidas o supuestas se pueden ir corroborando, modificando o cambiando. Como estas fases son secuenciales, la selección de alternativas también es secuencial, tal como se muestra en la tabla 1:

Tabla 1. Selección de Múltiples Alternativas aplicando Ingeniería Secuencial

FRACCIONAMIENTO DE UNA A OBRA	FASES DE UN PROYECTO			
	Def. Diseño	Diseño	Planeamiento	Construcción
Sist.Estructurales	✓			
Rubros		✓		
Partidas			✓	
Recursos				✓
Insumos				✓

Sin embargo si queremos aplicar la ingeniería simultánea o concurrente, la elección de las alternativas deberían darse en la fase inicial (tabla 2), ya que por lo general cualquier modificación posterior generará, retrabajo, desperdicios, mayor plazo, reinspecciones, malos entendidos, etc.

Tabla 2. Selección de Múltiples Alternativas aplicando la Ingeniería Simultánea

FRACCIONAMIENTO DE UNA A OBRA	FASES DE UN PROYECTO			
	Def. Diseño	Diseño	Planeamiento	Construcción
Sist. Estructurales	✓			
Rubros	✓			
Partidas	✓			
Recursos	✓			
Insumos	✓			

EVALUACIÓN DE MULTIPLES ALTERNATIVAS

Para evaluar dos o más alternativas y decidir cual es la mejor de ellas, hay dos tipos de evaluaciones a tomar en cuenta:

- LA EVALUACION CUANTITATIVA, la cual generalmente está determinada por una evaluación de costos. En el caso de Insumos, como son los materiales, generalmente se consideran los costos de compra y los rendimientos asociados. En el caso de Recursos, como equipos o maquinarias, ya sea en la modalidad de compra o alquiler, estos costos deben considerar además el costo de reposición, los costos de mantenimiento, los costos de almacenamiento, los costos de salvataje, los aspectos tributarios, etc., debiéndose considerar además el valor del dinero a través del tiempo, para lo cual debe usarse indicadores dinámicos tales como la Tasa Interna de Retorno (TIR) ó el Valor Actual Neto (VAN). En el caso de Rubros, Partidas y Sistemas Estructurales, se debe considerar los costos de los insumos y recursos previamente seleccionados.
- LA EVALUACION CUALITATIVA, la cual considera factores que son difíciles de evaluar monetariamente, pero que influyen de manera significativa en la toma de decisiones; para esta evaluación se requiere elegir los criterios que deben considerarse, luego darles su nivel de importancia y finalmente asignar el nivel de desempeño de cada alternativa evaluada respecto a estos criterios.

En la literatura concerniente a las Teorías de Decisiones existen diferentes métodos para realizar estas evaluaciones cualitativas, se revisaron y estudiaron tres de ellos: El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), la Matriz de Pares, y la Ponderación Lineal o Scoring.

Para decidir cual de los tres métodos deberíamos usar, se decidió consultar directamente con los usuarios, para ello se hicieron 30 encuestas a gerentes de proyectos, ingenieros residentes y algunos proyectistas, a los cuales primero se les guió en la evaluación de dos alternativas referidas a la selección de un procedimiento constructivo, usando estas tres metodologías y luego se les preguntó cual de ellas preferiría usar. La mayoría se inclinó por el Método del Scoring, debido a su rapidez y simplicidad.

Los resultados obtenidos de las dos evaluaciones anteriores deben juntarse para hacer una evaluación final; sin embargo la primera está expresada en moneda y la segunda en puntaje, por tal motivo habrá que homologar ambas evaluaciones para poder sumarlas y tener un índice o valor que nos oriente para tomar una decisión.

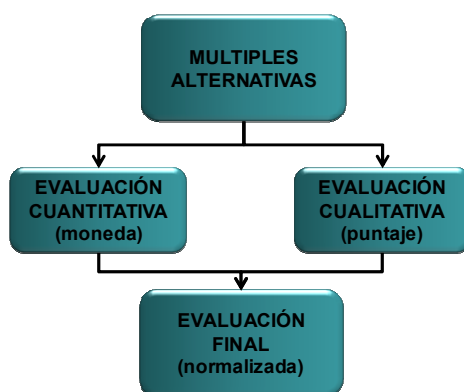


Figura 4. Esquema de la metodología para la evaluación de las múltiples alternativas

ALTERNATIVAS EN PROYECTOS DE EDIFICACION

Tal como se mostró en la figura 4, las alternativas que pueden generarse al diseñar un proyecto de edificación, pueden darse en diferentes fases y también a diferentes niveles:

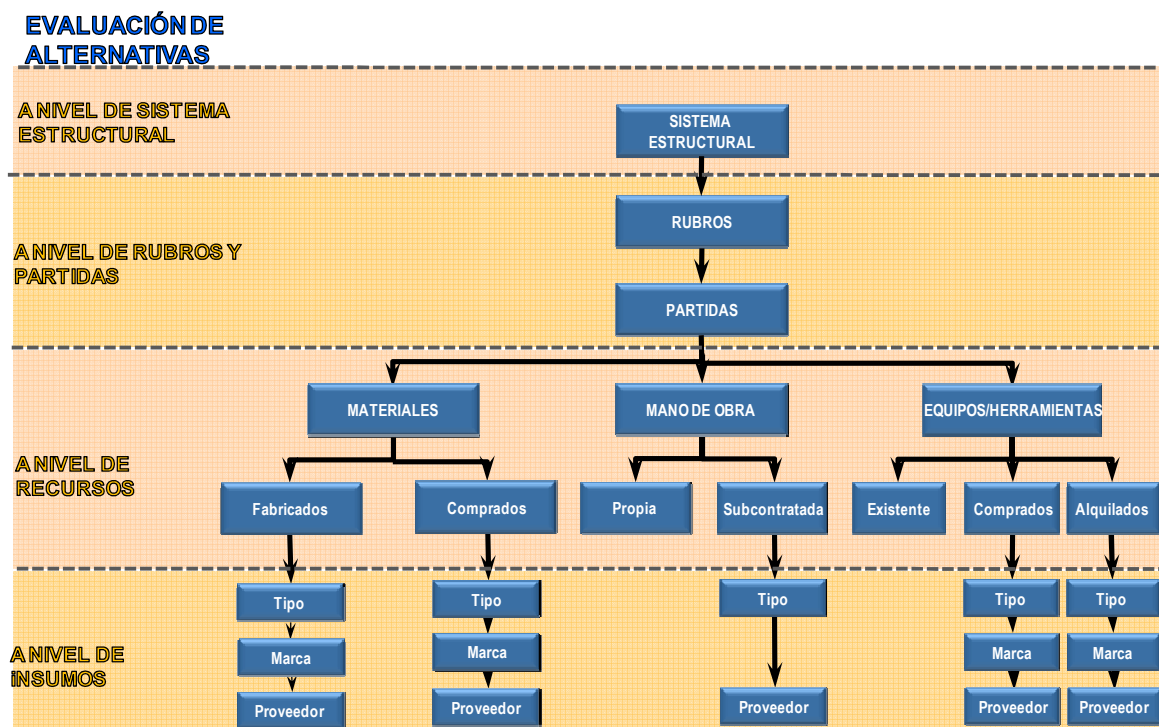


Figura 5. Diferentes niveles donde se pueden elegir múltiples alternativas

- A nivel de Sistemas Estructurales, dependiendo de las condiciones de sitio y de producto, las alternativas más comunes pueden ser: Albañilería Confinada, Albañilería Armada, Muros de Concreto, Pórticos de Concreto, Pórticos de Acero; si se trata de edificaciones de baja altura se pueden considerar Estructuras de Drywall, Estructuras de Madera, Estructuras de Quincha, Estructuras de Adobe, Estructuras de PVC, Estructuras apaneladas de poliuretano y concreto, etc.
- A nivel de Rubros y Partidas, podemos elegir entre diversas alternativas que cumplan con funciones equivalentes, por ejemplo: calzaduras con muros de contención o muros anclados, cimentación corrida o cimentación por platea, losas aligeradas o losas macizas, tanque alto o presión constante, etc.
- A nivel de Recursos, podemos elegir entre fabricar materiales o componentes en sitio o comprarlos ya fabricados, por ejemplo: habilitar el acero en obra o comprarlo dimensionado, fabricar el mortero en obra o comprarlo en bolsas. Elegir entre tomar un subcontrato o hacerlo con mano de obra propia, por ejemplo: subcontratar la pintura o hacerla directamente. Elegir entre alquilar o comprar un equipo, por ejemplo: comprar encofrado o alquilarlo, etc.
- A nivel de Insumos, podemos elegir tipos, marcas y proveedores, por ejemplo: elegir el tipo, la marca y el proveedor del cemento que vamos a usar.

EVALUACIÓN CUANTITATIVA

Para el nivel de materiales y mano de obra, el análisis cuantitativo o de costos, consiste simplemente en comparar los precios de mercado, tomando en consideración los rendimientos, mermas del material y costo de mano de obra asociada.

Vamos a suponer que queremos evaluar las alternativas de usar mortero hecho en obra o mortero pre dosificado. Para esto necesitamos cotizar los precios del material y asignar los rendimientos de cada uno; y determinar el costo de mano de obra, con lo cual se calcula el costo total.

De esta forma obtenemos un resultado económico, en el que obviamente el más favorable será el que cueste menos. Sin embargo esto no considera otros factores que también pueden tener igual o mayor importancia al momento de tomar la decisión final.

ALTERNATIVAS

Mortero hecho en obra

Mortero Predosificado

COSTOS

Material

Cemento
Ar. Gruesa
Mortero Pred.

Und

Catidad

Costo

Total

Und

Catidad

Costo

Total

Bol

0.40

17.00

6.80

-

-

-

-

M3

0.06

37.00

2.22

-

-

-

-

-

-

-

-

Bol

2

6.90

13.8

M. de
Obra

Peón

hh

0.22

9.62

2.11

-

-

-

-

Total (S/.xm2)

11.10

13.80

Figura 6. Análisis cuantitativo para alternativas de morteros

EVALUACIÓN CUALITATIVA

Para realizar este análisis es necesario establecer los criterios que influirán en la toma de decisiones, si los criterios son muchos, es recomendable escoger los más importantes, en esa etapa es donde radica la importancia de aplicar la ingeniería simultánea, para lo cual se requiere trabajar en equipo y en etapas tempranas del proyecto.

El equipo multidisciplinario es consultado para seleccionar los criterios y para asignarles sus importancias, se recomienda una escala de importancia del 1 al 5, luego por simple aritmética cada criterio tendrá una ponderación asignada.

Estos criterios deben contemplar por lo menos dos aspectos: los deseos y valores del cliente o usuario final (aspectos del producto), y las ventajas y conveniencias para el constructor (aspectos del proceso).

Igualmente el equipo multidisciplinario es consultado, para que de acuerdo a su experiencia, evalúe el grado de desempeño de cumple cada criterio para cada una de las alternativas, se recomienda usar una escala de desempeño de 1 a 3 (Malo, Regular, Bueno).

La suma de los productos de cada uno de los pesos por su correspondiente desempeño nos da un puntaje total para cada alternativa.



Figura 7. Análisis cualitativo para alternativas de morteros

Para hacer la evaluación final, usamos la normalización inversa de costos (Shapira y Goldenberg (2005)), y para los resultados de la evaluación cualitativa aplicamos la normalización directa.

De esta forma la suma de ambas evaluaciones normalizadas nos dará un puntaje que nos indicará la mejor alternativa.

ALTERNATIVAS		
	Mortero hecho en obra	Mortero Predosificado
		
Eval. Cuantitativa	S/.11.10xm2	S/.13.80xm2
Normaliz. Dir.	$\frac{1/11.10}{1/11.10+1/13.8} = 0.55$	$\frac{1/13.8}{1/9.6+1/13.8} = 0.45$
Eval. Cualitativa	1.5	2.83
Normaliz. Dir.	$\frac{1.5}{1.5+2.83} = 0.35$	$\frac{2.83}{1.5+2.83} = 0.65$
Evaluación Final	0.90	1.10

Figura 8. Evaluación final para alternativas de morteros

CONCLUSIONES

- La metodología propuesta en este artículo contribuye a promover y formalizar la ingeniería basada en múltiples alternativas.
- La aplicación de esta metodología durante el inicio de la fase de Diseño promueve el trabajo multidisciplinario y la práctica de la constructabilidad e ingeniería concurrente o simultánea.
- El formato propuesto constituye un documento de trazabilidad en la toma de decisiones, el cual permite el sustento, la revisión y la discusión de la toma de la mejor decisión.
- Esta metodología se puede aplicar para cambiar, mejorar u optimizar un material, un elemento, un proceso, una modalidad, una partida o un sistema constructivo, promoviendo de esta manera la innovación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALLARD, Glenn. y ZABELLE, T. "Lean design: process, tools, and techniques", Lean Construction Institute, Ketchum, ID, White Paper No. 10, 2000. Disponible en: <http://www.leanconstruction.org>.
Accesado en 01.07.2009
- BALLARD, Glenn. The Lean Project Delivery System: An Update. **Lean Construction Journal**, 2008, p1-19

GREGORY, Norris; HAROLD, Marshall. **Multiattribute Decision Analysis Method for Evaluating Buildings and Buildings Systems.**

Ingeniería Concurrente. Universidad Técnica Particular de Loja. Disponible en:

<http://www.utplonline.edu.ec/biblioteca/biblio/fastbook/ingconcu.htm>

ROCHE, Hugo y CONSTANTINO, Viejo. **Análisis Multicriterio en la Toma de Decisiones**, 2005.

SHAPIRA y GOLDENBERG (2005) “AHP-based equipment model for construction projects”. **Journal of Construction Engineering and Management**, ASCE. v131 i12. 1263-1273.

ULLOA, Karem. **Técnicas y Herramientas para la Gestión del Abastecimiento**, Lima, 2009.102p Tesis de grado – Facultad de Ciencias e Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú.