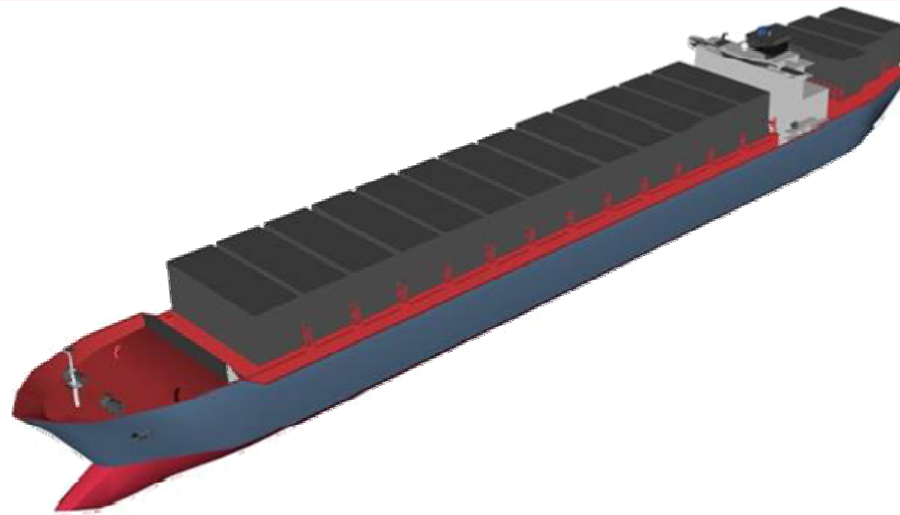


# PROYECTO FIN DE CARRERA

INGENIERÍA INDUSTRIAL. EPS FERROL



## SIMULADOR DE GRÚA PANAMAX PARA MOVIMIENTO DE CONTENEDORES EN PUERTO



- Autor:
  - David Vilela Freire
- Tutor:
  - Daniel Dopico Dopico
  
- Septiembre, 2011

- Introducción
- Dinámica de sistemas multicuerpo
- Software empleado
- Conclusiones
- Simulación



1/22



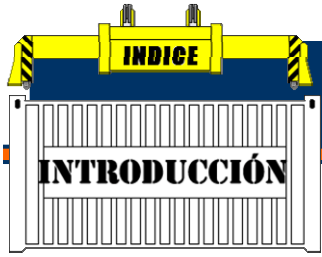
# Motivación y objetivos

- Motivación
  - Encargo de Azteca Consulting, S.L. al LIM
  - Cliente final: Fundación Puerto de Vigo
- Objetivo: simulación de grúa en tiempo real
  - Formación operarios
  - Selección de personal
  - Asistencia en diseño



2/22





# Antecedentes

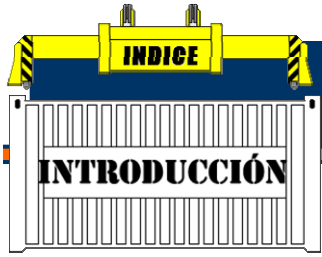
- Simuladores: cada vez más interesantes
  - Potencia aumenta cada día
  - Gran ventaja competitiva: diferencias entre usar una grúa y usar un simulador
    - Coste: asociado al uso de las instalaciones (horas máquina)
    - Riesgo: asociado a los operarios inexpertos (accidentes)
- Transporte marítimo

Cubre la gran mayoría de la mercancía mundial

Importancia económica de puertos



3/22

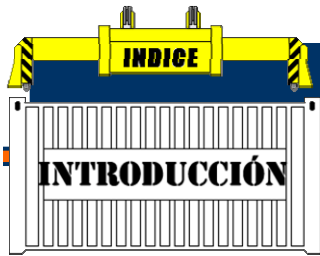


# Puerto de Singapur

- Puerto más activo del mundo
- Principal centro logístico de transportes
- 600 puertos conectados
- 13 km de muelles
- 150 grúas
- 30 millones de contenedores
- 1000 barcos simultáneos
- 25% mercancías del mundo

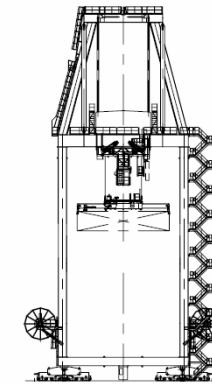
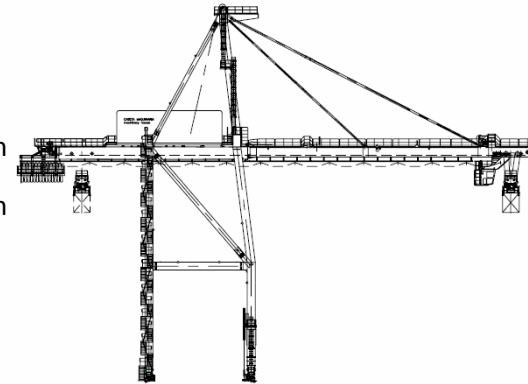


4/22

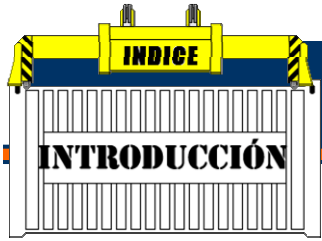


# Portainer TMVP01

<b>Peso</b>	<b>850 tm</b>
<b>Capacidad</b>	<b>40 tm</b>
Elevación con carga 32 t	60 m/min
Elevación en vacío	120 m/min
Traslación carro	150 m/min
Traslación pórtico	45 m/min
Potencia	640 KW
Tensión	440 V



<b>Alcance pluma lado mar</b>	<b>45 m</b>
<b>Alcance pluma lado tierra</b>	<b>10 m</b>
Distancia entre carriles	15,24 m
Ancho ente patas	18,4 m
Ancho entre ejes	19,94 m
Recorrido cabina	70,24 m
<b>Recorrido estructura</b>	<b>300 m</b>
<b>Altura total</b>	<b>62 m</b>
Altura bajo spreader	33 m
Altura libre bajo viga portal	16,03 m



# Dinámica de sistemas multicuerpo

- Sistema multicuerpo  
Sistema mecánico móvil o con partes móviles  
Mecanismo = Sólidos + Pares cinemáticos
- Dinámica de sistemas multicuerpo  
Simulación de sistemas multicuerpo a partir de la resolución de las ecuaciones del movimiento



6/22





<b>INDICE</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>
<b>MULTIBODY</b>

# Procedimiento

- Fase 1: Modelización
  - Propiedades físicas y geométricas
  - Situación espacial
  - Topología del mecanismo
- Fase 2: Formulación
  - Planteamiento y resolución de ecuaciones del movimiento
- Fase 3: Obtención de resultados



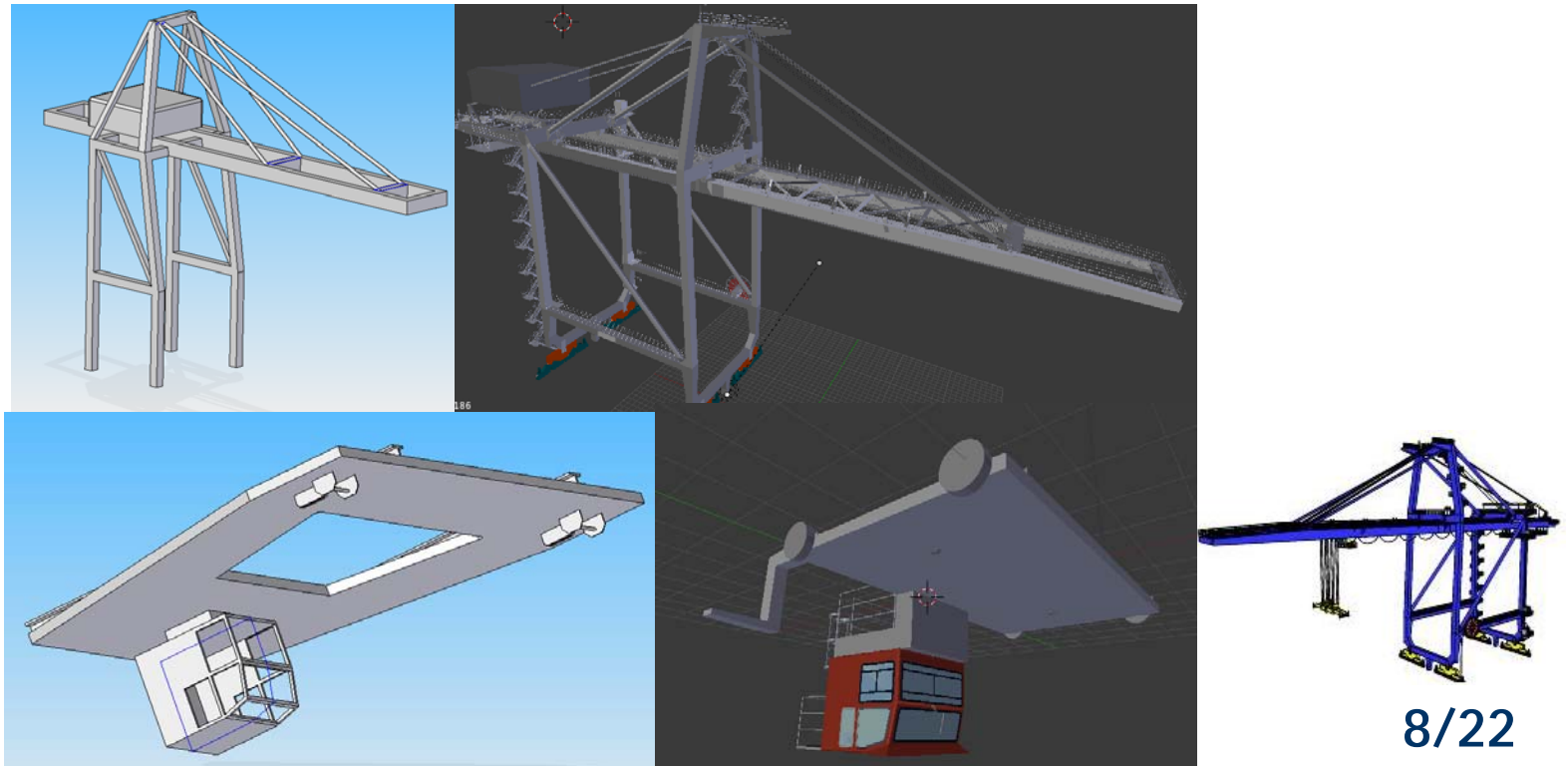
7/22



<b>INDICE</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>
<b>MULTIBODY</b>

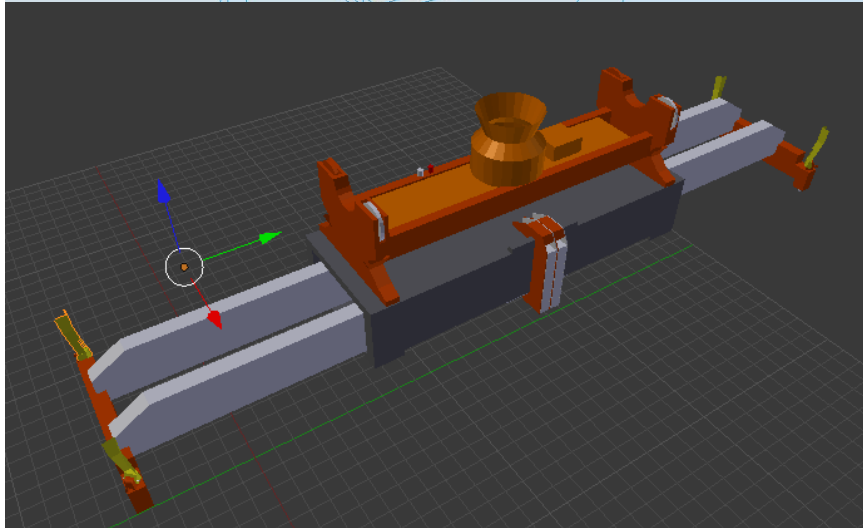
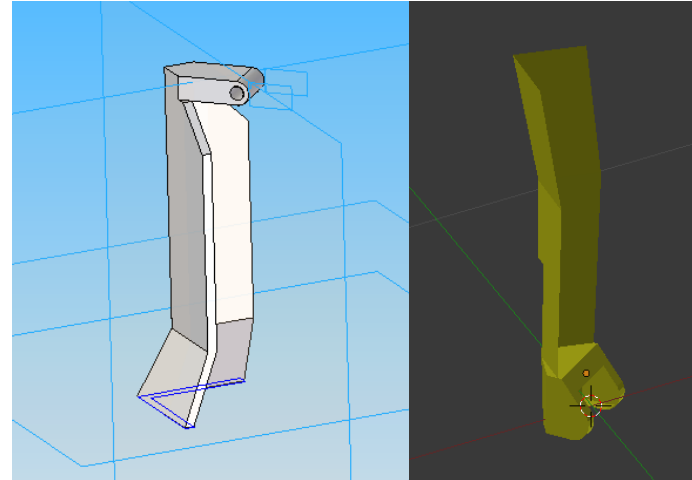
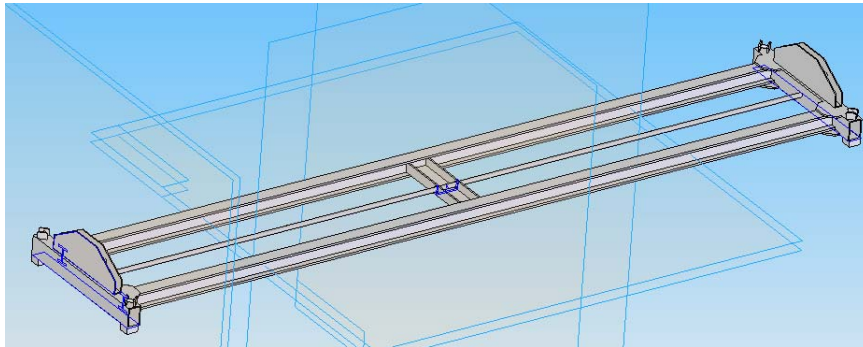
# Geometría

- Geometría inicial: estimación de propiedades en fase inicial. Datos de catálogo
- Geometría detallada: fase final. Aportada por Azteca Consulting S.L.



<b>INDICE</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>
<b>MULTIBODY</b>

# Propiedades geométricas

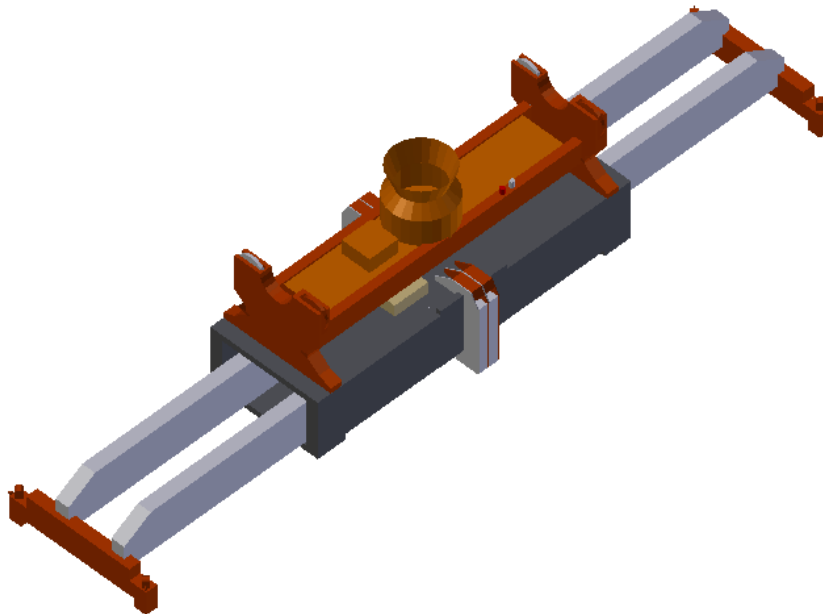


9/22

<b>INDICE</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>
<b>MULTIBODY</b>

# Propiedades físicas

- Ejemplo de propiedades físicas de un sólido



Spreader		
Masa (Kg)		
5099.72		
Centro de gravedad (mm)		
X	Y	Z
0	0	0
Tensor de inercia		
XX	YY	ZZ
90737.03	2541.47	92944.41
XY	XZ	YZ
0	0	0



10/22

<b>INDICE</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>
<b>MULTIBODY</b>

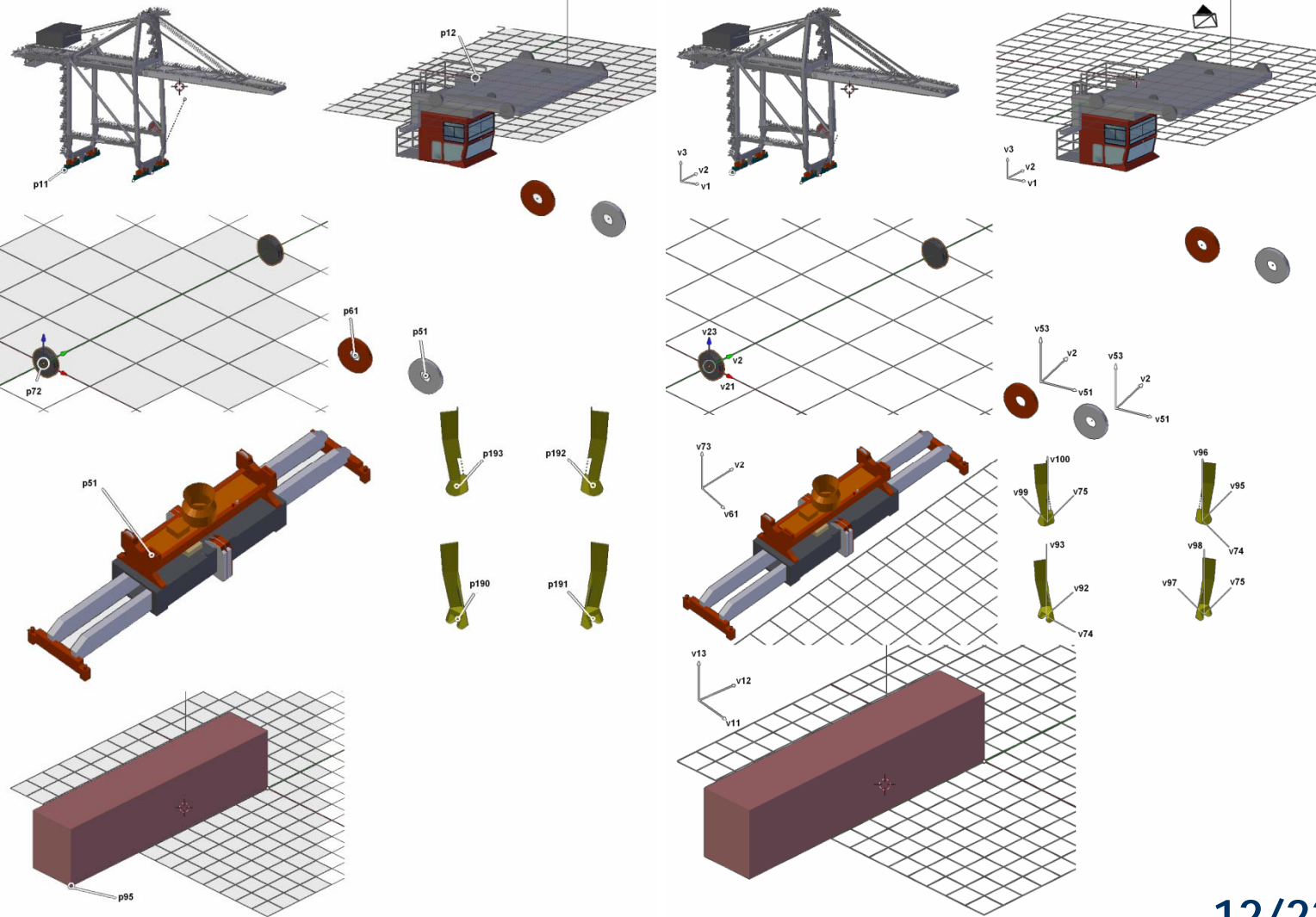
# Situación espacial y topología

- Coordinadas: variables que definen al mecanismo
- Sistema mixto
  - Naturales
    - Puntos y vectores
    - Definición sencilla
    - Requieren experiencia
  - Relativas
    - Ángulos y distancias
    - Ideal para simplificar la definición de actuadores
    - Aumentan el tamaño del problema
    - Términos de alto coste computacional



11/22

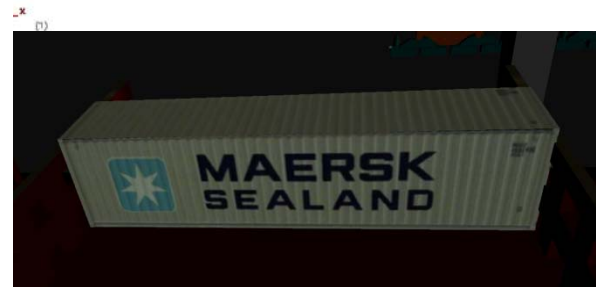
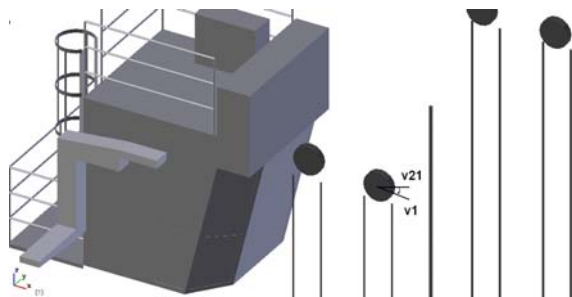
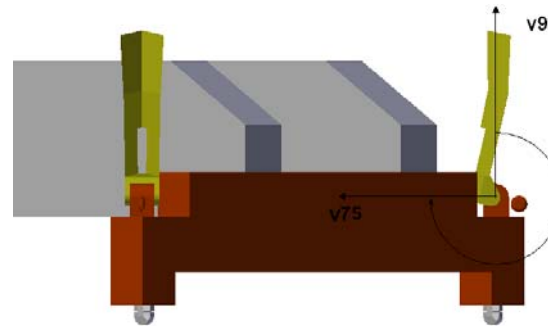
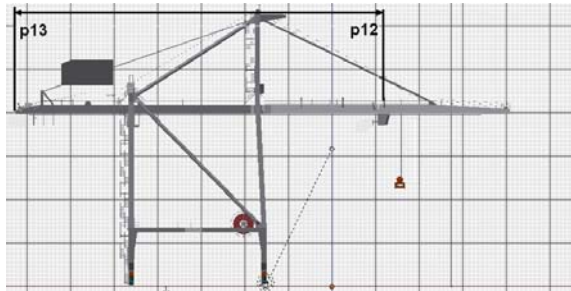
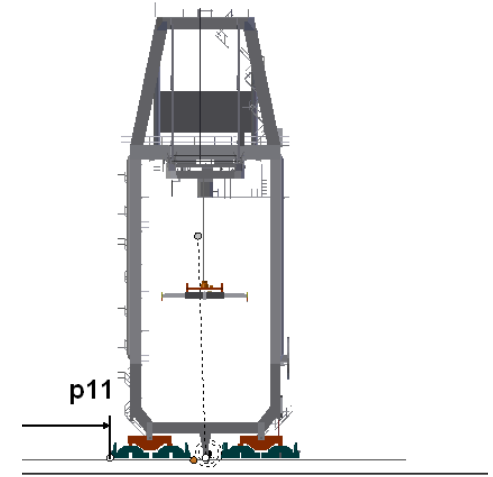
# Puntos y vectores



<b>INDICE</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>
<b>MULTIBODY</b>

# Grados de libertad

- Actuados  
Guiados por restricciones reónomas
- No actuados  
Guiados por la física del sistema







- Index 3 Augmented Lagrange (I3AL) [1]

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{q}} + \Phi_q^t \alpha \Phi + \Phi_q^t \lambda = \mathbf{Q}$$

$$\lambda_n^{i+1} = \lambda_n^i + \alpha \Phi_n^{i+1}$$

- Integración con regla trapezoidal implícita de paso simple

$\mathbf{M}$ : matriz de masas.

$\mathbf{q}$ : vector de variables del problema.

$\Phi_q$ : matriz jacobiana del vector de restricciones.

$\lambda$ : vector de multiplicadores de Lagrange.

$\mathbf{Q}$ : vector de fuerzas generalizadas.



[1] Penalty, Semi-Recursive and Hybrid Methods for MBS Real-Time Dynamics in the Context of Structural Integrators

J. Cuadrado, D. Dopico, M.A. Naya and M. Gonzalez

Multibody System Dynamics, vol. 12, no. 2, pp. 117-132, 2004. (Journal paper)

14/22



<b>INDICE</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>
<b>MULTIBODY</b>

# Formulación

- Solución del sistema no lineal por Newton – Raphson

$$\left[ \frac{\partial \mathbf{f}(\mathbf{q})}{\partial \mathbf{q}} \right]_i \Delta \mathbf{q}_{i+1} = -[\mathbf{f}(\mathbf{q})]_i$$

$$\left[ \frac{\partial \mathbf{f}(\mathbf{q})}{\partial \mathbf{q}} \right] = \left[ \mathbf{M} + \frac{\Delta t}{2} \mathbf{C} + \frac{\Delta t^2}{4} (\Phi_q^t \alpha \Phi_q + \mathbf{K}) \right]$$

$$\mathbf{f}(\mathbf{q}) = \mathbf{M} \mathbf{q}_{n+1} + \frac{\Delta t^2}{4} \left( \mathbf{M} \hat{\mathbf{q}}_n + \Phi_{q_{n+1}}^T \alpha \Phi_{n+1} + \Phi_{q_{n+1}}^T \lambda_{n+1} - \mathbf{Q}_{n+1} \right) = 0$$

- Proyecciones ortogonales en velocidad y aceleración

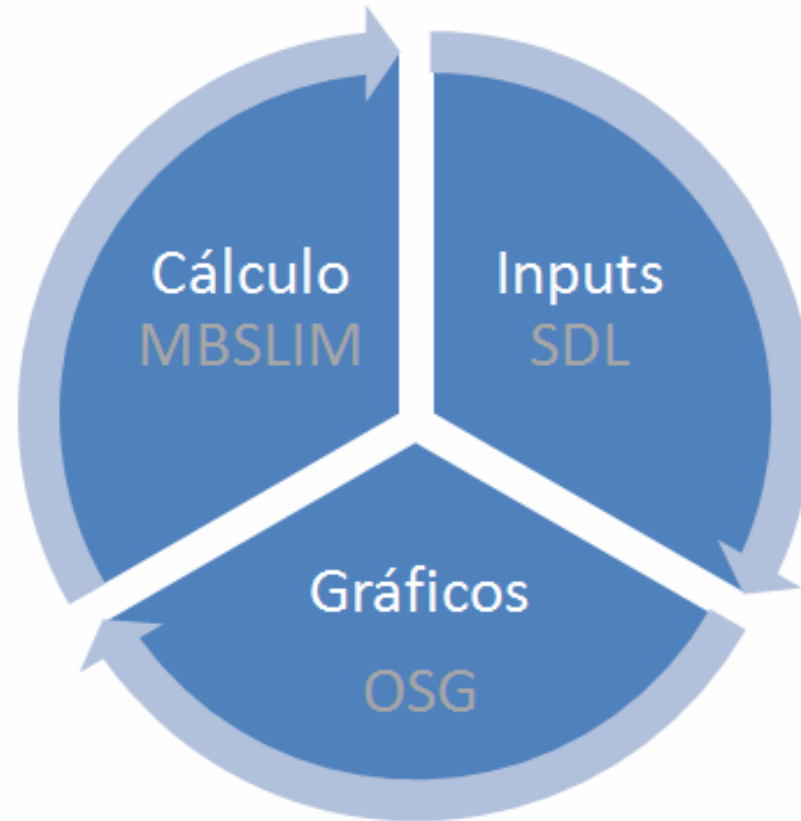
$$\left[ \frac{\partial \mathbf{f}(\mathbf{q})}{\partial \mathbf{q}} \right] \dot{\mathbf{q}} = \left[ \mathbf{M} + \frac{\Delta t}{2} \mathbf{C} + \frac{\Delta t^2}{4} \mathbf{K} \right] \dot{\mathbf{q}}^* - \frac{\Delta t^2}{4} \Phi_q^t \alpha \Phi_t$$

$$\left[ \frac{\partial \mathbf{f}(\mathbf{q})}{\partial \mathbf{q}} \right] \ddot{\mathbf{q}} = \left[ \mathbf{M} + \frac{\Delta t}{2} \mathbf{C} + \frac{\Delta t^2}{4} \mathbf{K} \right] \ddot{\mathbf{q}}^* - \frac{\Delta t^2}{4} \Phi_q^t \alpha (\dot{\Phi}_q \dot{\mathbf{q}} + \dot{\Phi}_t)$$



15/22

<b>INDICE</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>
<b>MULTIBODY</b>

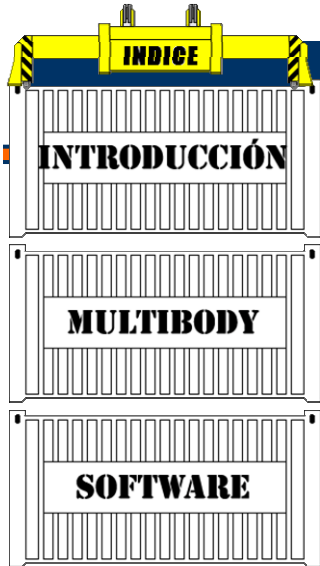


<b>INDICE</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>
<b>MULTIBODY</b>
<b>SOFTWARE</b>

- Desarrollado por el LIM
- Biblioteca de funciones para la dinámica de sistemas multicuerpo
- Planteamiento y resolución de las ecuaciones del movimiento



17/22



INDICE

INTRODUCCIÓN

MULTIBODY

SOFTWARE

# Simple DirectMedia Layer (SDL)

- Biblioteca que proporciona un acceso sencillo a audio, teclado, ratón, joystick, tarjeta gráfica
- Joystick
  - Actuadores de la grúa
- Teclado y ratón
  - Cámaras

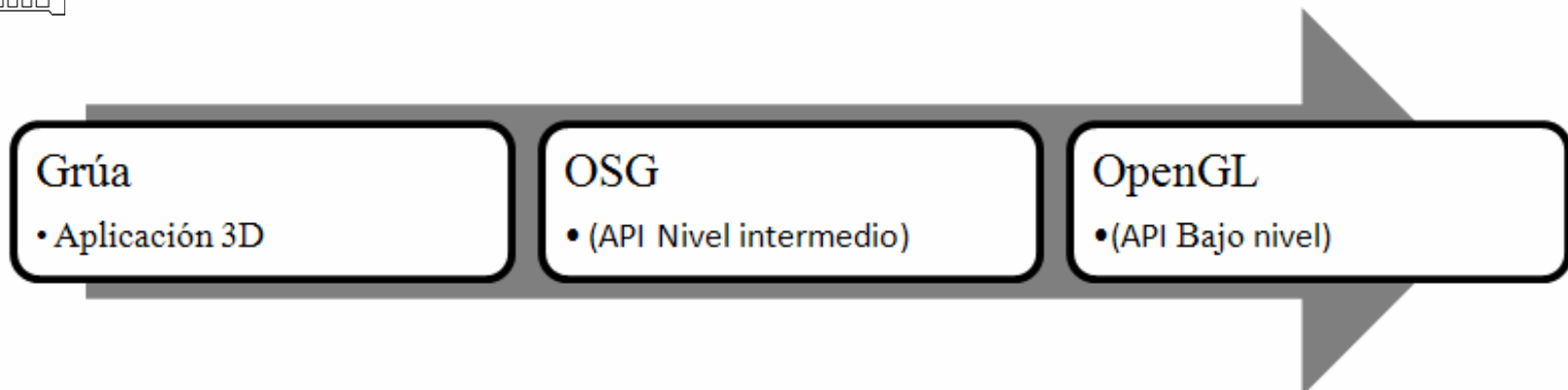


18/22

<b>INDICE</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>
<b>MULTIBODY</b>
<b>SOFTWARE</b>

# Open Scene Graph (OSG)

- Comunicación entre la aplicación y el OpenGL, encargado del control de la tarjeta gráfica



19/22

<b>INDICE</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>
<b>MULTIBODY</b>
<b>SOFTWARE</b>

# Conclusiones

- Desarrollo de la parte física del simulador
- Maniobras de elevación y desplazamiento de la carga
- Realismo: maniobras similares a una grúa real
- Funcionamiento en tiempo real



20/22

<b>INDICE</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>
<b>MULTIBODY</b>
<b>SOFTWARE</b>
<b>CONCLUSIONES</b>

# Conclusiones

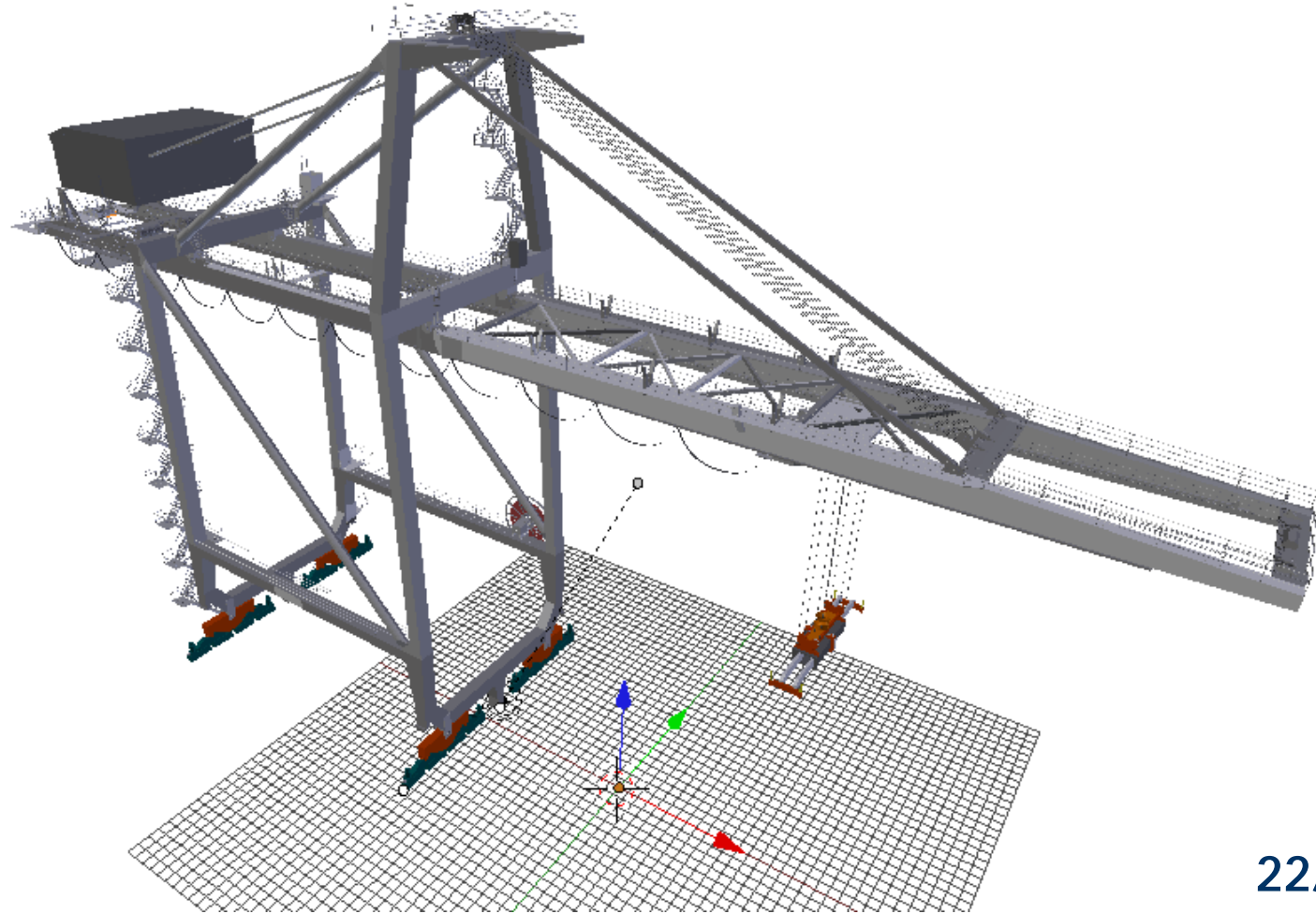
## Mejoras y trabajo futuro:

- Múltiples contenedores, caída de filas de contenedores, etc...
- Spreader adaptable a contenedores de 20 pies
- Recogida y descarga de contenedores en camión
- Mejora del panel de mando
- Posibilidad de supervisión de maniobras
- Realización de prácticas guiadas
- Validación de parámetros



21/22



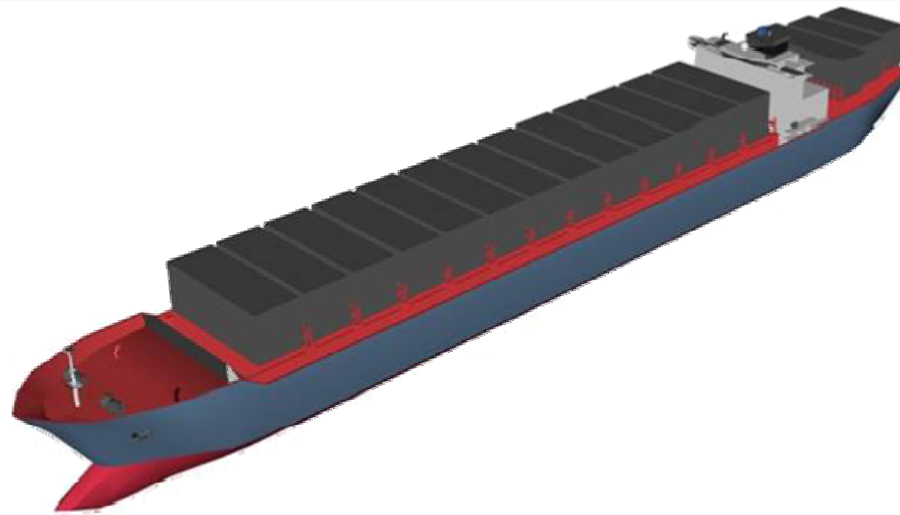


# PROYECTO FIN DE CARRERA

INGENIERÍA INDUSTRIAL. EPS FERROL



## SIMULADOR DE GRÚA PANAMAX PARA MOVIMIENTO DE CONTENEDORES EN PUERTO



- Autor:
  - David Vilela Freire
- Tutor:
  - Daniel Dopico Dopico
- Septiembre, 2011