



OBJETIVO :

PRESENTAR ANTE EL *VII CONGRESO INTERNACIONAL DE DISEÑO E INGENIERÍA NAVAL*, UN ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DEL RENDIMIENTO DE UN ASTILLERO CONSTRUCTOR, OBTENIDO DE UN SISTEMA REAL EN COLOMBIA, ESPECÍFICAMENTE SOBRE EXPERIENCIAS LOGRADAS POR COTECMAR.

Javier Díaz Reina. PhD.

Bogotá D.C., 1 de septiembre de 2021

ANÁLISIS DE PROBABILIDAD PARA LA ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN UN ASTILLERO CONSTRUCTOR

PhD Carlos Hernán Fajardo Toro, PhD José María Riola, PhD Javier Díaz Reina

Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla” – ENAP. Cartagena de Indias, Colombia.

Fundación Universitaria Konrad Lorenz, Bogotá D.C., Colombia.

Universidad EAN, Bogotá D.C., Colombia.

ANÁLISIS DE PROBABILIDAD PARA LA ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN UN ASTILLERO CONSTRUCTOR

- 1. OPV 80**
- 2. INFORMACIÓN PARA MODELAR**
- 3. CRITERIO DE MODELACIÓN**
- 4. MODELO CONCEPTUAL**
- 5. MODELO DE SIMULACIÓN**
- 6. DATOS DE ENTRADA**
- 7. EXPERIMENTACIÓN**
- 8. CONCLUSIONES**

1. OPV 80



1. OPV 80

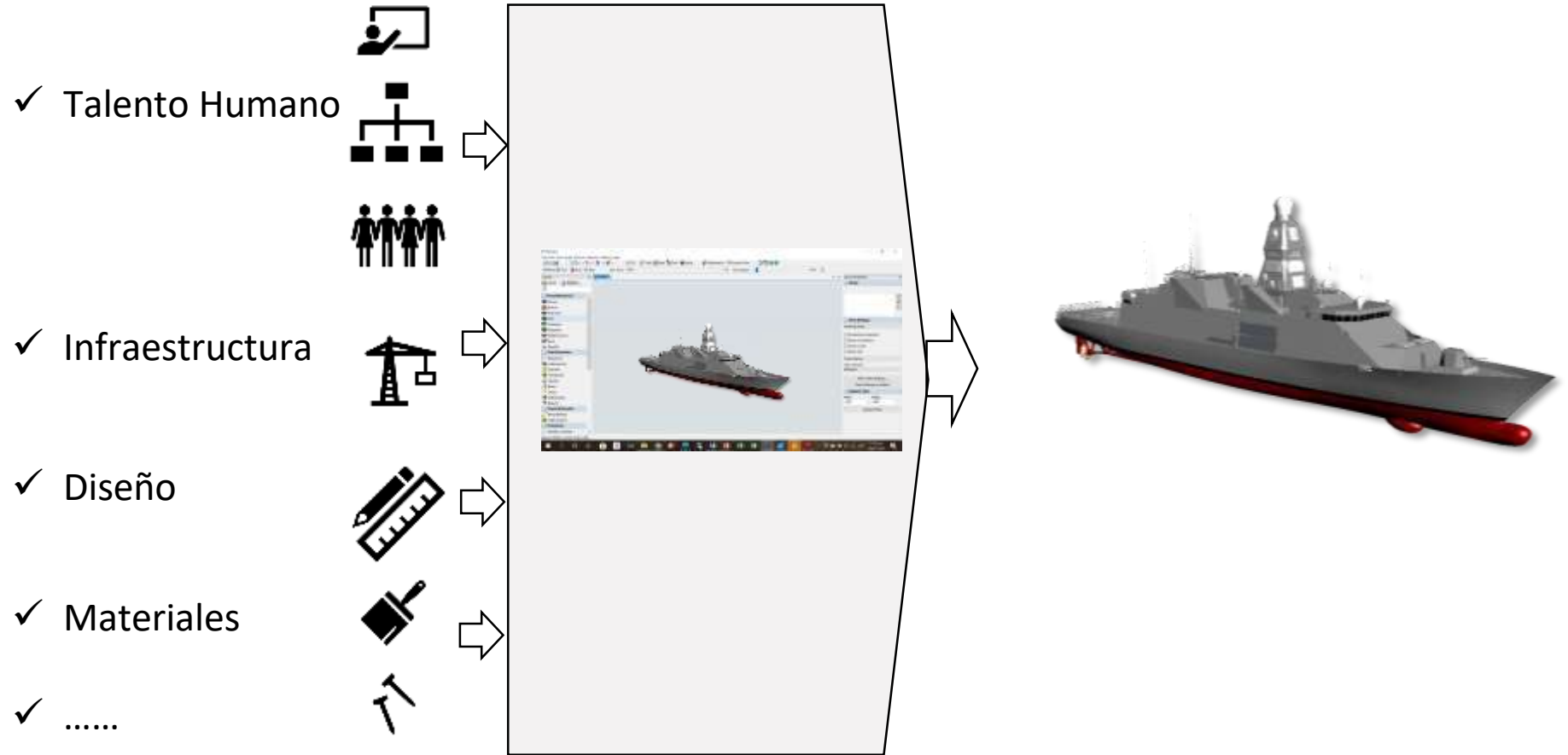


1.800.000	HORAS/HOMBRE
350	TRABAJADORES
27	MESES DE CONSTRUCCIÓN
45	TON / BLOQUE
40	BLOQUES
1854	TON

OPV 80

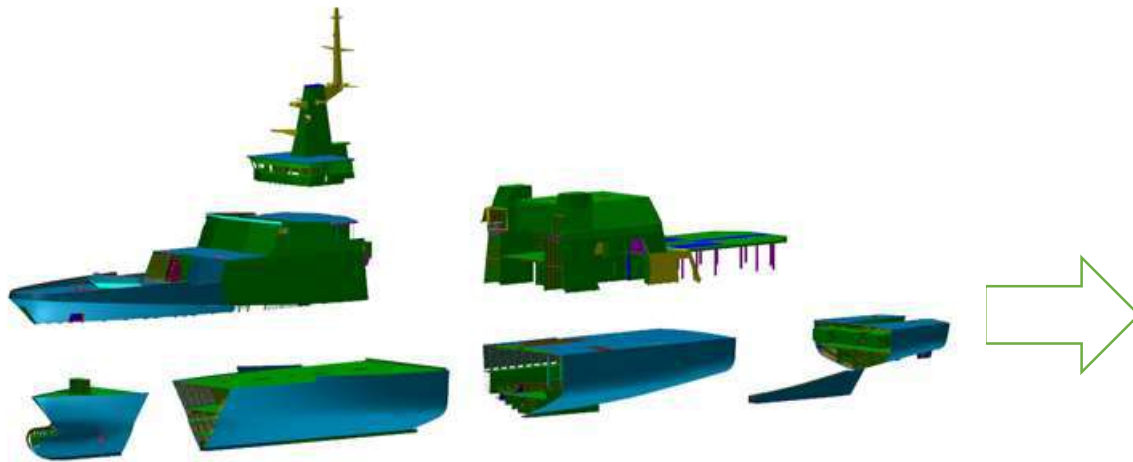
Eslora Total:	80,60 m
Manga:	13,60 m
Calado medio a plena carga:	4.5 m
Desplazamiento plena carga:	1854 t
Velocidad max:	21 nudos
Autonomía:	40 días; 4500 Mill Naut @ 12 nudos; 1500 Mill Naut @ 21 nudos
Tripulación:	64 tripulantes
Planta eléctrica:	03 x 450KVA + 01 de emergencia 125 KVA
Material del Casco:	ACERO ASTM A131 GRADE AH 32
Sistema de propulsión:	02 x Motores, Diésel, marinos, WARTSILA serie 12V26 @ 1000 rpm

2. INFORMACIÓN PARA MODELAR



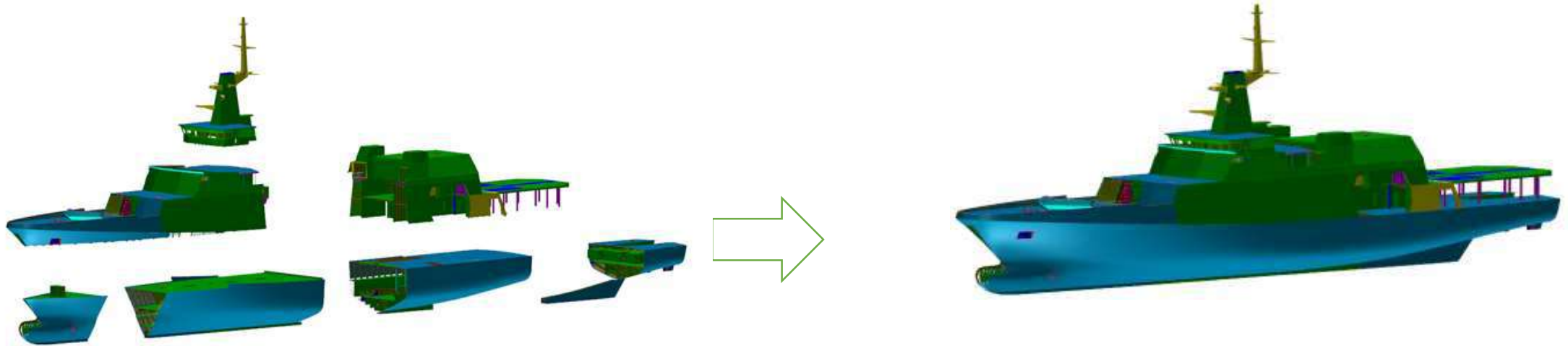
2. INFORMACIÓN PARA MODELAR

Estrategia Constructiva:



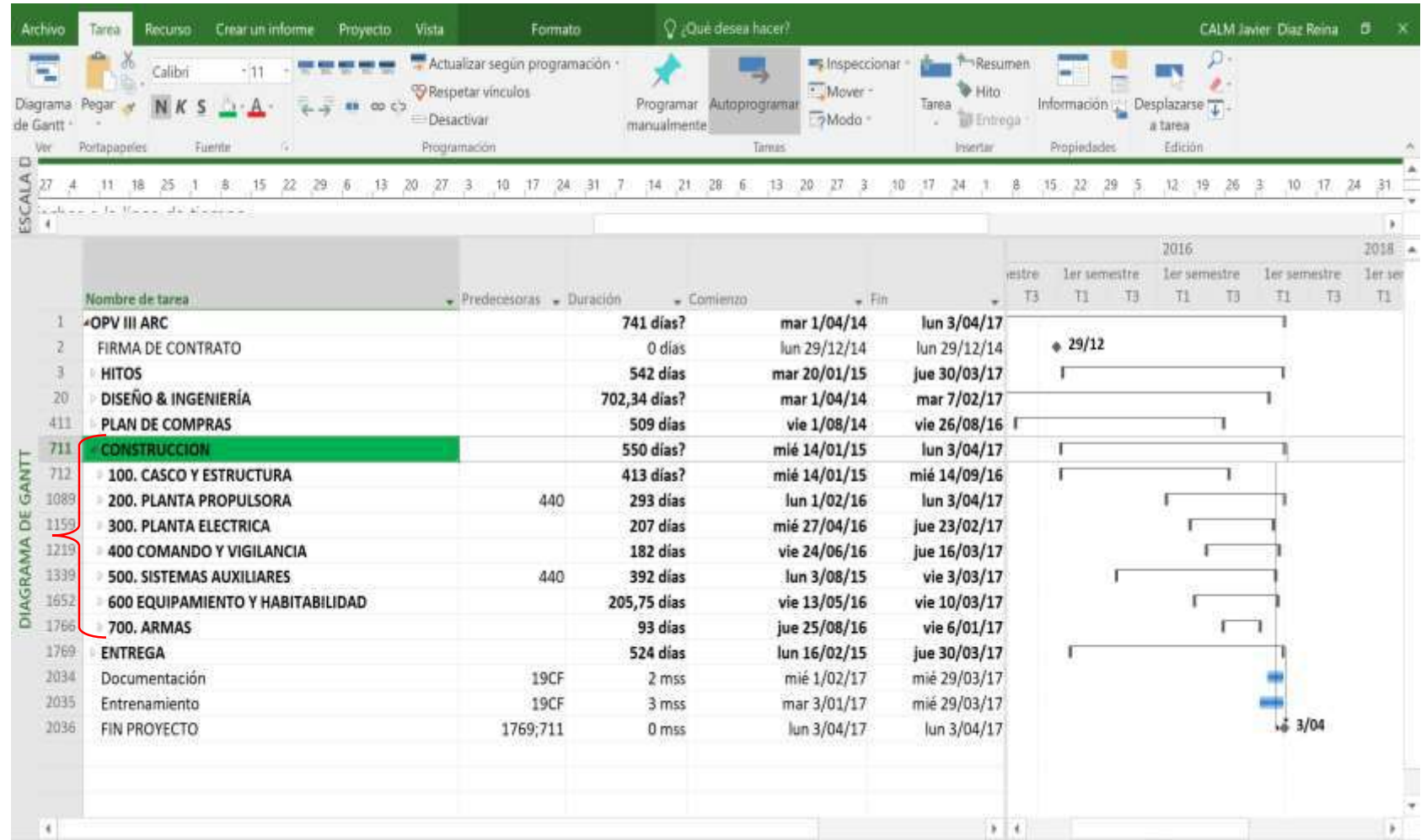
2. INFORMACIÓN PARA MODELAR

Estrategia Constructiva:



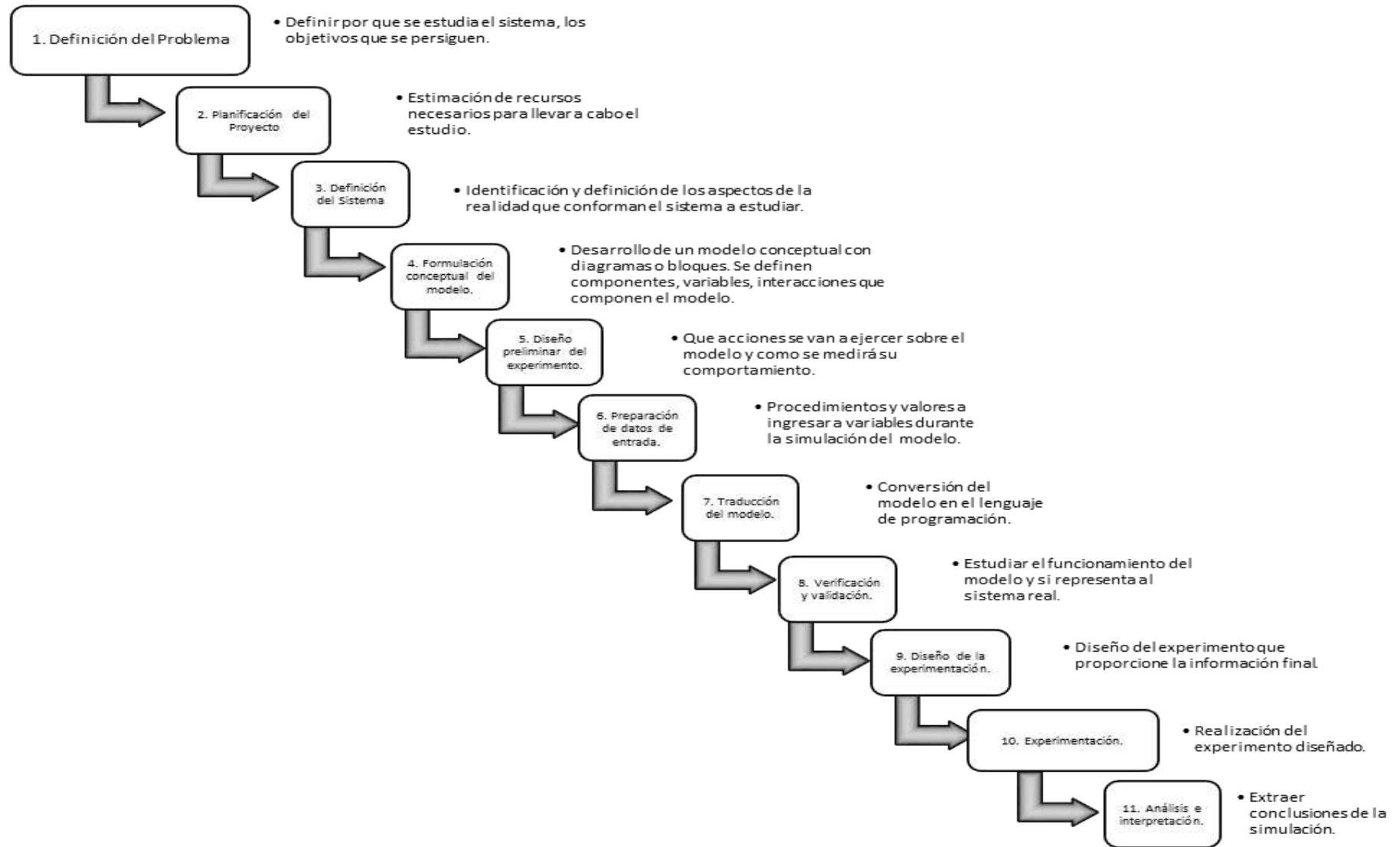
2. INFORMACIÓN PARA MODELAR

Cronograma real:



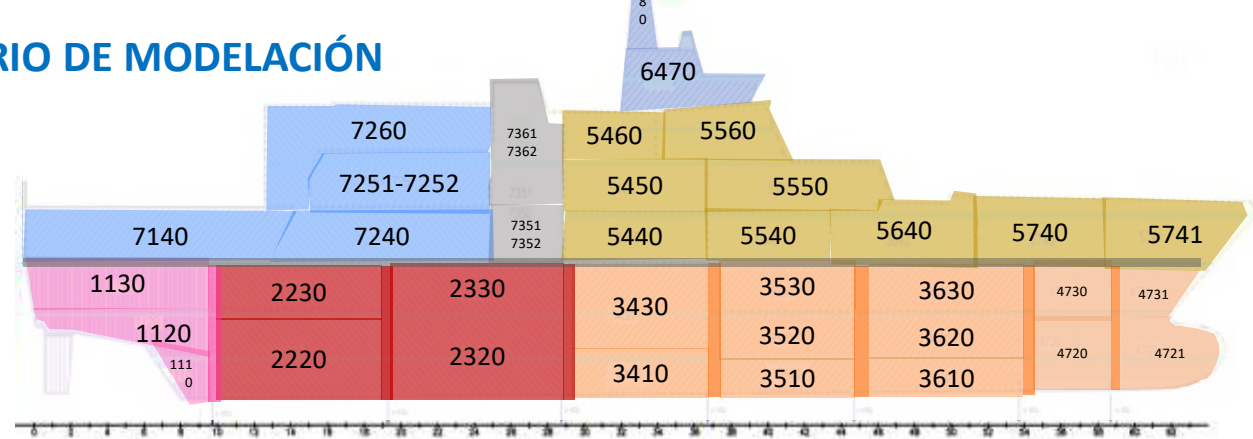
3. CRITERIO DE MODELACIÓN

Metodología:





3. CRITERIO DE MODELACIÓN



G 100 Outfitting



G 200 Planta Propulsora



G 300 Planta Eléctrica



G 400 Comando y Vigilancia



G 500 Sistemas Auxiliares



G 600 Habitabilidad

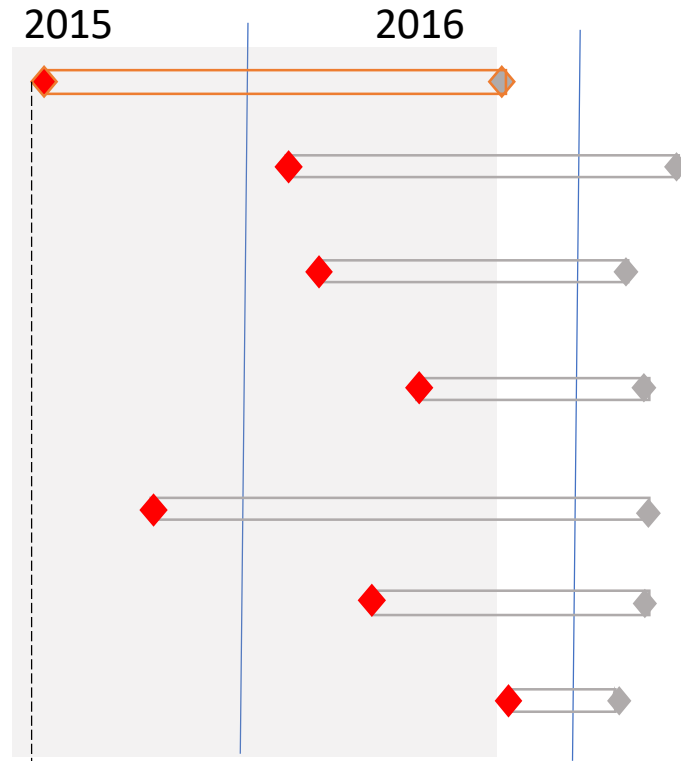


G 700 Armas

2015

2016

2017



Variables para proyectar
Tiempo (t) en otras const.

Potencia Propulsiva

Longitud de Cable

Longitud de Cable

Longitud de Tubería

Cant Tripulantes

Tipo de Armamento??

3. CRITERIO DE MODELACIÓN

Línea de producción en acero:

Corte de perfiles y
láminas

Fabricación
previas

Soldadura previas

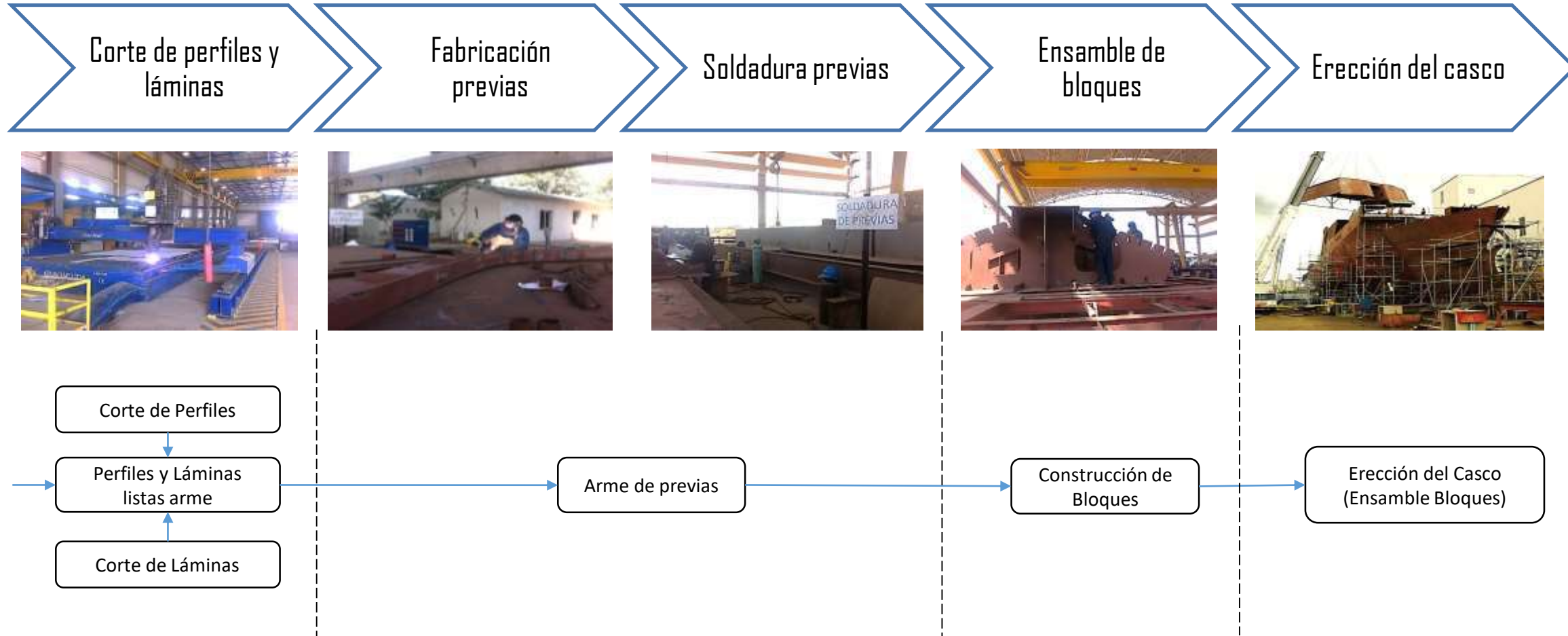
Ensamble de
bloques

Erección del casco

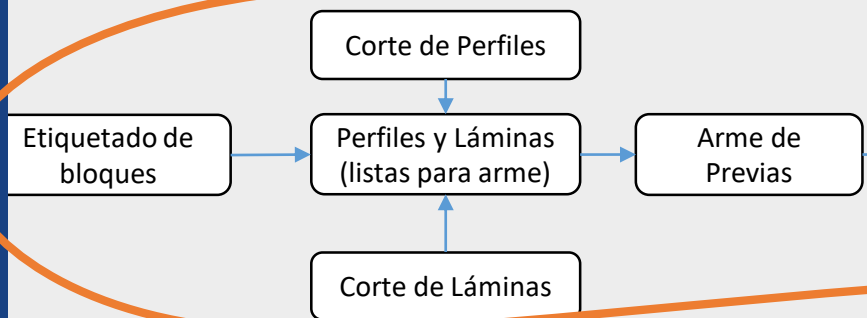


3. CRITERIO DE MODELACIÓN

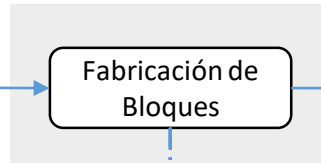
Línea de producción en acero:



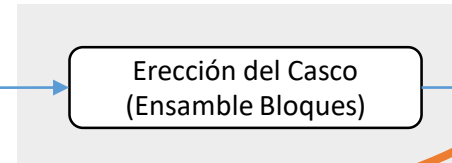
PREPARACIÓN DE LÁMINAS PERFILES-PREVIAS



FABRICACIÓN DE BLOQUES



ERECCIÓN DEL CASCO

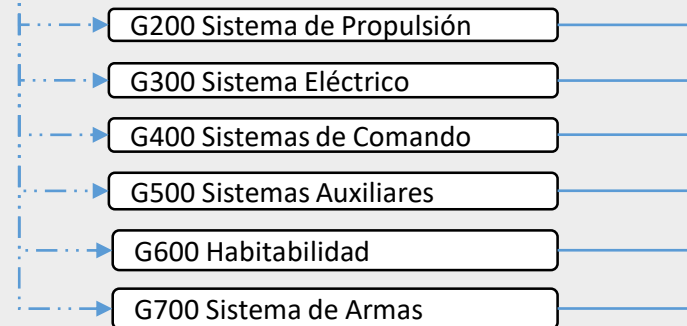


4. MODELO CONCEPTUAL

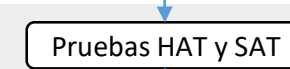
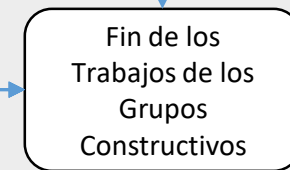
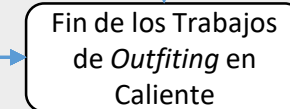
OUTFITTING EN CALIENTE



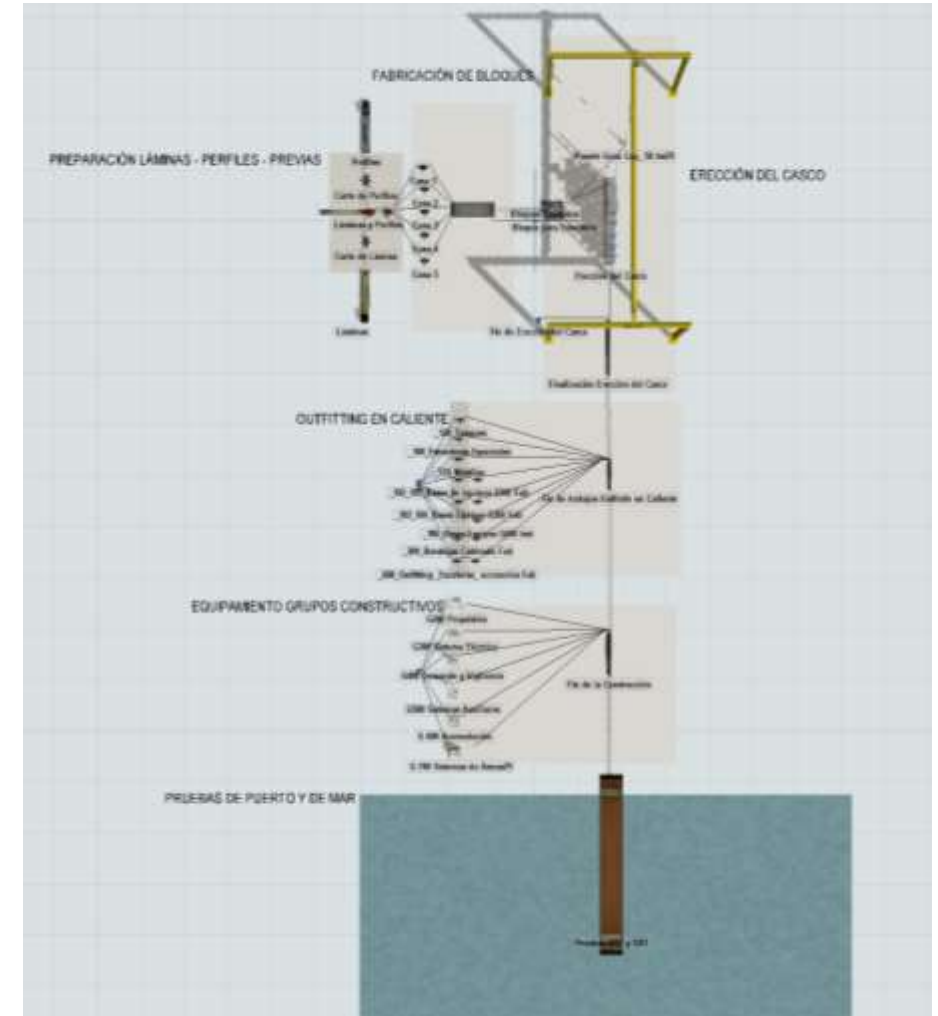
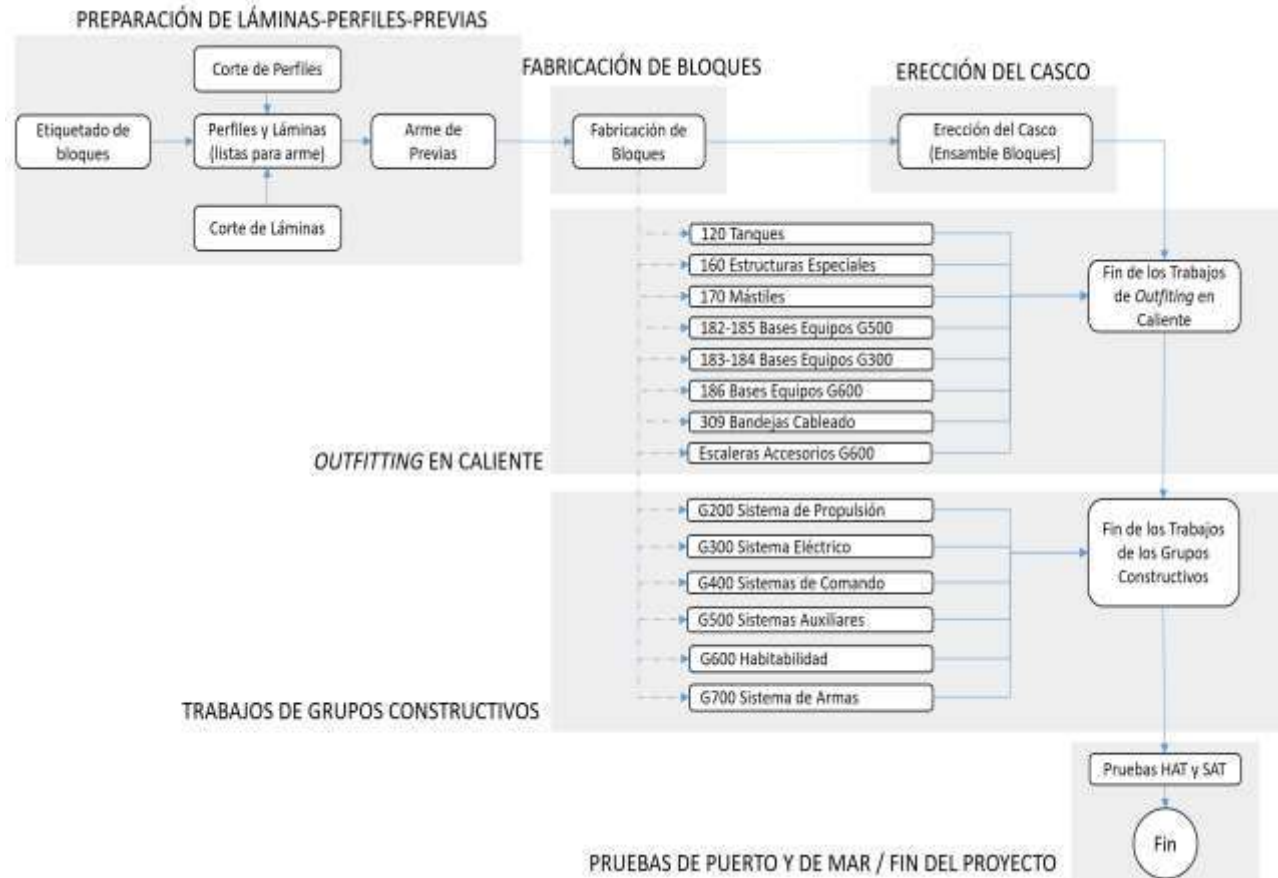
TRABAJOS DE GRUPOS CONSTRUCTIVOS



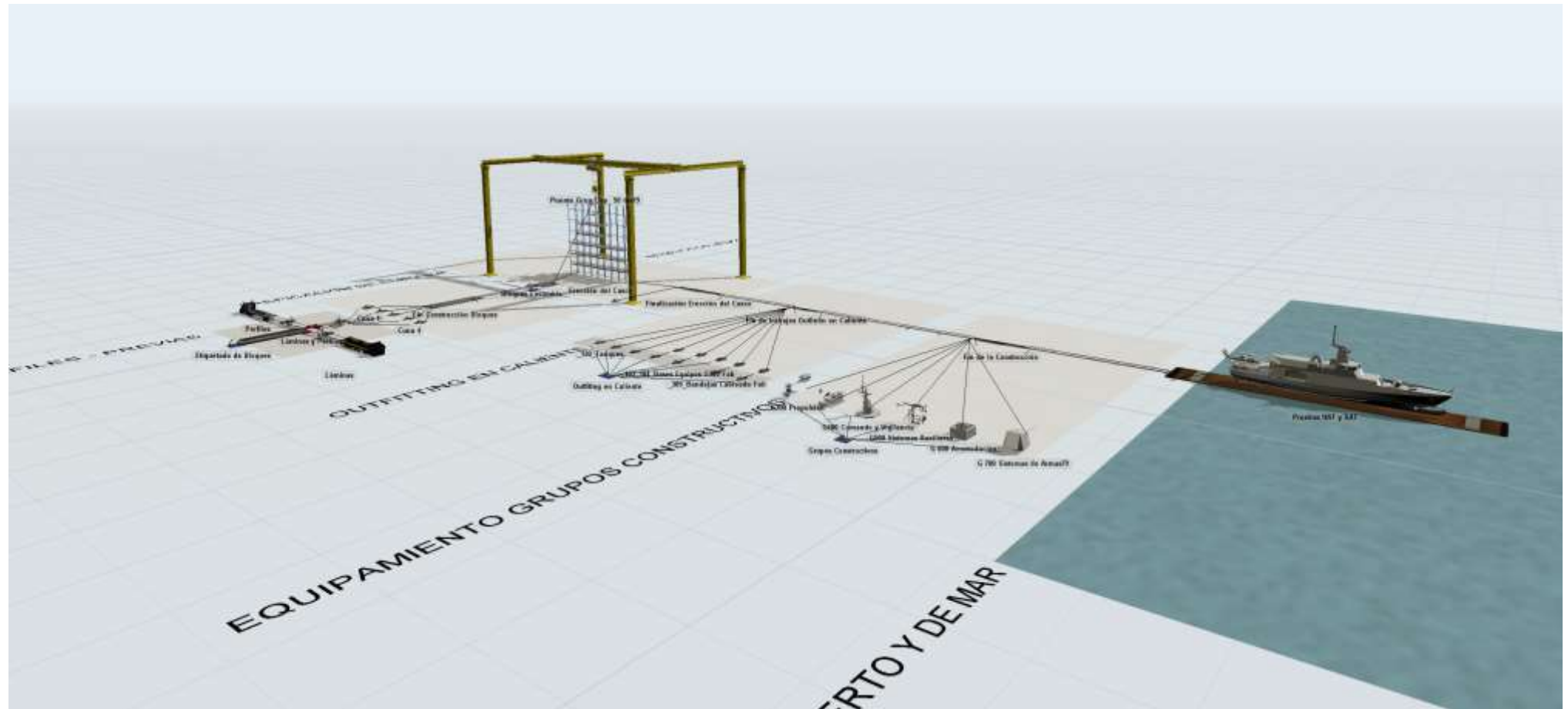
PRUEBAS DE PUERTO Y DE MAR



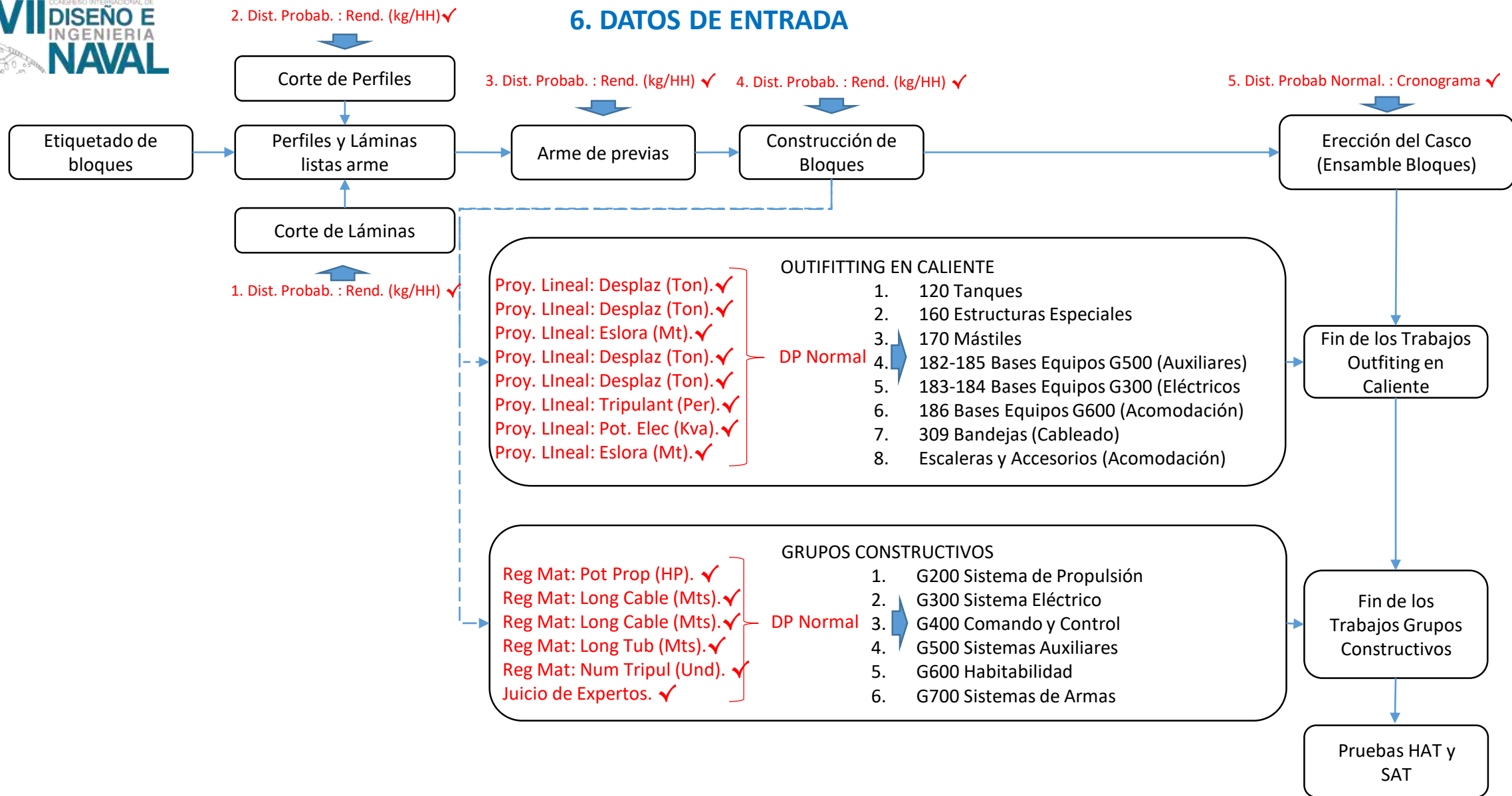
5. MODELO CONCEPTUAL – MODELO DE SIMULACIÓN



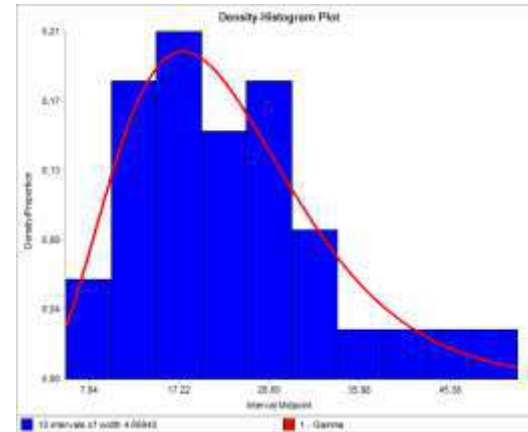
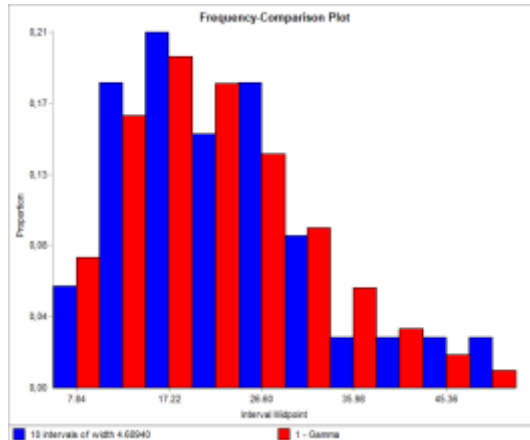
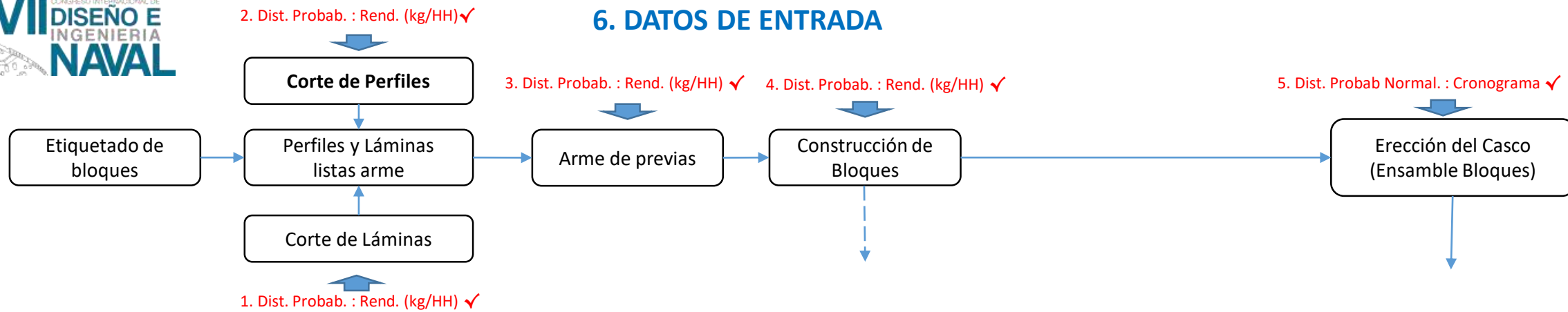
5. MODELO DE SIMULACIÓN



6. DATOS DE ENTRADA



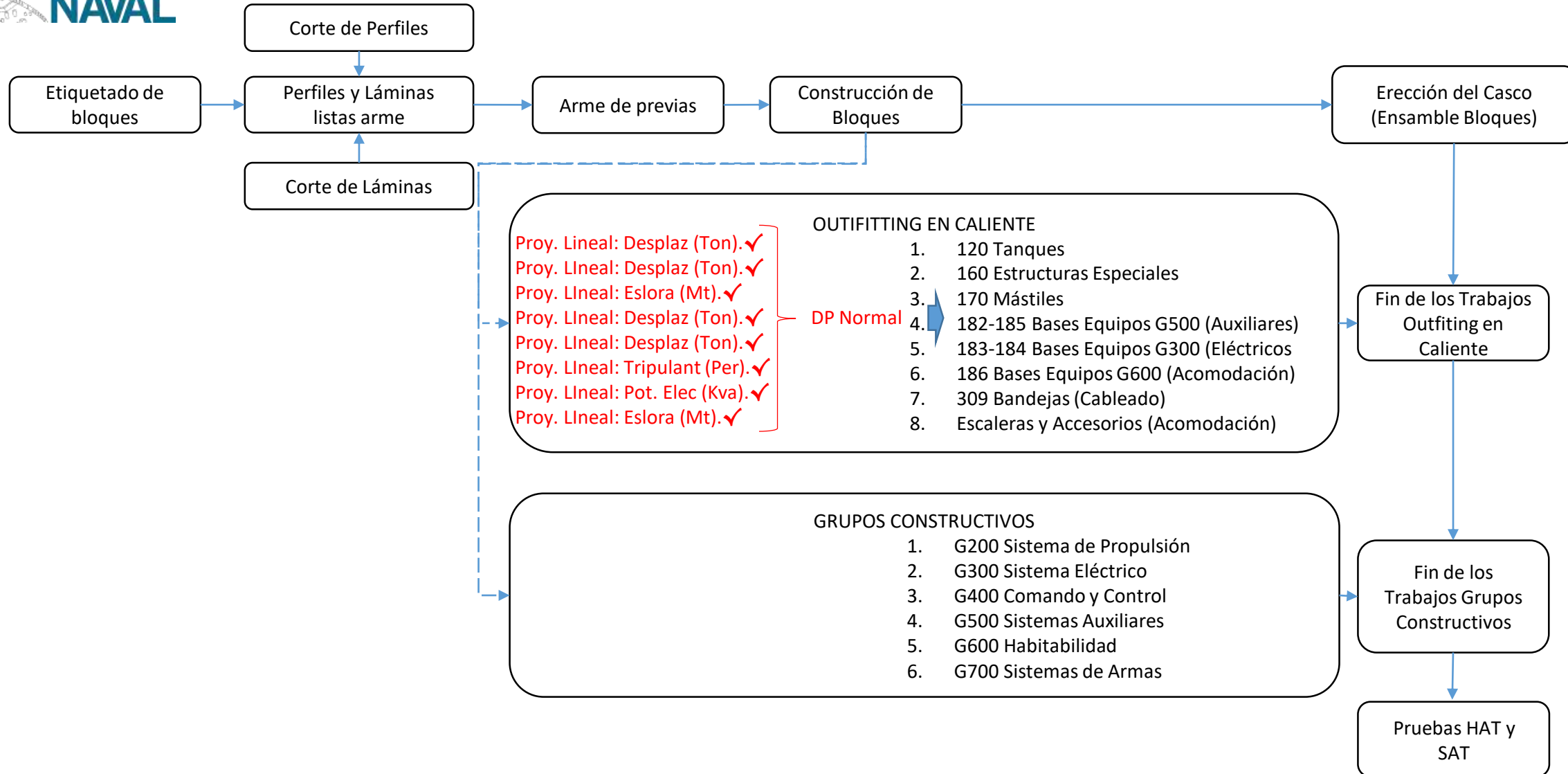
6. DATOS DE ENTRADA



Corte de Perfiles

$$T \text{ (días)} = \frac{\text{Peso del acero - Kgs}}{\text{Dist-Prob (Kg / HH) Corte de Perfiles} * H\text{-Día} * GH}$$

6. DATOS DE ENTRADA



6. DATOS DE ENTRADA

Proy. Lineal: Desplaz (Ton).✓
 Proy. Lineal: Desplaz (Ton).✓
 Proy. Lineal: Eslora (Mt).✓
 Proy. Lineal: Desplaz (Ton).✓
 Proy. Lineal: Desplaz (Ton).✓
 Proy. Lineal: Tripulant (Per).✓
 Proy. Lineal: Pot. Elec (Kva).✓
 Proy. Lineal: Eslora (Mt).✓

OUTIFITTING EN CALIENTE

1. 120 Tanques
2. 160 Estructuras Especiales
3. 170 Mástiles
4. 182-185 Bases Equipos G500 (Auxiliares)
5. 183-184 Bases Equipos G300 (Eléctricos)
6. 186 Bases Equipos G600 (Acomodación)
7. 309 Bandejas (Cableado)
8. Escaleras y Accesorios (Acomodación)

DP Normal

6. DATOS DE ENTRADA

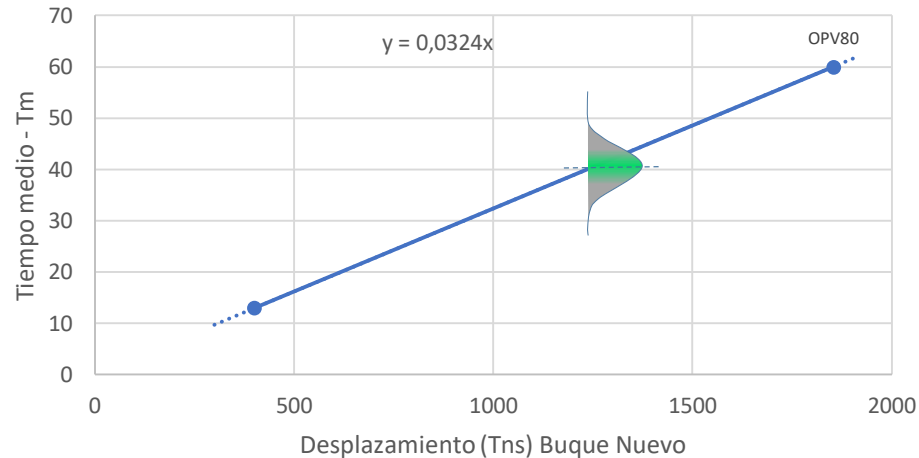
Proy. Lineal: Desplaz (Ton).✓
Proy. Lineal: Desplaz (Ton).✓
Proy. Lineal: Eslora (Mt).✓
Proy. Lineal: Desplaz (Ton).✓
Proy. Lineal: Desplaz (Ton).✓
Proy. Lineal: Tripulant (Per).✓
Proy. Lineal: Pot. Elec (Kva).✓
Proy. Lineal: Eslora (Mt).✓

OUTIFITTING EN CALIENTE

1. 120 Tanques
2. 160 Estructuras Especiales
3. 170 Mástiles
4. 182-185 Bases Equipos G500 (Auxiliares)
5. 183-184 Bases Equipos G300 (Eléctricos)
6. 186 Bases Equipos G600 (Acomodación)
7. 309 Bandejas (Cableado)
8. Escaleras y Accesorios (Acomodación)

DP Normal

120 - Tanques

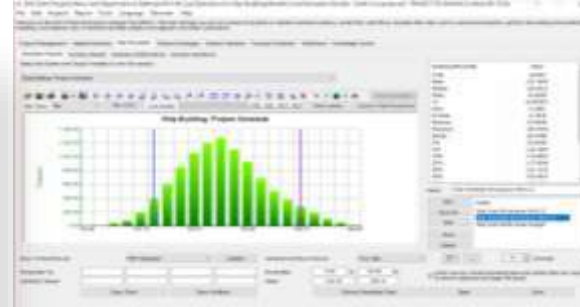


$$T \text{ (días)} = \frac{\text{Dist-Normal } (Tm-OPV80, \sigma)}{D-OPV80} * D-NBuque$$

$D-OPV80$

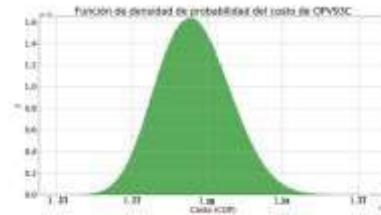
6. DATOS DE ENTRADA

DoD, USA (Mun, 2019)



C.V.= 8,50%

Lorena Posada (2018)



C.V.= 1,30%

$$\sigma = C.V. * t_m$$

Cotecmar, serie de buques BDA.



- ✓ BDA 1
- ✓ BDA 2
- ✓ BDA 3
- ✓ BDA 4
- ✓ BDA 5
- ✓ BDA 6
- ✓ BDA 7

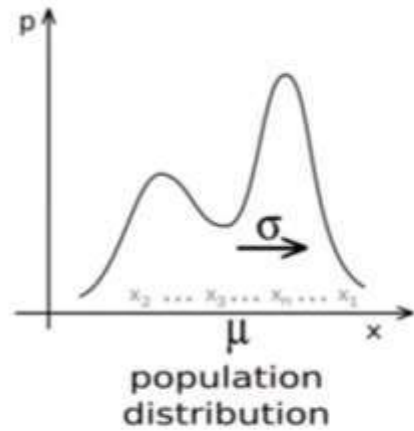
SIM. MONTECARLO



TEOREMA LÍMITE CENTRAL

C.V.= 1.15%

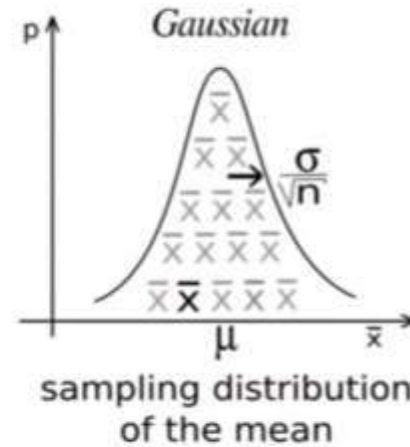
6. DATOS DE ENTRADA



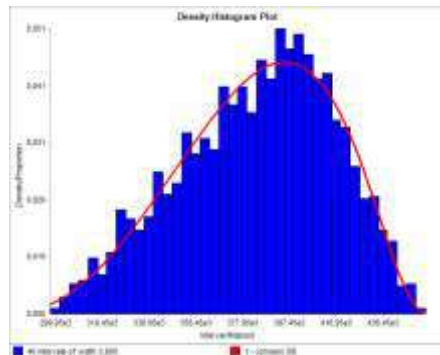
samples
of size n

$\bar{x}$

$\bar{x}$



Población (population)= 3000
Muestras (samples) = 60
n (size) = 50
 σ = 32005,29 hh
 μ = 384006,30 hh

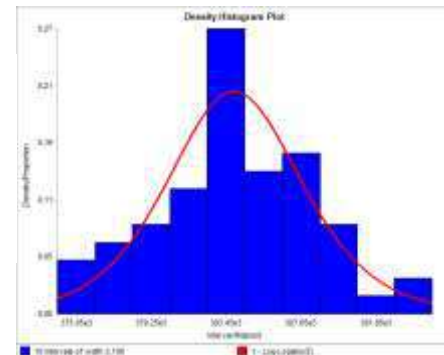


SIMULACIÓN DE MONTECARLO

samples
of size n

$\bar{x}$

$\bar{x}$



TEOREMA DEL LÍMITE CENTRAL

$$\mu_x \approx \mu \approx 384006,30 \text{ hh}$$

$$\sigma_x \approx \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \approx 4526,23 \text{ hh (C.V.= 1.15\%)}$$

6. DATOS DE ENTRADA

GRUPOS CONSTRUCTIVOS	
Reg Mat: Pot Prop (HP). ✓	1. G200 Sistema de Propulsión
Reg Mat: Long Cable (Mts). ✓	2. G300 Sistema Eléctrico
Reg Mat: Long Cable (Mts). ✓	3. G400 Comando y Control
Reg Mat: Long Tub (Mts). ✓	4. G500 Sistemas Auxiliares
Reg Mat: Num Tripul (Und). ✓	5. G600 Habitabilidad
Juicio de Expertos. ✓	6. G700 Sistemas de Armas

DP Normal

6. DATOS DE ENTRADA

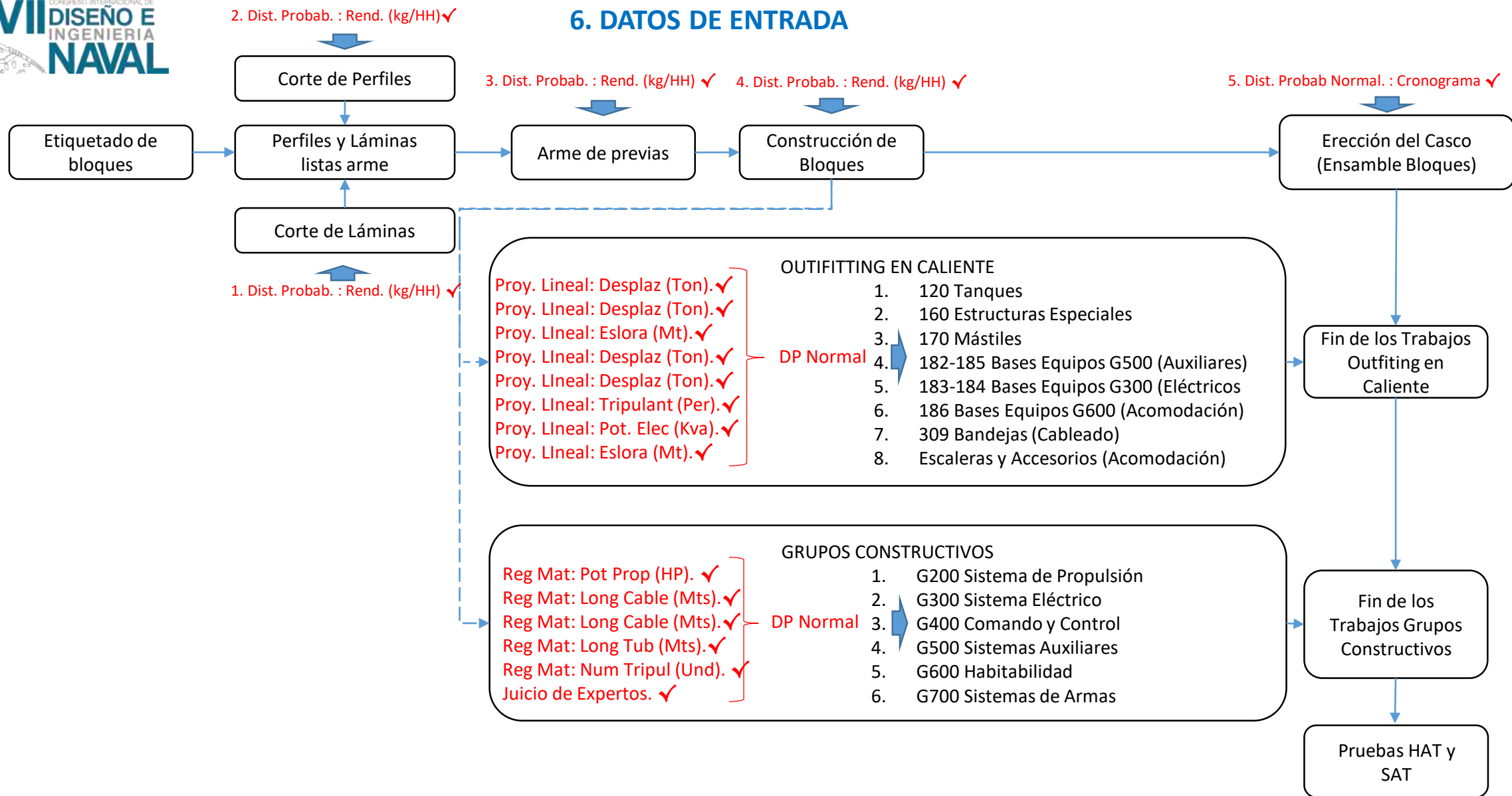
Reg Mat: Pot Prop (HP). ✓
 Reg Mat: Long Cable (Mts). ✓
 Reg Mat: Long Cable (Mts). ✓
 Reg Mat: Long Tub (Mts). ✓
 Reg Mat: Num Tripul (Und). ✓
 Juicio de Expertos. ✓

GRUPOS CONSTRUCTIVOS

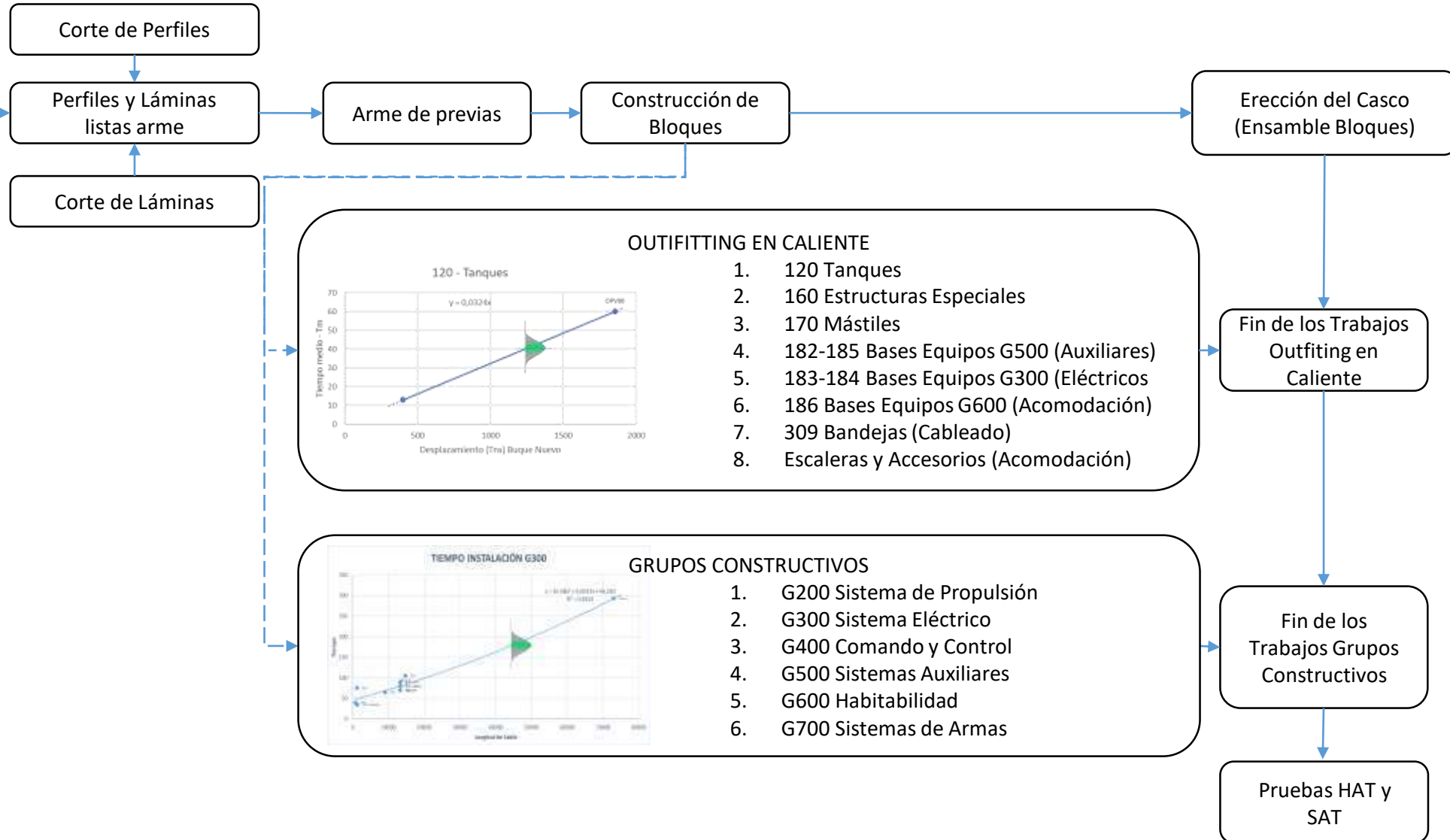
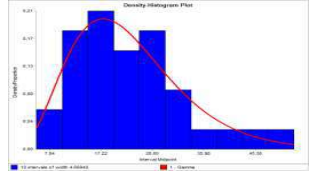
1. G200 Sistema de Propulsión
2. G300 Sistema Eléctrico
3.  G400 Comando y Control
4. G500 Sistemas Auxiliares
5. G600 Habitabilidad
6. G700 Sistemas de Armas



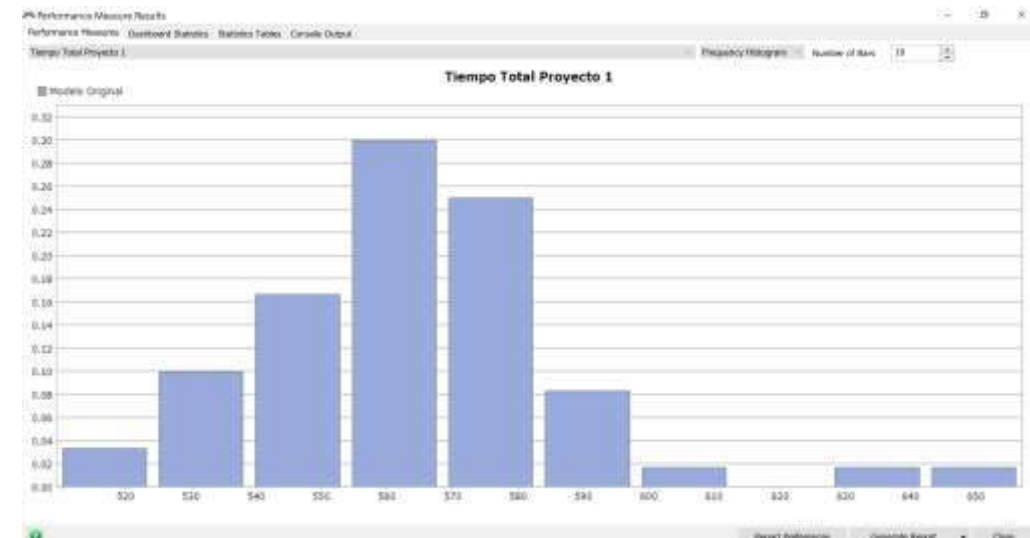
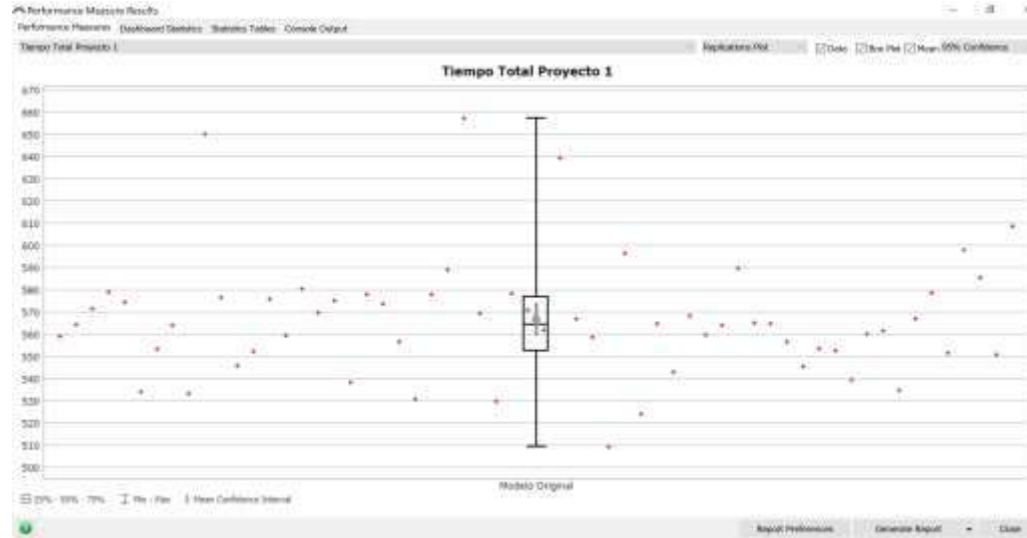
6. DATOS DE ENTRADA



6. DATOS DE ENTRADA



7. EXPERIMENTACIÓN

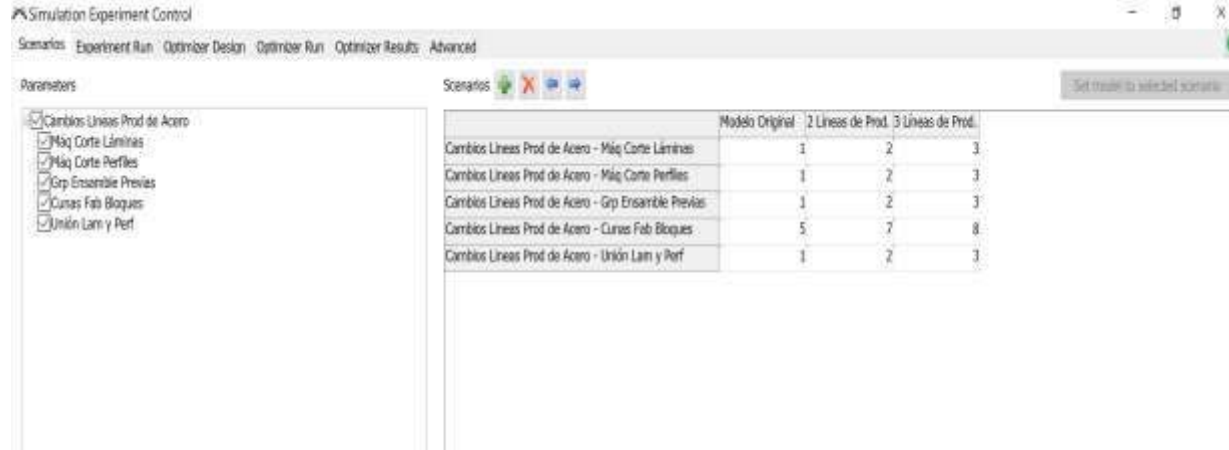


Modelo Base:

EXPERIMENTACIÓN

- Réplicas: 60
- $559.4 < \underline{566.4} < 573.32$ (días)
- Intervalo de confianza (*Confidence*): 95%.
- Desviación estándar (σ): 26.8 días.
- Desviación de la media del valor real (550 días): 2,98%.

7. EXPERIMENTACIÓN



Modelo Experimental:

- ✓ 1, 2, 3 Líneas de producción de acero
- ✓ 5% mejor rendimiento de la producción

EXPERIMENTACIÓN

Escenario con dos (2) líneas de producción de acero:

- Réplicas: 50
- $476.4 < 485.6 < 494.9$ (95% *Confidence*).
- Desviación Estándar (σ): 32.5 días.

Escenario con tres (3) líneas de producción de acero:

- Réplicas: 50
- $446.6 < 463.4 < 480.2$ (95% *Confidence*).
- Desviación Estándar (σ): 58.8 días.

7. EXPERIMENTACIÓN



MEKO A 100 (Polonia )

Fuente: Internet.

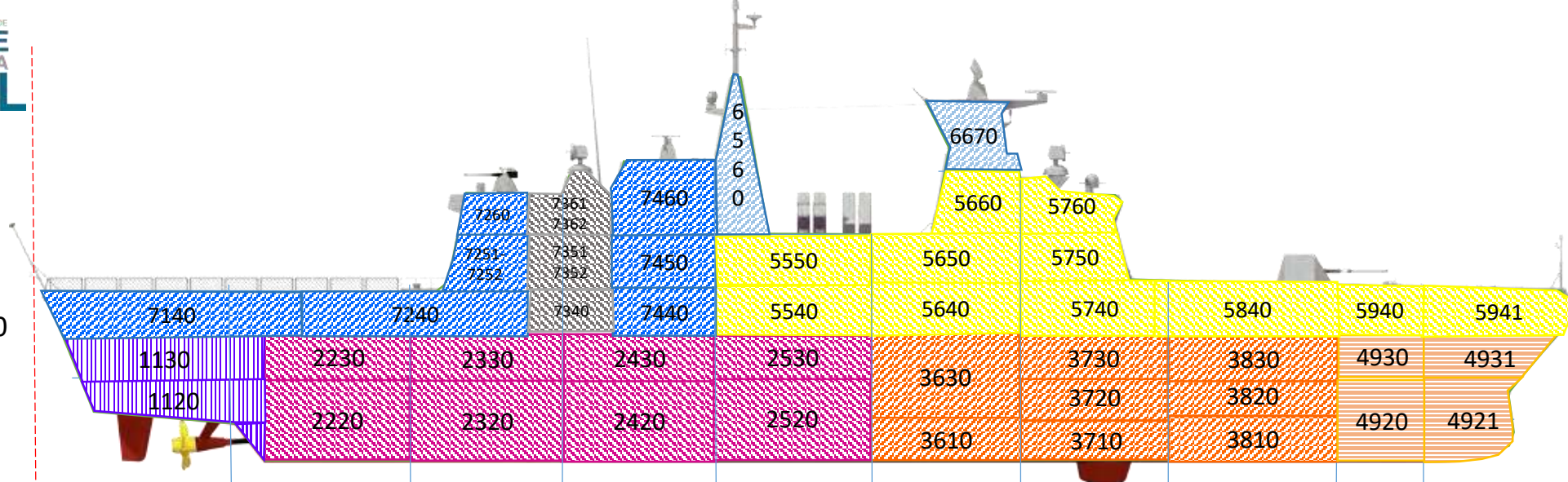
MEKO A100
95,37 m
2151 Tn



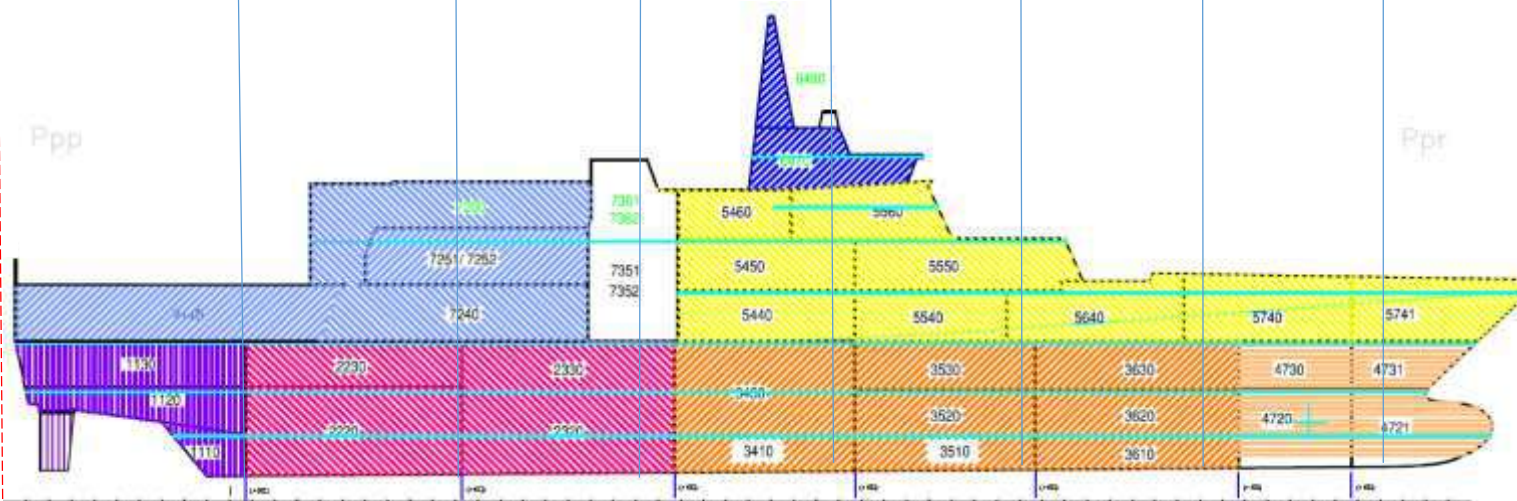
OPV 80
80,60 m
1854 Tn



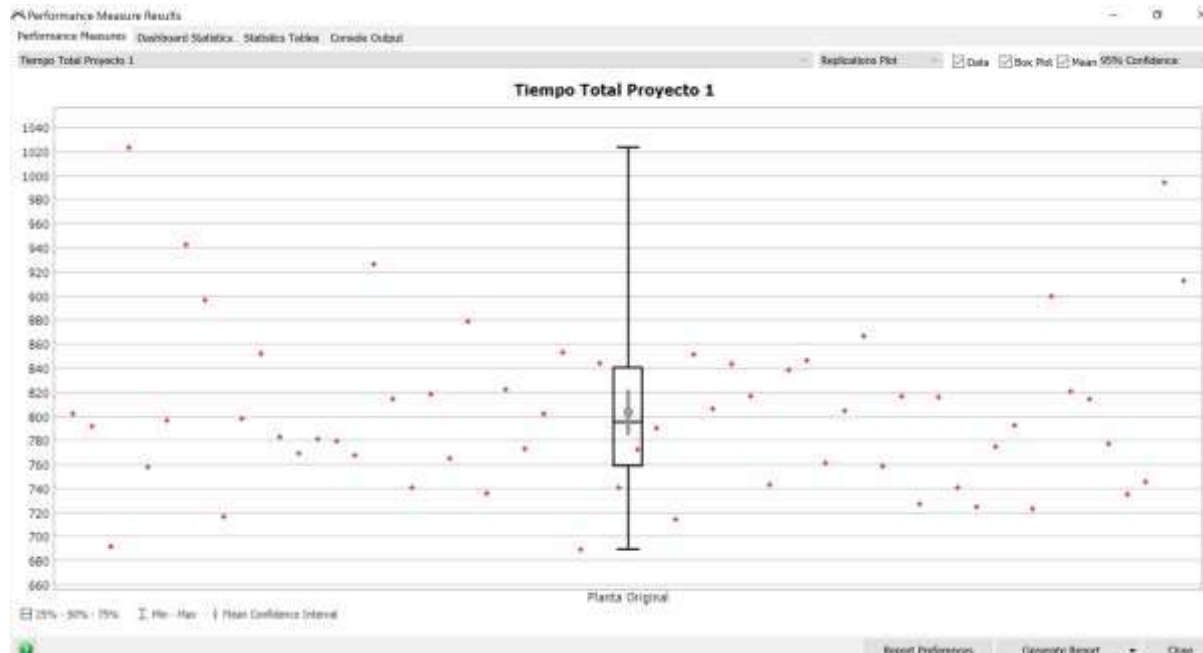
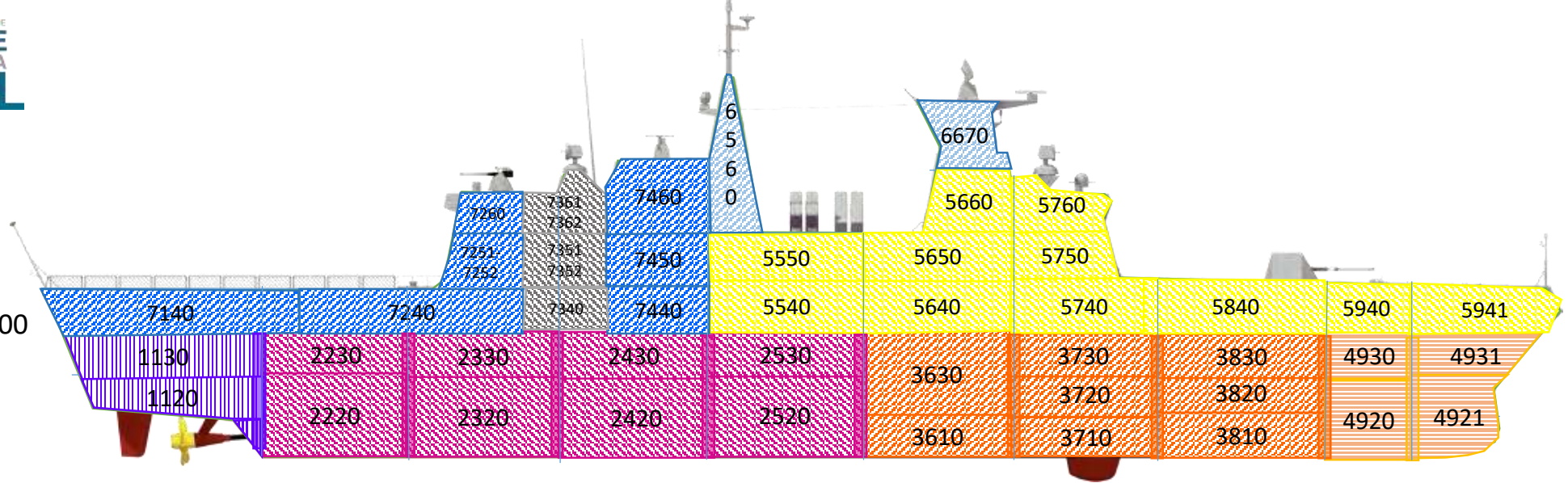
MEKO A100
95,37 m
2151 Tn



OPV 80
80,60 m
1854 Tn



MEKO A100
95,37 m
2151 Tn



- Réplicas: 60
- $785 < \underline{803} < 821$ (días)
- Intervalo de confianza (*Confidence*): 95%.
- Desviación estándar (σ): 26.8 días.



8. CONCLUSIONES

1. El modelo de simulación representa el sistema real.
2. Con la información (bases de datos) disponible es posible predecir de manera probabilística el tiempo para una construcción naval nunca antes realizada.
3. Se considera de gran utilidad continuar con el diseño de indicadores de rendimiento para la fabricación e instalación de subsistemas (Grupos Constructivos).
4. Se identifican restricciones (las líneas de producción en acero, rendimientos).
5. El modelo aporta a la estimación de costos del proyecto al rubro *costos directos de mano de obra*.
6. El modelo permite diseñar diferentes escenarios: Ej. modificando las capacidades de producción y rendimiento.
7. Es posible la actualización de datos y parámetros de entrada de acuerdo con la evolución de las condiciones reales del Astillero.
8. Se identifican otras líneas de investigación como: modelación 3D de cada subproceso, desarrollo de nuevos indicadores de producción, identificación de factores de rendimiento por tipo de construcción, modelación de los procesos logísticos.
9. La información obtenida del proceso de simulación es de gran utilidad para la estimación de nuevos proyectos de construcción en sus fases tempranas.

muchas gracias iii