

Trabajo Fin de Máster

APLICACIÓN DE MODELOS DE INGENIERIA DE SISTEMAS A PROGRAMAS PRINCIPALES DE ARMAMENTO

Autor

Miguel Carrasco Sandino

Director/es

Ángel Gracia Ramos

Centro Universitario de la Defensa Zaragoza

2019

RESUMEN

La metodología de ingeniería utilizada en los principales programas de armamento en España en las últimas dos décadas ha sido la definida en el documento OTAN AAP-20, PAPS (Phased Armaments Programming System). Lamentablemente, la aplicación de este método no evitó la no viabilidad del programa en el caso del Submarino S80, lo cual dejó en entredicho la idoneidad de éste método para gestionar programas sin autoridad técnica de respaldo.

El objetivo de la presente publicación es hacer una descripción de las principales diferencias y herramientas que aporta la implementación del método de ingeniería de sistemas (IS) frente al sistema PAPS, tomando como referencia la gestión del Programa Submarino S80, pero aplicable a otros programas como el 8x8.

Esta comparativa la he podido realizar debido a que llevo destinado en el programa del submarino S80 desde hace 10 años y he vivido el cambio realizado de un sistema de gestión a otro tras los problemas hallados durante su construcción hace cinco años. Esto me permite comparar las bondades de las herramientas utilizadas anteriormente y actualmente.

En definitiva, las ventajas del método de ingeniería de sistemas frente el método anterior se resumen en que permite mantener controlada y gestionar la configuración del buque, asegura que todos los requisitos del cliente y aplicables al programa se han tenido en cuenta durante el desarrollo del producto final, define herramientas para gestionar los requisitos de una manera ordenada y garantizar su trazabilidad y verificación. Incluye herramientas que permiten simplificar grandes sistemas en instalaciones más pequeñas con lo que su desarrollo está más controlado. El método también aporta diferentes indicadores de avance de programa que permiten la gestión del mismo alertando de posibles desviaciones en etapas tempranas.

Como fase final del proceso, este método aporta la capacidad de ir validando y verificando cada requisito desde muy bajo nivel al más alto, garantizando que el producto final cumple absolutamente con todos los requisitos del cliente.

Con la aplicación de IS, en el caso del S80, esperamos su puesta a flote en el año 2020 y su entrega a la Armada dos años después sin mayores contratiempos.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

PAPS	Phased Armaments Programming System
OTAN/NATO	Organización del Tratado del Atlántico Norte
CNAD	Conferencia de Directores Nacionales de Armamento
IS	Ingeniería de Sistemas
DNO	Documento de necesidad operativa
MIRADO	Material, Infraestructuras, Recursos Humanos, Adiestramiento, Doctrina y Organización
JEMAD	Jefe Estado Mayor de la Defensa
OEM	Objetivos de Estado Mayor
REM	Requisitos de Estado Mayor (NSR)
DGAM	Dirección General de Armamento y Material
DDV	Documento de viabilidad
DDP	Directiva de Programa
NSR	Nato Staff Requirements (REM)
EdC	Especificación de Contrato
PPT	Pliego de Prescripciones Técnicas
RTM	Matriz de Trazabilidad de Requisitos
WBS	Work Breakdown Structure
PBS	Product Breakdown Structure
GBS	Geographical Breakdown Structure
BBS	Building Breakdown Structure
QG	Quality Gate / Puerta de Calidad
SRR	System Requirements Review
SDR	System Design Review
LBF	Línea Base Funcional
SSD	Documentos de Definición
PALI	Plan de Apoyo Logístico Integrado
PDR	Preliminary Design Review
LBA	Línea Base Asignada
LBCR	Línea Base de Configuración de Requisitos
TRL	Test Readiness Level

CDR	Critical Design Review
LBPI	Línea Base del Producto Inicial
PRR	Production Readiness Review
SIR	System Integration Review
SVR	System Verification Review
LBF	Linea Base Funcional
IPR	Intermediate Product Review
LBP	Línea Base de Producto Final
MCR	Matriz de Cumplimiento de Requisitos
V1	Verificación durante la fase de Diseño
V2	Verificación durante la Construcción
V3	Verificación en fase de Pruebas
FPP	Fascículo de Pruebas a Presión
STW	Settings to Work
PPI	Plan de Puntos de Inspección
HCT	Harbour Constructor Test
HAT	Harbour Acceptance Trials
SCT	Sea Constructor Test
SAT	Sea Acceptance Trials
SSS	Especificación de Sistemas y Subsistemas
FAT	Factory Acceptance Test
FCT	Fascículos de Conexionado
FET	Pruebas de Compatibilidad Electromagnética
FST	Pruebas de choque
FVT	Pruebas de vibración
VPE	Resultados de pruebas de Equipos
VPM	Resultados de pruebas de material
VPP	Resultados de pruebas particulares
PCTSUB	Programa de Certificación Técnica de Submarinos

DEFINICIONES

TÉRMINO	DEFINICIÓN
Requisito (ISO 9000:2005)	Necesidad o expectativa establecida, generalmente implícita u obligatoria. Los requisitos son derivados de la Especificación de Contrato y de Normas consideradas como contractuales.
Sistema (ISO 9000:2005)	Conjunto de elementos mutuamente relacionados o que interactúan.
Proceso (ISO 9000:2005)	Conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en
Parte interesada (ISO 9000:2005)	Persona o grupo que tiene un interés en el desempeño o éxito de una organización.
Proyecto (ISO 9000:2005)	Proceso único consistente en un conjunto de actividades coordinadas y controladas con fechas de inicio y de finalización, llevadas a cabo para lograr un objetivo conforme con requisitos específicos, incluyendo las limitaciones de tiempo, coste y
Diseño y desarrollo (ISO 9000:2005)	Conjunto de procesos que transforma los requisitos en características especificadas o en la especificación de un
Evidencia objetiva (ISO 9000:2005)	Datos que respaldan la existencia o veracidad de algo.
Verificación (ISO 9000:2005)	Confirmación mediante la aportación de evidencia objetiva de que se han cumplido los requisitos especificados.
Validación (ISO 9000:2005)	Confirmación, mediante la aportación de evidencia objetiva, de que se han cumplido los requisitos para una utilización o
Calificación (ISO 9000:2005)	Proceso para demostrar la capacidad del diseño para cumplir los requisitos especificados. El término "calificado" se utiliza para designar el estado correspondiente.
Liberación (ISO 9000:2005)	Autorización para proseguir con la siguiente etapa de un proceso.
Concesión (ISO 9000:2005)	Autorización para utilizar o liberar un producto que no es conforme con los requisitos especificados.
Permiso Desviación (ISO 9000:2005)	Autorización para apartarse de los requisitos originalmente especificados de un producto, antes de su realización.
Especificación (ISO 9000:2005)	Documento que establece requisitos.

ÍNDICE

1.- Antecedentes	7
2.- Ingeniería de Sistemas	8
3.- Documentación básica	9
4.- El requisito, la piedra angular de la Ingeniería de Sistemas.	11
5.- Definición de sistemas, instalaciones, y equipos.	14
5.1.- Estructura de Descomposición del Producto (PBS)	16
5.1.- Estructura de Descomposición del Trabajo/Actividades (WBS)	15
5.2.- Estructura de Descomposición del Producto (PBS)	16
5.3.- Otras Estructuras.	17
6.- Los hitos de los programas.	18
6.1.- Pre-Fase A. Estudios conceptuales	19
6.2.- Fase A. Desarrollo del concepto y tecnologías	20
6.3.- Fase B. Diseño Preliminar	21
6.4.- Fase C1. Diseño Final	21
6.5.- Fase C2. Preparación para la Construcción	22
6.6.- Fase D1. Construcción e Integración	23
6.7.- Fase D2. Pruebas	24
7.- La validación y la verificación de los requisitos.	24
7.1.- Verificación durante la fase de Diseño (V1)	26
7.2.- Verificación Física en Construcción (V2).	27
7.3.- Verificación durante la Fase de Pruebas (V3)	28
7.4.- Verificación frente a validación	28
8.- Ejemplos reales.	30
9.- Consideraciones finales.	30
10.- Bibliografía.	31
Anexo 1	32
Anexo 2	36

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Fases del proceso de adquisición de Programas en el Ministerio de Defensa.	9
Ilustración 2 Documentación generada durante el inicio del proceso de adquisición.	10
Ilustración 3 Ejemplo de requisito equívoco.	11
Ilustración 4 Ejemplo de requisito no auto sostenido.	12
Ilustración 5 Ejemplo de requisito no unicriterio.	12
Ilustración 6 Proceso de definición de requisitos técnicos.	13
Ilustración 7 Diagrama de descomposición de trabajo y producto.	15
Ilustración 8 Vista general de las zonas en las que se divide el Submarino S80.	16
Ilustración 9 Fases e hitos de un programa tipo con el método de Ingeniería de Sistemas.	17
Ilustración 10 Fases e hitos del programa S80.	18
Ilustración 11 Momentos en los que se generan las distintas líneas base en el programa S80.	23
Ilustración 12 Proceso de Validación en V empleado en el programa S80.	28

1.- ANTECEDENTES

La adhesión de España a la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN), en el año 1982, supuso un hito por el cual los programas desarrollados en el entorno del Ministerio de Defensa, debían de actualizarse a modelos en los que la interoperabilidad de las unidades era un nuevo requisito. Este concepto implica la utilización de sistemas conjuntos con el resto de aliados de la unión, de manera que cualquier unidad española puede interactuar a diferentes niveles con el resto de unidades de la alianza.

El documento de la OTAN, Phased Armaments Programming System (PAPS), AAP-20, que data de 1990, llamado en España como Proceso de Programación de Armamento por Fases, constituye en el ámbito de la CNAD (Conference of National Armaments Directors) de la OTAN, el marco para promover programas en cooperación, sobre la base de la armonización de requisitos militares comunes, siendo a la vez el instrumento que facilita la toma de decisiones en todos los escalones de gestión.

En España, se consideró oportuno que los procedimientos y metodología del PAPS fuesen marco de referencia para el desarrollo de los programas destinados a satisfacer las necesidades nacionales.¹

El PAPS divide el ciclo de vida completo de un objetivo de Fuerza en ocho fases, las cuales van desde la creación de la necesidad operativa hasta la baja en servicio de la unidad en cuestión. De una manera muy general, en esta metodología se fijan una serie de hitos o milestones que se deben cubrir a lo largo del ciclo de vida de la unidad.

La adopción de este método fue un acierto para la época, ya que permitió a España utilizar la misma terminología y programática que el resto de sus aliados. Esto sin duda nos permitió poder comunicarnos empleando los mismos términos que el resto de socios adheridos a los diferentes programas internacionales en los que estábamos inmersos, como el Leopardo o el F-18, que datan de la década de los 90.

No obstante, como su propio nombre indica, esta metodología dicta una serie de eventos por los que un programa ha de pasar, pero no entra en detalles de cómo controlar los progresos durante la etapa de producción del mismo. Realmente, los programas citados eran programas de adquisición de un producto que ya estaba desarrollado, quedando solo a discusión el “equipamiento” del vehículo base.

Los programas que la Armada ha estado desarrollando en las últimas dos décadas, o el 8x8 actual del Ejército de Tierra, no entran dentro de este concepto, ya que se ha partido de cero en todos estos nuevos programas iniciados. Es por lo que aparte de los hitos de programación descritos, se hacía necesaria la adopción de algún método alternativo que diera más control del programa, y fuera capaz de gestionar la compleja diversidad técnica de los vehículos actuales, la cual no para de crecer.

2.- INGENIERÍA DE SISTEMAS

Como se ha mencionado anteriormente, la adopción de PAPS no resulta óptima para los programas acometidos sin una autoridad técnica de respaldo, debido a que gran parte del éxito del mismo se basa en asegurar que la industria cumple con todos los

¹ Directiva 68/2000, de 9 de Marzo, del Secretario de Estado de Defensa, por la que se regula el proceso de obtención de armamento.

requisitos exigidos al programa desde el primer momento que se otorga el contrato a la industria.

No obstante, el documento AAP-20 es un documento en evolución y ha tenido diferentes versiones a lo largo de los años, siendo la más reciente del año 2015 (Edition C Ver. 1), teniendo en cada revisión mayor definición. Los hitos que recoge la última versión se asemejan cada vez más a los utilizados en Ingeniería de Sistemas [2].

Las mayores similitudes entre ambos métodos, se hallan de hecho en la programación de hitos. El AAP-20, siendo un documento OTAN, es muy genérico en cuanto a su descripción, y da cierta libertad a los miembros al respecto de los pasos a seguir. De hecho esta flexibilidad permite a los estados miembros adaptar este método a las características de cada país y su propia legislación.

Se puede definir la Ingeniería de Sistemas (IS) como una secuencia lógica de actividades y decisiones que transforman una necesidad operativa en una descripción de parámetros de rendimiento de un sistema y una configuración preferida del mismo.

La gestión de IS contempla tres actividades principales [6],[9]:

- Desarrollo por fases que controlan el proceso de diseño y genera líneas base que coordinan las etapas de diseño.
- Un proceso de ingeniería de sistemas suministra una estructura para resolver problemas de diseño y trazabilidad de los requisitos a través de la etapa de diseño, y
- Una integración del ciclo de vida que involucra a los clientes en el proceso de diseño y se asegura que el sistema desarrollado es viable durante toda su vida útil.

Estas tres actividades presentadas tienen alguna similitud con los métodos utilizados con PAPS, principalmente en la identificación de fases del programa, e incluir parte del ciclo de vida en el desarrollo del programa, pero como he indicado anteriormente, no suministraba ninguna herramienta para resolver problemas de diseño ni gestión de los requisitos a ningún nivel.

3.- DOCUMENTACIÓN BÁSICA

Todo el proceso mencionado a continuación se basa en 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.

El punto de inicio de cualquier programa de defensa lo marcan los ejércitos identificando una carencia operativa en su material. Se genera un documento denominado “Documento de Necesidad operativa” (DNO) en el que se identifica la deficiencia operativa que afecta a la capacidad para llevar a cabo la misión, y que no puede resolverse de forma satisfactoria con las fuerzas o medios disponibles o previstos. Esta documentación da inicio a la **fase conceptual**.

En este documento se recogen análisis preliminares de la necesidad, capacidades iniciales y otras consideraciones como riesgos, plazos, y otros aspectos que ayuden a comprender la carencia.

Tras la generación de esta documentación y su aprobación por parte del JEMAD, se inicia la etapa de previabilidad operativa y el estado mayor del ejército correspondiente inicia la evaluación de la necesidad operativa, en la que se analiza la deficiencia

detectada, se confirma su validez y se transforma en un conjunto de requisitos funcionales y de primeras estimaciones técnicas económicas y de programación atendiendo a los factores MIRADO (Material, Infraestructuras, Recursos Humanos, Adiestramiento, Doctrina y Organización) que se plasman en el documento denominado “Objetivo de estado mayor” (OEM), que recogerá las posibles opciones para satisfacer la necesidad, sin haber evaluado su viabilidad operativa. Este documento también es aprobado por el JEMAD.



Ilustración 1 Fases del proceso de adquisición de Programas en el Ministerio de Defensa.

A partir de este punto se inicia la **fase de definición y decisión**, en la cual se definirá la solución operativa más adecuada a la necesidad y se concretarán los requisitos de la misma. Se entiende por solución operativa el conjunto de requisitos formulados en términos operativos o funcionales, técnicos, logísticos y físicos que deben cumplir los recursos materiales a obtener.

En esta fase también se ha de incluir una estimación no solo del coste de adquisición de la solución, sino también el coste de su sostenimiento durante el ciclo de vida, así como el coste de dar de baja la solución al final de su vida operativa.

El resultado de la primera etapa, definición de requisitos, culmina en el documento de Requisitos de Estado Mayor (NSR)², el cual debe recoger, entre otros, los siguientes datos:

- Los requisitos operativos, físicos, logísticos y técnicos que debe cumplir el sistema de armas.
- El número de unidades que se deben obtener para satisfacer la necesidad.
- Los plazos en los que tienen que alcanzarse la capacidad operativa inicial y final.

Este documento es sancionado tanto por el JEMAD como por el JEME del ejército correspondiente, y da paso a la siguiente etapa dentro de esta fase del proceso de obtención, que es la etapa de Determinación de la alternativa de obtención. Esta etapa tiene como objeto el seleccionar una alternativa viable para la obtención de la solución operativa definida en el NSR.

Esta fase conjuga los requisitos de la solución operativa con las directrices de la política de armamento y material, analizando las soluciones que la industria ofrece junto con los aspectos tecnológicos, posible colaboración internacional, implicaciones logísticas, impactos medioambientales, análisis de mercado y posibles necesidades CIS o de infraestructura.

² También es conocido como REM. NSR viene del inglés NATO STAFF REQUIREMENTS.

Esta fase se realiza en la Dirección General de Armamento y Material (DGAM) y se incorpora en el documento de viabilidad (DDV), el cual propone una alternativa de obtención que cumpliendo todos los requisitos establecidos en el NSR, mejor se adecúe a las políticas de armamento y material.

Una vez aprobado el DDV por el SEDEF se inicia las últimas etapas dentro de esta fase, denominadas Establecimiento del programa y preparación de la ejecución.

La primera de ellas tiene por objeto la creación de la oficina de programa, nombramiento de sus responsables, y en última instancia generar el documento Directiva de Programa (DDP).

La segunda tiene como objetivo contratar los trabajos que conducirán a la ejecución del programa. Los documentos que se generan en esta etapa son muy variados, pero los más relevantes del proceso son:

- Planificación del programa. Debe estar en línea con los plazos establecidos en el DDV.
- Plan de Gestión de riesgos del programa. Identifica riesgos y los analiza, clasifica, valora y prioriza, así como las acciones para su mitigación.
- Especificaciones de diseño/producción/contrato. Este documento recoge todos los requisitos técnicos que debe cumplir el producto final. Son la base para generar los Pliegos de Prescripciones Técnicas de un contrato.
- El pliego de cláusulas administrativas recoge todas las normas económicas por las que se ha de regir el contrato, así como el resto de condiciones del contrato que no son estrictamente técnicas.

Como se puede comprobar, antes de empezar la relación entre la administración y la empresa adjudicataria del contrato, existe una gran cantidad de documentación que ha de ser generada sin la cual no puede adjudicarse un contrato. A partir de este punto, se puede empezar a aplicar la IS al programa.

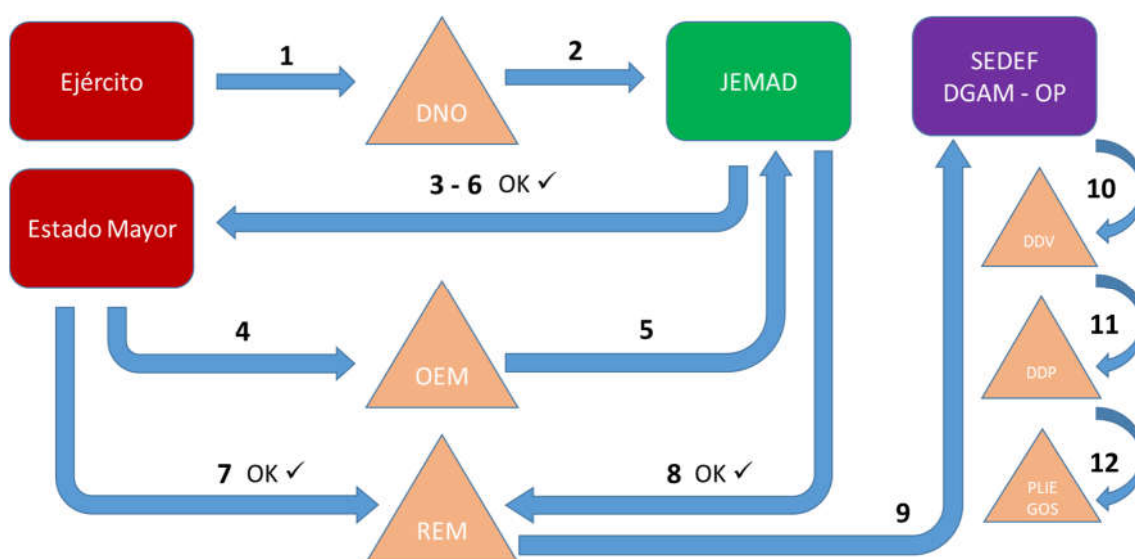


Ilustración 2 Documentación generada durante el inicio del proceso de adquisición.

4.- EL REQUISITO, LA PIEDRA ANGULAR DE LA INGENIERÍA DE SISTEMAS.

Como se ha podido comprobar en el punto anterior, existen un gran número de documentos necesarios para el inicio de la fase de diseño de un programa de adquisiciones de defensa, pero para el tema de este trabajo, nos vamos a centrar en dos solamente, el NSR y la Especificación de Contrato (EdC), documento que recoge los requisitos técnicos del contrato con la empresa adjudicataria y que hace las veces de PPT. Estos dos documentos generan requisitos de alto nivel (NSR) y bajo nivel (EdC), pero no son las únicas fuentes de requisitos que el programa debe cumplir. También tenemos las Normas (UNE, PECAL, etc.) que sean aplicables, requisitos de certificación (marcado CE por ejemplo) o Especificaciones de diseño (Criterios de Calidad, calificación de materiales, etc.)

El método de IS, nos permite garantizar que todos los requisitos son trazados eficientemente al programa en cuestión.

Esto se consigue desglosando cada párrafo en un único requisito y asignándole una nomenclatura, que nos permita una vez redactado el contrato, comprobar por medio de un software de gestión de requisitos, que absolutamente todos los requisitos, independientemente de su fuente, han sido trazados al programa. La herramienta utilizada para este ejercicio es una Matriz de Trazabilidad de Requisitos (RTM), que es capaz de trazar el requisito original, con el requisito trasladado al programa y su nivel de cumplimiento en un momento dado. Estas matrices se mantienen durante todo el programa y se van actualizando a medida que el progreso del programa avanza. En el Anexo I se puede ver un ejemplo de un capítulo de una EdC con los requisitos marcados en propio texto.

Para una correcta gestión a lo largo del programa se hace necesario el definir unas características para cada uno de los requisitos generados en el programa.

Es importante que cada requisito quede redactado como auto-sostenido, inequívoco y unicriterio, para evitar posibles errores en fases más adelantadas del programa. Es por esto que al inicio de los programas, en sus hitos tempranos, es de vital importancia el comprobar uno por uno todos los requisitos del contrato, y comprobar su correcta estructura.

Un ejemplo de requisito equivoco se puede ver en la ilustración 3, en donde se puede comprobar como el requisito de origen no da la información necesaria para determinar el cumplimiento, ya que da pie a una interpretación tanto por parte del cliente como del constructor, y se ha decidido cambiarlo por el texto propuesto para evitar discusiones en el futuro.

ID_Origen : 561IDP250

Texto Origen : Los permutadores principales de Normal/Emergencia se situarán lo más cerca posible del timón al que alimenten.

Tipo Requisito : Funcional

Tipo Deriv : 4

ID_Deriv : 561IDP250_00

Texto Propuesto : Los permutadores principales de Normal/Emergencia del timón vertical se instalará en una ubicación próxima al distribuidor de mando en emergencia para el control de las configuraciones "Control de Emergencia" y "Control de Socorro".

Ilustración 3 Ejemplo de requisito equivoco.

Un ejemplo de requisito no auto sostenido se puede ver en la ilustración 4, donde el requisito original no deja claro el cometido del mismo. En cambio el texto propuesto no necesita de ningún otro requisito para definir claramente su cometido.

ID_Origen : 561IDP390
•Texto Origen : Seguimiento automático del rumbo y de la cota prefijados (sin intervención del timonel).
<i>Tipo Requisito : Funcional</i>
<i>Tipo Deriv : 2</i>
<i>ID_Deriv : 561IDP390_00</i>
Texto Propuesto : La función de mando del seguimiento automático del rumbo y de la cota prefijados para el modo de seguimiento se realizará sin intervención del timonel

Ilustración 4 Ejemplo de requisito no auto sostenido.

Un ejemplo de requisito que no es unicriterio se puede ver en la ilustración 5, donde el requisito original hace mención a dos elementos distintos, por lo que se puede desglosar en dos nuevos requisitos, uno para cada elemento controlado.

ID_Origen : 561IDP418
•Texto Origen : Control manual (Control Normal) simultáneo o independiente de los ángulos de los timones vertical y de buceo (Joysticks del Sistema de Gobierno (SG) y Panel del Sistema de Gobierno (SG)).
<i>Tipo Requisito : Funcional</i>
<i>Tipo Deriv : 4</i>
<i>ID_Deriv : 561IDP418_00</i>
Texto Propuesto : La función de mando en Modo Manual de los ángulos de los timones de buceo se realizará sobre el Joystick (Buceo agrupados) o sobre el Joystick y la palanca (Buceo desagrupados) del panel de mando de la Instalación de Control de Gobierno).
<i>Tipo Requisito : Funcional</i>
<i>Tipo Deriv : 4</i>
<i>ID_Deriv : 561IDP418_01</i>
Texto Propuesto : La función de mando en Modo Manual del ángulo del timón vertical se realizará sobre el Joystick del panel de mando de la Instalación de Control de Gobierno

Ilustración 5 Ejemplo de requisito no unicriterio.

Una vez bien definidos los requisitos de entrada es importante comprobar en que modos de operación son aplicables. Por ejemplo la velocidad máxima de un submarino no es la misma cuando tiene los mástiles desplegados, ya que éstos podrían dañarse a altas velocidades, que la velocidad máxima indicada en el NSR.

Todos estos datos, conjugados con el resto de fuentes de requisitos aplicables al programa (Normativa, Instrucciones Técnicas del Constructor y requisitos de certificación), configuran la llamada “línea base” de requisitos técnicos.

La línea base de requisitos recoge la configuración requerida del producto, y se concreta en una matriz. Esta matriz irá validándose contra la solución final de diseño a lo largo de las primeras etapas del diseño para posteriormente realizar su verificación con evidencias que justifiquen el cumplimiento de los mismos.

A lo largo del programa, la línea base puede ser modificada debido a imprevistos o a necesidades derivadas del diseño, pero todo cambio de requisito queda registrado y documentado. Especialmente en todos los hitos principales del programa, se revisa el estado de cumplimiento de la línea base, y se negocian con el cliente los posibles cambios que se deban realizar. Al utilizar software de gestión de requisitos es relativamente sencillo saber a qué instalaciones afecta la modificación de un solo requisito. Hay que tener en cuenta que los requisitos pueden tener interdependencia entre ellos. Por ejemplo, una IT del constructor puede especificar que todas las instalaciones hidráulicas del producto, deben cumplir con una serie de requisitos de normativa general. Esto se deriva a todos los sistemas del producto que tengan instalaciones hidráulicas; por lo que si se actualiza algún aspecto de esta normativa, todos las instalaciones hidráulicas deben recoger dicha actualización en sus requisitos aplicables.

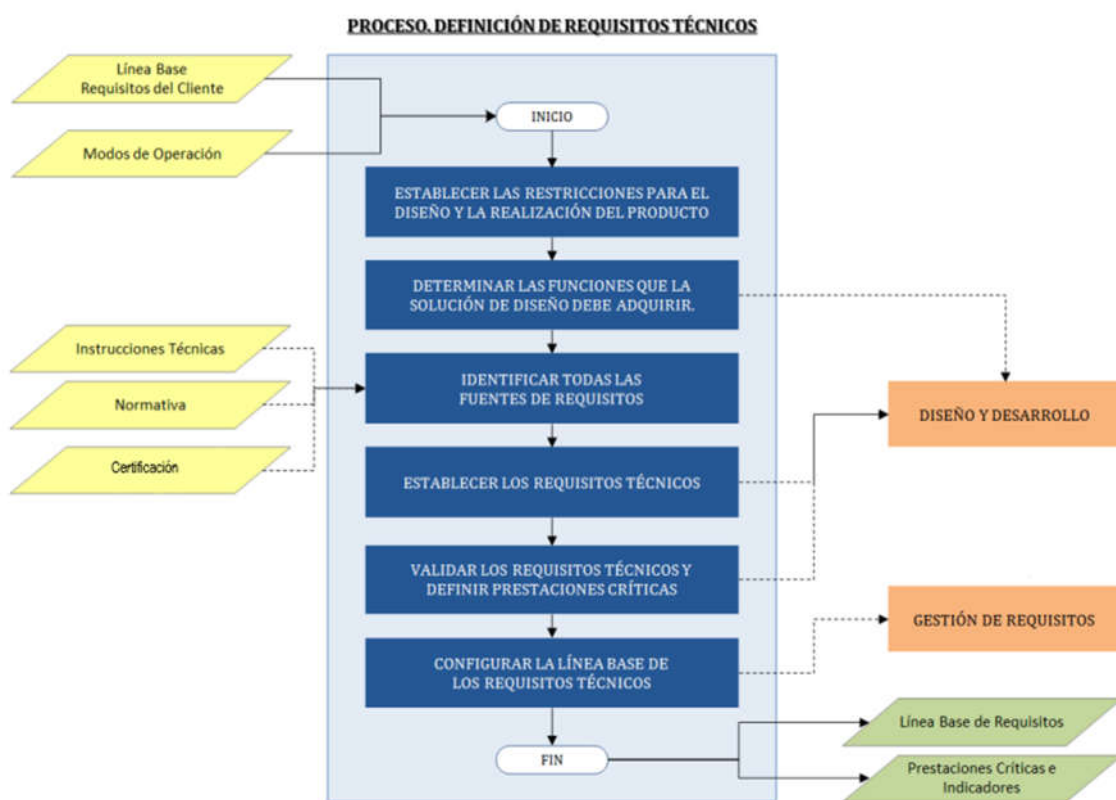


Ilustración 6 Proceso de definición de requisitos técnicos.

Estos son un tipo especial de requisitos, llamados requisitos transversales. Son requisitos que son de aplicación a todos los elementos del buque o al menos a varios sistemas. Un ejemplo claro son los requisitos de calificación de elementos que se incluyen en el producto final. En el caso de los programas navales, por ejemplo, estos requisitos incluyen los siguientes aspectos:

- Resistencia al choque.
- Vibraciones y ruido aéreo.
- Compatibilidad Electromagnética (EMI/EMC).
- Resistencia al fuego.
- Certificación (PCTSUB).

5.- DEFINICIÓN DE SISTEMAS, INSTALACIONES, Y EQUIPOS.

Como pudimos ver en puntos anteriores, una de las ventajas que ofrece la IS es suministrar una estructura que permite solventar los problemas de diseño.

Se define el producto final, como sistema de más alto nivel, que puede descomponerse según las estructuras siguientes:

Estructura de Descomposición del Trabajo/Actividades (WBS): El diseño y desarrollo del sistema debe estructurarse en una descomposición del trabajo necesario para completar el proyecto. La Estructura de Descomposición del Trabajo (WBS - Work Breakdown Structure) está intrínsecamente relacionada con estructura del producto.

Estructura de Descomposición del Producto (PBS): El proceso de definición de los requisitos técnicos transforma las necesidades del cliente en un conjunto de requisitos técnicos validados que condicionan la definición de la solución de diseño en un modelo de sistemas, instalaciones y equipos que se estructuran en una descomposición del producto (PBS-Product Breakdown Structure).

Estructura de Descomposición Geográfica (GBS): La disposición de los sistemas, instalaciones y equipos del producto se realiza en base a los locales que conforman el mismo. Durante la fase de diseño, la estructura geográfica se basa en zonas que se corresponden con uno o varios locales.

Estructura de Descomposición de la Estrategia Constructiva (BBS): En relación directa con la PBS y la GBS, se define la estrategia constructiva y se desarrolla la estructura que marca la fabricación e integración de productos intermedios del producto.

Dependiendo de la complejidad del producto final puede ser necesaria establecer alguna estructura de descomposición más, pero las principales a tener en cuenta son la WBS y la PBS.

5.1.- Estructura de Descomposición del Trabajo/Actividades (WBS)

Básicamente la WBS establece la descomposición lógica del producto que pasa a tener los siguientes niveles:

Nivel 0: Contiene un único elemento denominado producto final. Puede ser un vehículo, un buque, etc.

Nivel 1: Contiene varios elementos asociados al producto funcional (denominados Sistemas), a la integración física (denominadas Major Area) y a la gestión.

Nivel 2: Contiene varios elementos asociados a los Sistemas del producto funcional (instalaciones), a las Major Areas del producto físico (zonas) y a la gestión por especialidades.

Nivel 3: Contiene varios elementos asociados a las Instalaciones del producto funcional (Equipos), a las Zonas del producto físico (fases de desarrollo del proyecto y unidades constructivas).

A medida que el producto se va descomponiendo, va aumentando el nivel de detalle de los elementos, lo cual permite abordar su diseño de una manera más adecuada, desde el todo a sus partes, dimensionando adecuadamente los equipos de desarrollo.

El concepto de los niveles va asociado con diferentes fases en el devenir del programa. En un programa tipo se recorren siete fases, de acuerdo con la metodología de IS teniendo en cuenta el proceso de ingeniería concurrente que seguirá en el programa.

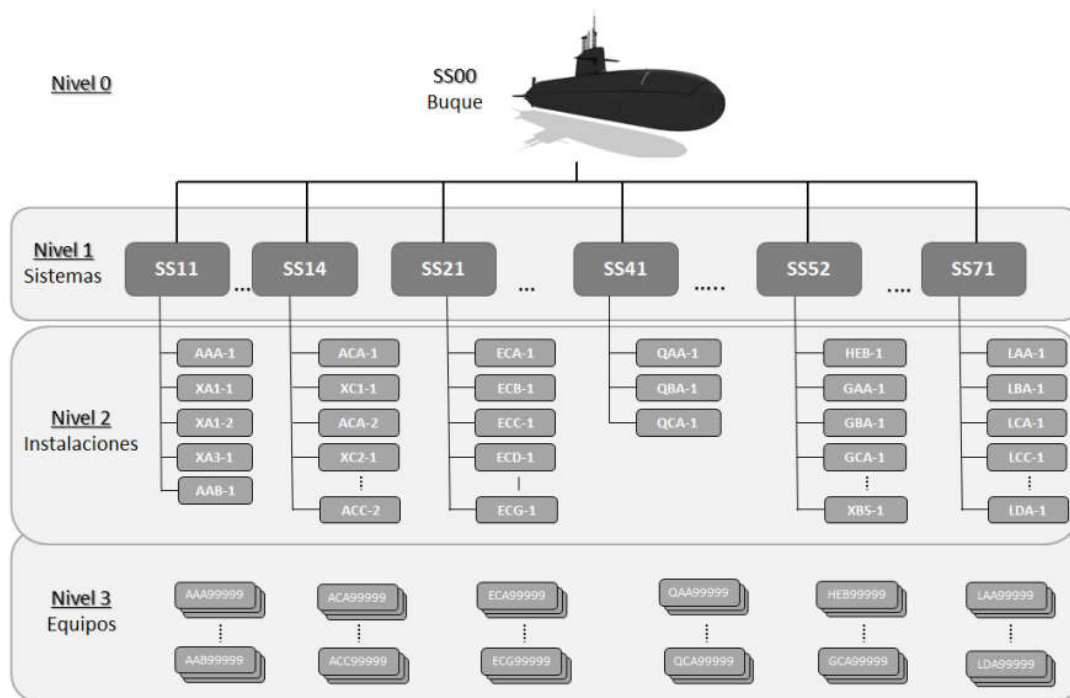


Ilustración 7 Diagrama de descomposición de trabajo y producto.

En el desarrollo de los sistemas complejos, como el Proyecto S-80 Plus, las fases no se suceden de forma secuencial sino que existe un solape entre las mismas. Esto permite minimizar los tiempos de espera entre fases y acortar la duración del programa. Este solapamiento se debe efectuar de forma controlada, con un riesgo definido, acotado y asumible, de tal modo que se asegure la coherencia de las actividades de diseño y no se produzcan trabajos duplicados innecesarios durante el desarrollo de los trabajos.

5.2.- Estructura de Descomposición del Producto (PBS)

De forma análoga a la WBS, la descomposición del producto también se define en niveles desde el 0 al 3, correspondiendo el 0 al producto final como un todo, y al 3 a los equipos individuales.

No obstante, el nivel 0 recoge también aquellos elementos que son aplicables al producto final como un todo. Esto incluye los sistemas de gestión del programa, coste del ciclo de vida, firmas (acústica, térmica, radar, etc.), mantenibilidad, documentación, requisitos generales, etc. En el Anexo 2, se puede comprobar un extracto del PBS del Submarino S80, desde el nivel 0 al nivel 3. Cabe destacar que esta descomposición en el caso de los sistemas navales, se hace coincidir con el nomenclátor que utiliza la Armada Española, el cual es un directorio por contenidos de todo lo relacionado con los buques, y que se repite en todos los programas de construcción de buques, indistintamente de su función.

A todos los elementos de los niveles 0, se les denomina SS00 (nivel buque), seguido del número identificativo de la especificación que se trate (Grupo de Coste), según el listado del Anexo 2. Este sistema se aplica a toda la documentación que se genere relativa a estos temas, siguiendo una nomenclatura especificada en el plan general de

documentación, del tipo S80P-SS00-GC-XXXXX, de tal manera que resulta sencillo identificar el objeto al que se refiere la documentación.

De manera similar, los de nivel 1, se dividen por sistemas SSXX, seguido de sus grupos de coste, como se puede ver en la ilustración 7.

Las instalaciones del Proyecto S-80 Plus, nivel 2, se han identificado con un código alfanumérico de 4 caracteres compuesto por tres números del trigrama y un secuencial de un dígito que divide el trigrama para su adaptación, en la medida de lo posible, a la estructura del Nomenclátor.

El listado completo de las instalaciones del Proyecto S-80 Plus, agrupadas por sistemas, se recoge en el Anexo 2.

Los equipos relativos al nivel 3, son identificados con el trigrama de su instalación, seguidos de un número secuencial de 5 cifras, del tipo “ABB01235”, lo cual permite diferenciar cada elemento dentro del programa de una manera sencilla. Esta nomenclatura de equipos es utilizada en los planos de diseño de los buques y en el resto de documentación a lo largo del programa.

5.3.- Otras Estructuras.

El uso de otras estructuras dentro del programa viene dado por las características de cada programa y por su dificultad técnica.

Por ejemplo la estructura de estrategia constructiva define la manera en que se va a construir el producto final durante la fase de producción. Establece el orden constructivo de los diferentes elementos que componen el todo, descomponiéndolo en niveles. Se empieza por los elementos de mayor nivel, que suelen ser los más pequeños, para ir construyendo instalaciones y después los sistemas. Una vez unidos todos los sistemas, se tiene el producto final. Obviamente, es de mayor importancia en un buque o avión, que en un vehículo terrestre, debido a que algunos elementos son de un tamaño tan grande que el resto de elementos deben construirse alrededor del primero, no siendo posible la integración de todos los elementos si no se sigue un orden establecido.

La estructura de descomposición geográfica (GBS), es utilizada para comprobar las interferencias entre diferentes sistemas dentro de un espacio delimitado del producto final. También se desglosa en niveles, empezando por la estructura y elementos fijos del producto final, subiendo a medida que se aumenta el nivel, el detalle de todos los elementos incluidos dentro de ese espacio. En el programa S80, se han definido 4 áreas principales, divididas a su vez en diferentes zonas.

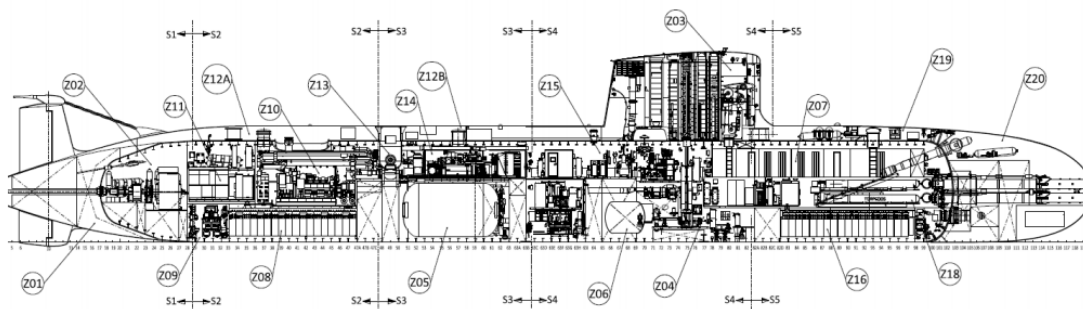


Ilustración 8 Vista general de las zonas en las que se divide el Submarino S80.

Se han definido unos controles de calidad, denominados “puertas de calidad” (QG), han de ser superados a medida que la ingeniería de diseño va aumentando el nivel de detalle en el modelo 3D del submarino. Se establecen una serie de hitos que en los que se comprueban las posibles interferencias de diseño entre los distintos elementos que se encuentran dentro de cada zona. Existe una sala especial en el astillero, que con tecnología de visión en tres dimensiones, permite introducirse virtualmente en el interior de la zona auditada e incluso realizar mediciones en escala 1:1. Esta estrategia permite subsanar errores de diseño antes de empezar los trabajos de producción en la grada, por ejemplo, dos tuberías que chocan en un punto, elementos demasiado bajos en los pasillos de transito de personal o válvulas inaccesibles para su operación manual. Este trabajo tiene un impacto enorme en tiempo ahorrado en órdenes de fabricación durante la etapa de producción.

6.- LOS HITOS DE LOS PROGRAMAS.

El método de ingeniería de sistemas define una serie de hitos que todo programa debe culminar. Los espacios entre hitos se denominan fases. A continuación tomando como ejemplo el programa del submarino S80, se va a definir el propósito de cada fase e hito, siendo exportable a cualquier programa que utilice este método.

Las iteraciones de diseño se recorren a lo largo de siete fases de acuerdo con la metodología de Ingeniería de Sistemas y teniendo en cuenta el proceso de ingeniería concurrente que se seguirá en el programa:

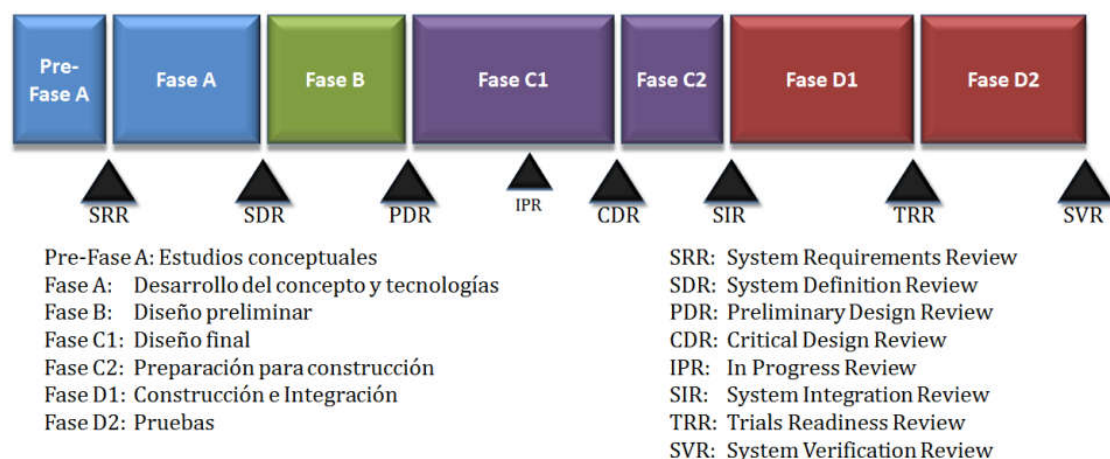


Ilustración 9 Fases e hitos de un programa tipo con el método de Ingeniería de Sistemas.

En el desarrollo de los sistemas complejos, como el Proyecto S-80 Plus, las fases no se suceden de forma secuencial sino que existe un solape entre las mismas. Esto permite minimizar los tiempos de espera entre fases y acortar la duración del programa. Este solapamiento se debe efectuar de forma controlada, con un riesgo definido, acotado y asumible, de tal modo que se asegure la coherencia de las actividades de diseño y no se produzcan trabajos repetidos innecesarios en fases posteriores.

Debido al hecho de realizar solapamiento de fases y para asegurar el correcto desarrollo del proyecto se hace necesario realizar revisiones adicionales, de menor entidad que las descritas en la figura anterior, cuyo objetivo sea consolidar la integridad del diseño y la construcción.

La particularidad del programa objeto de este Plan de Ingeniería de Sistemas, descrita en apartados anteriores, ha hecho necesaria una programación de las fases del

proyecto en la que se contemplan actividades adelantadas y solapamiento entre fases, tal como se muestra en la figura siguiente:

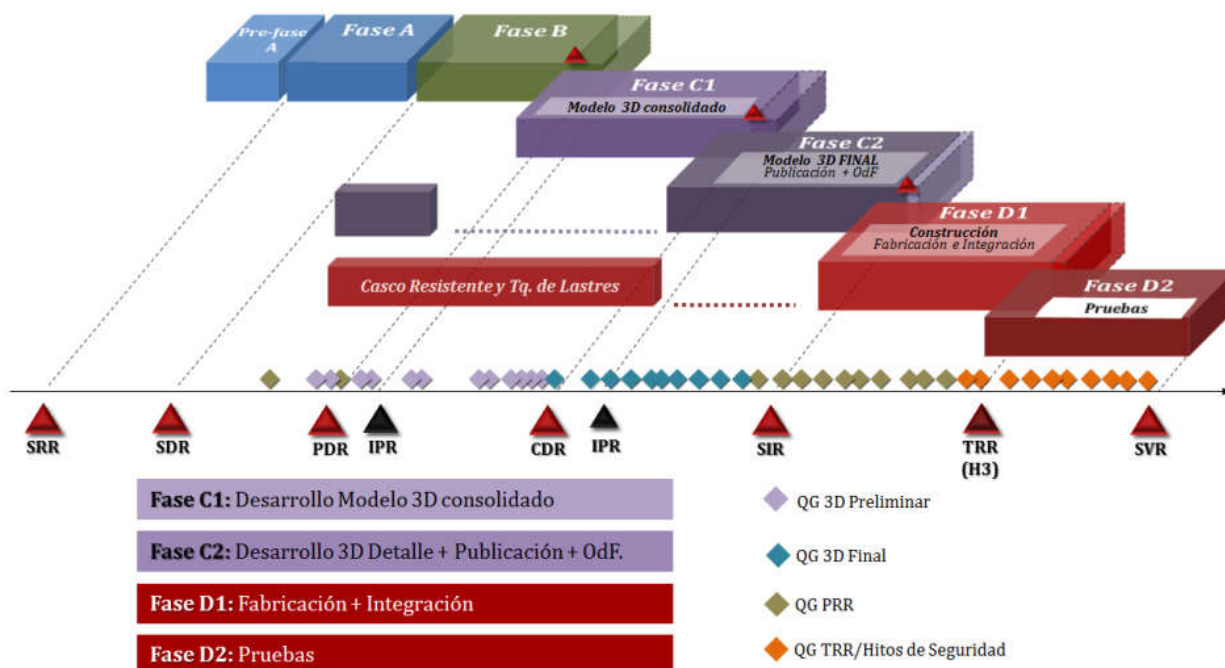


Ilustración 10 Fases e hitos del programa S80.

6.1.- Pre-Fase A. Estudios conceptuales

El propósito de esta fase es desarrollar diferentes estudios, en base a criterios de eficiencia operativa, de prestaciones de la plataforma, de fabricabilidad y de coste y plazo, para definir conceptos viables desde los que se pueda seleccionar la solución de diseño definitiva.

En el caso del Proyecto S-80 Plus, se procederá a la identificación de los requisitos NSR trazables a nivel buque que puedan tener impacto en el redimensionamiento del submarino, con el fin de establecer la primera línea base de requisitos.

Posteriormente y en las siguientes fases se establecerá el cumplimiento de los requisitos del NSR.

Resulta imprescindible que, desde las primeras fases del proyecto, se identifiquen las restricciones (constraints) para el diseño, desarrollo y validación del buque.

El conjunto de requisitos NSR trazados a nivel buque y acordados con la Armada se recogerá en una matriz para la gestión de los requisitos procedentes del NSR y que será ampliada, en la próxima fase, con el resto de los requisitos del NSR.

A lo largo de la Pre-Fase A se establecen los siguientes planes:

- Plan de Gestión del Programa (PMP).
- Plan de Gestión de la Configuración (CMP).
- Plan de Gestión de Riesgos (RMP).
- Plan de Ingeniería de Sistemas (SEMP).
- Plan de Calidad S-80 (QMP).

- Plan de Seguridad Industrial.

Esta fase concluye con la revisión formal denominada 'System Requirements Review' (SRR).

Los criterios de aprobación para la SRR son:

- El producto propuesto los requisitos de alto nivel del NSR, los criterios de entrada han sido satisfechos.
- Los riesgos detectados durante la Pre-Fase A y la SRR han sido identificados, evaluados y documentados, acordándose las acciones necesarias para su mitigación o resolución.
- Los planes presentados son realistas y alcanzables, tanto por parte de Navantia como por la Armada.

6.2.- Fase A. Desarrollo del concepto y tecnologías

El objeto de la Fase A es obtener una línea base de requisitos técnicos acordada con el cliente y consistentes con la solución de diseño que permita iniciar el desarrollo del diseño a nivel de instalaciones.

La identificación de tecnologías relacionadas con el plan de reducción de pesos necesarios para el desarrollo del Sistema y la estimación de su impacto en el programa es también objeto de esta fase.

El principal esfuerzo de esta fase es desarrollar en mayor detalle los diseños conceptuales de la fase anterior, consolidar la arquitectura funcional a nivel de sistemas y determinar las funciones que serán claves para el desarrollo de las instalaciones y los equipos.

Las actividades propias de esta fase se centran, por tanto, en desarrollar los requisitos de alto nivel y las restricciones asociadas, estableciendo formalmente y analizando los requisitos de los sistemas y su implicación en los elementos del siguiente nivel.

A lo largo de la Fase A se establecen el resto de planes del programa.

El producto esperado del desarrollo de esta fase es, por un lado, una línea base de requisitos técnicos acordada que recoja las funciones y prestaciones de alto nivel que el Sistema va a ser capaz de satisfacer, y por otro lado, un conjunto de especificaciones a nivel de sistemas que consoliden la solución de diseño frente a los requisitos.

Esta fase concluye con el hito SDR tras el cual se establece la Línea Base Funcional (LBF) con la arquitectura funcional a nivel de sistemas.

Los criterios de aprobación de la SDR son:

- Los requisitos extraídos de la revisión de la EdC y el NSR, han sido entendidos por ambas partes (Armada y Navantia).
- Los criterios de entrada han sido satisfechos.
- Los riesgos detectados durante la Fase A y la SDR han sido identificados, evaluados y documentados, acordándose las acciones necesarias para su mitigación o resolución.
- Los planes presentados son realistas y alcanzables, tanto por parte de Navantia como por la Armada.
- Se ha presentado el estado de las acciones identificadas durante revisiones anteriores del proyecto.

6.3.- Fase B. Diseño Preliminar

Durante la Fase de Diseño Preliminar, se llevan a cabo las actividades que permiten un desarrollo 'top-down' de los requisitos desde las especificaciones de los sistemas hacia las instalaciones y equipos críticos y principales del buque.

A lo largo de la Fase B, se desarrollarán las modificaciones a la arquitectura funcional del submarino tratando de asegurar que las necesidades del cliente son correctamente trasladadas hacia los sistemas e instalaciones del submarino. Se comprobará que las prestaciones de los equipos críticos y principales y los interfaces con el resto del sistema son definidos y puestos bajo el control de la configuración del proyecto, a través de los documentos de definición (SSD).

El principal objetivo de esta fase es establecer una arquitectura funcional del Sistema a nivel de instalaciones que esté acorde con las especificaciones establecidas durante la Fase A.

Como resultado de la fase de Diseño Preliminar se revisan los documentos de diseño lanzados en las fases anteriores, se lanzan los documentos de diseño que definen la arquitectura funcional a nivel de instalaciones, se consolidan los planes para la gestión del proyecto durante las fases siguientes y se realiza una revisión de la planificación y el coste asociado. Además, se inicia la confección del Plan de Apoyo logístico Integrado (PALI).

A lo largo de esta fase se inicia el desarrollo del modelo de zonas 3D preliminar, en base a la arquitectura funcional definida para la solución de diseño y de acuerdo con el proceso de revisión asociado a las Puertas de Calidad Funcionales.

Al final de esta fase se realiza la revisión formal denominada 'Preliminary Design Review' (PDR) tras la que se establece la Línea Base Asignada (LBA), y supone la consolidación de la arquitectura funcional y de interfaces.

Los criterios de aprobación de la PDR son:

- Los requisitos contenidos en la LBCR se encuentran validados frente a la solución de diseño especificada por los esquemas funcionales.
- Los requisitos tienen establecido un método y una etapa para la verificación de su cumplimiento.
- Las nuevas tecnologías y/o equipos necesarios para el proyecto han sido completamente desarrolladas hasta un estado razonable de TRL o en su defecto, existen alternativas viables que encajan en plazo y coste.
- Los criterios de entrada han sido satisfechos.
- Los riesgos detectados durante la Fase B y la PDR han sido identificados, evaluados y documentados, acordándose las acciones necesarias para su mitigación o resolución.
- Los planes presentados son realistas y alcanzables, tanto por parte de Navantia como por la Armada.
- Se ha presentado el estado de las acciones identificadas durante revisiones anteriores del proyecto.

6.4.- Fase C1. Diseño Final

El objetivo de esta fase es completar las modificaciones del diseño de detalle del sistema, trasladando las especificaciones de la arquitectura funcional a una arquitectura física.

Las actividades que se desarrollan en la fase de Diseño Final se dirigen a definir el diseño de detalle incorporando las especificaciones de los nuevos equipos de las instalaciones del submarino, estableciendo todos los interfaces funcionales y consolidando el modelo de zonas (3D). La consolidación del modelo 3D culmina con la ejecución de todas las Puertas de Calidad 3D preliminares y con una revisión de la disposición de los locales orientada al mantenimiento. Los procedimientos para la fabricación e integración son también objeto de esta fase.

Al final de esta fase y una vez celebradas todas las Puertas de Calidad 3D preliminares y al menos una Puerta de Calidad 3D de detalle, como tarea adelantada de la Fase C2, se realiza la revisión formal denominada 'Critical Design Review' (CDR) tras la que se establece la Línea Base del Producto Inicial (LBPI).

- Los criterios de aprobación de la CDR son:
- Los requisitos contenidos en la LBCR se encuentran validados frente a la solución de diseño especificada por los esquemas funcionales y el modelo 3D.
- Los criterios de entrada han sido satisfechos.
- Los riesgos detectados durante la Fase C1 y la CDR han sido identificados, evaluados y documentados, acordándose las acciones necesarias para su mitigación o resolución.
- Los planes presentados son realistas y alcanzables, tanto por parte de Navantia como por la Armada.
- Se ha presentado el estado de las acciones identificadas durante revisiones anteriores del proyecto.

El establecimiento de la LBPI tras la CDR supone la congelación de la solución de diseño con una arquitectura del submarino definida hasta el nivel de las marcas funcionales y la regularización y registro de las potenciales desviaciones frente a los requisitos establecidos.

La gestión de riesgos y el desarrollo de las matrices de verificación y validación para cada una de las instalaciones, las zonas y demás partes interesadas son también actividades propias de esta fase.

El apoyo al ciclo de vida del producto se consolida a través de una revisión del Plan de Apoyo Logístico Integrado establecido y la planificación para la adquisición de repuestos.

6.5.- Fase C2. Preparación para la Construcción

Coincidiendo con la parte final de la Fase C1 y una vez celebrada la CDR se da inicio formal a la Fase de Preparación para la Construcción (Fase C2), cuyos objetivos son la finalización del modelo 3D de detalle, la publicación del diseño, la elaboración de las órdenes de fabricación y asegurar que los planes de producción, las instalaciones, los procedimientos y el personal están preparados para iniciar el proceso de producción del submarino.

La definición del plan de unión de secciones es la actividad más destacada de esta fase que debe ser liderada por el departamento de integración física, en el que se debe

recoger el estado de construcción y verificación necesario para realizar la unión de las secciones.

Durante la fase C2 se celebra una serie de revisiones denominadas 'Production Readiness Review' (PRR) para asegurar que la publicación del diseño es consistente con las órdenes de fabricación y los medios para producción. Estas revisiones tendrán como objetivo adelantar la publicación de aquellos elementos que se encuentren congelados y cumplan con las especificaciones establecidas. Previo a la finalización de esta fase, una vez celebradas todas las Puertas de Calidad 3D de detalle y habiéndose definido las correspondientes estrategias constructivas por unidad constructiva, se realiza la revisión formal denominada 'System Integration Review' (SIR) en la que se actualiza la Línea Base del Producto Inicial (LBPI).

- Los criterios de aprobación de la SIR son:
- Los criterios de entrada han sido satisfechos.
- Los riesgos detectados han sido identificados, evaluados y documentados, acordándose las acciones necesarias para su mitigación o resolución.
- Los recursos, documentación y planes presentados son realistas y alcanzables.

La necesidad del desarrollo de acciones acordadas durante la SIR, puede demandar la realización de una serie de actividades como parte de la Fase C2, cuyo cierre vendría determinado por una actualización de la LBPI. La actualización de la LBPI, tras la SIR, supone la congelación de la solución de diseño con una arquitectura del submarino definida por el modelo 3D de detalle.

6.6.- Fase D1. Construcción e Integración

El objetivo de esta fase es la producción, el ensamblaje, la integración y la verificación de los elementos que componen el sistema.

Los Hitos de Seguridad marcarán, en cierto modo, el establecimiento de revisiones intermedias propias de un proceso de construcción tan complejo. Se establecerán revisiones formales denominadas 'Test Readiness Review' (TRR) asociadas a los Hitos de Seguridad³, en las que se revisará el estado de la verificación y se dará el visto bueno formal para el desarrollo del hito. Estos hitos de revisión formal serán liderados por el departamento de integración física del Producto.

Los criterios de aprobación de cada TRR son:

- Los criterios de entrada han sido satisfechos.
- Los riesgos detectados durante la Fase D1 y la TRR han sido identificados, evaluados y documentados, acordándose las acciones necesarias para su mitigación o resolución.
- Los recursos y planes presentados son realistas y alcanzables, tanto por parte de Navantia como por la Armada.
- Se ha presentado el estado de las acciones identificadas durante revisiones anteriores del proyecto.

Al final de esta fase se celebrará la TRR nº3 asociada al hito de la Puesta a Flote del Submarino y supondrá el inicio de la Fase de Pruebas D2.

³ Los hitos de seguridad definidos para el Submarino S-80, son: H01. Puesta bajo tensión eléctrica, H02. Embarque de baterías, H03. Puesta a flote, H04. Primer embarque D.O., H05. Primera carga de baterías con los DAR., H06. Pruebas sobre amarras., H07. Primera salida a la mar en superficie., H08. Inmersión estática, H09. Primera navegación en inmersión., H10. Primera inmersión a máxima cota., H11. Entrega del buque. Fuente: Plan General de Pruebas del Submarino S80.

6.7.- Fase D2. Pruebas

A lo largo de la Fase D2 se completa la puesta en marcha (Setting to Work – STW) de todas las instalaciones del submarino y se desarrollan las pruebas de puerto y mar con el objetivo de verificar el cumplimiento de los requisitos especificados.

Esta fase concluye con la revisión formal denominada ‘System Verification Review’ (SVR).

7.- LA VALIDACIÓN Y LA VERIFICACIÓN DE LOS REQUISITOS.

El desarrollo de un proyecto complejo basado en la Ingeniería de Sistemas, se suele representar con una evolución en forma de V, donde la primera parte (bajada por la V) representa el diseño desde el todo a las partes, mientras que la subida por el otro lado de la V representa la fabricación verificación e integración desde las partes al todo. La representación en V puede hacer referencia al diseño y desarrollo de la totalidad del sistema o a una parte del mismo.

Los procesos de Verificación y Validación tienen como punto de partida el establecimiento de una serie de requisitos, definidos a partir de las expectativas del Estado Mayor del ejército cliente, que hay que verificar/validar mediante evidencias objetivas.

Este conjunto de requisitos se establecen, como Línea Base, en la primera fase del proyecto y se presentan como una de las salidas de la primera revisión formal, denominada SRR, consolidándose en la Fase A. Las líneas base establecen configuraciones determinadas de la documentación a lo largo de las fases del proyecto, aplicándose también a la gestión de requisitos. El proceso de análisis y obtención de los requisitos del proyecto así como su verificación, se ha establecido según la secuencia siguiente, donde se puede ver la correspondencia de las distintas fases en la gestión de requisitos frente a las fases del proyecto y a las líneas-base establecidas.

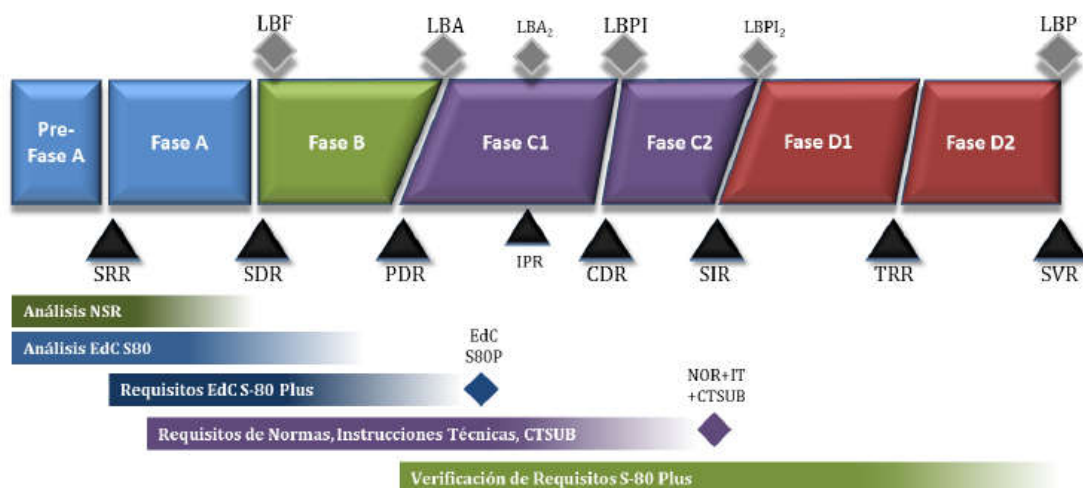


Ilustración 11 Momentos en los que se generan las distintas líneas base en el programa S80.

Las líneas base definidas en el proyecto son las que se enumeran a continuación:

- LBF: Línea Base Funcional. Comprende la documentación que describe las prestaciones, características funcionales o la forma en la que el diseño preliminar

del submarino evidencia el cumplimiento de dichas prestaciones. Se establece en SDR.

- LBA: Línea Base Asignada. Una vez celebrada la PDR se incluye en línea base la documentación contractual y funcional en la cual se describen las características funcionales y de interfaz de los elementos de configuración, así como la verificación requerida para demostrar el cumplimiento de las características específicas.
- LBA₂: Línea Base Asignada Revisada, tras IPR. Una vez establecido el cierre del PDR se actualiza la Línea Base Asignada, incorporando la documentación resultante del proceso de revisión.
- LBPI: Línea Base de Producto Inicial. Es resultado de la celebración con éxito de la CDR y está constituida por la documentación técnica aprobada que describe las características funcionales y físicas de los diferentes elementos configurados, es decir, la documentación que describe el producto tal y como se va a construir.
- LBPI₂: Línea Base de Producto Inicial Revisada, tras SIR. Una vez establecido el cierre de la SIR se actualiza la Línea Base de Producto Inicial, incorporando la documentación resultante del proceso de revisión.
- LBP: Línea base de Producto Final. Está constituida por la documentación técnica aprobada que describe las características funcionales y físicas del elemento configurado, es decir, la documentación que describe el producto tal y como se ha construido y probado.

A medida que se van fijando las fuentes de requisitos, se van constituyendo en una estructura que relaciona los requisitos extraídos de cada fuente, con los receptores de requisitos. Esta estructura da forma a la base de datos de requisitos del proyecto.

Las fuentes de requisitos contractuales definidas en la base de datos del proyecto a la fecha de edición de este plan son:

- Especificación de Contrato (trazada con los requisitos del Estado Mayor de la Armada).
- Normativa exigida explícitamente en EdC.
- Instrucciones Técnicas citadas explícitamente en EdC.
- Manual certificación del cliente.

Las fuentes de requisitos no contractuales definidas en la base de datos del proyecto a la fecha de edición de este plan son:

- Otras Normativas.
- Otras Instrucciones Técnicas.
- Requisitos funcionales.

Las fuentes de requisitos suponen la base del conjunto de requisitos que gobernará el diseño, mientras que los receptores asumirán los requisitos que cada responsable de estudio de las fuentes asigne a las distintas disciplinas del proyecto. Fuentes y receptores quedan relacionados con mecanismos de asignación y trazabilidad dentro de la base de datos.

Esta base de datos será única para todo el proyecto y de ella se irán extrayendo las distintas matrices de análisis y trazabilidad (RTM) y las matrices de cumplimiento de requisitos (MCR) necesarias.

La herramienta para la gestión de los requisitos del proyecto Submarino S-80 Plus es el software DOORS®, cuya estructura de módulos y link permite la trazabilidad de los requisitos desde las primeras etapas del proyecto hasta la verificación final.

Se asocia a cada requisito, un atributo compuesto de una o varias evidencias de verificación, según unos métodos de verificación establecidos (Inspección, Análisis, Demostración, Prueba) y unas etapas dentro del desarrollo del proyecto, llamadas V1 (Verificación durante la fase de Diseño), V2 (Verificación durante la Construcción) y V3 (Verificación en Fase de Pruebas).

Ingeniería de Sistemas fijará qué evidencias de verificación son las más adecuadas para cada método y etapa. Las evidencias deberán de plasmarse en documentos y estarán controladas por el Sistema de Gestión Documental.

El proceso de Verificación y Validación quedará registrado en las matrices de cumplimiento de requisitos (MCR), extraídas a partir de esta base de datos, obteniéndose una matriz por cada uno de los receptores de requisitos en PBS, GBS, Calificación, Gestión y Producción.

Las MCR serán documentos de Aprobación por Defensa y cumplirán, básicamente, tres funciones:

- Establecer el plan de verificación para cada uno de los requisitos establecidos (documentación de verificación, método de verificación, fase de verificación).
- Relacionar cada requisito con las evidencias objetivas del cumplimiento de dicho requisito.
- Registrar el estado de verificación de cada uno de los requisitos, proporcionando los indicadores de avance del proceso.

Se han establecido los siguientes métodos de verificación:

- Inspección:
El método de verificación por inspección engloba:
 - Inspección documental: planos, esquemas de diseño o certificados de fabricantes.
 - Inspección del producto: Observación realizada sobre el producto en fábrica o a bordo.
- Demostración:
Controles para verificar cualitativamente el rendimiento del producto (ejemplo: control de continuidad y aislamiento, puesta en marcha, etc.), definidos en el proyecto.
- Prueba:
Verificación cuantitativa del rendimiento del producto, en base a un protocolo en el que se definen los datos de entrada, las condiciones de contorno y los datos de salida esperados.
Las pruebas pueden ser aplicables a todos los productos de la serie (prueba serie) o sólo al primer elemento de la serie (prueba tipo).
- Análisis:
Incluye los desarrollos de estudios justificativos o simulaciones para evidenciar el cumplimiento de los requisitos. Incluye la verificación por extensión.

7.1.- Verificación durante la fase de Diseño (V1)

Se desarrolla durante las fases B y C1 del proyecto y tiene por entregables la documentación que evidencia el cumplimiento de requisitos de diseño. Esta documentación se compone, entre otros, de los esquemas funcionales, cálculos, estudios, planos de disposiciones 2D y modelo 3D y pruebas de fábrica.

Durante esta fase se generarán las matrices MCR que incluirán el plan de validación y las referencias a las evidencias de cumplimiento correspondientes a la fase V1. Además, se lleva a cabo de forma independiente el proceso de la calificación de los materiales.

7.2.- Verificación Física en Construcción (V2).

Se desarrolla principalmente durante las fases C2 y D1 del proyecto. Las evidencias objetivas de verificación de esta fase las conforman los controles tecnológicos y las inspecciones definidas en su plan correspondiente. La relación de controles tecnológicos cubrirá los siguientes aspectos de la fabricación:

- Control de ruido y vibraciones.
- Control de aplastamiento de antivibratorios.
- Control de par de apriete.
- Control de trazabilidad y número de serie.
- Controles dimensionales y de posicionamiento.
- Controles eléctricos (continuidad, conexión, masa, tendido de cables, ajuste de sensores).
- Pruebas de presión (estanqueidad y resistencia sobre equipos, circuitos de tuberías y tanques).
- Controles de puesta en marcha (maniobrabilidad válvulas, control local, control remoto,
- prueba de alarmas).
- Controles de integración (montaje, flushing, pruebas de estanqueidad,...).
- Controles de pinturas y revestimientos.
- Controles de soldadura.

Estas operaciones de verificación (controles) podrán ser notificados de los siguientes modos:

- A través de las órdenes de fabricación, como operaciones dentro de la propia orden.
- En los fascículos de pruebas a presión (FPP), mediante controles de estanqueidad y resistencia.
- En las puestas en marcha de las instalaciones (STW), mediante controles de funcionalidad.

El cliente realizará la revisión documental de los controles existentes para asegurar que estos han sido realizados, si bien la aceptación de los distintos controles tecnológicos por parte del Sistema de Calidad de Navantia, constituirá, por sí misma, la evidencia que justifica la verificación de los requisitos asociados a dichos controles. No obstante, la AE/Defensa podrá auditar, en el momento que estime oportuno, el proceso y la gestión de dichos controles tecnológicos e incluso, proponer una lista de controles que verifiquen requisitos contractuales, para que sean llevados a cabo en su presencia.

En lo que respecta a las inspecciones de locales (pintura y limpieza, canalizaciones y aislamientos, espacios de mantenimiento), inspecciones de instalaciones (montajes,

apariencia, interferencias, puestas a masa) e inspección final del buque antes de la entrega, se realizará mediante PPI.

Previamente se deberá acordar un “check-list” para fijar los aspectos a revisar en cada caso y una ficha de registro. Además se tendrán que establecer los correspondientes Puntos de Aviso con el cliente.

El estado de verificación de los requisitos correspondiente a fase V2 quedará registrado en las matrices MCR durante esta fase.

7.3.- Verificación durante la Fase de Pruebas (V3)

Las pruebas del buque que servirán para comprobar las características del producto y que éste satisfice la Especificación de Contrato, se dividirán en:

- Pruebas de Constructor, en puerto (HCT) y mar (SCT).
- Pruebas de Aceptación, en puerto (HAT) y mar (SAT).
- Pruebas de Finalización de la Garantía.

Esta fase engloba las pruebas de puerto y mar, tanto de constructor como de aceptación y se desarrolla principalmente durante la fase D2, aunque puede empezar antes de finalizar la fase D1, solapándose con ésta. Se corresponde con la etapa final de la construcción y será la Dirección del Programa quien deberá acordar con el cliente, el proceso de aceptación del producto final, así como la gestión de observaciones, como paso previo a la entrega del Programa.

7.4.- Verificación frente a validación

Las definiciones que la norma UNE ISO 9000 establece respecto a los conceptos de verificación y validación en el contexto del diseño y desarrollo de un proyecto. No obstante, en este apartado se pretende establecer de una forma más amplia las diferencias entre los términos verificación y validación.

La verificación está asociada a requisitos especificados, mientras que la validación queda vinculada a las necesidades o expectativas del cliente o usuario final.

A lo largo del diseño y desarrollo, se establecen cinco procesos asociados a la verificación y validación:

1. La **validación de requisitos** garantiza que las expectativas del cliente han sido transformadas en requisitos técnicos y que estos han sido derivados a los receptores responsables de evidenciar el cumplimiento de los mismos, según las estructuras PBS, GBS y OBS. Este proceso está soportado por las Matrices de Trazabilidad de Requisitos (MTR) y formalizadas en los documentos de Especificación de Sistemas y Subsistemas (SSS).

2. La **verificación del diseño** trata de comprobar que el diseño cumple con los requisitos y/o especificaciones aplicables. El proceso habitual para formalizar con el Cliente la verificación del diseño es el visto bueno a las Matrices de Cumplimiento de Requisitos, previo a las revisiones técnicas. Las revisiones técnicas más relevantes en este sentido son la SDR, PDR y CDR, donde progresivamente se van verificando aspectos cada vez más de detalle del diseño.

Por otro lado, la verificación del diseño incluye una verificación de sub-productos como son los equipos y materiales que se realiza través de Inspecciones, Certificados de

Equipos y Materiales, Protocolos de Pruebas de Fábrica (FAT, FCT, FET, FST y FVT) y el resultado de las mismas (VPE, VPM y VPP).

3. La **verificación del producto** consiste en comprobar que los requisitos y/o especificaciones aplicables están implementados en el propio producto, como resultado del diseño. La verificación del producto forma parte esencial del proceso de aceptación del producto por parte del cliente. La verificación del producto se realiza a través de Controles Tecnológicos y de Funcionalidad, Pruebas de Puerto (HCT y HAT), Pruebas de Mar (SCT y SAT) y el resultado de las mismas.

4. La **validación del diseño** tiene por objeto comprobar que se cumplen con los requisitos para el uso previsto. Este proceso tiene lugar en paralelo con la verificación del primer producto de la serie.

5. La **validación de un producto** indica que el producto cumple con los fines esperados en el entorno previsto, es decir, que cumple con las expectativas de los clientes y otras partes interesadas y se muestra a través del desarrollo de una prueba, análisis, inspección o demostración. En el caso del Submarino, el astillero no tiene la capacidad de reproducir el uso previsto del Submarino. La comprobación de los requisitos para la aplicación específica que la Armada Española ha establecido, le corresponde a la propia Armada Española, a través de sus pruebas de evaluación operativa.

La verificación de los sistemas, subsistemas y equipos respecto a los requisitos de su mismo nivel, tiene implícita la validación de los equipos, subsistemas y sistemas situados en un nivel inferior. Así, la verificación del buque completo tiene implícita la validación de todos los sistemas que componen el submarino.

A continuación, se muestra una figura donde se recoge los diferentes procesos involucrados en el diseño, desarrollo, construcción, verificación y validación.

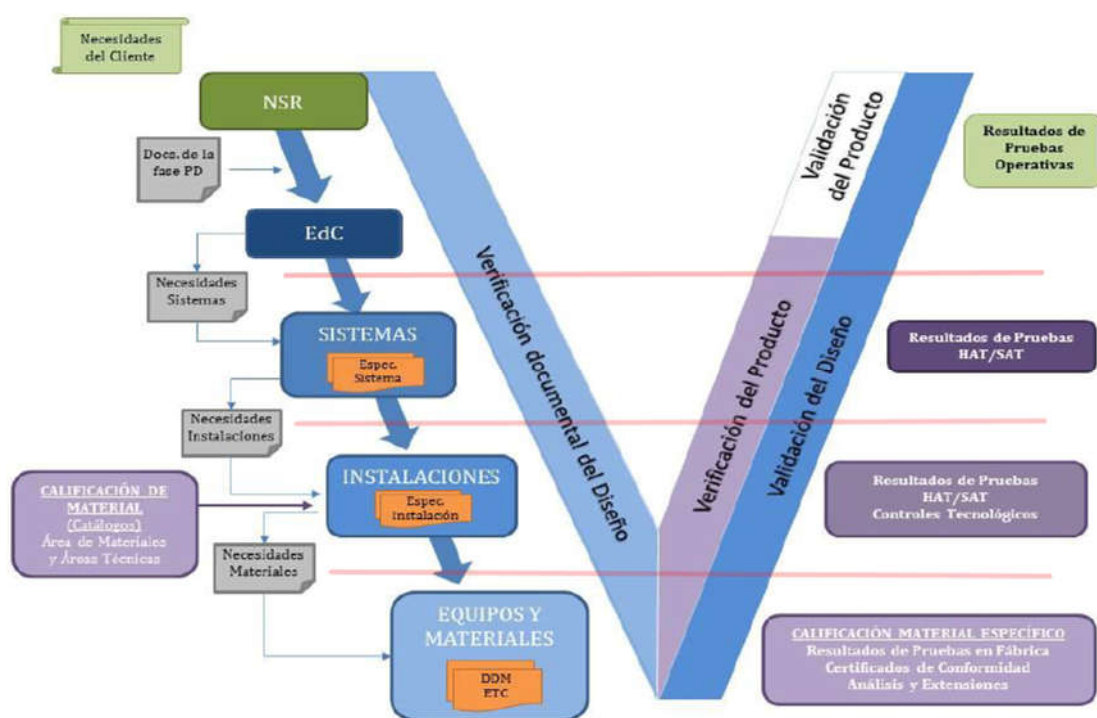


Ilustración 12 Proceso de Validación en V empleado en el programa S80.

A modo de resumen, cada nivel de la parte derecha de la V especifica el momento para verificar los requisitos de los elementos del mismo nivel de la izquierda de la V, empezando por los equipos y materiales, subiendo a instalaciones, después sistemas, y por ultimo validando el buque completo contra los requisitos del NSR.

8.- EJEMPLOS REALES.

Una vez definidos los procedimientos del método de IS para grandes programas, el objetivo de este punto es intentar dar una dimensión real del trabajo realizado en un programa de gran complejidad técnica, como puede ser el Submarino S80.

Siguiendo la metodología descrita, el Programa del Submarino S80 se halla en la fase de producción, una vez que ha superado la SIR. El próximo hito a la vista es la TRR, que dará el pistoletazo de salida a la realización de pruebas HAT y SAT.

Tras la aprobación de la SIR, se publicó la MCR correspondiente al hito, la cual posee 40323 requisitos en sus filas. Hay que tener en cuenta que el NSR cuenta con más de 800 requisitos de partida y la Especificación de contrato posee unos 9400.

En cada una de esas filas se recoge el documento que recoge el requisito, el responsable del mismo en el astillero, el origen del requisito (por si es derivado de otro), la instalación receptora del mismo, el texto del requisito, el momento en el que se verifica el requisito, así como los documentos o pruebas que lo verifican y su estado de cumplimiento.

El último informe de documentos publicado, recoge más de 11500 publicaciones [7], más de 2800 marcas funcionales [8], que corresponden a elementos identificados en planos funcionales, cada uno de los cuales ha sido sometido a pruebas de calificación.

Cada uno de estos elementos tiene su expediente de calificación que recoge los resultados de las pruebas a las que ha sido sometido, los certificados de los materiales que los componen, y toda la documentación asociada que entrega el fabricante, como propuesta de trabajos de mantenimiento, propuesta de repuestos para el ciclo de vida, manuales de utilización, etc.

Además, hay que tener en cuenta que este programa ha sido superpuesto al programa original del Submarino S80, por lo que ha habido que hacer un esfuerzo extra desde el año 2012, en el que el astillero notificó la no viabilidad del programa original, para adaptar toda la información útil generada con el primer programa al nuevo proyecto. Esto básicamente consistió en un periodo de dos años en los que hubo que comprobar que requisitos se cumplían y cuáles no, lo cual conllevó un ingente trabajo realizado tanto por el astillero, como por Defensa y la Armada.

Una vez superada la CDR del rediseño, el programa se ha vuelto a poner en el buen rumbo, y queda pendiente de su finalización en el año 2021 (primera unidad), tras 17 años [5].

9.- CONSIDERACIONES FINALES.

Como conclusión del presente trabajo, me gustaría señalar el hecho de que la gestión del control de los requisitos antes de la desviación de pesos notificada en el año 2012, claramente no era el adecuado, y los métodos de control del programa no estaban a la altura de las necesidades del mismo.

Una vez decidido el cambio de método a Ingeniería de Sistemas, se generaron una serie de planes, con la estrategia a seguir para culminar el programa, siguiendo como modelo el mismo utilizado por la NASA [4] en sus programas espaciales.

Ha quedado patente que la utilización de todas las herramientas disponibles han permitido no solo solventar el problema original, si no que nos ha permitido encontrar otras potenciales deficiencias de menor entidad que han sido solventadas antes de empezar la fase de producción. El nuevo modelo de trabajo ha permitido generar indicadores de diferentes factores, los cuales son actualizados por el astillero y revisados por la dirección del programa cada dos meses en reuniones presenciales en el Astillero.

En el momento en el que se ha identificado la más mínima desviación de un indicador, se ha estudiado a fondo el motivo y ha permitido solventar el potencial problema antes de que se convierta en algo más serio.

Es primordial la implicación total del astillero y su compromiso con la transparencia de los datos presentados, ya que de otra manera, los resultados están a la vista.

Es mi opinión personal que la aplicación del modelo de Ingeniería de Sistemas al programa de construcción de Submarinos para la Armada Española, no solo nos ha permitido crear un producto seguro que cumpla las expectativas del cliente final, sino que ha permitido a Navantia generar un producto sobre el que pueden estar seguros de su diseño y lo que es más importante, se ha generado un know-how que espero les sirva para exportar su producto a otros países.

Por parte del Ministerio de Defensa, para el resto de programas navales futuros, no se contempla la utilización de otro método de gestión que no sea IS, debido a su éxito en un programa tan complejo como el Submarino S80.

Personalmente tras la aplicación de IS al programa tengo la impresión de tener un mayor conocimiento del diseño de detalle aplicable a mis instalaciones del buque, y el hecho de pasar por los diferentes hitos, me ha permitido, primero descubrir dónde estaban los potenciales problemas, y segundo, asegurar que la solución elegida en cada caso es la correcta. Sinceramente, con el método anterior nunca tuve esa sensación, por lo que es mi modesta opinión que el cambio ha sido un acierto pleno.

10.- BIBLIOGRAFÍA.

- [1] 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.
- [2] MIL-STD-499A, Engineering Management, 1 May 1974
- [3] Máster Universitario en Dirección y Gestión de Adquisiciones de Sistemas para la Defensa. Universidad de Zaragoza, CUD. 2018.
- [4] NASA/SP-2007-6105 NASA System Engineering Handbook.
- [5] S80P-041-S80P-PDG-0005 Plan de Gestión de la Oficina de Programa S-80.
- [6] INCOSE-TP-2003-002-03.1 INCOSE System Engineering Handbook.
- [7] S80P-041-S80P-LIS-0001 Listado de Documentos
- [8] S80P-041-S80P-PDG-0002 Plan de Ingeniería de Sistemas.
- [9] Systems Engineering Fundamentals, DoD, Systems Management College, 2001.

ANEXO 1

Ejemplo de Capitulo de la Especificación de Contrato (EdC) del Submarino S80, perteneciente a la instalación de Alumbrado (EAA1) con el grupo de coste 331.

331 DISTRIBUCIÓN DE ALUMBRADO

331.1 ALCANCE

Esta Sección especifica la descripción y los requisitos para el sistema de alumbrado del buque.

La función del sistema de alumbrado será la de proporcionar iluminación satisfactoria para:

Alumbrado general.

Alumbrado de emergencia.

Alumbrado especial.

Alumbrado de adaptación a la oscuridad.

331IDP0010	El alumbrado general suministrará el alumbrado al buque en condiciones normales.
331IDP0011	El alumbrado de emergencia proporcionará alumbrado en los espacios, salidas y rutas de escape, cuando falle la alimentación de 115 V del alumbrado general.
331IDP0012	El alumbrado especial proporcionará un alumbrado específico para las operaciones concretas que no sean cubiertas por el alumbrado general. En este tipo de alumbrado se incluirán las lámparas de los espejos, lámparas de las literas, lámparas direccionables y el alumbrado exterior formado por el alumbrado del portalón y el del foso de observación de la vela.
331IDP0013	El alumbrado de adaptación a la oscuridad día/noche consistirá en un alumbrado formado por combinación de luz blanca y ámbar, graduable automáticamente e instalado en las áreas de los alojamientos, servicio y pasillos.
331IDP0122	Un alumbrado rojo permitirá la adaptación de la dotación a condiciones de oscurecimiento, disponiéndose en los locales de Torpedos, Mando y Control y alojamientos cercanos al periscopio todo esto para para facilitar el movimiento de la dotación bajo condiciones de oscuridad sin interferir con la visión adaptada a la oscuridad y hacer así posible el funcionamiento del buque en esta condición.

331.2 REGLAS Y NORMAS DEL PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN

331IDP0015	Ver la Sección 070 para los requisitos generales para el proyecto y la construcción.
331IDP0123	Ver la Sección 300 para los requisitos generales para el proyecto y la construcción.
331IDP0016	El alumbrado general del buque será a 115 V/60 Hz.

331IDP0017	Los sistemas de alumbrado estarán de acuerdo en general con la norma IEC-60.092 - 306 'Electrical Installations in Ships'.
331IDP0124	En los Locales de Baterías el sistema de alumbrado cumplirá con la norma IEC 60.079 'Electrical Apparatus for Explosive Gas Atmospheres' o con su equivalente UNE 60.079 'Material eléctrico para atmósferas de gas explosivas'.
331IDP0018	Los interruptores en general cumplirán con la norma UNE-EN 60.669-1 'Interruptores para instalaciones eléctricas fijas, domésticas y análogas'.
	Se seguirán además las reglas siguientes para el proyecto y la construcción: El sistema de alumbrado dispondrá de una instalación y economía óptimas, peso mínimo, continuidad máxima del servicio y vulnerabilidad mínima frente las averías mecánicas y de combate.
331IDP0021	En el sistema de alumbrado, se utilizarán interruptores piezoeléctricos.
	Se instalarán puntos de luz para el alumbrado general y el alumbrado de adaptación a la oscuridad. Se permitirá la instalación de pantallas combinadas.
331IDP0023	Para los compartimientos del buque que tengan dos o más funciones, el nivel de iluminación instalado será el adecuado para la función principal del compartimiento. Se proveerán niveles de iluminación superiores al requerido por la función principal del compartimiento exclusivamente en aquellas zonas cuya función secundaria requiera un nivel de iluminación más elevado.
331IDP0024	El equipo de alumbrado será adecuado para alimentarse por fuentes de energía, las cuales estarán de acuerdo con la norma STANAG 1.008 'Characteristics of Shipboard Electrical Power Systems in Warships of NATO Navies'.
331IDP0025	El sistema de alumbrado dispondrá de módulos de alimentación que realizarán una separación galvánica entre las luminarias y la red de 115 V/60 Hz.
331IDP0026	Se dispondrá de alumbrado (general y de adaptación a la oscuridad) prioritario y secundario.

331.3 DESCRIPCIÓN

331.3.1 Alumbrado General

El alumbrado general será a 115 V/60 Hz de corriente alterna (CA).

331IDP0030	El alumbrado general organizará y dividirá el buque en tres zonas (zona de popa, zona central y zona de proa):
------------	--

331IDP0031	El alumbrado de la zona de popa comprenderá el Local de Propulsión, Local de Cuadros Eléctricos, Local de Grupos Diésel Generadores, Local de Auxiliares Popa, Local de Baterías Popa y Local de Cuadros Eléctricos Superior.
331IDP0032	El alumbrado de la zona central comprenderá los, , Gambuzas, Local Radio, Cámara de Mando y Control, Local de Auxiliares Proa, Local ESM, Local AIP, Local del Tanque de Oxígeno Líquido (LOX). ₂ Locales de Equipos Electrónicos_y Local de Auxiliares Centro.

ANEXO 2

Extracto de la Estructura de Descomposición del Producto (PBS) del Submarino S80 [8], mostrando una lista del nivel 0 (no completa), otra del nivel 1 (completa) y un extracto de la de nivel 2

El nivel 0 o Buque (SS00), queda definido por las especificaciones siguientes:

GC	Denominación
040	GESTIÓN DEL SISTEMA BUQUE
041	DIRECCIÓN DEL PROYECTO
042	CONDICIONES ADMINISTRATIVAS GENERALES
043	COSTE DEL CICLO DE VIDA
045	CUIDADO DEL BUQUE DURANTE LA CONSTRUCCIÓN
050	PERFIL OPERATIVO DEL BUQUE
051	CARÁCTERÍSTICAS CONCEPTUALES DEL BUQUE
070(1)	REQUISITOS GENERALES PARA EL PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN
070(2)	CONDICIONES AMBIENTALES
070(3)	RESISTENCIA AL INCENDIO
070(4)	FIRMAS NO ACÚSTICAS
071	ACCESOS
072	VULNERABILIDAD
073	RUIDOS Y VIBRACIONES
074	FUNDICIÓN, SOLDADURA, REMACHADO Y PROCESOS AFINES
075	NORMAS DE UNIONES ROSCADAS
076	FIABILIDAD Y MANTENIBILIDAD
077	SEGURIDAD DE LOS SISTEMAS
078	MATERIALES
079	COMPORTAMIENTO EN LA MAR
080	REQUISITOS DE APOYO LOGÍSTICO INTEGRADO (ALI)
081	GESTIÓN DEL SOSTENIMIENTO
082	EQUIPOS DE APOYO
083	APROVISIONAMIENTO
084	ENVASE / EMBALAJE, MANEJO, ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE (EMAT)
085	PLANOS DE INGENIERÍA
086	DOCUMENTACIÓN TÉCNICA Y OTRA DOCUMENTACIÓN
087	INSTALACIONES DE APOYO (NO DE ADIESTRAMIENTO)
088	PERSONAL Y MANO DE OBRA
090	CONTROL DE CALIDAD
092	PRUEBAS DEL CASCO
094	PRUEBAS PREVIAS DEL BUQUE
095	PRUEBAS DEL BUQUE COMPLETO
096	CONTROL DE PESOS
097	PRUEBAS DE ESTABILIDAD Y TRIMADO EN INMERSIÓN

Los sistemas considerados como nivel 1 para el Proyecto S-80 Plus se listan a continuación:

GC N1	PBS N1	Denominación Sistema (PBS Nivel 1)
100	SS11	CASCO Y ESTRUCTURAS RESISTENTES
100	SS12	ESTRUCTURAS RESISTENTES ESPECIALES
100	SS13	ESTRUCTURAS NO RESISTENTES EXTERIORES
100	SS14	ESTRUCTURAS NO RESISTENTES INTERIORES
200	SS21	BATERÍAS E INSTALACIONES ASOCIADAS
220	SS22	AIP E INSTALACIONES ASOCIADAS
200	SS23	MEP y LÍNEA DE EJES
400	SS24	CONTROL DE LA PLATAFORMA
320	SS31	DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA
300	SS32	DDGG E INSTALACIONES ASOCIADAS
330	SS33	ALUMBRADO
410	SS41	MANDO Y CONTROL
420	SS42	NAVEGACIÓN
430	SS43	COMUNICACIONES INTERIORES
440	SS44	COMUNICACIONES EXTERIORES
400	SS45	EXPLORACIÓN SUPERFICIE
460	SS46	EXPLORACIÓN SUBMARINA
470	SS47	CONTRAMEDIDAS
480	SS48	DIRECCIÓN DE TIRO
490	SS49	PROCESO DE DATOS DE GESTIÓN
500	SS51	CONTROL DE LA BURBUJA
500	SS52	NAVEGACIÓN SEGURA
500	SS53	CONTROL DE LA ATMÓSFERA
500	SS54	CONTRAINCENDIOS
500	SS55	SEGURIDAD DE LA DOTACIÓN
500	SS56	AUXILIARES DE LA PLATAFORMA
500	SS57	MÁSTILES
500	SS58	SERVICIOS DE CASCO
600	SS61	EQUIPAMIENTO DEL CASCO
600	SS62	HABITABILIDAD
600	SS63	COMPARTIMENTACIÓN NO ESTRUCTURAL
700	SS71	ARMAS

El listado completo de las instalaciones del Proyecto S-80 Plus, agrupadas por sistemas, se recoge en las tablas que se presentan en las páginas siguientes.

PBS N1	GC_N2	PBS_N2	Denominación Instalación (PBS Nivel 2)
SS11	111	AAA1	PASOS DE CASCO Y DE ESTRUCTURAS RESISTENTES
SS11	167	AAB1	CIERRES CASCO Y ESTRUCTURAS RESISTENTES
SS11	095	AIA1	MEDIDAS EXTENSOMÉTRICAS
SS11	111	XA11	CASCO RESISTENTE. FORRO
SS11	117	XA12	CASCO RESISTENTE. CUADERNAS
SS11	123	XA31	APÉNDICES RESISTENTES
SS12	122	AAA2	PASOS DE COFFERDAM Y MAMPARO RESISTENTE
SS12	120	AAA3	PASOS DE TANQUES RESISTENTES
SS12	125	XA21	TANQUES RESISTENTES
SS12	122	XD11	COFFERDAM Y MAMPARO RESISTENTE
SS13	112	ABA1	PASOS DE CASCO Y DE ESTRUCTURAS EXTERIORES NO RESISTENTES
SS13	167	ABB1	CIERRES DE CASCO Y DE ESTRUCTURAS EXTERIORES NO RESISTENTES
SS13	151	ABC1	E. DESMONTABLES DE CASCO Y DE ESTRUCTURAS EXT. NO RESIST.
SS13	112	XB11	CASCO EXTERIOR PROA
SS13	112	XB21	CASCO EXTERIOR POPA
SS13	151	XB31	ESTRUCTURA DE LA VELA
SS13	151	XB41	SUPERESTRUCTURA
SS14	122	ACA1	PASOS DE MAMPAROS ESTRUCTURALES
SS14	126	ACA2	PASOS DE TANQUES NO RESISTENTES
SS14	131	ACA3	PASOS CUBIERTA
SS14	122	XC11	MAMPAROS ESTRUCTURALES
SS14	131	XC12	CUBIERTAS
SS14	126	XC21	TANQUES NO RESISTENTES A LA PRESIÓN EXTERIOR
SS14	188	XC31	TACOS PLATAFORMAS SUSPENDIDAS
SS14	141	XC32	PLATAFORMAS SUSPENDIDAS
SS14	181	XC41	POLINES
SS21	223	ECA1	BATERÍAS PRINCIPALES: CONEXIONADO DE LOS ELEMENTOS
SS21	223	ECB1	AUXILIARES DE LAS BATERÍAS: VIGILANCIA
SS21	223	ECC1	AGUA DESIONIZADA PARA RELLENO DEL ELECTROLITO
SS21	223	ECD1	AUXILIARES DE LAS BATERÍAS: AGITADO DEL ELECTROLITO
SS21	223	ECE1	AUXILIARES DE LAS BATERÍAS: REFRIGERACIÓN
SS21	223	ECF1	AUXILIARES DE LAS BATERÍAS: MANIOBRA PARA EL MANTENIMIENTO
SS21	223	ECG1	PISO MÓVIL Y ACUÑADO DE LAS BATERÍAS
SS22	224	EBA1	PILAS DE COMBUSTIBLE
SS22	222	EBB1	ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE OXÍGENO
SS22	222	EBC1	ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE BIO-ETANOL
SS22	222	EBD1	PROCESADOR BIO-ETANOL