

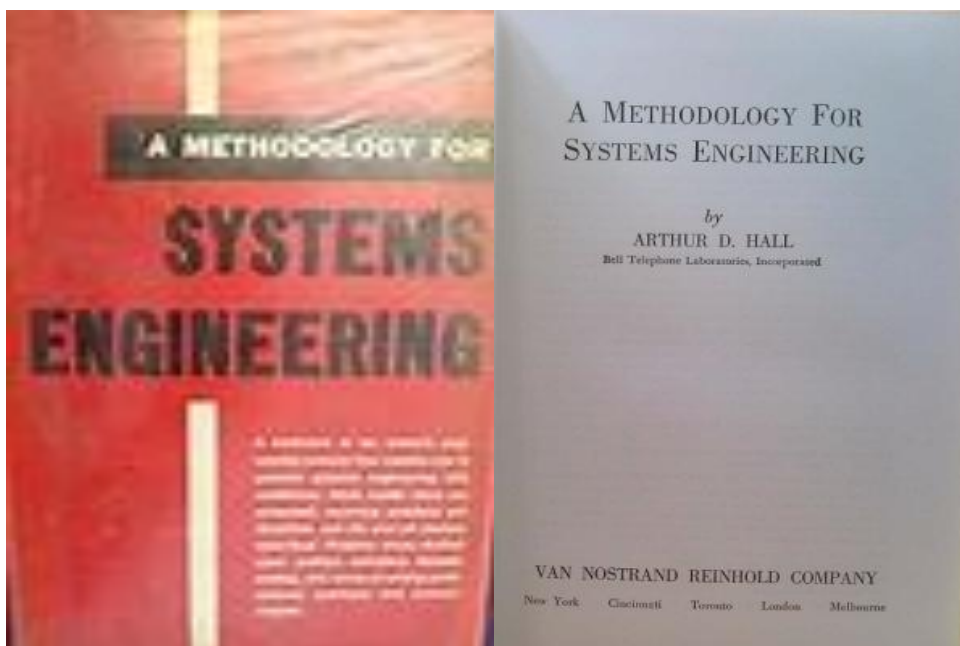
El Futuro Máster en Ingeniería de Sistemas de Armas Navales

Francisco Javier Pérez Villalonga.
Academia de las Ciencias y Artes Militares
Sección de Prospectiva de la Tecnología Militar

21 de noviembre de 2020

El origen de la Ingeniería de Sistemas se remonta al año 1943, año en el que se fusionaban los departamentos de Ingeniería de Conmutación e Ingeniería de Transmisión de los laboratorios de Bell Telephone bajo la denominación de Ingeniería de Sistemas.

En 1950 su director Melvin J. Kelly describe por primera vez el procedimiento de la Ingeniería de Sistemas en una publicación y ese mismo año se crea el primer postgrado en Ingeniería de Sistemas en el *Massachusetts Institute of Technology* (MIT).

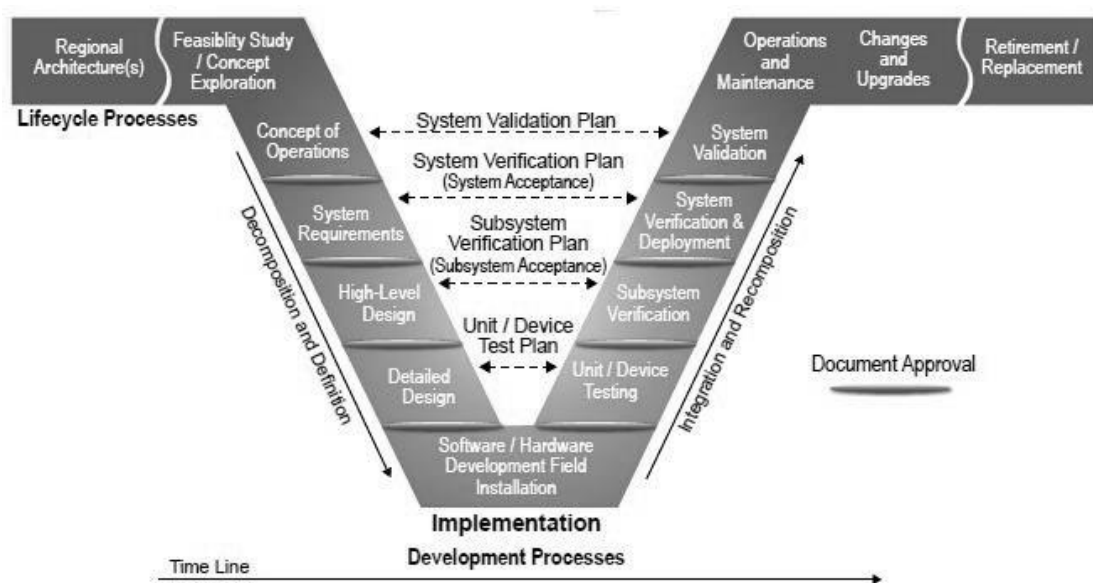


Una de las primeras ediciones de A Methodology for Systems Engineering, de Arthur D. Hall

Desde entonces y sólo en los Estados Unidos más de 75 instituciones cuentan en su oferta académica programas en Ingeniería de Sistemas. El hecho de que entre estas no sólo se encuentren universidades e institutos de reconocido prestigio como el mencionado MIT sino también el *Air Force Institute of Technology*, el *Naval*

Postgraduate School y la United States Naval Academy, demuestra la importancia que tiene para el Ministerio de Defensa de ese país la Ingeniería de Sistemas.

No en vano las aplicaciones militares, junto con las aeroespaciales, son los mejores ejemplos de cómo la Ingeniería de Sistemas ayuda a proyectar y desarrollar, de forma ordenada y eficiente, sistemas complejos como puede ser una nave espacial o un buque de guerra y esto no es nuevo para los programas de armamento en España ya que la mayoría de ellos sigue el conocido Diagrama en V de la Ingeniería de Sistemas adaptada a la terminología de la Instrucción 67/2011, de 15 de septiembre, del Secretario de Estado de Defensa, por la que se regula el Proceso de Obtención de Recursos Materiales.



Representación de un proyecto en Ingeniería de Sistemas: el Diagrama en V

Conocida la utilidad de la Ingeniería de Sistemas en el ámbito de los programas de obtención ¿cómo se debe formar a los ingenieros que desarrollan su actividad en este tipo de programas y que materias deben estudiar?

El artículo de Wolter J. Fabrycky y Elizabeth A. McCrae, *Systems Engineering Degree Programs in the United States*, publicado por el *International Council of Systems Engineering* (INCOSE) aporta alguna luz a estas preguntas, aunque también pone de manifiesto la dificultad que existe a la hora de concretar lo que significa el término Ingeniería de Sistemas para las distintas personas. Esto se debe a que la Ingeniería de Sistemas y su utilidad depende mucho del campo de aplicación, aunque en todos ellos subyace el mismo concepto: *Systems Thinking*.

En los Estados Unidos, en 2005 había un total de 130 programas de Ingeniería de Sistemas con niveles de estudios de grado, maestro y doctor. 48 de ellos se encuadraban en la categoría de *Systems Engineering Centric (SEC) Programs* mientras que 82 estaban ligados a cierta área del conocimiento, *Domain Centric Systems Engineering (DCSE) Programs*. Mientras que en un programa SEC se estudia la Ingeniería de Sistemas y su metodología de forma general e

independiente del campo de aplicación, en un programa DCSE se estudia a la vez que se adquieren conocimientos en determinada área y la aplicación de la Ingeniería de Sistemas a esta área. A día de hoy, la mayoría de programas de Ingeniería de Sistemas se llevan a cabo a la vez que se adquieren conocimientos en áreas tan dispares como la biología, la informática o la industria.

		BS	MS	PhD	Total
SE Centric	SE	11	27	10	48
SE Domain Centric	SE with Biological Engineering	16	5	3	82
	SE with Computer Engineering	1	4	2	
	SE with Electrical Engineering		1		
	SE with Industrial Engineering	14	15	7	
	SE with Management Engineering		3	1	
	SE with Manufacturing Engineering	1	8	1	

En el ámbito de la Armada, históricamente ha sido en el desarrollo de sistemas de armas y sistemas de combate el entorno en el que, de facto, se ha aplicado la Ingeniería de Sistemas extendiéndose con el tiempo al resto del buque de guerra. La Ingeniería de Armas Navales es, por tanto, el dominio o área de conocimiento en el que la Ingeniería de Sistemas puede dar lugar a un *Domain Centric Systems Engineering Programs*.

De hecho, algunas de las capacidades que la Orden DEF/1675/2016, de 11 de octubre, por la que se establecen los requisitos para la verificación del título oficial que habilita para el ejercicio de la profesión de Ingeniero de Armas Navales apuntan ya a la Ingeniería de Sistemas:

- Capacidad para resolver **problemas complejos** y para **tomar decisiones** responsables sobre la base de los conocimientos científicos y tecnológicos adquiridos en materias básicas y tecnológicas aplicables en la ingeniería de Armas Navales.
- Capacidad para participar en la **definición, diseño, desarrollo, evaluación, control** de los procesos de construcción y fabricación, mantenimiento, apoyo logístico e inspección durante todo el ciclo de vida de: municiones, sistemas navales de combate y sus correspondientes instalaciones navales en tierra.
- Capacidad para **analizar y optimizar** los procesos y métodos asociados al apoyo logístico y mantenimiento de los sistemas de armas y municiones.
- Capacidad de **integración** de sistemas de armas en buques de guerra y de adopción de soluciones técnicas viables.

Resolver problemas complejos. Tomar decisiones. Definir, desarrollar, evaluar y controlar durante el ciclo de vida. Analizar y optimizar. Integrar. Son todo ello

capacidades que se demandan al Ingeniero de Armas Navales y la formación en Ingeniería de Sistemas apunta directamente a que logren estas capacidades.

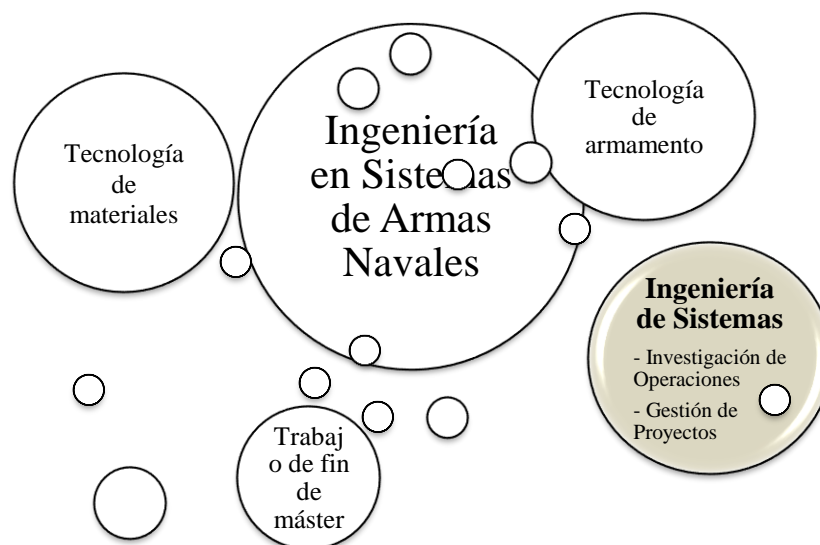
Está previsto que en las próximas ediciones del Máster en Ingeniería de Armas Navales que desde 2019 se imparte en la ETSIAN se integre un módulo en Ingeniería de Sistemas pasando a denominarse Máster en Ingeniería de Sistemas de Defensa.

Para determinar cuáles serían los contenidos adecuados de un programa *Domain Centric Systems Engineering* en el ámbito de la Ingeniería de Armas Navales es posible examinar los temarios de algunos programas como el de:

- Universidad de Virginia
<https://engineering.virginia.edu/departments/engineering-systems-and-environment/academics/systems-engineering>
- Air Force Institute of Technology
<https://www.afit.edu/ENV/>

Se observa que estos programas requieren tener una buena base matemática con asignaturas como Cálculo, Álgebra, Probabilidad, etc., junto con asignaturas del ámbito de la Investigación de Operaciones (Teoría de la Decisión, Simulación, Modelos Estocásticos, etc.), sin olvidar asignaturas propias de la Gestión de Proyectos.

En este sentido, un buen programa de Ingeniería de Sistemas en el ámbito o dominio de la Ingeniería de Armas Navales, además de las asignaturas propias de esta Ingeniería (Tecnología de Materiales, Tecnología de Armamento y Sistemas de Combate Navales) debe contemplar asignaturas propias de la Investigación Operativa y la Gestión de Proyectos para lograr una buena base y lograr la capacitación como Ingeniero de Sistemas.

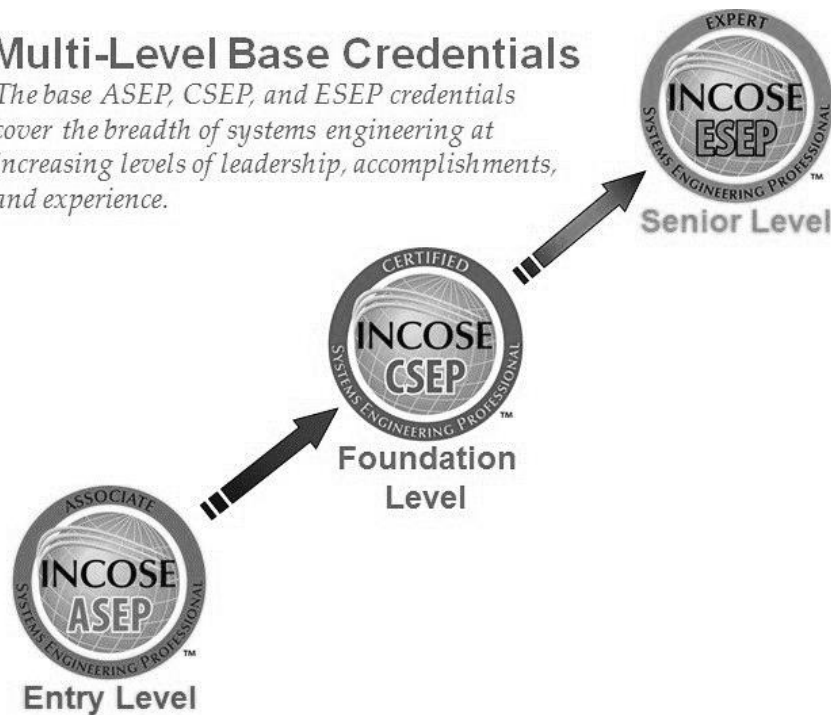


Módulos del Máster en Ingeniería de Sistemas de Armas Navales: un Domain Centric Systems Engineering Program.

Por otra parte, la Ingeniería de Sistemas, a diferencia del resto de ingenierías, no es una profesión regulada bajo la supervisión de un colegio profesional. En su lugar, son el *International Council of Systems Engineering* (INCOSE) y la Asociación Española de Ingeniería de Sistemas (AEIS) los responsables, mediante un sistema de exámenes, de certificar que los ingenieros que aplican esta rama transversal de la ingeniería alcancen las competencias previstas y las incrementen con la experiencia a lo largo de su vida profesional.

Multi-Level Base Credentials

The base ASEP, CSEP, and ESEP credentials cover the breadth of systems engineering at increasing levels of leadership, accomplishments, and experience.



Acreditaciones profesionales del International Council of Systems Engineering

Alternativamente, la certificación de un programa de formación en Ingeniería de Sistemas en el ámbito de un determinado dominio, en lo que se denomina un *Academic Equivalency Program*, permite que los alumnos egresen con la certificación de entrada *Associate Systems Engineering Professional* una vez alcanzadas las capacidades previstas en el programa y este es otro de los objetivos previstos para el futuro máster.

El futuro Máster en Ingeniería de Sistemas de Armas Navales aspira a ser un referente en la formación en Ingeniería de Sistemas en la Armada contribuyendo a llevar a cabo, de forma eficaz y eficientemente, proyectos complejos que requieren la integración de gran cantidad de sistemas, como sucede en un buque de guerra moderno.