



UNIVERSIDAD  
DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

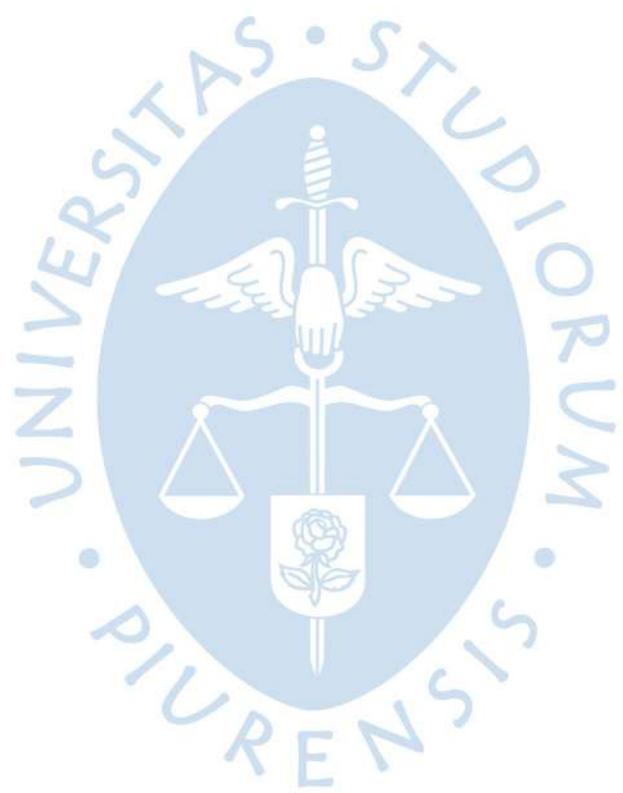
**Aplicación de metodologías interactivas con Working  
Model en la enseñanza del curso de Mecánica Dinámica**

Tesis para optar el Título de  
Ingeniero Civil

**Carlos Vidal Lopez Lenes**

Asesor(es):  
Dr. Ing. Carlos Jahel Ojeda Díaz  
Mgtr. Ing. David Israel Castañeda Granda

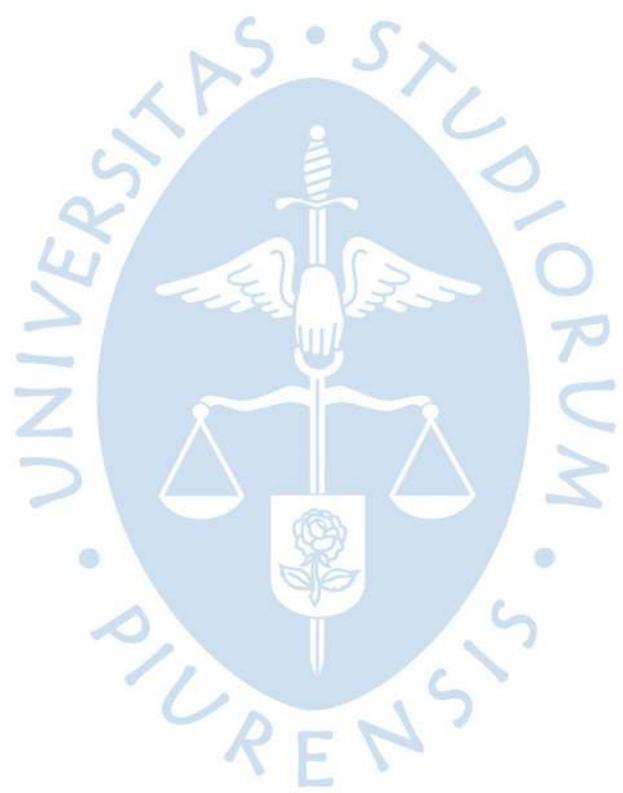
Piura, agosto de 2021



### **Dedicatoria**

Esta tesis está dedicada a mis padres, Vidal Lopez y Luisa Lenes, que nunca dejaron de confiar en mí, que sin su apoyo incondicional no habría podido alcanzar ninguno de mis objetivos y a mis hermanos que siempre estuvieron cuando lo necesité.





## **Agradecimientos**

A mis padres por todo el apoyo y soporte brindado a este proyecto.

A mi hermano Ferdinand que siempre me aconsejó como un padre y nunca dejó de apoyarme.

A mi hermano Dahomey por todo el apoyo intelectual y por ser la persona que siempre me marca más objetivos en el camino.

A mis abuelos Severino y Trinidad, que siempre se preocuparon por mi bienestar.

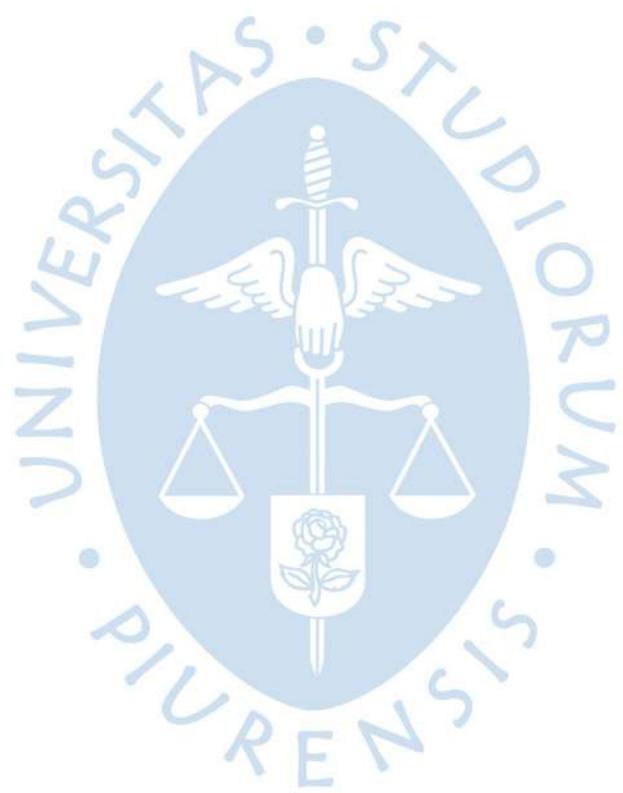
A todos mis tíos y primos quienes me encargaron nunca renunciar en la universidad y marcar el camino para las nuevas generaciones de la familia.

A mis amigas Liliana Machado y Yaky Ibañez, por apoyarme con la tesis y ser el soporte emocional que necesitaba en un año tan complicado.

A los alumnos del curso de Mecánica Dinámica del ciclo 2020 – II por participar de los laboratorios prospectivos y por todos los buenos comentarios.

Al Dr. Carlos Ojeda Díaz, por el apoyo brindado como asesor en todo el proyecto de tesis.

Al Mgtr. David Castañeda Granda, por el apoyo brindado como co-asesor en todo el proyecto de tesis.



## Resumen

En este proyecto de tesis se investigó la influencia uso del *software Working Model* como una herramienta de enseñanza y diseño, para ello se analizaron las experiencias de distintas universidades en el mundo, que emplearon el *software Working Model* en el desarrollo habitual de los cursos de Física, Dinámica, Diseño Mecánico y en proyectos de investigación. También se investigó acerca la evolución de los proyectos grupales desarrollados por los alumnos del curso de Mecánica Dinámica de la Universidad de Piura, desde el año 2008 hasta la actualidad, pasando de proyectos grupales de construcción de modelos mecánicos a la incorporación del *software Working Model* para la simulación de dichos modelos.

Como resultado de la investigación realizada se planteó una nueva metodología basada en laboratorios de aprendizaje utilizando el *software Working Model*, que propone reemplazar los proyectos grupales, desarrollados por los alumnos del curso de Mecánica Dinámica de la Universidad de Piura, por el dictado de laboratorios que empleen el *software Working Model* para simular ejercicios y obtener resultados en función del tiempo. Para ello, se propuso un esquema que permita implementar adecuadamente los laboratorios en el curso de Mecánica Dinámica, considerando lo siguiente: Distribución de los laboratorios en el cronograma académico, influencia de los laboratorios en el promedio final del alumno y la secuencia de temas que se deberían desarrollar en los laboratorios.

En el desarrollo de esta tesis se plantearon guías de laboratorio e informes de laboratorio. Las guías de laboratorio, son manuales que poseen instrucciones de construcción y programación de los ejercicios que se deberían desarrollar en los laboratorios, por otro lado, los informes de laboratorio, son asignaciones calificadas que los estudiantes deberán presentar después de realizar un laboratorio.

En el periodo académico 2020-II de la Universidad de Piura se expusieron dos de los laboratorios, desarrollados en este proyecto de tesis, a los alumnos del curso de Mecánica Dinámica, con el fin de evaluar la recepción de los mismos. El promedio de las calificaciones obtenidas por los alumnos en los informes de laboratorio demostró ser mejor que los promedios de calificaciones obtenidas por los alumnos que desarrollaron proyectos grupales en ciclos anteriores. Cualitativamente, se determinó que la aceptación de los alumnos, a una metodología basada en laboratorios de aprendizaje, es positiva.

Finalmente se concluye que, emplear la metodología basada en laboratorios de aprendizaje en el curso de Mecánica Dinámica, mejoraría la calidad de enseñanza del curso y, en consecuencia, las calificaciones obtenidas por los estudiantes.



## Tabla de contenido

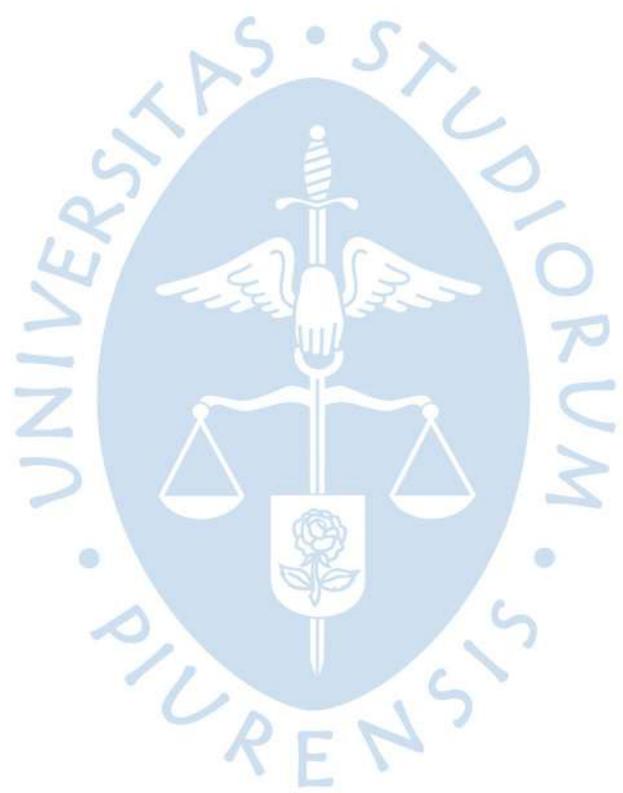
Introducción .....	21
Capítulo 1 Estado del arte de la introducción e implementación del software Working Model como herramienta interactiva en los cursos de ciencias de la ingeniería.....	23
1.1 Innovación de la forma de enseñanza en los cursos de diseño, mecánica dinámica y diseño de mecanismos .....	23
1.1.1 Uso del ciclo de aprendizaje de Kolb y el sistema 4MAT en la educación en ingeniería por JOHN N. HARB – 1993.....	24
1.1.2 Curso de diseño de ingeniería de primer año J. W. DALLY – 1993 – Universidad de Maryland.....	28
1.2 Working Model 2D como herramienta interactiva .....	30
1.2.1 Desarrollo y evolución de softwares CAE para simulación de máquinas y mecanismos .....	30
1.2.2 Características y capacidades del software Working Model 2D (WM2D).....	31
1.3 Proceso de implementación del software Working Model como herramienta computacional para el análisis de mecanismos y la enseñanza en cursos de ingeniería .....	31
1.4 Primera mención del software Working Model, como herramienta computacional .....	32
1.4.1 Diseño de maquinaria, una introducción a sistemas y análisis de mecanismos y máquinas (Norton, 1992).....	33
1.5 Aplicación del software Working Model 2D como herramienta de diseño y simulación en proyectos de investigación.....	35
1.5.1 Análisis interactivo de engranajes involutivos y generación de perfiles de dientes usando Working Model 2D - Universidad de Alabama en Birmingham.....	35
1.5.2 Integración de herramientas de software de simulación de última generación para la guía y el control de una embarcación autónoma de superficie infra activada - Universidad de Maryland Eastern Shore/NASA.....	37

1.5.3	Análisis y síntesis de mecanismos de leva plana utilizando el software Working Model 2D - Universidad de Texas A&M-Corpus Christi .....	38
1.5.4	Análisis asistido por computadora de los mecanismos de golpe del telar - Instituto de Tecnología de Georgia.....	39
1.6	Aplicación del software Working Model 2D como herramienta para mejorar la metodología de enseñanza en cursos de diseño, cinética y cinemática en cursos de ingeniería.....	40
1.6.1	Uso Del 'Working Model' Para Introducir El Diseño En Un Curso De Ingeniería De Primer Año - Instituto De Tecnología De Georgia .....	41
1.6.2	Aplicación Del Software Working Model En Tecnología De Ingeniería Mecánica - Universidad de Cincinnati / Universidad de Miami.....	42
1.6.3	Incorporación de Working Model laboratorios con una metodología similar .....	44
1.6.4	Máquinas Y Mecanismos, Análisis Cinemático Aplicado - David H. Myszka - Universidad de Dayton.....	45
1.7	Desarrollo del software Working Model 2D en el Perú .....	45
1.7.1	Aplicación de Working Model en el curso de Mecánica Dinámica en la Universidad de Piura .....	46
Capítulo 2 Experiencia de la aplicación de la herramienta Working Model en la Universidad de Piura en el curso de Mecánica Dinámica .....		49
2.1	Desarrollo habitual del curso de Mecánica Dinámica en la Universidad de Piura.....	49
2.2	Evaluaciones teórico-prácticas.....	49
2.2.1	Proyecto grupal.....	50
2.3	Evolución de los proyectos grupales orientados a la construcción de modelos y prototipos.....	52
2.3.1	Modelos interactivos .....	52
2.3.2	Vehículos menores.....	53
2.3.3	Mecanismos y máquinas.....	54
2.4	Aplicación y evolución del software Working Model en el curso de Mecánica Dinámica .....	54
2.4.1	Introducción del software Working Model en el curso de Mecánica Dinámica.....	54
2.4.2	Aplicación de Working Model en la resolución de ejercicios típicos de cinemática y cinética.....	55
2.4.3	Informe demostrativo.....	55
2.4.4	Aplicación de Working Model para el diseño y análisis de mecanismos.....	55

2.4.5	Aplicación de Working Model para el análisis y diseño de sistemas mecánicos y procesos industriales.....	58
2.4.6	Enfoque actual, reflexión y proyección del uso de Working Model como herramienta interactiva en el curso de Mecánica Dinámica .....	60
Capítulo 3 Metodología propuesta LA según el sistema de aprendizaje 4MAT .....		63
3.1	Dinámica de la metodología basada en laboratorios de aprendizaje “LA” .....	63
3.1.1	Primera fase: Percepción directa .....	64
3.1.2	Segunda fase: Experimental y asociativa, laboratorios de aprendizaje .....	65
3.1.3	Tercera fase: Proyección y evaluación.....	66
3.2	Proceso de implementación de la metodología LA en el curso de Mecánica Dinámica. ....	67
3.2.1	Distribución de los laboratorios durante el tiempo del dictado de clases .....	67
3.2.2	Puntaje y peso de los laboratorios en el curso .....	68
3.3	Estructura de los laboratorios .....	69
3.3.1	Laboratorios y temas a desarrollar .....	69
3.4	Estructura de los informes de laboratorio .....	70
3.5	Entorno y lenguaje para el desarrollo de los laboratorios – Laboratorio Cero.....	71
3.5.1	Grupos de funciones .....	71
3.5.2	Proceso de construcción y programación de un modelo .....	73
3.6	Instrucciones para construir modelos y mecanismos de los Laboratorios .....	77
3.6.1	Laboratorio 1.....	78
3.6.2	Laboratorio 2.....	91
3.6.3	Laboratorio 3.....	101
3.6.4	Laboratorio 4.....	119
3.7	Informes de laboratorio .....	135
3.7.1	Informe de laboratorio 1, ejercicios .....	135
3.7.2	Laboratorio 2, ejercicios.....	138
3.7.3	Informe de laboratorio 3, ejercicios .....	140
3.7.4	Informe de laboratorio 4, ejercicios .....	142
Capítulo 4 Evaluación de la respuesta de los estudiantes a la implementación de Working Model 2D como herramienta computacional en el curso de Mecánica Dinámica.....		145
4.1	Laboratorios de prospección para los alumnos del curso de Mecánica Dinámica en la Universidad de Piura .....	145
4.1.1	Condiciones generales del desarrollo del laboratorio de prospección 3 .....	147

4.1.2	Condiciones generales para el desarrollo del laboratorio de prospección 4 .....	147
4.2	Evaluación de las encuestas realizadas a los alumnos después del desarrollo de los laboratorios de prospección .....	148
4.2.1	Encuesta - Laboratorio 3 .....	148
4.2.2	Encuestas – Laboratorio de prospección 4 .....	152
4.2.3	Laboratorios de aprendizaje (LA) como nuevo sistema de evaluación .....	157
4.3	Evaluación de los informes de laboratorio desarrollados por los alumnos .....	157
4.4	Evaluación de los resultados obtenidos por los alumnos en los laboratorios de prospección, respecto a los seminarios evaluados en el ciclo 2020 – II .....	158
4.4.1	Prueba Z para la comparación de dos muestras independientes .....	158
4.4.2	Consideraciones generales para la aplicación de la prueba Z en la comparación de calificaciones obtenidas por distintas metodologías de trabajo .....	159
4.4.3	Seminario evaluado 1 vs Laboratorio 3.....	159
4.4.4	Seminario evaluado 2 vs Laboratorio 3.....	160
4.5	Evaluación de los resultados obtenidos por los alumnos en los laboratorios de prospección, respecto a los trabajos grupales realizados en el ciclo 2020 - I.....	161
4.6	Evaluación de los resultados obtenidos por los alumnos en los laboratorios de prospección, respecto a los trabajos grupales realizados en el ciclo 2019 - II.....	162
4.7	Apreciación cualitativa de los laboratorios como reemplazo del proyecto grupal del curso de Mecánica Dinámica en la Universidad de Piura .....	163
4.7.1	¿Por qué es mejor desarrollar los laboratorios de aprendizaje como una alternativa a los proyectos grupales antes desarrollados en el curso de Mecánica Dinámica? .....	164
4.7.2	¿Por qué es mejor desarrollar los laboratorios de aprendizaje que los seminarios evaluados? .....	165
	Conclusiones.....	167
	Recomendaciones .....	169
	Referencias bibliográficas .....	171
	Apéndices .....	173
	Apéndice A. Solucionario de ejercicios del laboratorio de aprendizaje 1.....	175
	Ejercicio 1 – Solucionario .....	175
	Ejercicio 2 – Solucionario .....	178
	Apéndice B. Solucionario de ejercicios del laboratorio de aprendizaje 2.....	181
	Ejercicio 1 – Solucionario .....	181
	Apéndice C. Solucionario de ejercicios del laboratorio de aprendizaje 3.....	188

Ejercicio 1 – Solucionario .....	188
Ejercicio 2 – Solucionario .....	191
Apéndice D. Solucionario de ejercicios del laboratorio de prospección 4.....	196
Ejercicio 1 – Solucionario .....	196
Ejercicio 2– Solucionario .....	201
Apéndice E. Solucionario de ejercicios del Informe de Laboratorio 1 .....	205
Ejercicio 1 – Solucionario .....	205
Ejercicio 2 – Solucionario .....	208
Apéndice F. Solucionario de ejercicios del Informe de Laboratorio 2 .....	212
Ejercicio 1– Solucionario .....	212
Apéndice G. Solucionario de ejercicios del Informe de Laboratorio 3.....	216
Ejercicio 1– Solucionario .....	216
Apéndice H. Solucionario de ejercicios del Informe de Laboratorio 4.....	219
Ejercicio 1 – Solucionario .....	219
Anexos .....	221
Anexos A. Encuesta 1, ejercicios 1 y 2; laboratorio prospectivo 3.....	223
Anexo B. Encuesta 2, ejercicios 1, 2 y 3; laboratorio prospectivo 4.....	225
Anexo C. Replicación de una onda sísmica sobre roca y arena.....	226
Anexo D. Aplicación de un modelo de onda sísmica sobre un pórtico de concreto, para el cálculo de derivas, utilizando elementos de rigidez controlada. ....	228



## Lista de tablas

Tabla 1 Distribución de los laboratorios, curso: Diseño Mecánico .....	42
Tabla 2 Trabajo final, curso: Diseño Mecánico.....	43
Tabla 3 Distribución del puntaje de los laboratorios .....	68
Tabla 4 Distribución de temas académicos a desarrollar en cada laboratorio .....	69
Tabla 5 Distribución de temas de manejo del <i>software Working Model</i> .....	70
Tabla 6 Detalle de restricciones disponibles en el <i>software Working Model</i> .....	75
Tabla 7 Espacio de trabajo, Ejercicio 1 - Laboratorio 1. ....	79
Tabla 8 Formas y restricciones, Ejercicio 1 - Laboratorio 1 (Parte 1).....	79
Tabla 9 Formas y restricciones, Ejercicio 1 - Laboratorio 1 (Parte 2).....	80
Tabla 10 Elementos de programación directa, Ejercicio 1 - Laboratorio 1. ....	80
Tabla 11 Programación de condiciones iniciales, Ejercicio 1 - Laboratorio 1. ....	81
Tabla 12 Control de pausa, Ejercicio 1 - Laboratorio 1. ....	81
Tabla 13 Programación de resultados, Ejercicio 1 - Laboratorio 1.....	82
Tabla 14 Espacio de trabajo, Ejercicio 2 - Laboratorio 1. ....	85
Tabla 15 Formas y restricciones, Ejercicio 2 - Laboratorio 1 (Parte 1).....	85
Tabla 16 Formas y restricciones, Ejercicio 2 - Laboratorio 1 (Parte 2).....	86
Tabla 17 Formas y restricciones, Ejercicio 2 - Laboratorio 1 (Parte 3).....	87
Tabla 18 Formas y restricciones, Ejercicio 2 - Laboratorio 1 (Parte 3).....	87
Tabla 19 Elementos dinámicos, Ejercicio 2 - Laboratorio 1 (Parte 1).....	88
Tabla 20 Elementos dinámicos, Ejercicio 2 - Laboratorio 1 (Parte 2).....	88
Tabla 21 Control de pausa, Ejercicio 2 - Laboratorio 1. ....	89
Tabla 22 Programación de resultados, Ejercicio 2 - Laboratorio 1.....	89
Tabla 23 Espacio de trabajo, Ejercicio 1, caso 1 – Laboratorio 2. ....	93
Tabla 24 Formas y restricciones, Ejercicio 1, caso 1 – Laboratorio 2 (Parte 1). ....	93
Tabla 25 Formas y restricciones, Ejercicio 1, caso 1 – Laboratorio 2 (Parte 2). ....	94
Tabla 26 Elementos dinámicos, Ejercicio 1, caso 1 – Laboratorio 2 (Parte 1).....	95
Tabla 27 Elementos dinámicos, Ejercicio 1, caso 1 – Laboratorio 2 (Parte 2).....	96
Tabla 28 Control de pausa, Ejercicio 1, caso 1 – Laboratorio 2.....	96
Tabla 29 Programación de resultados, Ejercicio 1, caso 1 – Laboratorio 2.....	97
Tabla 30 Elementos dinámicos, Ejercicio 1, caso 2 – Laboratorio 2.....	99
Tabla 31 Control de pausa, Ejercicio 1, caso 2 – Laboratorio 2.....	99
Tabla 32 Programación de resultados, Ejercicio 1, caso 2 – Laboratorio 2.....	99
Tabla 33 Espacio de trabajo, Ejercicio 1 - Laboratorio 3. ....	102
Tabla 34 Formas y restricciones, Ejercicio 1 - Laboratorio 3 (Parte 1).....	102
Tabla 35 Formas y restricciones, Ejercicio 1 - Laboratorio 3 (Parte 2).....	103
Tabla 36 Formas y restricciones, Ejercicio 1 - Laboratorio 3 (Parte 3).....	104
Tabla 37 Formas y restricciones, Ejercicio 1 - Laboratorio 3 (Parte 4).....	105
Tabla 38 Elementos dinámicos, Ejercicio 1 - Laboratorio 3 (Parte 1).....	106

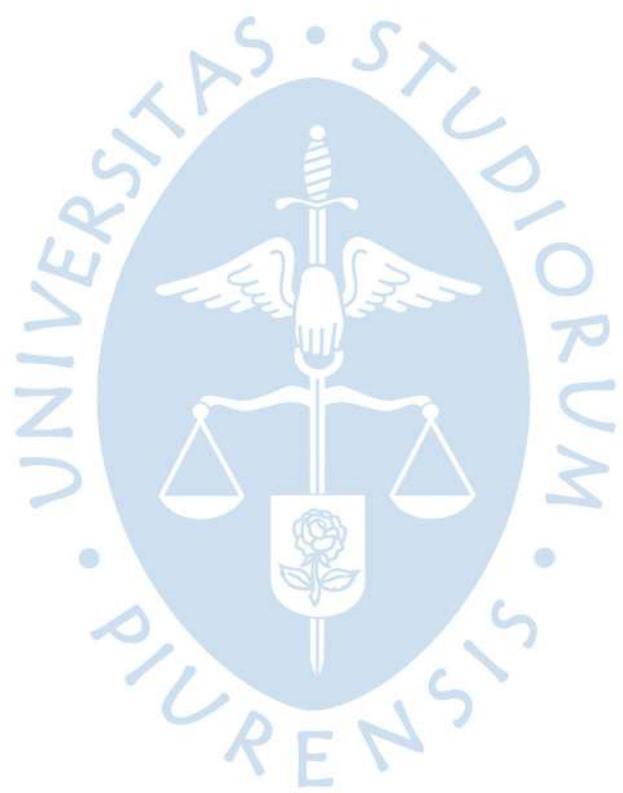
Tabla 39 Elementos dinámicos, Ejercicio 1 - Laboratorio 3 (Parte 2).....	107
Tabla 40 Control de pausa, Ejercicio 1 - Laboratorio 3. ....	107
Tabla 41 Programación de resultados, Ejercicio 1 - Laboratorio 3.....	108
Tabla 42 Espacio de trabajo, Ejercicio 2, caso 1 - Laboratorio 3. ....	112
Tabla 43 Formas y restricciones, Ejercicio 2, caso 1 - Laboratorio 3 (Parte 1).....	112
Tabla 44 Formas y restricciones, Ejercicio 2, caso 1 - Laboratorio 3 (Parte 2).....	113
Tabla 45 Elementos dinámicos, Ejercicio 2, caso 1 - Laboratorio 3 (Parte 1). ....	114
Tabla 46 Elementos dinámicos, Ejercicio 2, caso 1 - Laboratorio 3 (Parte 2). ....	114
Tabla 47 Control de pausa, Ejercicio 2, caso 1 - Laboratorio 3. ....	115
Tabla 48 Programación de resultados, ejercicio 2, caso 1 – laboratorio 3 .....	115
Tabla 49 Formas y restricciones, Ejercicio 2, caso 2 - Laboratorio 3.....	116
Tabla 50 Elementos dinámicos existentes, Ejercicio 2, caso 2 - Laboratorio 3.....	116
Tabla 51 Elementos dinámicos nuevos, Ejercicio 2, caso 2 - Laboratorio 3.....	117
Tabla 52 Elementos dinámicos existentes, Ejercicio 2, caso 3 - Laboratorio 3.....	118
Tabla 53 Espacio de trabajo, Ejercicio 1, caso 1 - Laboratorio 4. ....	121
Tabla 54 Formas y restricciones, Ejercicio 1, caso 1 - Laboratorio 4 (Parte 1).....	121
Tabla 55 Formas y restricciones, Ejercicio 1, caso 1 - Laboratorio 4 (Parte 2).....	122
Tabla 56 Formas y restricciones, Ejercicio 1, caso 1 - Laboratorio 4 (Parte 3).....	123
Tabla 57 Elementos dinámicos, Ejercicio 1, caso 1 - Laboratorio 4 (Parte 1). ....	124
Tabla 58 Control de pausa, Ejercicio 1, caso 1 - Laboratorio 4. ....	125
Tabla 59 Programación de resultados, Ejercicio 1, caso 1 - Laboratorio 4. ....	125
Tabla 60 Espacio de trabajo, Ejercicio 1, caso 2 - Laboratorio 4. ....	126
Tabla 61 Formas y restricciones, Ejercicio 1, caso 2 - Laboratorio 4 (Parte 1).....	127
Tabla 62 Formas y restricciones, Ejercicio 1, caso 2 - Laboratorio 4 (Parte 2).....	127
Tabla 63 Elementos dinámicos. Ejercicio 1, caso 2 - Laboratorio 4. ....	128
Tabla 64 Control de pausa, Ejercicio 1, caso 2 - Laboratorio 4. ....	128
Tabla 65 Programación de resultados, Ejercicio 1, caso 2 - Laboratorio 4. ....	128
Tabla 66 Espacio de trabajo, Ejercicio 2, caso 1 - Laboratorio 4. ....	131
Tabla 67 Formas y restricciones, Ejercicio 2, caso 1 - Laboratorio 4 (Parte 1).....	131
Tabla 68 Formas y restricciones, Ejercicio 2, caso 1 - Laboratorio 4 (Parte 2).....	132
Tabla 69 Elementos dinámicos, Ejercicio 2, caso 1 - Laboratorio 4. ....	132
Tabla 70 Control de pausa, Ejercicio 2, caso 1 - Laboratorio 4. ....	132
Tabla 71 Programación de resultados, Ejercicio 2, caso 1 - Laboratorio 4. ....	133
Tabla 72 Espacio de trabajo, Ejercicio 2, caso 2 - Laboratorio 4. ....	134
Tabla 73 Tabla de resultados, Ejercicio 1 – Informe de laboratorio 1.....	136
Tabla 74 Tabla de resultados, Ejercicio 2 – Informe de laboratorio 1.....	138
Tabla 75 Tabla de resultados, Ejercicio 1 – Informe de laboratorio 2.....	140
Tabla 76 Tabla de resultados, Ejercicio 1 – Informe de laboratorio 3.....	142
Tabla 77 Tabla de resultados, Ejercicio 1 – Informe de laboratorio 4.....	144
Tabla 78 Estadísticas del puntaje obtenido por los alumnos en los informes del Laboratorio 3 .....	157
Tabla 79 Datos estadísticos para prueba “z” Seminario Evaluado 1 vs Laboratorio 3.....	159
Tabla 80 Resultados de prueba “z” Seminario Evaluado 1 vs Laboratorio 3 - <i>MegaStat</i> .....	160
Tabla 81 Datos estadísticos para prueba “z” Seminario Evaluado 2 vs Laboratorio 3.....	160
Tabla 82 Resultados de prueba “z” Seminario Evaluado 2 vs Laboratorio 3 - <i>MegaStat</i> .....	160
Tabla 83 Datos estadísticos para prueba “z” Trabajo grupal 2020 – I vs Laboratorio 3. ....	161
Tabla 84 Resultados de prueba “z” Trabajo grupal 2020 – I vs Laboratorio 3 - <i>MegaStat</i> .....	162
Tabla 85 Datos estadísticos para prueba “z” Trabajo grupal 2019 - II vs Laboratorio 3. ....	162
Tabla 86 Resultados de prueba “z” Trabajo grupal 2019 - II vs Laboratorio 3 - <i>MegaStat</i> .....	163

## Lista de figuras

Figura 1 Ciclo de aprendizaje de Kolb, rediseño <i>EDraw Max</i> .....	24
Figura 2 Complemento computacional del ciclo de aprendizaje de Kolb, rediseño <i>EDraw Max</i> . ....	25
Figura 3 Sistema de aprendizaje 4MAT, rediseño <i>EDraw Max</i> . ....	26
Figura 4 Sistema 4MAT aplicado a la enseñanza en ingeniería.....	27
Figura 5 Desarrollo de un proyecto de diseño y construcción, rediseño <i>EDraw Max</i> . ....	29
Figura 6 Línea de tiempo de <i>softwares CAE</i> desarrollados por DST. ....	30
Figura 7 Proceso de implementación del <i>software Working Model</i> para la investigación y educación. ....	32
Figura 8 Líneas de movimiento de un doble o triple balancín. ....	33
Figura 9 Curva acoplamiento y construcción del enlace. ....	34
Figura 10 Curva de acoplamiento, <i>software Working Model</i> . ....	34
Figura 11 Simulaciones WM 2D que muestran que la relación de transmisión entre dos perfiles involutas es insensible a la modificación de la distancia entre centros.....	36
Figura 12 Simulaciones WM 2D de un tren de engranajes planetarios básico que consta de un engranaje solar de 15 dientes, una corona de 41 dientes, una porta satélites y un plano simple de 13 dientes.....	36
Figura 13 Dinámica de la información compartida entre los programas.....	37
Figura 14 Resultados del seguimiento del punto de paso para un gran ángulo de error. ....	38
Figura 15 Análisis de un mecanismo con seguidor oscilante de cara plana, mostrando el efecto de cambiar la excentricidad del seguidor “e”. ....	38
Figura 16 Síntesis de perfil de leva de un mecanismo con seguidor cilíndrico de traslación. ....	39
Figura 17 Modelo computacional de un mecanismo de golpeo de 4 conexiones.....	40
Figura 18 Modelo computacional de un mecanismo de golpeo de 6 conexiones.....	40
Figura 19 Ejercicio Bunge – Jumping Ejercicio desarrollado con <i>Working Model</i> .....	42
Figura 20 Laboratorios 1 y 2 <i>Working Model</i> . ....	43
Figura 21 Solución de alimentador de particiones en <i>Working Model</i> . ....	43
Figura 22 Mecanismo de movimiento dependiente. ....	44
Figura 23 (a) Tijeras compuestas; (b) Leva con seguidor de cara plana.....	45
Figura 24 (a) Ejercicio propuesto 1; (b) Ejercicio propuesto 2. ....	45
Figura 25 (a) Modelo <i>Working Model</i> de un tren de aterrizaje; (b) Modelo de perfil de un tren de aterrizaje.....	47
Figura 26 Etapas de desarrollo del proyecto grupal en el curso de Mecánica Dinámica.....	50
Figura 27 Máquina Compactadora.....	52
Figura 28 (a) Mecanismo de engranaje de ginebra múltiple; (b) Mecanismo biela manivela.....	53
Figura 29 Prueba de Velocidad en Vehículos Menores.....	53
Figura 30 Modelo a Escala de una Grúa Pluma.....	54
Figura 31 (a) Simulación <i>Working Model</i> de un sistema biela-manivela; (b) Simulación <i>Working Model</i> engranaje de Ginebra de 4 hendiduras.....	55

Figura 32 Simulación de una grúa de pluma, <i>software Working Model</i> ; (a) Vista de perfil; (b) Vista de planta.....	57
Figura 33 (a) Simulación <i>Working Model</i> de una de rigidez limitada ante efecto sísmico; (b) Presentación del modelo a escala, equipo 8.....	57
Figura 34 Simulación <i>Working Model</i> del proceso de embotellamiento.....	59
Figura 35 Simulación <i>Working Model</i> del mecanismo de bombeo de agua.....	59
Figura 36 Simulación <i>Working Model</i> del proceso de mezcla del concreto. ....	60
Figura 37 Distribución de la metodología “LA” basada en el sistema “4MAT” .....	64
Figura 38 Representación simplificada del desarrollo de clases universitarias. ....	64
Figura 39 Esquema del contenido de la Introducción de un laboratorio de prospección. ....	65
Figura 40 Esquema del contenido del “Desarrollo” de un laboratorio de prospección. ....	66
Figura 41 Esquema del contenido del “Análisis de resultados” de un laboratorio de prospección. ....	66
Figura 42 Propuesta de la distribución de las actividades relacionadas de los laboratorios en un ciclo habitual.....	67
Figura 43 Estructura distribución del puntaje de los informes de laboratorio.....	71
Figura 44 Grupos de comandos del <i>Software Working Model</i> . ....	72
Figura 45 Secuencia de programación de las condiciones de espacio en el <i>software Working Model</i> .....	73
Figura 46 Secuencia de creación de formas y elementos dinámicos en el <i>software Working Model</i> .....	74
Figura 47 Secuencia de programación de resultados de un modelo en el <i>software Working Model</i> .....	76
Figura 48 Detalle de la distribución de la pestaña de resultados en el <i>software Working Model</i> . ....	77
Figura 49 Detalle de la distribución de la pestaña de control de pausa en el <i>software Working Model</i> .....	77
Figura 50 Ejercicio 1 - Laboratorio 1, montaña rusa.....	78
Figura 51 Simulación, Ejercicio 1 - Laboratorio 1, estado inicial.....	82
Figura 52 Simulación, Ejercicio 1 - Laboratorio 1, estado final. ....	83
Figura 53 Simulación, Ejercicio 1 - Laboratorio 1, tabla de resultados. ....	84
Figura 54 Rediseño Prob. 12-209 <i>software EDraw Max</i> . ....	84
Figura 55 Simulación, Ejercicio 2 - Laboratorio 1, estado inicial.....	89
Figura 56 Simulación, Ejercicio 2 - Laboratorio 1, estado final. ....	90
Figura 57 Simulación, Ejercicio 2 - Laboratorio 1, función programada. ....	90
Figura 58 Ejercicio 1 - Laboratorio 2, brazo mecánico, vista 3D. ....	92
Figura 59 Ejercicio 1 - Laboratorio 2, brazo mecánico, vista de planta.....	92
Figura 60 Simulación, Ejercicio 1, caso 1 – Laboratorio 2, estado inicial. ....	97
Figura 61 Simulación, Ejercicio 1, caso 1 – Laboratorio 2, estado final. ....	98
Figura 62 Distribución para la programación del Ejercicio 1, caso 2 – Laboratorio 2. ....	98
Figura 63 Simulación, Ejercicio 1, caso 2 – Laboratorio 2, estado inicial. ....	100
Figura 64 Simulación, Ejercicio 1, caso 2 – Laboratorio 2, estado final. ....	100
Figura 65 Ejercicio 1 - Laboratorio 3, rediseño, <i>software EDraw Max</i> .....	101
Figura 66 Simulación, Ejercicio 1 - Laboratorio 3, estado inicial.....	109
Figura 67 Simulación, Ejercicio 1 - Laboratorio 3, estado final. ....	109
Figura 68 Ejercicio 2, caso 1 - Laboratorio 3, Momentum angular. ....	110
Figura 69 Ejercicio 2, caso 2 - Laboratorio 3, Momentum angular. ....	111
Figura 70 Ejercicio 2, caso 3 - Laboratorio 3, Momentum angular. ....	111
Figura 71 Simulación, Ejercicio 2, caso 1 - Laboratorio 3, estado inicial.....	115

Figura 72 Simulación, Ejercicio 2, caso 1 - Laboratorio 3, estado final. ....	115
Figura 73 Simulación, Ejercicio 2, caso 3 - Laboratorio 3, estado inicial. ....	118
Figura 74 Simulación, Ejercicio 2, caso 3 - Laboratorio 3, estado final. ....	118
Figura 75 Ejercicio 1, caso 1 - Laboratorio 4, vibración simple. ....	119
Figura 76 Ejercicio 1, caso 2 - Laboratorio 4, vibración amortiguada, sistema. ....	120
Figura 77 Ejercicio 1, caso 2 - Laboratorio 4, vibración amortiguada, función de desplazamiento. ....	120
Figura 78 Simulación, Ejercicio 1, caso 1 - Laboratorio 4, estado inicial. ....	125
Figura 79 Simulación, Ejercicio 1, caso 1 - Laboratorio 4, estado final. ....	126
Figura 80 Simulación, Ejercicio 1, caso 2 - Laboratorio 4, estado inicial. ....	129
Figura 81 Simulación, Ejercicio 1, caso 2 - Laboratorio 4, estado final. ....	129
Figura 82 Ejercicio 2, caso 1 - Laboratorio 4, péndulo simple. ....	130
Figura 83 Ejercicio 2, caso 2 - Laboratorio 4, péndulo amortiguado por fricción del aire. ....	130
Figura 84 Simulación, Ejercicio 2, caso 1 - Laboratorio 4, estado inicial. ....	133
Figura 85 Simulación, Ejercicio 2, caso 1 - Laboratorio 4, estado final. ....	133
Figura 86 Simulación, Ejercicio 2, caso 2 - Laboratorio 4, estado inicial. ....	134
Figura 87 Simulación, Ejercicio 2, caso 2 - Laboratorio 4, estado final. ....	134
Figura 88 Ejercicio 1 – Informe de laboratorio 1, sistema barra-poleas. ....	136
Figura 89 Ejercicio 2 – Informe de laboratorio 1, circuito de carrera. ....	137
Figura 90 Ejercicio 1 – Informe de laboratorio 2, sillas voladoras. ....	139
Figura 91 Ejercicio 1 – Informe de laboratorio 3, sistema de rieles y resortes. ....	141
Figura 92 Ejercicio 1 – Informe de laboratorio 4, diseño de un sistema de amortiguación. ....	143
Figura 93 Funciones límite para la vibración. ....	143
Figura 94 Análisis de resultados del dictado de los laboratorios de prospección respecto metodologías aplicadas en ciclos académicos anteriores. ....	145
Figura 95 Distribución de los seminarios y laboratorios de <i>Working Model</i> en el curso de Mecánica Dinámica UDEP. ....	146
Figura 96 Portada del documento del laboratorio 3, formato propio del autor. ....	147
Figura 97 Promedio de los resultados obtenidos en la encuesta, Ejercicio 1 - Laboratorio 3. ....	149
Figura 98 Moda de los resultados obtenidos en la encuesta, Ejercicio 1 - Laboratorio 3. ....	149
Figura 99 Promedio de los resultados obtenidos en la encuesta, Ejercicio 2 - Laboratorio 3. ....	151
Figura 100 Moda de los resultados obtenidos en la encuesta, Ejercicio 2 - Laboratorio 3. ....	151
Figura 101 Ejercicio 1 - Laboratorio 4. ....	152
Figura 102 Promedio de los resultados obtenidos en la encuesta, Ejercicio 1 - Laboratorio 4. ....	153
Figura 103 Moda de los resultados obtenidos en la encuesta, Ejercicio 1 - Laboratorio 4. ....	153
Figura 104 Promedio de los resultados obtenidos en la encuesta, Ejercicio 2 - Laboratorio 4. ....	154
Figura 105 Moda de los resultados obtenidos en la encuesta, Ejercicio 2 - Laboratorio 4. ....	155
Figura 106 Promedio de los resultados obtenidos en la encuesta, Ejercicio 3 - Laboratorio 4. ....	156
Figura 107 Moda de los resultados obtenidos en la encuesta, Ejercicio 3 - Laboratorio 4. ....	156
Figura 108 Distribución de data necesaria para prueba estadística Z de dos muestras independientes. ....	158



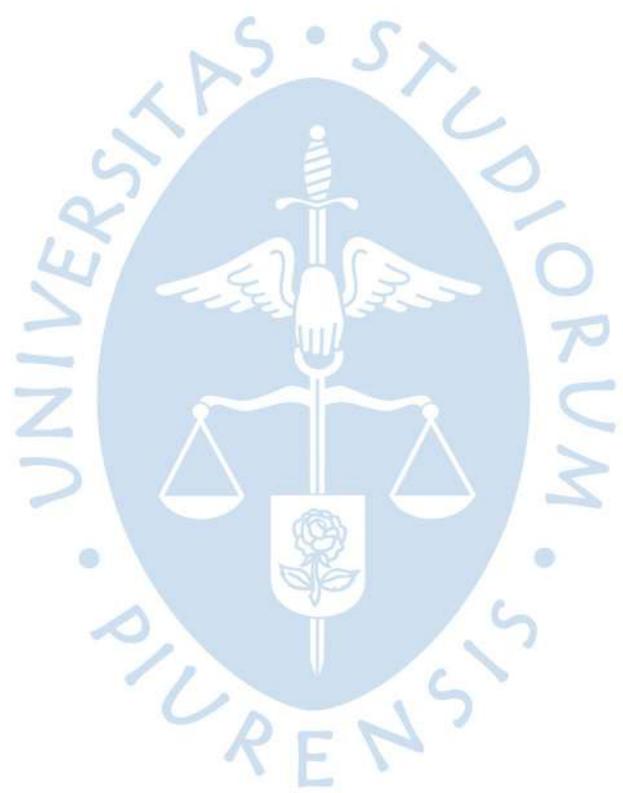
## Introducción

*Working Model* es un *software* CAE (ingeniería asistida por computadora, por sus siglas en inglés) que sirve para la simulación y programación de mecanismos y eventos, haciendo posible su análisis en un entorno virtual, sin la necesidad de construir un modelo físico.

Desde su lanzamiento, el *software* ha sido empleado en distintas áreas del diseño mecánico y como una herramienta computacional para complementar la enseñanza de cursos de nivel universitario, debido a que ofrece una mayor manejabilidad de variables que un laboratorio de física.

El curso de Mecánica Dinámica de la Universidad de Piura desde el año 2017 implementó el *software Working Model* para la simulación de ejercicios. El uso del *software* se enseñaba mediante seminarios y su uso como herramienta computacional ha ido evolucionando hasta conformar parte del trabajo grupal solicitado a los estudiantes cada ciclo académico.

Durante el proceso de implementación del *software Working Model* como una herramienta computacional para el curso de Mecánica Dinámica, ha surgido la necesidad de generar un sistema formal de enseñanza de dicho *software* buscando que este complemento de mejor manera, el dictado habitual de los temas del curso y ayude a los estudiantes en el aprendizaje y puesta en práctica de los conocimientos adquiridos en clase.



## Capítulo 1

### Estado del arte de la introducción e implementación del *software Working Model* como herramienta interactiva en los cursos de ciencias de la ingeniería

En este primer capítulo se dará a conocer los antecedentes que fundamenten el uso del *software Working Model* como una herramienta computacional que permite mejorar el nivel de aprendizaje en los alumnos de ingeniería, concentrándose en 3 tópicos principales:

- Metodologías de enseñanza que mejoren el nivel de aprendizaje de los estudiantes de ingeniería.
- Desarrollo y uso del *software Working Model* para el diseño de mecanismos.
- Implementación del *software Working Model* como una herramienta computacional en los cursos de ingeniería.

De esta forma se establecerá el sustento teórico para desarrollar (en el capítulo 3) una metodología de enseñanza basada en laboratorios de aprendizaje.

#### 1.1 Innovación de la forma de enseñanza en los cursos de diseño, mecánica dinámica y diseño de mecanismos

En el volumen 82 de: "*Journal of Engineering Education*" (A.S.E.E., 1993) se plantea la renovación de la metodología de enseñanza en los cursos de diseño y dinámica considerando las etapas de aprendizaje de un estudiante y la introducción de nuevas herramientas informáticas contemporáneas.

Las nuevas metodologías de enseñanza serían aplicadas en estudiantes durante los dos primeros años de su carrera universitaria en los cursos de "dibujo y diseño técnico" y "dinámica", introduciendo el uso de programas computacionales de diseño CAD.

En la publicación de "*Journal of Engineering Education de 1993*" resaltan dos informes importantes para el desarrollo del presente proyecto: "*Use of the Kolb Learning Cycle and the 4MAT System in Engineering Education*" y "*A Freshman Engineering Design Course*". En dichos informes se dan a conocer las nuevas expectativas de aprendizaje de un estudiante de ingeniería, donde el estudiante pueda ampliar su aprendizaje mediante proyectos de aplicación, herramientas computacionales, resolución de problemas reales, entre otros. Buscando que el conocimiento no se limite a las lecciones teóricas y prácticas impartidas en clases.

A continuación, se dará a conocer la síntesis de dos informes que proponen metodologías que permitan mejorar la enseñanza en los cursos de ingeniería, estos son:

- Uso del ciclo de aprendizaje de Kolb y el sistema 4MAT en la educación en ingeniería (Harb, 1993)
- Curso de diseño de ingeniería de primer año (Dally, 1993)

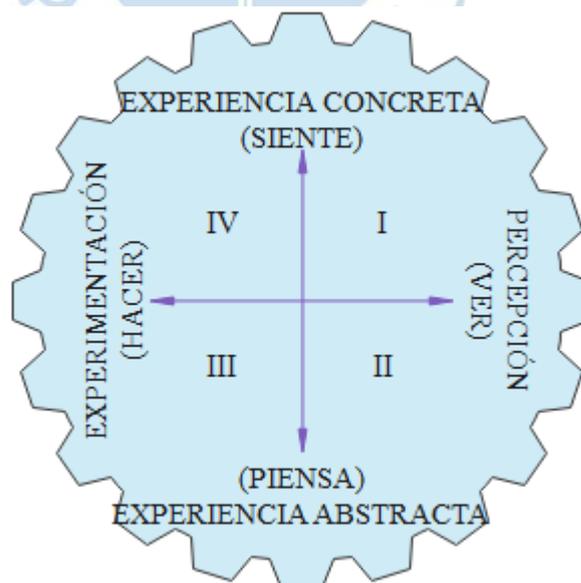
### 1.1.1 **Uso del ciclo de aprendizaje de Kolb y el sistema 4MAT en la educación en ingeniería por JOHN N. HARB – 1993**

En el informe: “El ciclo de aprendizaje de Kolb y el sistema 4MAT en la educación en ingeniería” (Harb, 1993) se concluye que, para mejorar la enseñanza en cursos de ingeniería se debe considerar dos procesos importantes:

- El proceso cognitivo, por el cual un estudiante asimila la información nueva para aplicarla mediante la resolución de problemas y ejercicios. Este proceso se encuentra desarrollado y sustentado mediante “El ciclo de aprendizaje de Kolb”.
- El proceso de ejecución, en el que el docente imparte las lecciones buscando que estas puedan cubrir con el nivel de aprendizaje requerido por los alumnos. Esa metodología se encuentra desarrollada en “El sistema de aprendizaje 4MAT”.

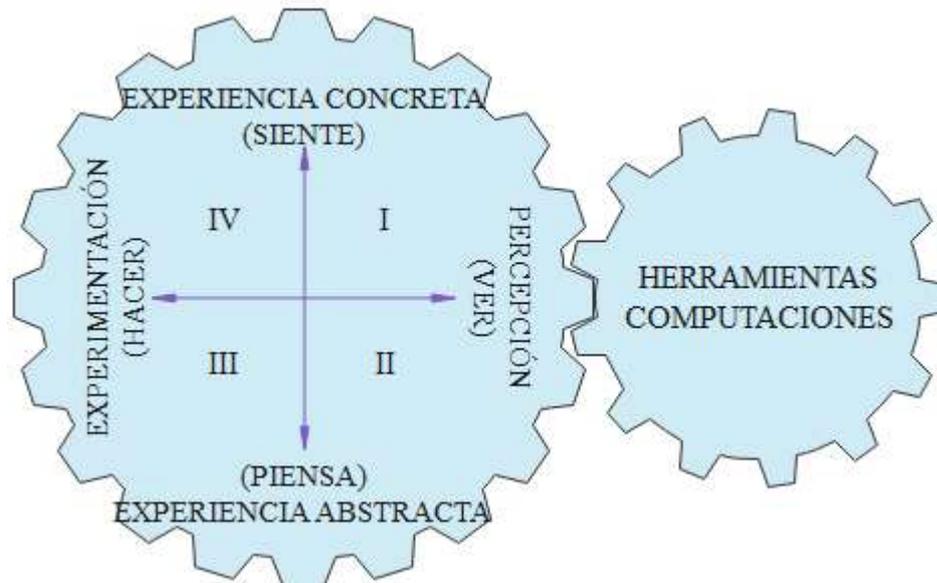
#### 1.1.1.1 **El ciclo de aprendizaje de Kolb (Harb, 1993)**

El ciclo de aprendizaje de Kolb plantea que el proceso de aprendizaje contiene dos dimensiones, **percepción** (relacionada con la observación y como se entiende un evento) y el **procesado** (relacionada con la experimentación y como replicar un evento). Por su parte la función de percepción puede desarrollarse de dos formas **concreta** (corresponde a la información captada de forma física cuando se puede ver, escuchar o sentir un evento) y **abstracta** (corresponde a la información desarrollada mediante ideas conceptos o símbolos). El modelo de Kolb puede representarse de la siguiente manera. (Ver figura 1)



**Figura 1** Ciclo de aprendizaje de Kolb, rediseño *EDraw Max*.  
**Fuente:** Adaptado de Harb (1993)

Generalmente cuando se le presenta al estudiante un nuevo concepto, se espera que este pueda interpretarlo de forma abstracta y pueda integrar los conocimientos teóricos para resolver un problema. En la mayoría de los casos esta metodología no genera los resultados esperados, puesto que no todos los estudiantes tienen desarrolladas las habilidades para poder interpretar un nuevo concepto u evento mentalmente. En ese sentido J. W. Dally (1993) en su publicación “*A Freshman Engineering Design Course*” explica la importancia de incorporar herramientas computacionales para mejorar la recepción de conocimientos de los estudiantes de ingeniería. (Ver figura 2)

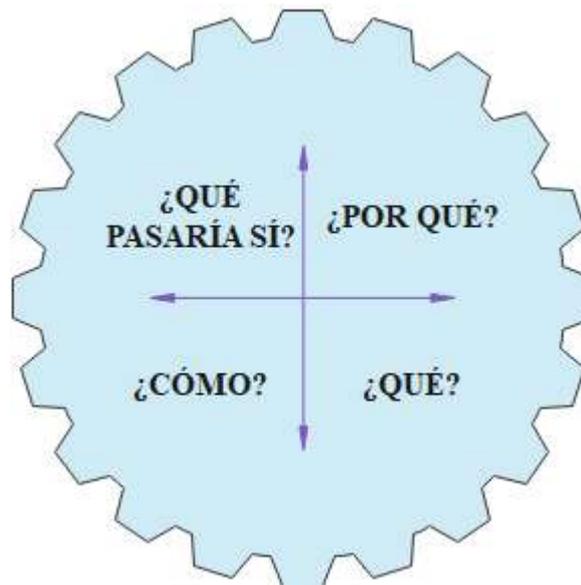


**Figura 2 Complemento computacional del ciclo de aprendizaje de Kolb, rediseño EDraw Max.**

**Fuente: Adaptado de Harb (1993)**

#### 1.1.1.2 El sistema de aprendizaje 4MAT (Harb, 1993)

El sistema de aprendizaje 4MAT plantea que, para obtener el óptimo aprendizaje de un concepto nuevo. El estudiante debe ser capaz responder 4 preguntas que se desarrollan durante el aprendizaje de un concepto nuevo (*¿Por qué?; ¿qué?; ¿Cómo?; ¿Qué pasaría sí?*) de esta forma se asegura que el conocimiento adquirido pueda ser replicado por el estudiante, además de permitirle relacionar distintos conceptos en el análisis de un problema. (Ver figura 3)



**Figura 3 Sistema de aprendizaje 4MAT, rediseño EDraw Max.**

**Fuente: Adaptado de Harb (1993)**

- a. **¿Por qué?** – En este cuadrante se le presenta al estudiante un nuevo concepto, sus fundamentos, importancia, usos y el material de trabajo; estableciendo la base principal con la cual el estudiante se desarrollará en los siguientes cuadrantes. Se debe buscar que la introducción a un nuevo tema sea atractiva y motivadora, estableciendo desde un principio los objetivos y aplicaciones del concepto. Generalmente este cuadrante se desarrolla mediante lecturas, presentaciones, discusión grupal, conferencias, etc. Finalmente, los estudiantes deberán poder responder la pregunta: “¿Por qué estoy aprendiendo esto?”.
- b. **¿Qué?** - En este cuadrante consiste en tres pasos. Primero, se debe presentar la información del problema al estudiante, esta función está asociada al rol del docente. Segundo, el estudiante debe organizar la información otorgada e integrar material nuevo para resolver un problema. Finalmente, se espera que el estudiante piense y analice el problema, evitando la saturación de información y pueda definir los objetivos y resultados buscados. El principal rol del docente es proveer la información necesaria de forma ordenada.
- c. **¿Cómo?** – En este cuadrante se busca que los estudiantes puedan procesar la información por sí mismos, se espera que en esta etapa los conceptos estén interiorizados de tal forma que puedan desarrollar el problema sin el uso de guías y manuales y también se busca la incorporación de *softwares* por sí mismos. Los casos que se desarrollen en esta etapa deben tener como objetivo lo siguiente: Los estudiantes deben de ser capaces aplicar el material y los conocimientos adquiridos en los dos anteriores cuadrantes. Los estudiantes instruidos por los docentes deben poder generar patrones de resolución de problemas. Finalmente, se le debe proporcionar al estudiante un entorno de aprendizaje seguro, en el cual

se puedan equivocar sin riesgo de tener consecuencias en las evaluaciones. El principal rol del docente en este cuadrante es ser “COACH” y poder guiar a los estudiantes.

- d. **¿Qué pasaría sí?** – En este cuadrante se espera que los estudiantes puedan aplicar el material e información reunidos, material brindado por el docente o reunido por su propia cuenta. Este cuadrante difiere del anterior puesto que integra las siguientes preguntas: ¿En qué puede convertirse esto? ¿Qué puedo hacer con esto? y ¿Cómo puedo aplicar esto? Se espera que el estudiante pueda relacionar distintos casos con lo aprendido en anteriores cuadrantes y además pueda resolver dichos problemas. Los objetivos de este cuadrante incluyen: La oportunidad del autodescubrimiento por parte del estudiante, La oportunidad de los estudiantes en compartir sus descubrimientos y finalmente, evaluar el desempeño. En este punto el docente debe evaluar las habilidades de sus estudiantes, mediante evaluaciones calificadas y de ser necesario aplicar acciones correctivas. (Ver figura 4)

Cada estudiante tiene una forma y ritmo de procesar información nueva. Por otro lado, la cantidad de estudiantes en un curso de ingeniería, en la mayoría de casos, excede la capacidad del docente para evaluar y trabajar en cada estudiante buscando estandarizar los conocimientos adquiridos, en ese sentido el sistema de aprendizaje 4MAT podría aplicarse de la siguiente manera para mejorar la recepción y la asimilación de un tema nuevo por un estudiante de ingeniería.

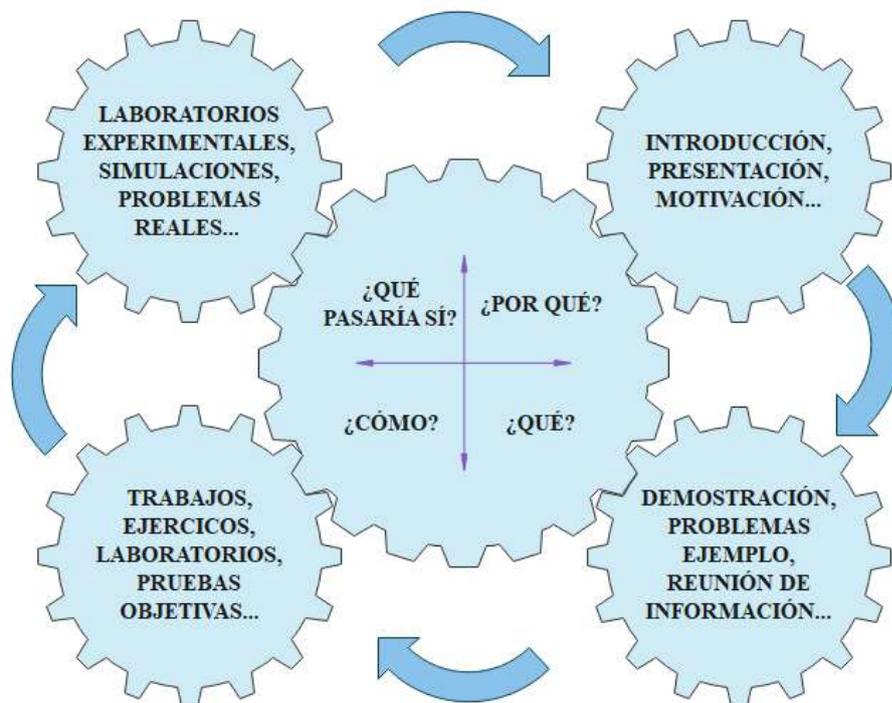


Figura 4 Sistema 4MAT aplicado a la enseñanza en ingeniería.

### **1.1.2 Curso de diseño de ingeniería de primer año J. W. DALLY – 1993 – Universidad de Maryland**

El desarrollo de la tecnología y la creciente competencia en el mercado mundial desafía el sistema educativo para proporcionar a los estudiantes conocimientos, habilidades y experiencias de diseño realistas. Este desafío dio lugar a plantear una reforma educativa en los planes de estudio de ingeniería y ciencias.

Según las observaciones realizadas en estudiantes de ingeniería de la Universidad de Maryland, los cursos desarrollados durante el primer año de la carrera son insatisfactorios para los estudiantes quienes no logran desempeñarse bien y a menudo abandonan las especialidades de la carrera, además de que experimentan poco desarrollo personal. Las causas identificadas son:

- Las materias enseñadas son aisladas y abstractas, con poca aplicación en la realidad y ocasionalmente obsoletas.
- La metodología empleada habitualmente mediante conferencia no proporciona una oportunidad estructurada para que los estudiantes desarrollen sus habilidades de pensamiento.

Los cursos desarrollados en los primeros años de la carrera de ingeniería, no motiva a los estudiantes, puesto que los temas relacionados en el curso no logran concretar un vínculo teoría – aplicación en casos reales, generando una experiencia educativa muy pobre.

#### **1.1.2.1 Aprendizaje impulsado por proyectos**

Para mejorar el desarrollo del curso de diseño en ingeniería J. W. Dally, propone integrar los temas introductorios de cada carrera combinando diseño, teoría y práctica mediante un proyecto grupal. Para ello se agrupan a los estudiantes en equipos para participar en las actividades de diseño asociadas con el proceso de creación de un producto. Obtienen una comprensión conceptual del proceso de diseño de ingeniería a través de una experiencia de aprendizaje activa.

Dicho proyecto está enfocado en desarrollar un producto de calidad confiable y rentable. El proyecto implica pensamiento creativo, aplicación de tecnología moderna y consideraciones económicas. El proyecto debe pasar por las siguientes etapas:

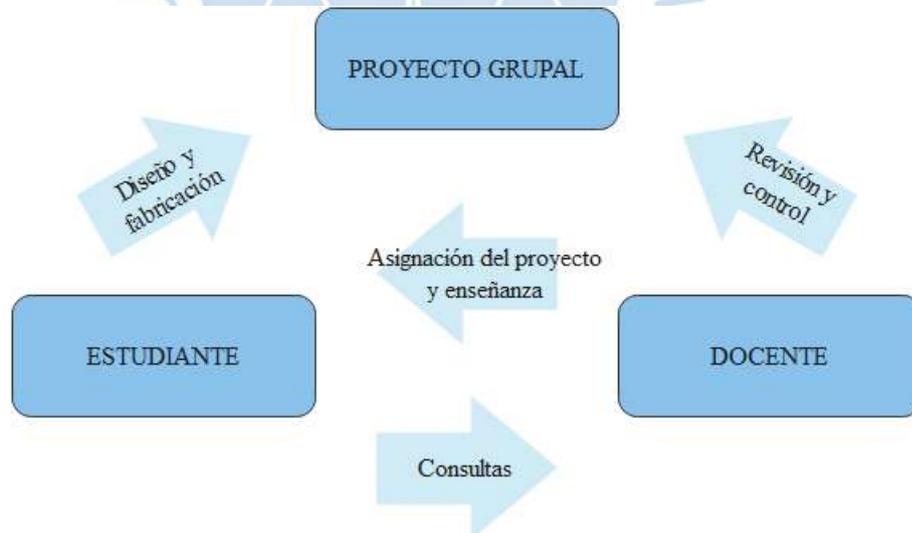
- a. Fase de diseño. Consiste en la formación de equipos, asignación de proyectos, determinación de la configuración general y restricciones, análisis del detalle de los componentes, diseño del paquete (dibujo detallado), revisión y modificación del diseño, lanzamiento del diseño.
- b. Fase de fabricación. Consiste en la disposición y producción de piezas, inspección de calidad, adquisición del hardware, preparación del kit de ensamblaje, modificaciones de diseño y revisiones del diseño.
- c. Fase de ensamblaje. Comprende las actividades de montaje de piezas, prueba de rendimiento y seguridad del producto, mejoras finales, mejoras del proceso de fabricación, resumen del proceso de diseño.

Por medio del desarrollo del aprendizaje impulsado por proyectos se consiguió que los estudiantes mostraran interés en los cursos de diseño, brindándoles, en muchos casos su primera experiencia de diseño de ingeniería.

### 1.1.2.2 Métodos estratégicos de aprendizaje y enseñanza

Las metodologías de enseñanza que J. W. Dally recomienda en su informe son las siguientes:

- Aprendizaje cooperativo a través del trabajo en equipo. La metodología educativa tradicional está basada en el estudio independiente y la competencia, actualmente las asignaciones profesionales para los ingenieros, cada vez más requieren personas que puedan trabajar en grupos productivos como parte de un equipo, por lo tanto, introducir el concepto de trabajo en equipo es imperativo.
- Distribución de tareas. Debido a la complejidad de conocimientos involucrados en un curso de diseño, estos superan la capacidad de un estudiante de primer año. Por ese motivo, para poder ejecutar de forma efectiva un proyecto, se deben establecer primero las fases de diseño, fabricación y montaje, a su vez que, estas deben estar divididas en tareas específicas claramente definidas, para asegurar la Distribución de todos los estudiantes que siguen este proceso de diseño.
- Interacción estudiante – docente. Para asegurar la efectividad de un proyecto, el docente debe ser entusiasta en la enseñanza, participando activamente en las actividades de diseño con sus estudiantes, el docente debe funcionar como consultor de los estudiantes y entrenador para cada equipo. (Ver figura 5)



**Figura 5 Desarrollo de un proyecto de diseño y construcción, rediseño EDRAW Max.**

**Fuente: Adaptado de Dally (1993)**

## 1.2 **Working Model 2D** como herramienta interactiva

Desde sus primeras versiones, el *software Working Model* se destacó su amplio rango de aplicaciones para la simulación y análisis de mecanismos y sistemas. Posteriormente se han ido incorporando características y funcionalidades dando paso a *nuevos softwares* CAE (ingeniería asistida por computadora, por sus siglas en inglés) desarrollados por la empresa *Design Simulation Technologies*. (Ver figura 6)

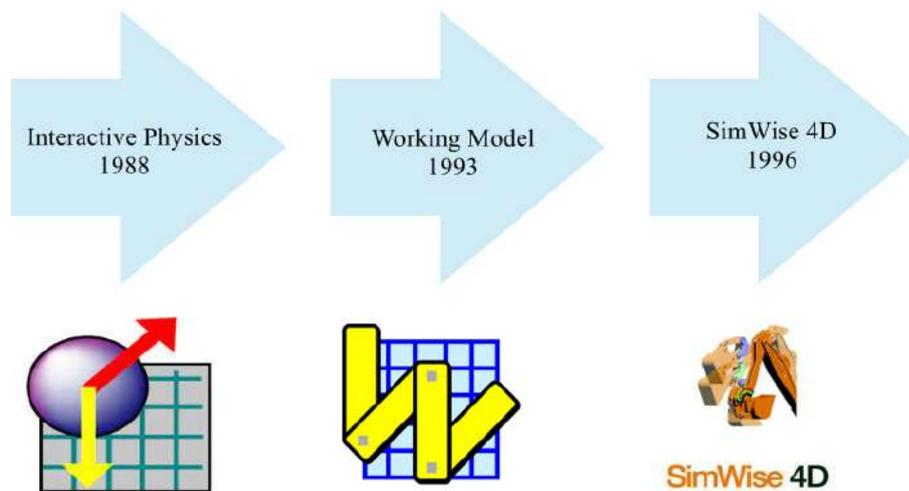


Figura 6 Línea de tiempo de *softwares* CAE desarrollados por DST.

### 1.2.1 **Desarrollo y evolución de softwares CAE para simulación de máquinas y mecanismos**

A continuación, se desarrollará una breve línea de tiempo acerca del desarrollo de *softwares* CAE por parte de la empresa *Design Simulation Technologies*.

#### 1.2.1.1 **Design Simulation Technologies Inc**

La empresa “*MSC. Software Corporation*”, actualmente tiene el nombre de “*Design Simulation Technologies Inc*” actualmente proporciona *softwares* como: *Interactive Physics*, *Working Model 2D* y *SimWise 4D*.

#### 1.2.1.2 **Interactive Physics**

En 1988 *Design Simulation Technologies* lanzo su primer *software* llamado “*Fun Physics*” un programa de fácil configuración y análisis, que podía simular ambientes con aceleración de gravedad variable. Relacionar elementos planos y calcular magnitudes cinemáticas en dirección de los ejes cartesianos.

En 1989 fue renombrado como “*Interactive Physics*” y fue distribuido a lo largo del planeta en 7 diferentes idiomas, su última actualización disponible corresponde al 2005. Actualmente, el *software* está orientado a ser utilizado por estudiantes de colegio.

En el año 2010 *Interactive Physics* fue incorporado a programa de estudios en la NASA para simulaciones basadas en ingeniería aeroespacial, estructuras aeroespaciales, materiales,

condiciones atmosféricas, etc. Mostrando óptimos resultados, ayudando a diseñar sistemas de vehículos terrestres y de transporte aéreo.

### **1.2.1.3 Working Model**

“*Working Model*” fue lanzado en 1993 para la comunidad de ingeniería. Compartía parte de la interfase del *software* predecesor (*Interactive Physics*), pero incorporaba la capacidad de poder importar diseños CAD en formato DXF, generando compatibilidad con programas como *AutoCAD*, *SolidWorks* y añadía también un motor de análisis más potente, la capacidad de incorporar más de un mecanismo de trabajo en un solo modelo de simulación, generar funciones de respuesta en base a valores de entrada, etc. En el año 1996 el *software* fue renombrado como “*Working Model 2D*”. La última versión corresponde a la del año 2006 con una actualización en el año 2011.

### **1.2.1.4 SimWise 4D**

En el año 1996 se lanzó a la venta la primera versión del *software* “*Working Model 3D*”. A partir de la tendencia de la incorporación de herramientas informáticas para mejorar la enseñanza en cursos ingeniería, en el año 1999 el *software* añadió nuevas funcionalidades y características (como análisis de la deformación, fatiga y puntos de falla de los elementos del modelo construido, entre otros), pasando a ser “*Working Model 4D*”. En el año 2000 el *software* fue renombrado como “*VisualNastran 4D*” incluyendo capacidades FEA (análisis de elementos finitos) finalmente en 2005 el *software* fue renombrado como “*SimWise 4D*”.

## **1.2.2 Características y capacidades del software Working Model 2D (WM2D)**

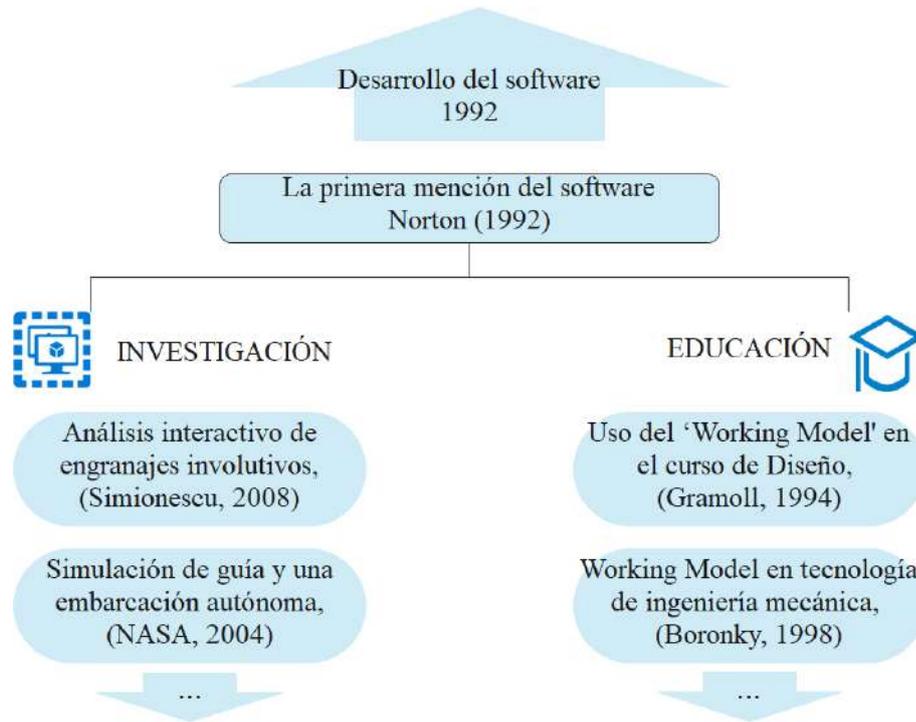
WM2D es un *software* que emplea las leyes de Newton junto con restricciones físicas, fuerzas aplicadas e integración numérica para calcular respuestas cinemáticas y movimiento de cuerpos rígidos. Puede utilizarse en conjunto con programas como Excel, MATLAB y *Dynamic Data Exchange* para exportar resultados. Se puede importar y exportar elementos y formas por medio de ficheros DXF. Las formas geométricas creadas se pueden conectar entre sí rápidamente haciendo uso de articulaciones engranajes, actuadores, cuerdas, carillas, ranuras, curvas, motores, etc. El programa detecta automáticamente colisiones de elementos, puede simular contacto de objetos, colisiones y fricción. También simula elementos flexibles con base a particiones rígidas.

## **1.3 Proceso de implementación del software Working Model como herramienta computacional para el análisis de mecanismos y la enseñanza en cursos de ingeniería**

La primera mención del *software Working Model* como una herramienta computacional aplicable al análisis de mecanismos, se encuentra en el libro del profesor Robert L. Norton de 1992, donde sugiere la aplicación del *software* para desarrollar de forma eficiente la “Síntesis de enlace gráfico” de un mecanismo.

A partir de esta publicación se desarrollaron dos corrientes de uso del *software Working Model*:

- Primera corriente. Orientada al uso del *software* para el análisis y diseño de mecanismos industriales, también se utilizó para poner a prueba prototipos de nuevas tecnologías antes de ser aplicadas en un contexto real.
- Segunda corriente. Orientada a la aplicación del *software* con fines educativos, mediante trabajos grupales y laboratorios aplicación. (Ver figura 7)



**Figura 7** Proceso de implementación del *software Working Model* para la investigación y educación.

En los siguientes apartados se darán a conocer las distintas experiencias de implementación del *software Working Model* como herramienta computacional en la investigación de mecanismos además de experiencias de aplicación del *software* para mejorar el proceso de aprendizaje en cursos de ingeniería.

#### **1.4 Primera mención del *software Working Model*, como herramienta computacional**

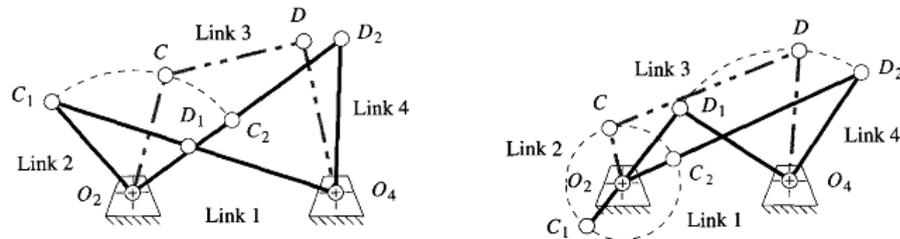
Antes del lanzamiento oficial del *software Working Model* en el año 1993, se utilizaban *softwares* como: *DynaCam*, *TKSolver*, o *MathCad* para diseñar elementos dinámicos de máquinas o mecanismos. En el año 1992, cuando el *software Working Model* aún se encontraba en desarrollo, el profesor Robert L. Norton tuvo acceso a la Beta de dicho *software*, con el fin de aplicar las funcionalidades del *software* en el desarrollo de su libro “Diseño de maquinaria, una introducción a sistemas y análisis de mecanismos y máquinas” que sería publicado ese mismo año.

A continuación, se dará a conocer la aplicación que tuvo el *software Working Model* en el libro del profesor Robert L. Norton.

#### 1.4.1 *Diseño de maquinaria, una introducción a sistemas y análisis de mecanismos y máquinas (Norton, 1992)*

En los dos primeros capítulos del libro “Diseño de maquinaria” (Norton, 1992) se explican los fundamentos que se deben tener en el proceso de diseño y análisis de un mecanismo.

Por otro lado, en el capítulo 3, “Síntesis de enlace gráfico” explica que, la mayoría de máquinas requieren la creación de un dispositivo que tenga un movimiento con características particulares. Por lo tanto, se requiere conocer todas las posiciones de los puntos que componen dicho elemento “A” y “B” para un intervalo de tiempo definido, en el caso de ser movimientos cíclicos o repetitivos, se requiere conocer todas las posiciones por las que pasarán dichos puntos, de esta forma se podrán determinar los enlaces para conseguir el movimiento deseado. (Ver figura 8)

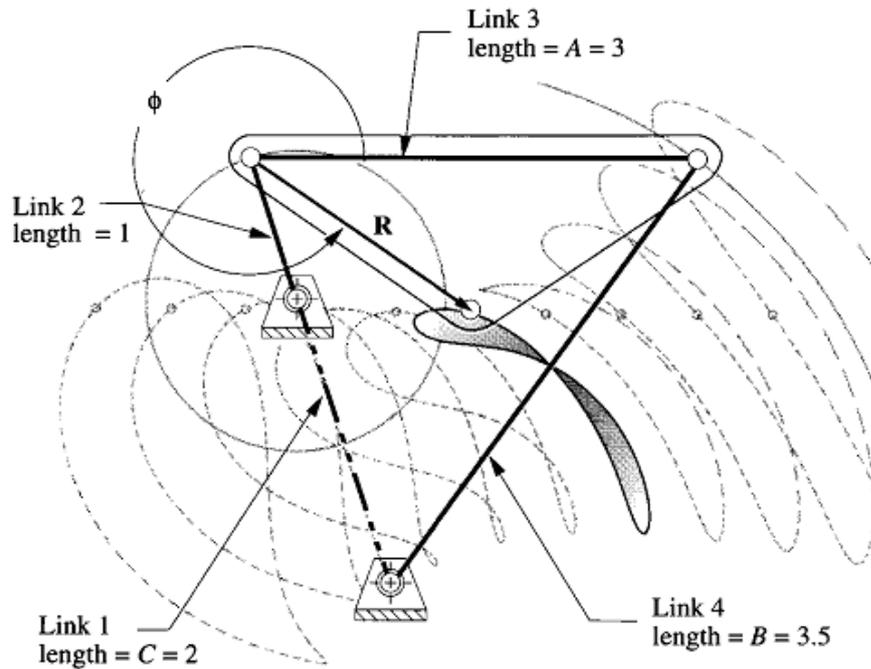


**Figura 8 Líneas de movimiento de un doble o triple balancín.  
Fuente: Extraído de Norton (1992)**

Durante el desarrollo del capítulo se presenta la metodología que se debe utilizar para poder determinar las líneas de desplazamiento de un punto perteneciente a un mecanismo de desplazamiento, cada vez de más elementos y pivotes.

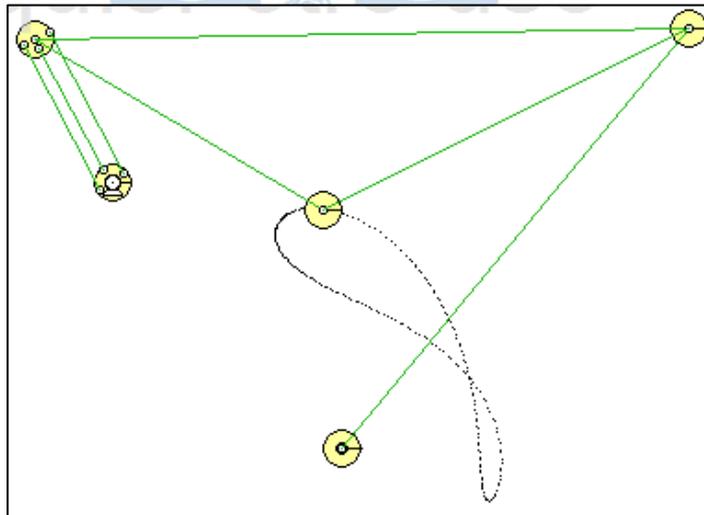
En el acápite “3.6. Curvas de acoplamiento” se explica como el trazo geométrico que se desarrollan en mecanismos que posean 4 enlaces sucesivos “1, 2, 3 y 4” en su configuración. De los cuales, un enlace es fijo “1” siendo “2 y 4” los enlaces adyacentes y el enlace 3 conecta los enlaces “2 y 4”.

Se parte de la premisa de que el enlace 2 debe rotar sobre el vértice “1-2”, de esta forma cualquier punto “R” que parta del vértice “2-3” y esté conectado a este compartiendo su rotación, describirá una curva plana cerrada compuesta de arcos de circunferencia, de darse el caso de que dicha curva posee un vértice de intersección interna, generando dos zonas individuales, implica que dicho punto “R” interceptara con algún enlace durante el movimiento circular del enlace 2. El número de vértices generados indica el número de enlaces interceptados por el punto durante su movimiento. (Ver figura 9)



**Figura 9** Curva acoplamiento y construcción del enlace.  
**Fuente:** Extraído de Norton (1992)

Finalmente, el autor sugiere que: para generar las curvas de acoplamiento es necesario utilizar *softwares* computacionales, de esta forma recomienda “*Working Model 2D*” para la programación y análisis de datos de estos procedimientos. Siendo el primer libro en aplicar el *software* de manera académica para realizar diseños mecánicos. De esta forma se volvería el primer referente de uso del *software* de manera profesional. (Ver figura 10)



**Figura 10** Curva de acoplamiento, *software Working Model*.

La necesidad de renovar las metodologías de enseñanza en cursos de diseño en ingeniería se hizo evidente a partir de tres sucesos importantes:

- Publicación del libro “Diseño de maquinaria” (Norton, 1992) desarrollado en el apartado 1.4.1. del presente informe.
- Lanzamiento de la versión comercial del *software* “Working Model” en 1993.
- “Conferencia y Exposición Anual” de “*The American Society For Engineering Education ASEE de 1993*”, desarrollado en el apartado 1.1. del presente informe. Donde se presenta la importancia de la incorporación de herramientas informáticas en la enseñanza de los cursos de ingeniería.

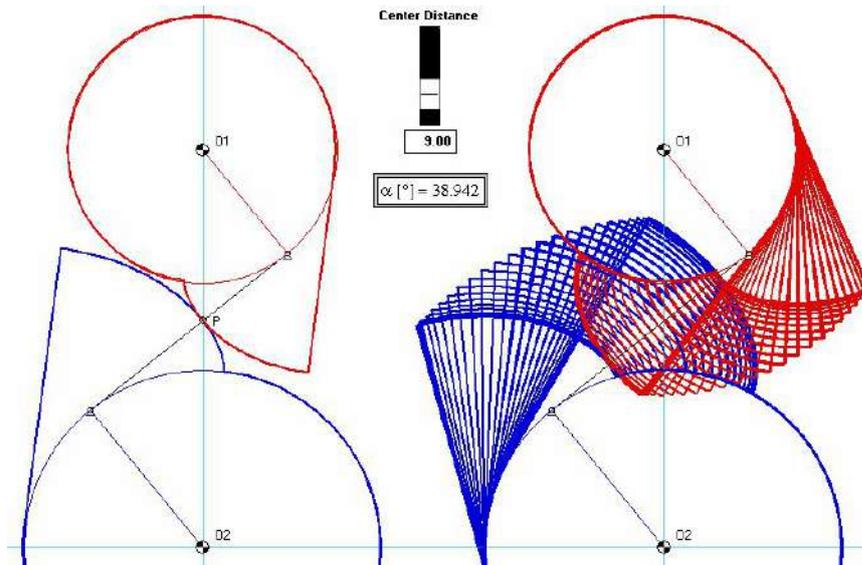
Es entonces donde nacieron dos corrientes para la aplicación del *software Working Model 2D*. La primera utilizaba directamente como herramienta de diseño y simulación en proyectos de investigación, aplicado al análisis de mecanismos de levas, engranajes, sistemas de navegación y máquinas textiles. La segunda corriente direccionada a la aplicación del *software* para mejorar la metodología de enseñanza en cursos de ingeniería.

## **1.5 Aplicación del *software Working Model 2D* como herramienta de diseño y simulación en proyectos de investigación**

En esta sección se dará a conocer la primera corriente de aplicación del *software Working Model 2D* orientada al diseño y simulación de proyectos de investigación desarrollados en distintas universidades.

### **1.5.1 Análisis interactivo de engranajes involutivos y generación de perfiles de dientes usando *Working Model 2D* - Universidad de Alabama en Birmingham**

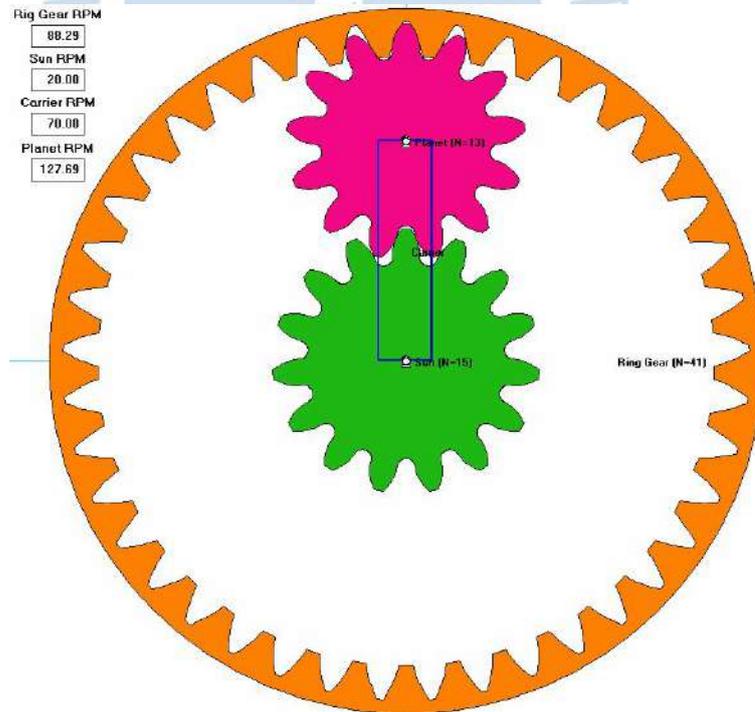
Desarrollado por el profesor Petru-Aurelian Simionescu, en este documento se presenta una metodología de diseño, programación y análisis cinético de engranajes mecánicos, concentrando el diseño en el número de dientes, diámetro del elemento, trayectoria generada entre otros. (Ver figura 11)



**Figura 11 Simulaciones WM 2D que muestran que la relación de transmisión entre dos perfiles involutas es insensible a la modificación de la distancia entre centros.**

**Fuente: Extraído de Simionescu (2007)**

Como parte del proyecto de investigación, también se realizó la construcción y diseño de un sistema de engranajes planetarios. (Ver figura 12)



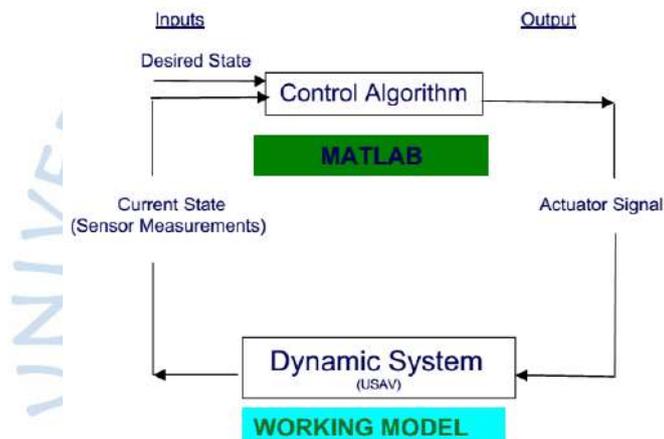
**Figura 12 Simulaciones WM 2D de un tren de engranajes planetarios básico que consta de un engranaje solar de 15 dientes, una corona de 41 dientes, una porta satélites y un plano simple de 13 dientes.**

**Fuente: Extraído de Simionescu (2007)**

Finalmente, el profesor Simionescu concluye que *Working Model 2D* es una herramienta que permite explorar interactivamente las propiedades de los engranajes envolventes, y que este puede ser verificado con todos sus detalles geométricos sin la necesidad de ser construidos.

### 1.5.2 Integración de herramientas de software de simulación de última generación para la guía y el control de una embarcación autónoma de superficie infra activada - Universidad de Maryland Eastern Shore/NASA

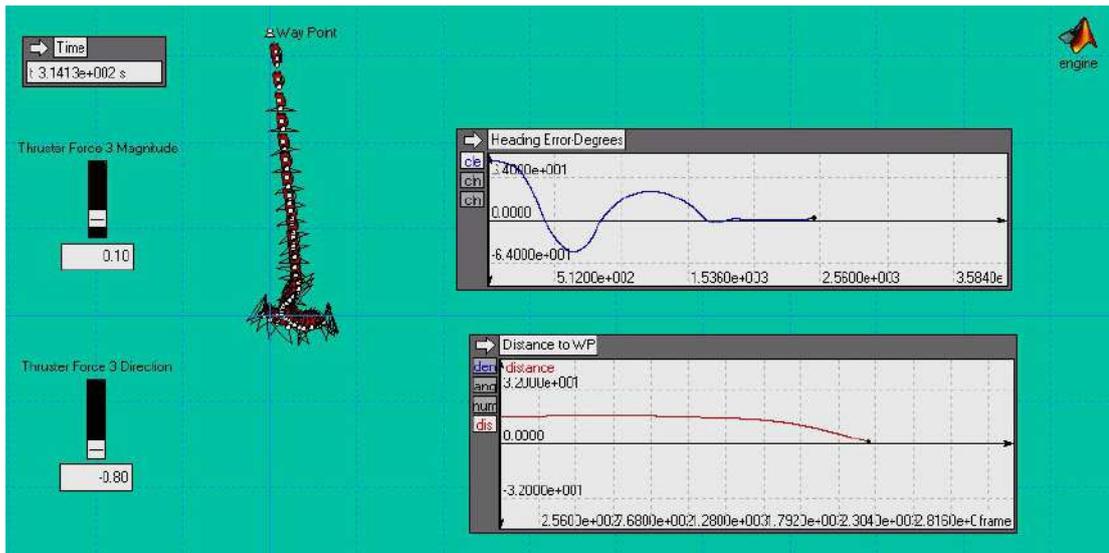
En este proyecto de investigación se explica que muchos submarinos utilizan sistemas de navegación satelital de bajo costo, debido a que la mayoría de proyectos de investigación marítima son subproyectos de programas de investigación biológica de bajo costo. Por lo tanto, el propósito del proyecto es lograr un nuevo sistema de orientación para mejorar la precisión del movimiento y orientación de los submarinos, utilizando los *softwares*: *MATLAB* y *Working Model 2D* en la etapa la verificación de los resultados. (Ver figura 13)



**Figura 13 Dinámica de la información compartida entre los programas.**

**Fuente: Extraído de Nagchaudhuri (2004)**

En la figura 14 se puede ver como un submarino (representado por un rectángulo), modifica su orientación por medio de una fuerza aplicada en cada instante de tiempo (Impulsos). Esta fuerza debe ser la necesaria para direccionar y mover el submarino hasta el punto de llegada. La orientación y la magnitud del vector fuerza se determina mediante un código de *MATLAB*.

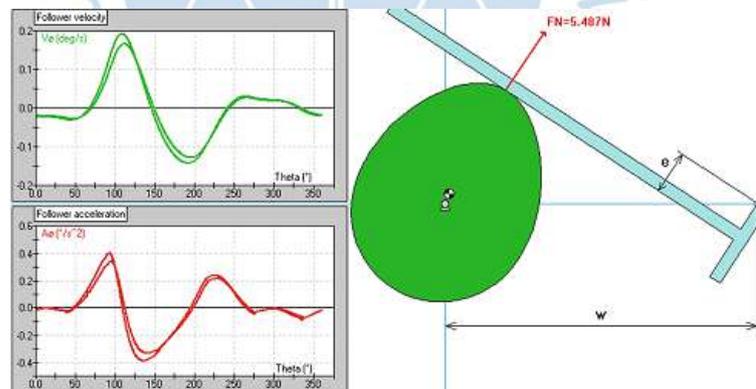


**Figura 14** Resultados del seguimiento del punto de paso para un gran ángulo de error.  
Fuente: Extraído de Nagchaudhuri (2004)

### 1.5.3 Análisis y síntesis de mecanismos de leva plana utilizando el software Working Model 2D - Universidad de Texas A&M-Corpus Christi

El profesor Petru-Aurelian Simionescu presenta la solución a un problema general de contacto entre dos cuerpos usando levas seguidoras. El informe se divide en dos partes:

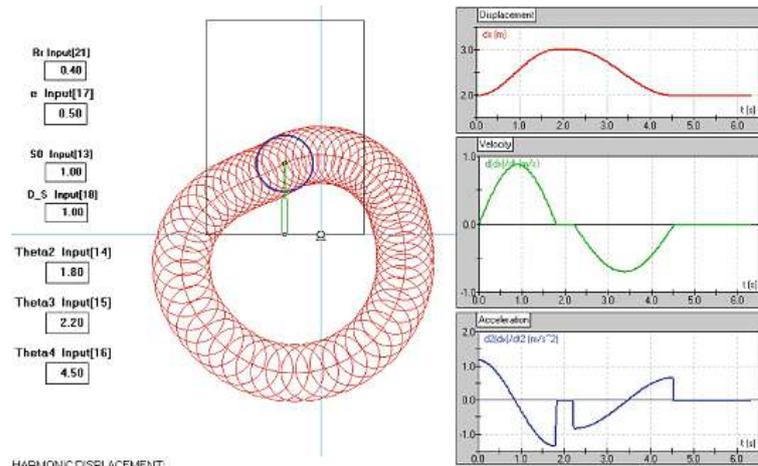
La primera parte analiza la respuesta de un cuerpo sólido ante la acción de movimiento de una leva, modificando su posición e inclinación, además, explica que el análisis de resultados que se debe realizar en un mecanismo de este tipo. (Ver figura 15)



**Figura 15** Análisis de un mecanismo con seguidor oscilante de cara plana, mostrando el efecto de cambiar la excentricidad del seguidor "e".

Fuente: Extraído de Simionescu (2006)

La segunda parte del informe desarrolla la metodología para el diseño del perfil de una leva que genere un desplazamiento controlado. (Ver figura 16)



**Figura 16 Síntesis de perfil de leva de un mecanismo con seguidor cilíndrico de traslación.**

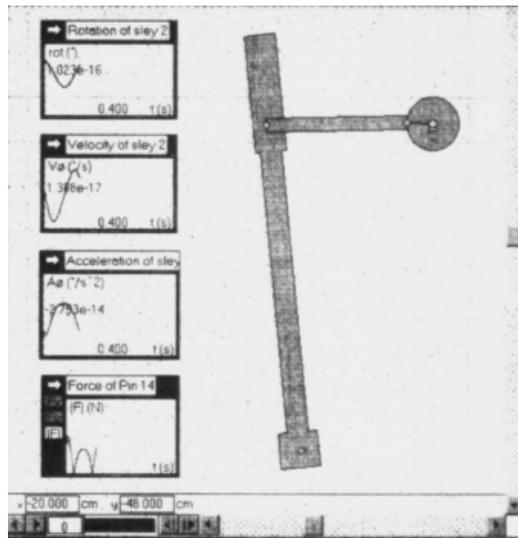
**Fuente: Extraído de Simionescu (2006)**

El profesor Simionescu indica que la ventaja principal de la aplicación del *software* en el diseño y simulación de levas, es la capacidad de importar y exportar documentos DXF que a través de un programa CAD se pueden preparar los planos para pasar a la etapa de construcción.

#### **1.5.4 Análisis asistido por computadora de los mecanismos de golpe del telar - Instituto de Tecnología de Georgia**

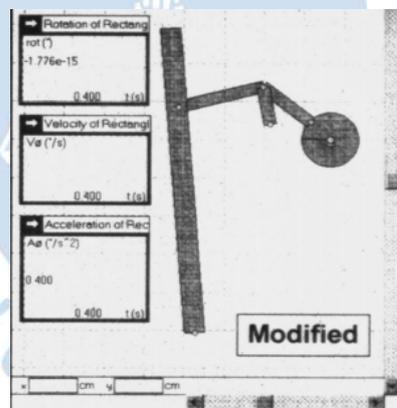
En el año 1998 el profesor Youjiang Wang de la universidad de Georgia, impulsado por la transformación de la industria textil, notó la importancia de la implementación de las nuevas máquinas en el proceso de costura.

En el informe se presenta la simulación de un mecanismo de golpeteo repetitivo utilizado en la mayoría de máquinas de telar de la época, durante el desarrollo del mismo, logró demostrar las fuerzas resultantes y la velocidad que experimenta el elemento de golpe. (Ver figura 17)



**Figura 17 Modelo computacional de un mecanismo de golpeo de 4 conexiones.**  
**Fuente: Extraído de Wang (1998)**

En la segunda parte del informe el profesor Wang presenta el diseño y la simulación de una nueva configuración que pretende aumentar el rango de alcance del elemento de golpe además de la fuerza de aplicación, de esta forma se podría incrementar la producción actual. (Ver figura 18)



**Figura 18 Modelo computacional de un mecanismo de golpeo de 6 conexiones.**  
**Fuente: Extraído de Wang (1998)**

### 1.6 Aplicación del *software* Working Model 2D como herramienta para mejorar la metodología de enseñanza en cursos de diseño, cinética y cinemática en cursos de ingeniería.

En esta sección se dará a conocer la segunda corriente de aplicación del *software Working Model 2D*, orientada a la implementación del *software* como una herramienta

informática en los cursos de ingeniería de distintas universidades, a través de proyectos grupales de construcción y simulación.

### **1.6.1 Uso Del 'Working Model' Para Introducir El Diseño En Un Curso De Ingeniería De Primer Año - Instituto De Tecnología De Georgia**

A partir del lanzamiento oficial de *Working Model*, el Instituto De Tecnología De Georgia fue una de las primeras instituciones universitarias en registrar su uso a nivel universitario.

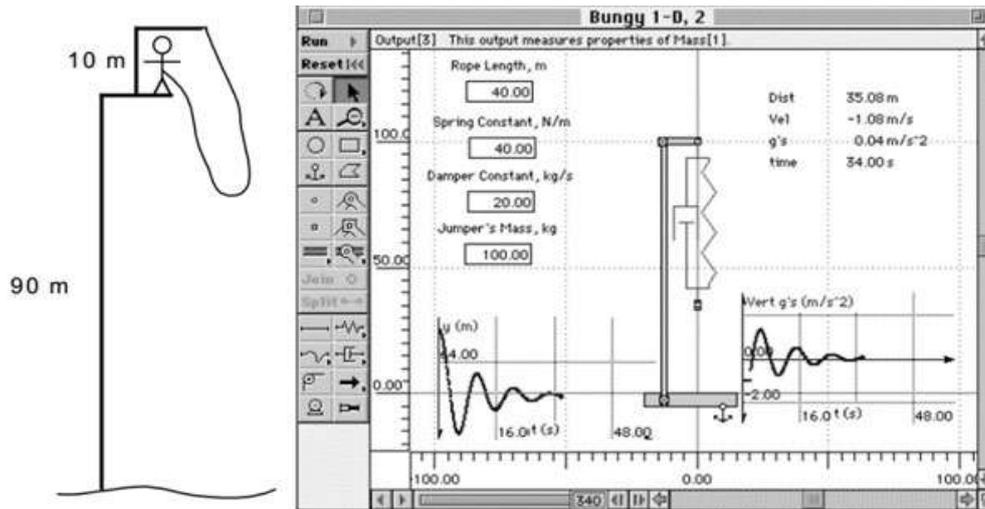
En una época donde el curso de "Introducción a las computadoras" estaba destinado a enseñar materias como: *Word, Excel, TKSolver, MATLAB* se introdujo *Working Model* como una herramienta complementaria en la malla curricular de la facultad de ingeniería en el primer ciclo en el curso de Física.

La estructura del curso consistía en 10 semanas con 4 horas por semana, de las cuales 2 horas se destinaban a la lectura y 2 horas a los laboratorios prácticos. *Working Model* solo tenía 4 horas de laboratorio en el curso.

La configuración de los laboratorios era la siguiente:

- En el primer laboratorio se realizaba la introducción al programa, a través de ejercicios como creación de elementos y aplicación de parámetros físicos directos.
- El segundo laboratorio consistía en el desarrollo de un ejercicio de vibración.

El ejercicio planteado para el segundo laboratorio consistía en la evaluación de un caso de movimiento amortiguado, representado por la caída de una persona que realiza puenting, cuyo enunciado es el siguiente: *Una persona de entre 50 y 100 kilogramos salta de una altura de 90 metros, la persona está conectada a una cuerda elástica de 40 metros, determine el valor de la constante de amortiguación  $C$  y la constante de rigidez del resorte  $K$  para que la aceleración de la persona sea menor a  $2 \text{ m/s}^2$  en ambas direcciones positiva y negativa. (Ver figura 19)*



**Figura 19 Ejercicio Bunge – Jumping Ejercicio desarrollado con *Working Model*.**

**Fuente:** Extraído de Gramoll (1994)

### **1.6.2 Aplicación Del Software *Working Model* En Tecnología De Ingeniería Mecánica - Universidad de Cincinnati / Universidad de Miami**

La implementación del software *Working Model* en la Universidad de Cincinnati y la Universidad de Miami se realizó en el año 1998 en el curso de Diseño Mecánico.

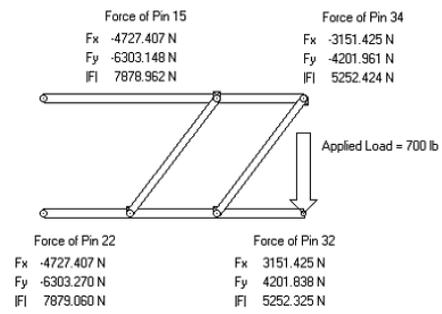
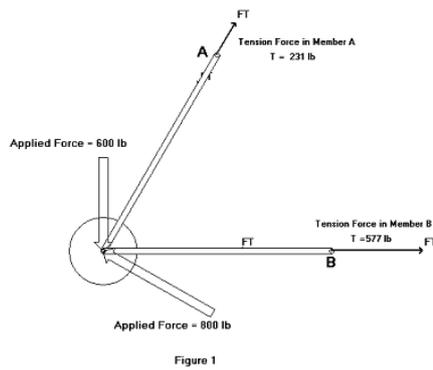
El curso de Diseño Mecánico contaba con una duración de 3 horas por semana, donde 2 horas se designaban a la lectura y desarrollo de conceptos y una hora de laboratorio. El programa *Working Model* contaba con 4 laboratorios demostrativos y un proyecto grupal de diseño.

#### **1.6.2.1 Distribución de laboratorios y proyecto final en la Universidad de Cincinnati**

En la tabla 1 se puede apreciar la distribución de los laboratorios asignados en un periodo académico en el curso de Diseño Mecánico de la Universidad de Miami.

**Tabla 1 Distribución de los laboratorios, curso: Diseño Mecánico**

<i>Laboratorio 1</i>	Destinado a conocer las características principales del programa, paso a paso, se introducía la creación de elementos sólidos y aplicación de vectores puntuales. (Ver figura 20)
<i>Laboratorio 2</i>	Consistía en la elaboración de una armadura a partir de elementos sólidos, el propósito de este laboratorio radica en unir elementos sólidos y calcular las reacciones ante la aplicación de una fuerza puntual en el extremo de la estructura. (Ver figura 20)
<i>Laboratorio 3 y 4</i>	Enfocados en la elaboración de elementos dinámicos de 4 a más enlaces, el objetivo de este laboratorio es determinar las magnitudes de respuesta al movimiento.

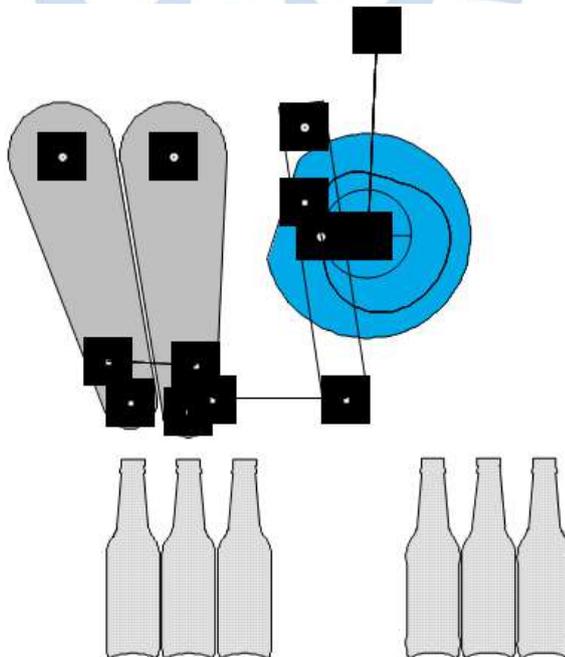


**Figura 20 Laboratorios 1 y 2 Working Model.**  
**Fuente: Extraído de Boronkay (1998)**

En la tabla 2 se muestra el trabajo final asignado en un periodo académico en el curso de Diseño Mecánico de la Universidad de Miami.

**Tabla 2 Trabajo final, curso: Diseño Mecánico**

Proyecto final	Se asigna a varios equipos la construcción de un mecanismo funcional, para el cual cuentan con dos semanas y 4 horas de laboratorio. Se espera que a partir de las especificaciones brindadas al alumno este pueda programar el mecanismo utilizando el <i>software</i> . (Ver figura 21)
----------------	---



**Figura 21 Solución de alimentador de particiones en Working Model.**  
**Fuente: Extraído de Boronkay (1998)**

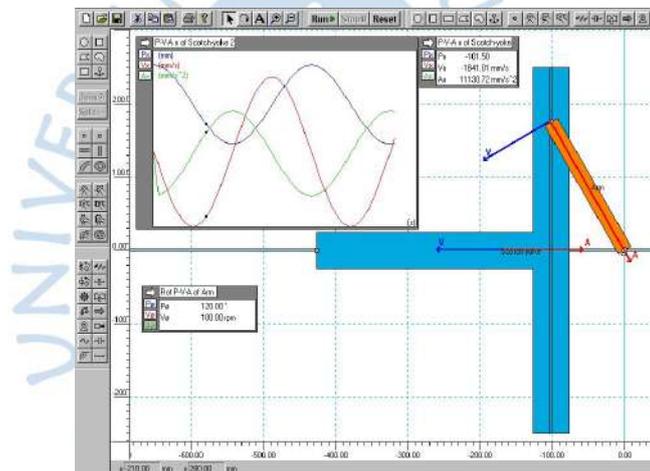
Con la metodología aplicada, el 71% de los estudiantes obtuvieron calificaciones excelentes mientras que el resto obtuvo calificaciones promedio.

### 1.6.3 Incorporación de *Working Model* laboratorios con una metodología similar

En este apartado se dará a conocer experiencias de distintas universidades que implementaron el *software Working Model 2D* en la enseñanza de cursos de ingeniería, utilizando metodologías similares a las empleadas por el Instituto De Tecnología De Georgia, la Universidad de Cincinnati y la Universidad de Miami presentadas en los acápites 1.6.1 y 1.6.2.

#### 1.6.3.1 Universidad Purdue North Central

El profesor Edward M. Vavrek incorporo el *software* en el año 2000 como parte del curso de cinemática por medio de proyectos dirigidos, mediante mecanismos de levas, engranajes planetarios, mecanismos biela manivela, mecanismos de movimiento restringido entre otros. (Ver figura 22)



**Figura 22 Mecanismo de movimiento dependiente.**

**Fuente: Extraído de Vavrek (2002)**

#### 1.6.3.2 Universidad Estatal A&T de Carolina del Norte Greensboro

En un proyecto dirigido por el profesor Shih-Liang Wang se implementó *Working Model* como parte del curso de cinemática, en el diseño, análisis y modelación de mecanismos como: engranajes, sistemas de movimiento lineal, herramientas de contacto y levas. (Ver figura 23)

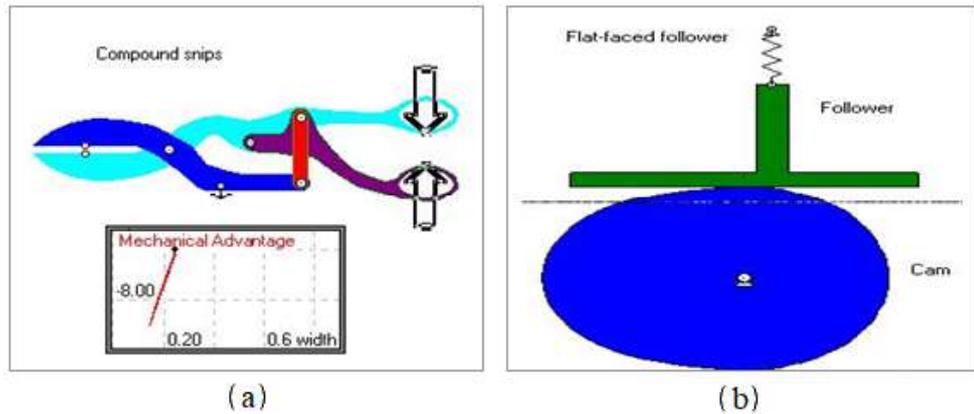


Figura 23 (a) Tijeras compuestas; (b) Leva con seguidor de cara plana.  
Fuente: Extraído de Wang (1998)

#### 1.6.4 Máquinas Y Mecanismos, Análisis Cinemático Aplicado - David H. Myszka - Universidad de Dayton

El presente es un libro de Dinámica de Mecanismos que plantea la construcción de varios ejercicios utilizando el *software Working Model*.

En el desarrollo del capítulo “Construcción De Modelos Computacionales De Mecanismos Utilizando *Working Model*” se plantea una secuencia de pasos para simular, utilizando el *software Working Model* los modelos propuestos en la figura 24.

El principal inconveniente que tiene este libro es la baja cantidad de ejercicios resueltos y no posee un análisis de resultados muy profundo.

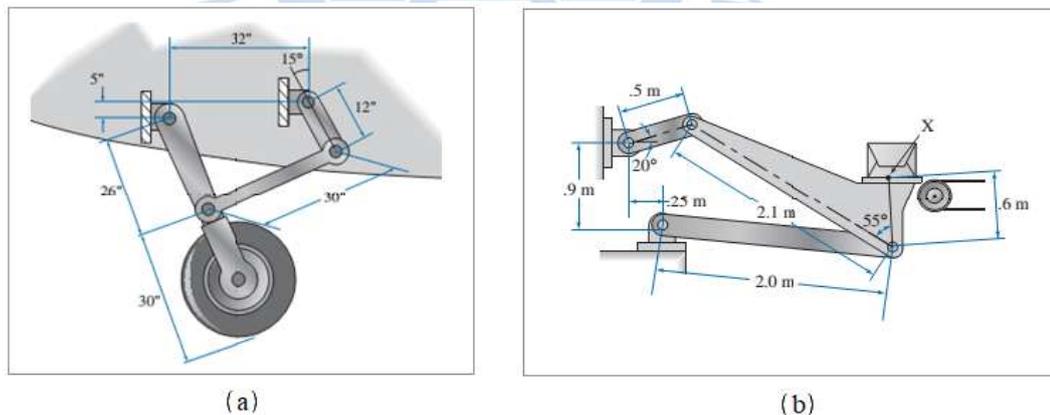


Figura 24 (a) Ejercicio propuesto 1; (b) Ejercicio propuesto 2.  
Fuente: Extraído de Myszka (1999)

#### 1.7 Desarrollo del *software Working Model 2D* en el Perú

Actualmente la mayoría de las universidades no utilizan el *software Working Model* como una herramienta formal para la enseñanza de los cursos de física o dinámica.

La metodología actual de enseñanza consiste en clases magistrales, donde la secuencia de la enseñanza en los cursos de dinámica o física consiste en la presentación de la teoría y aplicación de conceptos mediante ejercicios prácticos, en muchos casos se utiliza material didáctico físico como modelos a escala o videos representativos como parte del material audiovisual del curso.

Para la simulación de eventos, en el curso de “Física”, muchas universidades utilizan herramientas como laboratorios virtuales “*FísicaLAB*”. En el curso de “Diseño Mecánico” es muy común el uso de “*MATLAB*” como herramienta de programación de mecanismos lineales. Para casos de simulación y diseño es muy común el uso del complemento “*Motion* para *SolidWorks*”.

En la “Universidad de Piura” en curso de “Mecánica Dinámica” que es obligatorio para los programas académicos de “Ingeniería Mecánica Eléctrica” e “Ingeniería Civil”. Los temas abordados en dicho curso, son ejemplos que no pueden ser desarrollados por medio de los laboratorios de física, por otro lado, la enseñanza de programación y simulación de mecanismos mediante los programas “*MATLAB*” y “*Motion* de *SolidWorks*”, no es factible debido a su complejidad de su utilización además que los mencionados programas son enseñados como especialidad en el programa académico de “Ingeniería Mecánica Eléctrica” poniendo en desventaja a los alumnos del programa académico de “Ingeniería Civil” quienes están enfocados más a la construcción y diseño de edificaciones con programas como “*AutoCAD*” y “*SAP2000*”.

Teniendo en consideración lo antes mencionado, el curso de Mecánica Dinámica implementó el *software Working Model 2D* para simular ejercicios de los temas de: cinemática y cinética, también se empleó para simular mecanismos industriales, posteriormente dichos diseños pasarían por un proceso de construcción como parte de los proyectos grupales del curso.

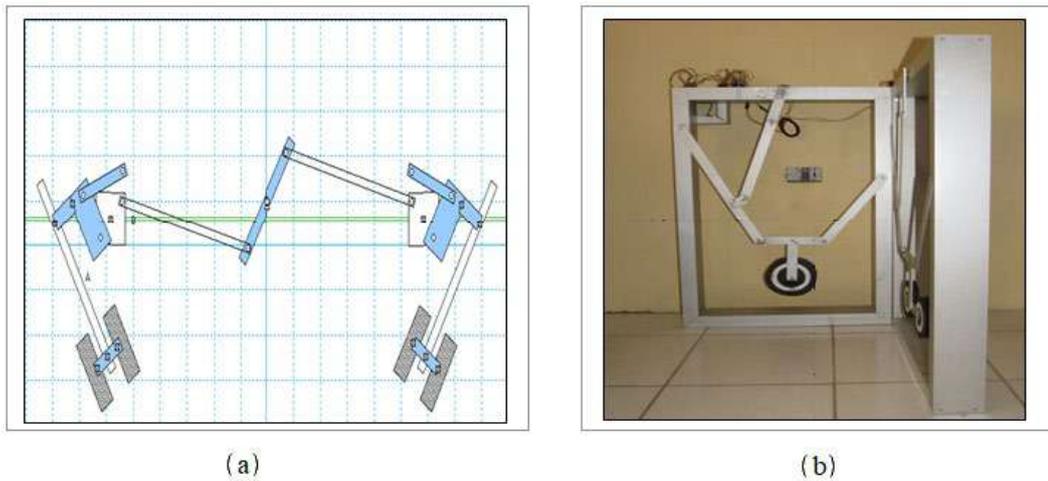
### **1.7.1 Aplicación de Working Model en el curso de Mecánica Dinámica en la Universidad de Piura**

El programa *Working Model* se introdujo como parte la innovación tecnológica, desplazando los modelos físicos a escala que se utilizaban en el curso, mejorando la parte didáctica del curso.

Inicialmente se introdujo para el análisis de ejercicios propuestos típicos del curso, en el área de cinemática en el año 2017 y se utilizaba como una herramienta adicional a las clases de diseño sin influencia directa en la calificación de los estudiantes.

A partir del año 2018 se utilizó el programa en el área de diseño y simulación de mecanismos industriales complejos, como parte del proyecto grupal del curso. Donde a cada equipo se le asignaba un proyecto, este debía pasar por distintas fases: Fase de análisis, que corresponde a todos los cálculos cinéticos y cinemáticos que comprendía el mecanismo. Fase de diseño y simulación, comprendía el diseño de elementos utilizando *softwares CAD* y su respectiva verificación utilizando *Working Model*. Fase de construcción, comprendía la

fabricación y ensamblado de piezas, además de las respectivas pruebas. Fase de presentación, conocida como “Expo MDI” donde se presentaban durante 1 día los modelos construidos a los estudiantes de la universidad, docentes, autoridades y público en general. (Ver figura 25)

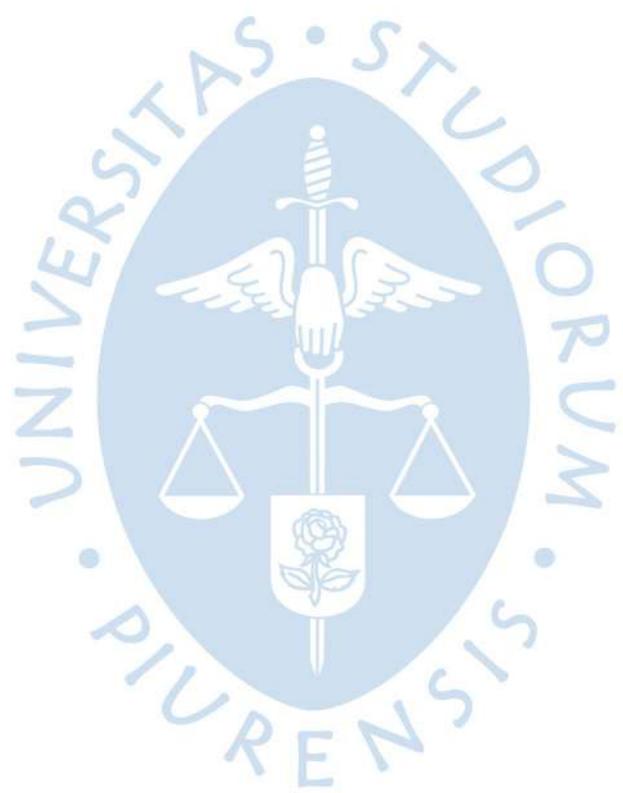


**Figura 25 (a) Modelo Working Model de un tren de aterrizaje; (b) Modelo de perfil de un tren de aterrizaje.**

**Fuente: Galería virtual MDI (2018)**

Si bien la evolución del *software Working Model* en el curso de “Mecánica Dinámica” ha sido beneficiosa para el estudiante de ingeniería, no se obtienen resultados comparables con otras universidades donde se aplicó el *software* de forma exitosa. Esto se debe a que a la actualidad no se cuenta con un sistema formal de introducción al programa.

Por lo antes expuesto, el propósito de este informe es desarrollar la metodología necesaria para mejorar la enseñanza en el curso de Mecánica Dinámica a través de laboratorios de *Working Model*.



## Capítulo 2

### Experiencia de la aplicación de la herramienta *Working Model* en la Universidad de Piura en el curso de Mecánica Dinámica

En este capítulo se dará a conocer la estructura actual del curso de Mecánica Dinámica además del proceso de evolución a lo largo del tiempo, de los proyectos grupales desarrollados en dicho curso.

Para el análisis de la evolución de los proyectos grupales del curso de Mecánica Dinámica, se tomará como punto de partida el periodo académico 2009 – II, donde los proyectos grupales consistían en la construcción de mecanismos que serían analizados numéricamente utilizando los conocimientos adquiridos en el desarrollo del curso. Posteriormente, en el año 2015, se implementó el *software Working Model* con el fin de realizar simulaciones de los mecanismos que posteriormente serían construidos. Finalmente, en el año 2020 se realizaron proyectos grupales de simulación de sistemas mecánicos y procesos industriales.

#### 2.1 Desarrollo habitual del curso de Mecánica Dinámica en la Universidad de Piura

Habitualmente el curso de mecánica dinámica en la Universidad de Piura tiene un valor de cuatro créditos académicos que se desarrollan durante 4 horas de dictado de clase por semana durante 11 semanas. Utilizando la metodología actual de evaluación el 50% del curso es determinado por medio de dos exámenes teórico-prácticos, a la mitad y al final del curso. El 25% corresponde a la evaluación de 4 prácticas calificadas distribuidas durante las 11 semanas, finalmente un proyecto grupal que se desarrolla durante 8 semanas.

#### 2.2 Evaluaciones teórico-prácticas

Representa el 75% de la calificación en el curso. Cada práctica calificada comprende la resolución de 4 ejercicios prácticos relacionados con la teoría y demostraciones realizadas en dos semanas de clases, su duración es de 1 hora y 40 minutos. Por su parte los exámenes parciales comprenden la resolución de entre 4 a 6 ejercicios prácticos de una complejidad mayor y puede incluir preguntas teóricas, se evalúa en cada oportunidad el 50% del contenido del curso.

La estructura antes mencionada se lleva aplicando por más de 8 años, dicha estructura tuvo que modificarse debido eventualidades ajenas al control de la universidad, por ejemplo: fenómeno de “El Niño” en el año 2017 y el paso a la modalidad de enseñanza virtual ocasionado por las medidas de aislamiento a causa del virus “COVID 19” en el año 2020.

Las evaluaciones teórico-prácticas representan la sección estática del sistema de evaluación del curso de mecánica dinámica, por otro lado, el proyecto grupal representa la parte dinámica y evolutiva del curso, puesto que, a lo largo de los años, el desarrollo de proyectos grupales se ha planteado nuevos objetivos desarrollando nuevos y mejores mecanismos, cuya cinética y cinemática debía ser analizada por los alumnos aplicando los conceptos vistos en clase.

### 2.2.1 Proyecto grupal

Corresponde a la parte experimental del curso, en la cual se le asigna a un grupo de alumnos la construcción de un modelo o mecanismo funcional aplicando los conocimientos adquiridos en clase.

Durante cada periodo académico los proyectos grupales tienen temáticas distintas, buscando la diversidad y evitar la copia de trabajos. A la actualidad se han desarrollado desde modelos para representar efectos físicos, vehículos motorizados, mecanismos y máquinas a escala, vehículos impulsados por fuerza humana hasta simulaciones de eventos sísmicos.

Generalmente el proyecto grupal se desarrolla siguiendo 5 etapas (Ver figura 26), estas son controladas mediante entregables por los asesores quienes ayudan a los estudiantes del curso con el desarrollo y análisis de sus proyectos.



**Figura 26 Etapas de desarrollo del proyecto grupal en el curso de Mecánica Dinámica.**

#### 2.2.1.1 Etapa 1, asignación de los proyectos

Comprende la conformación de equipos y asignación de proyectos y asesores. En esta fase se determina junto al asesor cuales son los objetivos de cada equipo y las fechas de presentación de los entregables en formato de informe.

#### 2.2.1.2 Etapa 2, planteamiento y diseño, entregable 1

En esta etapa se espera que:

- El equipo esté organizado y se hayan designado obligaciones.
- Se determine el diseño base sobre el cual se desarrollará el proyecto.
- El equipo determine un plan de trabajo para cada actividad necesaria.

### **2.2.1.3 Etapa 3, análisis dinámico, entregable 2**

Actividades a revisar en esta etapa:

- El diseño final del proyecto debe estar concluido mediante programas CAD y planos descriptivos.
- El análisis cinético y cinemático de los elementos dinámicos del proyecto deben estar comprobados mediante los conceptos del curso.
- Se deben tener los diseños y materiales para empezar con la fabricación y ensamblaje de los elementos del modelo a construir.

### **2.2.1.4 Etapa 4, construcción del modelo y pruebas, entregable 3**

Actividades a revisar en esta etapa:

- Se espera que el modelo correspondiente al proyecto esté construido y se hayan realizado las pruebas de funcionamiento correspondientes.
- En esta etapa se debe concluir con el análisis dinámico del mecanismo incorporando magnitudes y características del modelo construido.
- Se debe redactar el proceso de fabricación y ensamblado del modelo además de las características particulares y detalles encontrados en el proceso de fabricación y ensamblado.

### **2.2.1.5 Etapa 5, evaluación y presentación del modelo, entregable 4**

En esta etapa el informe final contiene la información consolidada de anteriores entregas además de la descripción final de las conclusiones recomendaciones y mejoras producto de la construcción.

Finalmente se realiza una presentación evaluada del proyecto ante el docente del curso quien además de evaluar el conocimiento de los integrantes acerca del proyecto también evalúa su conocimiento de conceptos del curso por medio de preguntas. En muchas oportunidades se desarrolla la "Expo MDI" que corresponde a la presentación de los proyectos a la comunidad universitaria y público en general. (Ver figura 27)



**Figura 27 Máquina Compactadora.**  
**Fuente: Galería virtual MDI (2018)**

### **2.3 Evolución de los proyectos grupales orientados a la construcción de modelos y prototipos**

En este acápite se dará a conocer las principales características de los proyectos grupales desarrollados en el curso de Mecánica Dinámica desde el año 2009 hasta año 2015, periodo previo a la implementación del *software Working Model* para la simulación de modelos.

Además, se presentarán los modelos más representativos de cada periodo.

#### **2.3.1 Modelos interactivos**

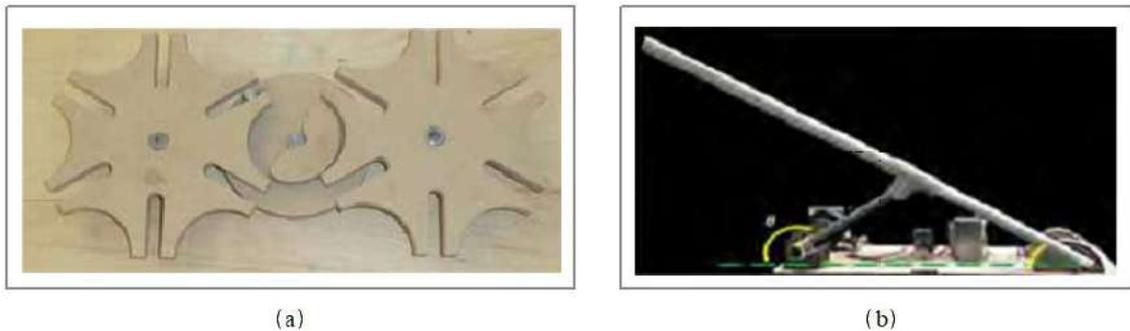
Como una iniciativa para mejorar la experiencia de aprendizaje en el curso de mecánica dinámica, entre los años 2009 y 2015 se implementaron modelos interactivos cuya función principal es representar el movimiento integral de un sistema o mecanismo.

La principal ventaja de estos modelos es que permite al estudiante percibir de forma visual la interacción física y el movimiento integral de un mecanismo, efecto que ayuda al estudiante a comprender y relacionar conceptos teóricos con elementos prácticos.

La aplicación de modelos para la introducción de un concepto ayuda al estudiante a relacionar el evento visualizado como parte de un mecanismo más grande y complejo.

Este efecto no siempre se puede lograr mediante el uso típico de ilustraciones, debido a que no todos los estudiantes tienen el mismo nivel de habilidades cognitivas. En este sentido la aplicación de los modelos físicos para la introducción de nuevos conceptos ayuda a estandarizar en nivel de conocimientos mínimos que se espera de un alumno de ingeniería.

Los modelos físicos construidos y mejor aplicados para la explicación de conceptos se encuentran los siguientes: Engranaje de ginebra y Mecanismo biela manivela. (Ver figura 28)



**Figura 28 (a) Mecanismo de engranaje de ginebra múltiple; (b) Mecanismo biela manivela.**

**Fuente: Extraído de Rodríguez (2015)**

### 2.3.2 Vehículos menores

Durante los años 2009 y 2012 el proyecto grupal del curso de Mecánica Dinámica consistía en el diseño, construcción y análisis de vehículos motorizados.

El objetivo de estos proyectos era familiarizar a los estudiantes con los sistemas de transmisión por cadenas, sistemas de dirección y el análisis de la cinética, fricción, rodadura y derrape que experimentan los vehículos durante su desplazamiento habitual.

Algunos de los proyectos elaborados son: *Kart UDEP*, *Helping Handicap Vehicle (HHV)*, *Red-Kart* y *MEGAN*. (Ver figura 29)



**Figura 29 Prueba de Velocidad en Vehículos Menores.**

**Fuente: Galería virtual MDI (2010)**

### 2.3.3 Mecanismos y máquinas

Desarrollados durante los años 2013 y 2016, los proyectos grupales se caracterizan por su amplia variedad y funcionalidad, donde destacaban modelos: de mesas sísmicas vibratorias, seleccionador de limones por tamaño, grúa mecánica, vehículos impulsados por fuerza humana (HPV), etc. (Ver figura 30)



**Figura 30 Modelo a Escala de una Grúa Pluma.**  
Fuente: Galería virtual MDI (2014)

Finalmente, los conocimientos adquiridos por esta experiencia eran presentados por medio de presentaciones, videos de ensamblaje y pruebas de funcionamiento, de esta forma se abordaba la mayor cantidad de temas de la malla curricular del curso.

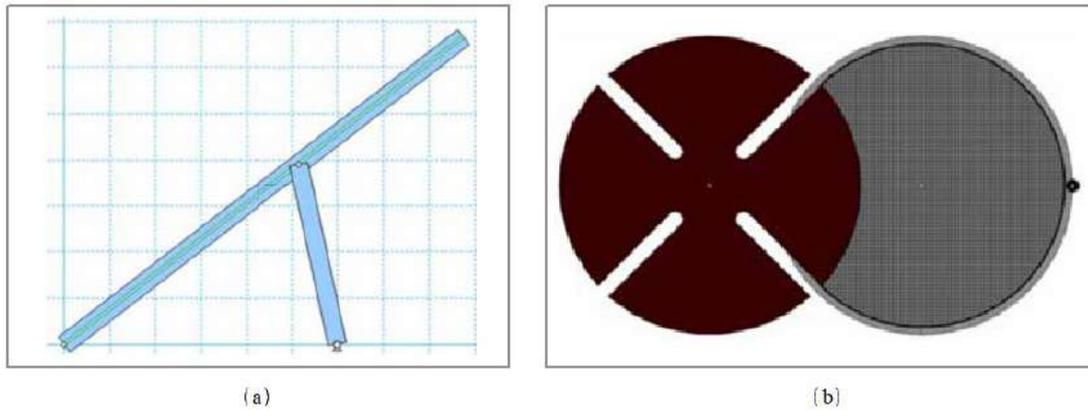
## 2.4 Aplicación y evolución del *software Working Model* en el curso de Mecánica Dinámica

En este apartado se dará a conocer el proceso de introducción de *software Working Model* en el curso de Mecánica Dinámica y de cómo se fue empleando en los proyectos grupales del curso.

### 2.4.1 Introducción del *software Working Model* en el curso de Mecánica Dinámica

El *software Working Model* se recomendó por primera vez, para su uso en el curso de Mecánica Dinámica de la Universidad de Piura, en el año 2015, como parte de una iniciativa para complementar la metodología de enseñanza, tal como se menciona en la tesis “Innovación en la enseñanza de Mecánica Dinámica bajo el principio de aprender haciendo” de Rodríguez R. G. En esta tesis se propone desarrollar los ejercicios prácticos de forma integral, partiendo de magnitudes de entrada o variables que serían analizadas y posteriormente obtener los resultados de un ejercicio como funciones que puedan ser graficadas, de esta forma se puede tener un análisis más completo de un ejercicio.

Los dos ejemplos desarrollados en esta tesis son: mecanismo “Biela Manivela” y “Engranaje de Ginebra”. (Ver figura 31)



**Figura 31 (a) Simulación *Working Model* de un sistema biela-manivela; (b) Simulación *Working Model* engranaje de Ginebra de 4 hendiduras.**

**Fuente:** Extraído de Rodríguez (2015)

Producto de esta iniciativa se generaría el manual de usuario del programa dirigido a estudiantes de “Mecánica Dinámica” de la “Universidad de Piura” y en años posteriores se implementaría oficialmente “*Working Model*” como herramienta interactiva.

#### **2.4.2 Aplicación de *Working Model* en la resolución de ejercicios típicos de cinemática y cinética**

En el año 2017 el software *Working Model* se introdujo mediante dos sesiones demostrativas de dos horas cada una.

El objetivo principal de la primera sesión era mostrar la interfase del programa a los estudiantes, mediante la creación de formas, y ensamblajes básicos.

En la segunda sesión por medio de ejercicios básicos se mostraba la programación de fórmulas y condicionales con el fin de obtener una respuesta directa.

Una vez concluidas las sesiones se evaluaba el uso del programa mediante un informe demostrativo que añadía puntaje a las practicas calificadas.

#### **2.4.3 Informe demostrativo.**

Se desarrollaba de forma individual y consistía en la asignación de un ejercicio de mecánica dinámica que debía ser resuelto y posteriormente simulado utilizando *Working Model*. De esta forma se demostró la efectividad de las simulaciones.

#### **2.4.4 Aplicación de *Working Model* para el diseño y análisis de mecanismos**

Durante los años 2018 y 2019 el software *Working Model* se empleó para la simular y diseñar mecanismos como parte de un proyecto grupal del curso, cuya estructura está detallada en el apartado “2.2.1. Proyecto grupal”.

Los mecanismos más destacados en este periodo son: mecanismos Theo Jansen, compactadoras de latas, tamizadoras de material, sistema de tren de aterrizaje, brazo robótico, sistema de propulsión de drones, aerodeslizadores, estructuras flexibles ante agitación sísmica, etc.

En esta etapa los proyectos grupales lograron alcanzar un equilibrio adecuado con el uso del *software Working Model*, debido a que el análisis y los cálculos realizados para un mecanismo, podrían ser sustentadas por simulaciones.

Para implementar el *software Working Model* en la estructura de los proyectos grupales del curso de Mecánica Dinámica se modificaron principalmente la etapa 3 y 4 del desarrollo del proyecto:

- **Etapa 3** incorporo a su estructura, el diseño inicial del mecanismo en *Working Model*, esto comprendía la creación inicial de piezas ensamblaje y programación básica de la dinámica de su funcionamiento.
- **Etapa 4** por su lado incorporó a su estructura, las mejoras y correcciones para la adecuada simulación del mecanismo y la programación de resultados finales, los cuales debían ser extraídos, graficados y comprobados con los valores calculados de forma manual. De esta forma se verificaba el nivel de precisión que se lograba en un proyecto.

#### **2.4.4.1 Modelos desarrollados como parte del proyecto grupal del curso de Mecánica Dinámica en el año 2019**

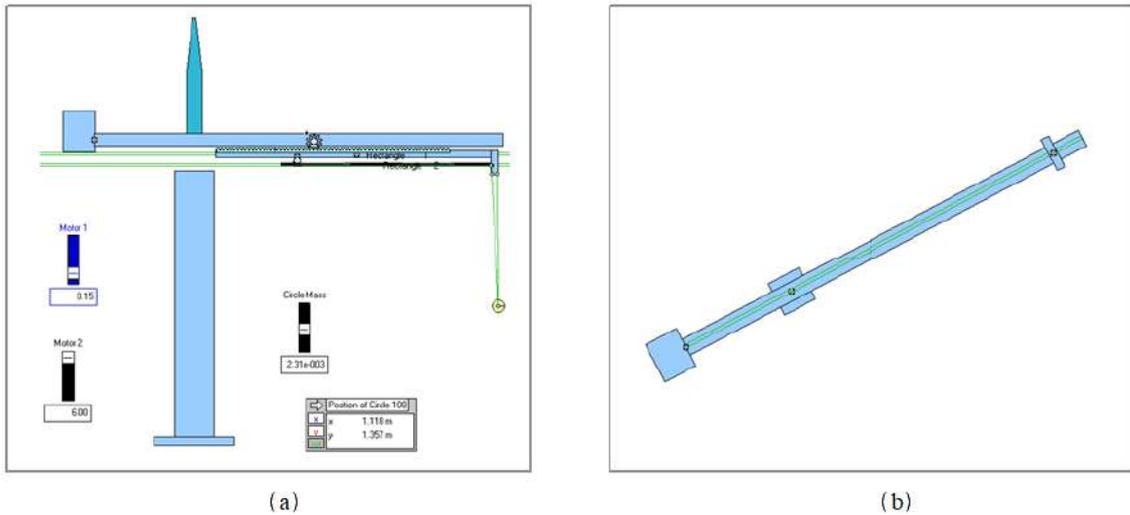
##### ***Simulación de una grúa de pluma***

Proyecto de simulación *Working Model* de una grúa de pluma, proyecto desarrollado por el equipo 10 encabezado por Lavan O. G. 2018. (Ver figura 32)

Este proyecto está enfocado al análisis de la cinemática de una partícula mediante el sistema de coordenadas polares y cilíndricas.

Esta simulación consistía en la composición de dos movimientos:

- En la figura 32 (a) se analiza una vista de perfil de la estructura, donde el movimiento originado por un motor y un engranaje contraen el brazo horizontal, haciendo que la distancia horizontal de la base a la circunferencia amarilla se reduzca.
- En la figura 32 (b) se analiza la vista de planta de la estructura, donde el cuadrado central representa la base de la estructura, haciendo que el brazo rote respecto a su centroide, por otro lado, el rectángulo ubicado a la derecha representa la posición la circunferencia amarilla, cuya distancia a la base se reduce en función del tiempo.



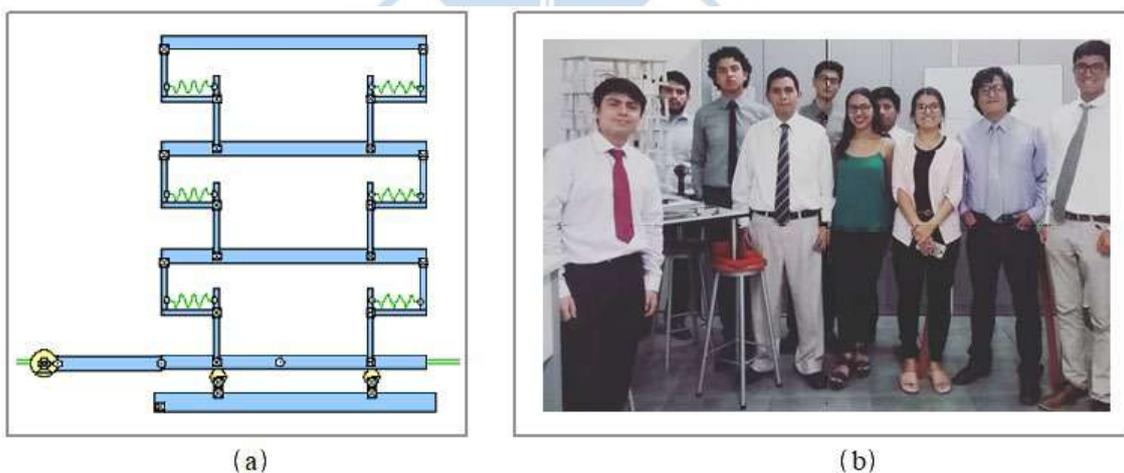
**Figura 32** Simulación de una grúa de pluma, *software Working Model*; (a) Vista de perfil; (b) Vista de planta.  
Fuente: Biblioteca de proyectos MDI (2019)

### ***Simulación de una mesa vibratoria y estructura de rigidez limitada***

Proyecto de simulación *Working Model* de una mesa vibratoria para análisis sísmico en estructuras ante vibración controlada, proyecto desarrollado por los equipos 8 y 11 León S. P. y Paredes R. K. (Ver figura 33)

Este proyecto tiene dos enfoques principales:

- Análisis del movimiento dependiente generado por un sistema biela-manivela, con el fin de obtener distintas formas de movimiento horizontal.
- Analizar el efecto del movimiento horizontal en una estructura de tres niveles con rigidez idealizada, para finalmente determinar, de forma empírica, las derivas de cada nivel mediante la simulación *Working Model*.



**Figura 33** (a) Simulación *Working Model* de una de rigidez limitada ante efecto sísmico; (b) Presentación del modelo a escala, equipo 8.

### **2.4.5 Aplicación de Working Model para el análisis y diseño de sistemas mecánicos y procesos industriales**

En marzo del año 2020 en el Perú y el mundo experimentó con mayor magnitud la necesidad del distanciamiento social a causa de la pandemia provocada por el virus COVID 19. Como parte de las medidas restrictivas todas las instituciones educativas tuvieron que adaptarse a la modalidad de “Trabajo Remoto” con el fin de no comprometer la salud de sus usuarios.

Por otro lado, la modalidad virtual implica que el proyecto grupal no podía ser desarrollado de forma habitual, en consecuencia, debía reformarse y adaptarse a un entorno virtual teniendo en cuenta lo siguiente:

- El proyecto grupal pasaría a ser un proyecto virtual, este proyecto no contaría con la etapa de producción y construcción de mecanismo, por lo tanto, su porcentaje de influencia en la calificación final debería disminuir.
- El proyecto virtual debería estar orientado al uso del programa *Working Model*, puesto que, al ser una herramienta computacional, permite el trabajo cooperativo de forma remota.
- Los equipos deberían estar conformados por un mínimo de estudiantes que pudieran tener acceso al *software*.
- Se debe buscar un mayor énfasis en el análisis de los resultados obtenidos por medio de las simulaciones y que estos puedan ser sustentados por medio de un planteamiento manual.
- Debe existir una amplia variedad de proyectos para evitar copia.

Muchos de los criterios mencionados pudieron ser cumplidos de forma efectiva, como consecuencia se realizó la primera “Expo MDI virtual”.

Algunos de los proyectos destacados fueron: sistemas de embotellamiento, mezcladora de concreto, sillas voladoras, grúas mecánicas, pala excavadora, máquina de ejercicio, bombas de agua, engranaje de ginebra, etc.

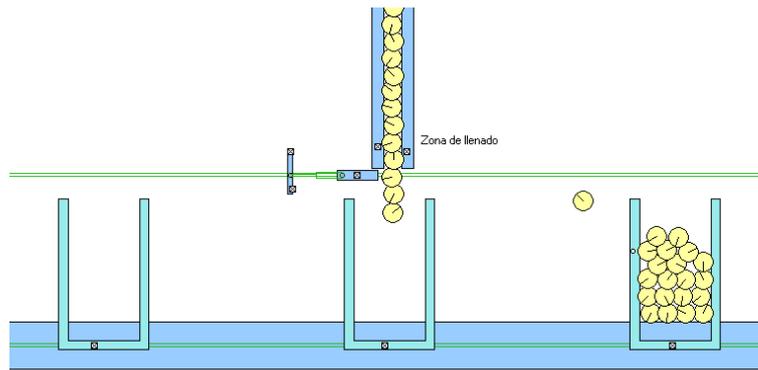
#### **2.4.5.1 Modelos desarrollados como parte del proyecto grupal del curso de Mecánica Dinámica en el año 2019**

##### ***Sistema de embotellamiento en serie***

Proyecto desarrollado por los equipos 19 y 20 encabezados por: Flores T. S. y García Q. A. respectivamente. (Ver figura 34)

Este proyecto estaba enfocado al análisis de los distintos procesos existentes en un mecanismo de embotellamiento en serie.

El objetivo de este proyecto era analizar el mecanismo de cierre que permite el llenado de las botellas y sincronizarlo con la velocidad de la faja transportadora, de tal forma, se asegure que las botellas sean llenadas con una misma cantidad de circunferencias amarillas.



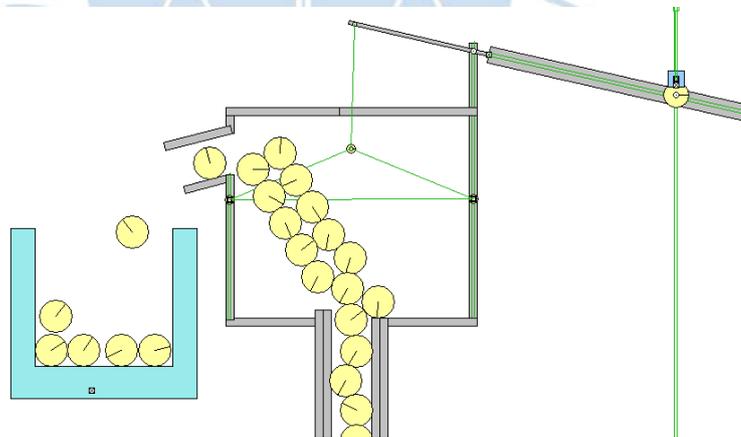
**Figura 34 Simulación *Working Model* del proceso de embotellamiento.**

**Fuente: Biblioteca de proyectos MDI (2019)**

### ***Sistema mecánico para bombeo de agua de un pozo***

Proyecto desarrollado por los equipos 57 y 58 encabezados por: Torres R. G. y Tume F. J. respectivamente. (Ver figura 35)

El objetivo de este proyecto fue analizar un mecanismo que permita generar un movimiento periódico en el extremo derecho del brazo de palanca, que, a partir de un punto fijo de rotación, sería transmitido al embolo ubicado en el extremo izquierdo. De esta forma se extraería el agua (representada por las circunferencias amarillas), del fondo del pozo a un recipiente.



**Figura 35 Simulación *Working Model* del mecanismo de bombeo de agua.**

**Fuente: Biblioteca de proyectos MDI (2019)**

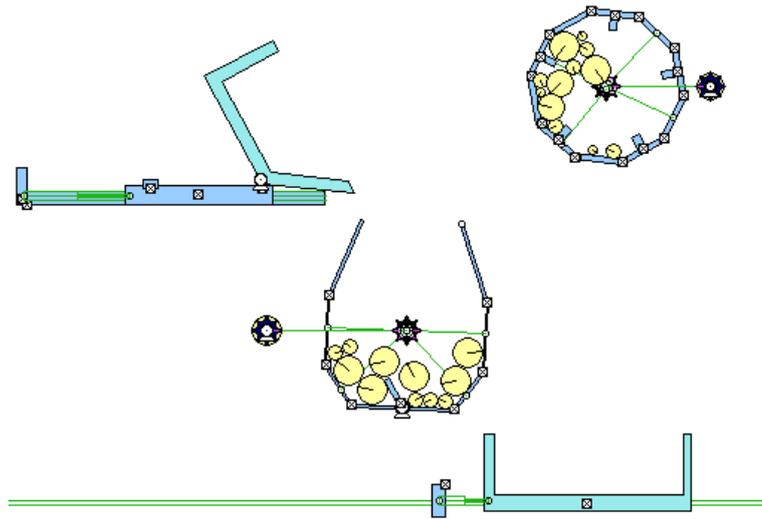
### ***Sistema mecánico para preparar mezclas de concreto***

Proyecto desarrollado por los equipos 11 y 12 encabezados por: Chávez L. L. y Choi Y. Y. respectivamente. (Ver figura 36)

Este proyecto buscaba representar las distintas etapas del proceso de mezclado del concreto y analizar los distintos casos de movimiento a los cuales es sometida la mezcla.

Los distintos casos de movimiento analizados fueron:

- Caída libre de la mezcla de cemento y agregados (representados por las circunferencias amarillas) a la maquina mezcladora.
- Movimiento circular de la mezcladora.
- Movimiento horizontal del traslado del concreto mezclado.



**Figura 36 Simulación *Working Model* del proceso de mezcla del concreto.**

**Fuente: Biblioteca de proyectos MDI (2019)**

#### **2.4.6 Enfoque actual, reflexión y proyección del uso de *Working Model* como herramienta interactiva en el curso de Mecánica Dinámica**

Se ha demostrado por medio de la experiencia que el desarrollo de proyectos grupales en el curso de Mecánica Dinámica tiene un impacto positivo en los estudiantes. Desde su implementación, muchas de sus características se han modificado con el fin de mejorar la experiencia de aprendizaje y calificaciones.

En la actualidad el proyecto grupal se percibe como un proyecto de construcción de modelos que aporta a los estudiantes experiencias de trabajo cooperativo, conocimiento y análisis del funcionamiento de máquinas y mecanismos reales, y la oportunidad de profundizar en temas específicos del curso.

Por otro lado, se debe considerar que los proyectos grupales son desarrollados por estudiantes de las carreras de Ingeniería Civil e Ingeniería Mecánica Eléctrica. Los estudiantes de Ingeniería Mecánica Eléctrica se ven ampliamente beneficiados por este tipo de proyectos grupales debido a que complementaran estos conocimientos con los cursos posteriores como Diseño mecánico, Máquinas eléctricas, Procesos de fabricación, etc. En cambio, los estudiantes de Ingeniería Civil aplican los conocimientos del curso de Mecánica Dinámica únicamente en algunos capítulos de los cursos de Dinámica Estructural y Mecánica de Fluidos,

por lo que, a los estudiantes de Ingeniería Civil les sería de mayor interés profundizar y comprender los temas que posteriormente serán útiles en los cursos mencionados, más que construir un mecanismo o una máquina.

Desde la implementación del programa *Working Model* se ha buscado que los proyectos estén orientados a la simulación de mecanismos, pero de alguna forma no se ha logrado encontrar un equilibrio adecuado entre cálculos manuales, simulaciones y la construcción del modelo. A su vez, en los proyectos recientes no se ha podido controlar el dinero y el tiempo invertido por parte de los estudiantes.

De esta forma se puede determinar que los proyectos grupales desarrollados actualmente en el curso de Mecánica Dinámica tienen una buena recepción por parte de los estudiantes, pero se puede mejorar iniciando con la renovación de los talleres en los que se enseña el programa *Working Model*, al igual que el proyecto grupal, orientándolo a nuevos objetivos.





## Capítulo 3

### Metodología propuesta LA según el sistema de aprendizaje 4MAT

El capítulo 3 está compuesto de tres partes que fundamentan el desarrollo de una metodología de enseñanza basada en “Laboratorios de aprendizaje” (L. A.):

- **Primera parte:** Orientada a desarrollar el fundamento teórico de la metodología propuesta “LA”, donde se dará a conocer la estructura de los laboratorios y su relación con el dictado del curso de Mecánica Dinámica.
- **Segunda parte:** Corresponde al proceso de implementación de la metodología propuesta “LA” en el curso de Mecánica Dinámica, desarrollando los siguientes tópicos: Distribución del dictado de los laboratorios durante un periodo académico, influencia de los laboratorios en el promedio de los alumnos, distribución de los temas que se deben desarrollar en los laboratorios y proceso de evaluación de los informes de laboratorio.
- **Tercera parte:** Corresponde al desarrollo de manuales de construcción y programación de los ejercicios prácticos que se desarrollarán en los laboratorios de aprendizaje.

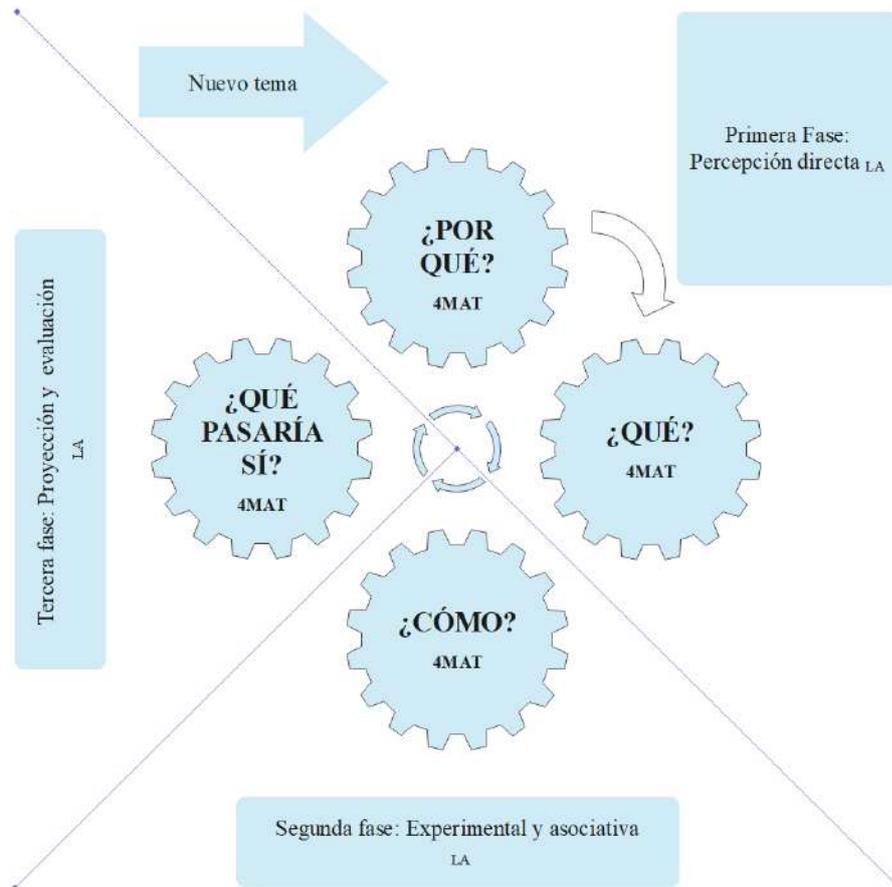
#### 3.1 Dinámica de la metodología basada en laboratorios de aprendizaje “LA”

El sistema de aprendizaje 4MAT sugiere que un tema o concepto puede ser enseñado de forma eficiente si durante distintas etapas de su desarrollo, el estudiante logra cubrir las cuatro preguntas (¿Por qué?, ¿Qué?, ¿Cómo? y ¿Qué pasaría sí?) desarrolladas en el apartado 1.1.1. de este proyecto de tesis. Éste es un sistema de aprendizaje que puede ser aplicado en distintas áreas profesionales, por ese motivo, puede ser reformulado y adaptado de acuerdo con las necesidades de un curso o tema en específico.

La metodología “LA” es el producto de la reformulación del sistema de aprendizaje 4MAT, con el fin de incorporar el *software Working Model*, como herramienta didáctica para potenciar la enseñanza en el curso de Mecánica dinámica, por medio de laboratorios de aprendizaje.

Como se puede apreciar en la figura 37 la metodología “LA” consiste en dividir el sistema de aprendizaje 4MAT en 3 fases principales y formular un esquema general que

permita desarrollar un tema de forma eficiente, de esta forma los laboratorios podrán complementar el proceso de aprendizaje de los alumnos del curso de “Mecánica Dinámica”.

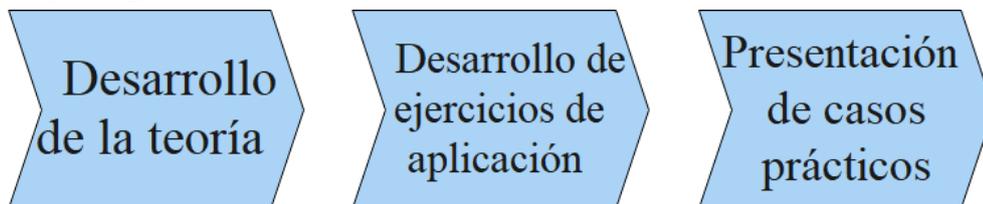


**Figura 37** Distribución de la metodología “LA” basada en el sistema “4MAT”.

### 3.1.1 Primera fase: Percepción directa

Esta fase se desarrolla en el dictado general de las clases, mediante la metodología habitual de enseñanza del docente del curso.

Suponiendo que la metodología utilizada para el dictado de un nuevo tema consiste en tres etapas. (Ver figura 38)



**Figura 38** Representación simplificada del desarrollo de clases universitarias.

Se debe tener un mayor énfasis en el desarrollo del ejercicio de aplicación, este ejercicio debe ser capaz de representar los conceptos teóricos. Es recomendable que se pueda mostrar una simulación del ejercicio de aplicación o en su defecto este sea el mismo que se desarrollará en el laboratorio correspondiente al tema.

### 3.1.2 Segunda fase: Experimental y asociativa, laboratorios de aprendizaje

Se debe planificar laboratorios que sean capaces de complementar los conceptos aprendidos en las clases teóricas, además de que puedan ser desarrollados en un plazo máximo de 1.5 horas. Para esto, se sugiere que los laboratorios se desarrollen en tres etapas: Introducción, desarrollo del laboratorio y análisis de resultados.

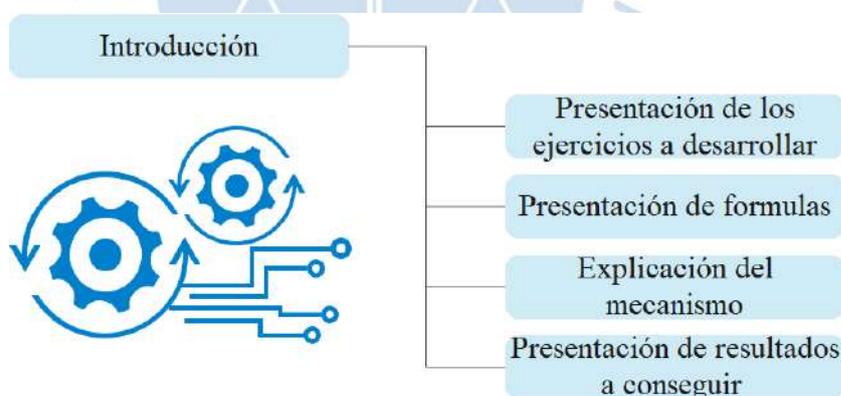
#### 3.1.2.1 Introducción

Antes del laboratorio, se debe comunicar a los estudiantes, mediante las plataformas virtuales, cuáles serán los ejercicios que se desarrollarán en el laboratorio, de tal forma se les pueda asignar con anticipación el desarrollo de la solución manual de los ejercicios o en su defecto brindarles los ejercicios desarrollados.

En el material virtual también debe figurar la guía de laboratorio que comprende un manual de construcción de los ejercicios seleccionados.

Se recomienda que durante la introducción se presente la simulación finalizada, los resultados a los que se esperan obtener y las fórmulas se utilizarán durante la programación.

La figura 39 representa la distribución de actividades sugeridas para el desarrollo de la introducción al laboratorio.

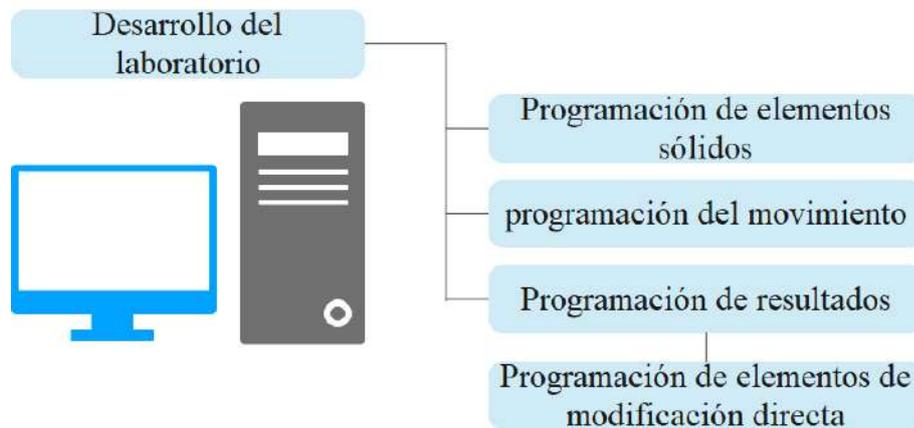


**Figura 39** Esquema del contenido de la Introducción de un laboratorio de prospección.

#### 3.1.2.2 Desarrollo de los laboratorios

La simulación de los ejercicios se debe realizar a partir de manuales de construcción, estos deben ser claros y ordenados y deben representar todo el proceso de construcción y programación necesarios para simular el ejercicio planteado. En el desarrollo de este capítulo se encontrarán manuales de construcción detallados.

Para simular de manera efectiva un mecanismo se recomienda seguir los pasos sugeridos en la figura 40.



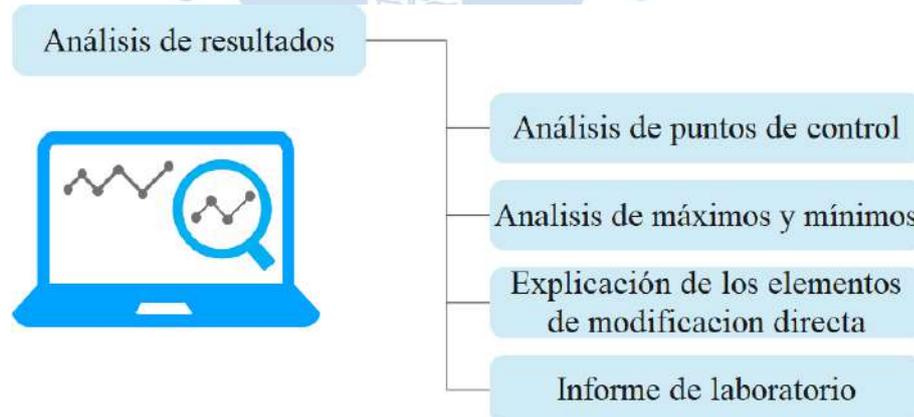
**Figura 40** Esquema del contenido del “Desarrollo” de un laboratorio de prospección.

### 3.1.2.3 Análisis de resultados

Los resultados obtenidos producto de la simulación de un ejercicio deben ser analizados identificando los puntos críticos de la respuesta del mecanismo, los valores máximos y valores mínimos. Además, se debe mostrar cómo utilizar los elementos de modificación directa.

Finalmente, se deben dar las pautas necesarias para que los estudiantes desarrollen de forma efectiva los informes de laboratorios.

En la figura 41 se presenta los principales objetivos a analizar de una simulación.



**Figura 41** Esquema del contenido del “Análisis de resultados” de un laboratorio de prospección.

### 3.1.3 Tercera fase: Proyección y evaluación

Esta fase comprende la evaluación a los estudiantes, en el caso de la metodología “LA” la evaluación se realiza mediante los informes de laboratorio, se estima que el tiempo

prudente para la entrega de los mismos debe ser de una semana. Además, los alumnos deberán responder una encuesta evaluando el nivel del laboratorio para futuras proyecciones.

Individualmente el docente evaluará el rendimiento de los alumnos mediante practicas calificadas y exámenes.

### 3.2 Proceso de implementación de la metodología LA en el curso de Mecánica Dinámica.

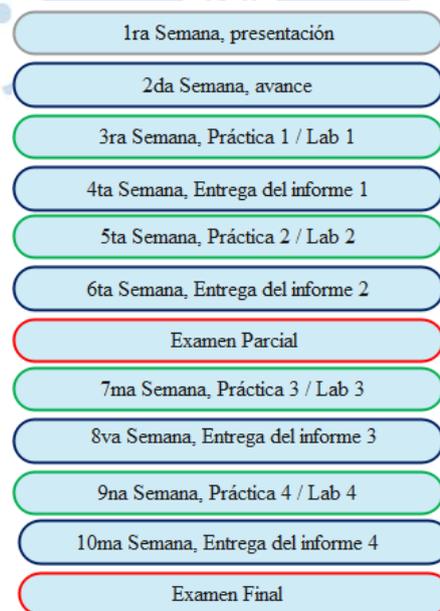
En este apartado se sugerirá el proceso por el cual se lograría implementar la metodología LA en el curso de Mecánica Dinámica en la Universidad de Piura. Para ello se consideró lo siguiente:

- Distribución del dictado de laboratorios en un periodo académico.
- Porcentaje de influencia del puntaje de los laboratorios en el puntaje final del estudiante.
- Distribución de los temas del curso de Mecánica Dinámica que se deben abordar en los laboratorios.

#### 3.2.1 Distribución de los laboratorios durante el tiempo del dictado de clases

En un ciclo normal, el curso de Mecánica Dinámica se desarrolla durante 10 o 12 semanas de trabajo, considerando que la primera semana suele ser destinada para la presentación del curso y metodología de trabajo, se reduciría el tiempo disponible en una semana, además se debe tener en consideración, eventualidades como las semanas libres por exámenes parciales y finales.

Considerando los factores mencionados, en la figura 42 se propone un cronograma para el dictado de laboratorios.



**Figura 42 Propuesta de la distribución de las actividades relacionadas de los laboratorios en un ciclo habitual.**

En caso de eventualidades ajenas a la programación habitual de la Universidad de Piura se puede incrementar el número de semanas disponibles para el dictado de clases si no se desarrollan exámenes parciales, en ese contexto se podría incrementar un laboratorio en la distribución.

### 3.2.2 Puntaje y peso de los laboratorios en el curso

El puntaje por el desarrollo de los laboratorios variará entre 0 y 20 donde se sugiere la siguiente distribución.

**Tabla 3 Distribución del puntaje de los laboratorios**

Asistencia y participación	2 puntos
Encuesta post laboratorio	1 punto
Informe de laboratorio	17 puntos

Para poder asignarle un peso a los laboratorios se debe considerar que estos reemplazarán los proyectos grupales, además se debe tener en cuenta el número de laboratorios que se puedan desarrollar en un ciclo.

- **Ciclo habitual**, considerando examen parcial y final. En este tipo de ciclo se desarrollarían 4 informes de laboratorio no anulables, cuyo promedio podría representar el 18.2% del puntaje final del alumno.

$$PR_{\text{final}} = \frac{\sum_{i=1}^4 Pc_i + 3 \cdot Ex_{\text{par}} + 3 Ex_{\text{fin}} + 2 \cdot Prm_{\text{lab}} - Pc_{\text{min}}}{11} \quad \dots\text{Ecuación (1)}$$

Donde:

$PR_{\text{final}}$  : Promedio final.

$Pc_i$  : Calificación obtenida en la práctica calificada  $i$ .

$Ex_{\text{par}}$  : Calificación obtenida en el examen parcial.

$Ex_{\text{fin}}$  : Calificación obtenida en el examen final.

$Prm_{\text{lab}}$  : Promedio final de los laboratorios.

$Pc_{\text{min}}$  : Menor calificación obtenida en las prácticas calificadas.

- **Ciclo sin examen parcial**, Considerando que no existirá un examen parcial se desarrollarían 5 laboratorios, en este caso se sugiere que el promedio de los laboratorios represente el 33.3% del puntaje final del alumno

$$PR_{\text{final}} = \frac{\sum_{i=1}^4 Pc_i + 3 Ex_{\text{fin}} + 3 \cdot Prm_{\text{lab}} - Pc_{\text{min}}}{9} \quad \dots\text{Ecuación (2)}$$

### 3.3 Estructura de los laboratorios

Los laboratorios deben cubrir la mayor cantidad de temas desarrollados en el curso de Mecánica Dinámica, también se debe considerar que, dada la naturaleza 2D del *software Working Model*, existen temas que no podrán ser abordados por los mismos.

El *software Working Model* también es enseñado en cursos anteriores como Física General 1, por ese motivo se puede considerar que, los alumnos que cursan Mecánica Dinámica tienen referencias anteriores acerca del uso del *software*, de todas formas, se recomienda el desarrollo de un laboratorio virtual “Laboratorio cero” en el cual se enseñe el entorno del programa y los comandos básicos de programación, este laboratorio virtual podría ser un video pregrabado que le brinde a los alumnos la primera semana de actividades.

#### 3.3.1 Laboratorios y temas a desarrollar

En los laboratorios se desarrollarán temas académicos propios del curso de Mecánica Dinámica considerando la distribución presentada en la tabla 4:

**Tabla 4 Distribución de temas académicos a desarrollar en cada laboratorio**

Laboratorio	Temas académicos a desarrollar:
Laboratorio Cero	Entorno del programa y comandos básicos
Laboratorio 1	Coordenadas normales y tangenciales y Movimiento dependiente
Laboratorio 2	Coordenadas polares y cilíndricas
Laboratorio 3	Principio de conservación de la energía y conservación del momento angular
Laboratorio 4	Vibración mecánica, vibración amortiguada, péndulo simple y péndulo amortiguado

Además, se desarrollarán temas técnicos relacionados con el manejo del *software Working Model* (Ver tabla 5).

**Tabla 5 Distribución de temas de manejo del *software Working Model***

Laboratorio	Temas académicos a desarrollar:
Laboratorio 1	Programación de funciones en cuadros de respuesta, importar base de datos como puntos de una forma.
Laboratorio 2	Programación de funciones y elementos dependientes en elementos dinámicos, relación entre mecanismos independientes.
Laboratorio 3	Programación de funciones complejas de forma automática, relacionar y operar valores de cuadros de respuesta.
Laboratorio 4	Programación de funciones límite para diseño, programación de la fuerza del viento como una constante de amortiguación.

### 3.4 Estructura de los informes de laboratorio

Los informes de laboratorio deberán ser desarrollados por alumnos agrupados en equipos de entre 2 a 3 integrantes de acuerdo a su ubicación en la lista oficial del curso.

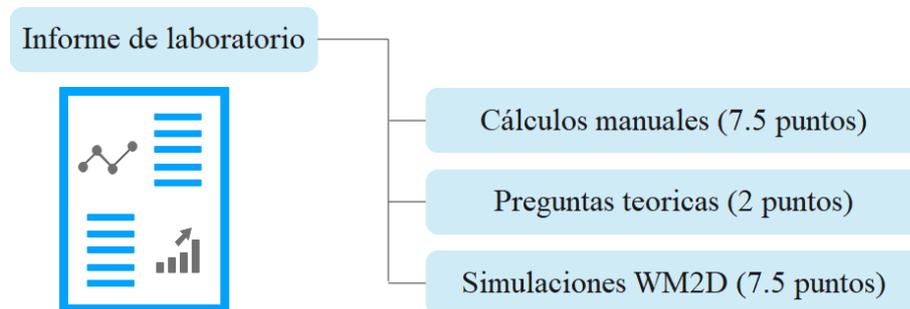
A cada equipo se le asignará un número de acuerdo a su posición en la lista de alumnos y de esta forma se determinará un número "N" como la última cifra del número de equipo. Este número "N" servirá para determinar las constantes y valores que se utilizarán en sus laboratorios, de esta forma se logrará reducir los informes y simulaciones similares, reduciendo los intentos de copia.

Los informes de laboratorio deberán constar de 3 partes:

- A. Cálculos manuales. Que corresponde a la solución matemática del ejercicio, utilizando conceptos vistos en clase.
- B. Preguntas teóricas e investigación. Corresponden a preguntas que implican un sentido analítico del ejercicio, o en su defecto requieran investigación.
- C. Simulaciones. Corresponde al archivo *Working Model* donde se encuentre la simulación del ejercicio, esta debe coincidir con los cálculos manuales y expresar todos los resultados solicitados a menos que se indique lo contrario.

De acuerdo a lo expresado en el apartado "3.2.2.1. Distribución de puntaje" el puntaje asignado a los informes de laboratorio es de 17 puntos, los cuales se recomienda que se

distribuyan de la siguiente forma: Cálculos manuales 7.5 puntos, Simulaciones *Working Model* 7.5 puntos y las preguntas teóricas e investigación 2 puntos. (Ver figura 43)



**Figura 43 Estructura distribución del puntaje de los informes de laboratorio.**

### 3.5 Entorno y lenguaje para el desarrollo de los laboratorios – Laboratorio Cero

Para poder identificar de forma sencilla las herramientas que brinda el *software Working Model* se dividirá el entorno en grupos de funciones.

#### 3.5.1 Grupos de funciones

Los grupos de funciones son secciones del entorno del programa que permiten controlar distintas funciones las cuales se agruparan de la siguiente forma:

- a) **Archivo.** En este grupo se encuentran todas las opciones habituales que permiten guardar, abrir, exportar documentos además de opciones como copiar, pegar, cortar etc.
- b) **Control de entorno.** Estas funciones están relacionadas con las características del espacio de trabajo, modificando opciones como la gravedad, precisión de cálculo, colisiones y ubicación de objetos etc.
- c) **Control de resultados.** Las funciones de este grupo controlan las magnitudes de entrada y salida, sea el caso de velocidad, aceleración, fuerza etc. Que pueden tener como condiciones independientes los elementos y formas.
- d) **Funciones especiales.** Permiten al *software* para realizar cálculos y simulaciones de especialidad, por ejemplo, canales con fricción, análisis de vigas flexibles, análisis de vigas rígidas, diagrama de fuerza cortante y momento flector, etc.
- e) **Propiedades.** En este grupo se encuentran 3 ventanas que permiten modificar las propiedades geométricas, físicas y de apariencia de los elementos creados.
- f) **Elementos y formas.** En esta sección se pueden crear todas las formas geométricas que sirvan para representar el modelo a simular.
- g) **Elementos de precisión.** Se utilizan para mejorar la precisión de los resultados, eliminando el error causado por las dimensiones o el tamaño de una forma.

- h) **Restricciones.** Limitan el desplazamiento y la rotación de las formas creadas.
- i) **Elementos dinámicos.** Permiten otorgar magnitudes dinámicas a las formas, que no se verán afectadas por las condiciones físicas del entorno.
- j) **Coordenadas y configuración rápida.** Permite modificar de forma rápida las características de una forma, dimensiones y ubicación.
- k) **Registro de ejecución.** Memoria donde se almacena cada "Frame" calculado.

En la figura 44 se puede apreciar la distribución de los grupos de funciones en el entorno del *software*.

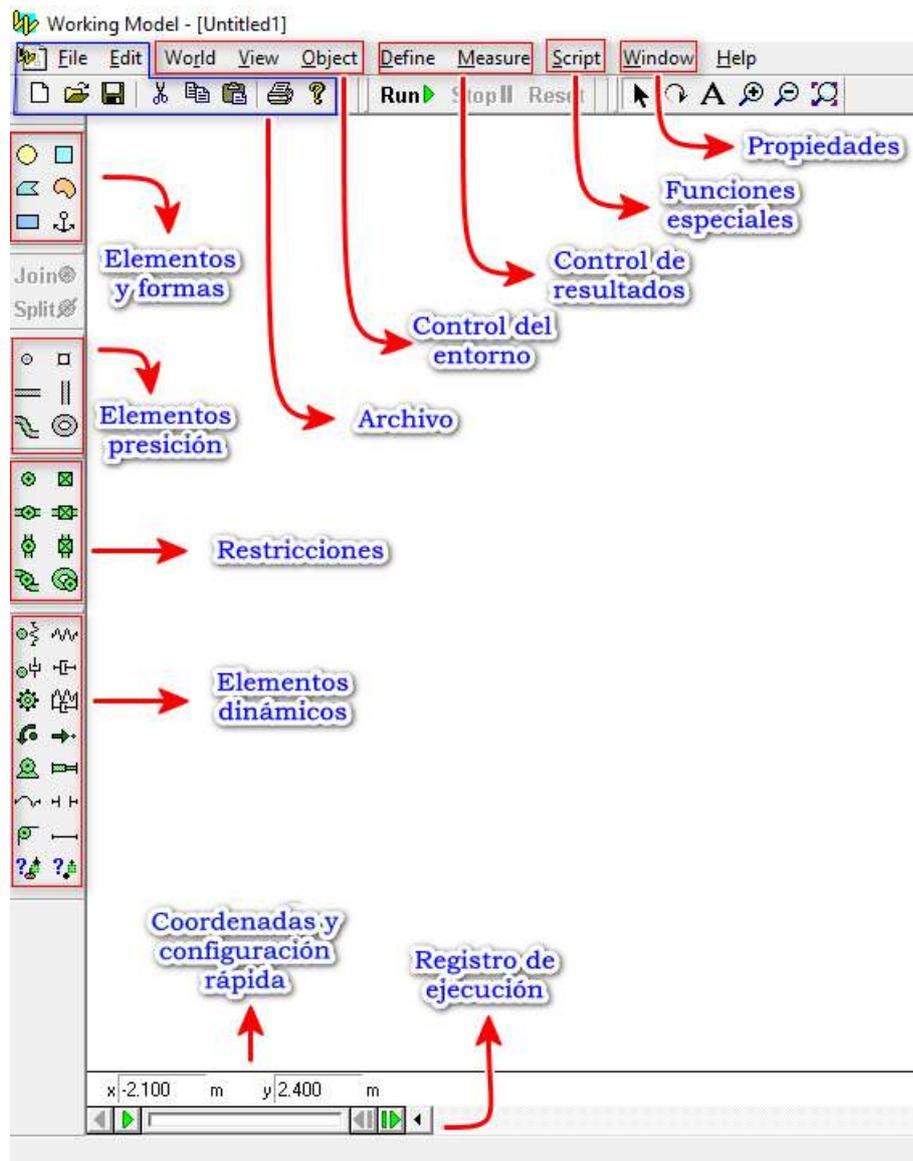


Figura 44 Grupos de comandos del *Software Working Model*.

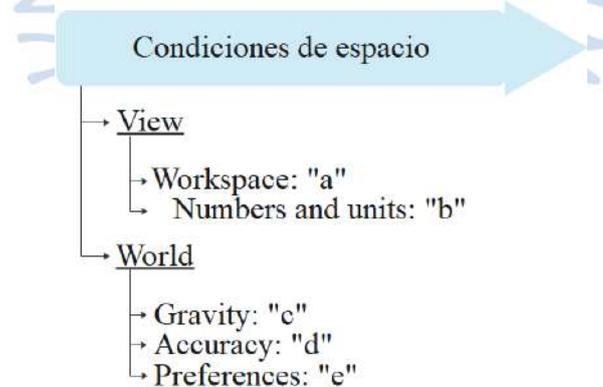
### 3.5.2 Proceso de construcción y programación de un modelo

En este apartado se darán a conocer las principales etapas que se deben realizar en el entorno del *software Working Model*, para facilitar la construcción de los mecanismos que se deseen simular y mejorar los resultados que se desean obtener. Las principales etapas del proceso de simulación de un mecanismo o ejercicios son las siguientes:

- Configuración de las condiciones de espacio. Relacionado con el entorno visual del *software*.
- Construcción de elementos. Relacionado con la creación de elementos geométricos, asignación de propiedades físicas, asignación parámetros cinemáticos, restricciones y creación de relaciones de movimiento o ensamblajes.
- Programación de resultados. Los resultados obtenidos mediante el *software Working Model*, tienen característica numérica, es por ello que se debe emplear formulas y relaciones para obtener el resultado buscado.

#### 3.5.2.1 Configuración de las condiciones de espacio

Las condiciones de espacio permiten facilitar la ubicación de los elementos, y la relación visual entre ellos, también permite definir el tipo de modelo que se espera simular. La secuencia de pasos sugerida para programar las condiciones de espacio se representa en la figura 45.



**Figura 45** Secuencia de programación de las condiciones de espacio en el *software Working Model*.

Configuración del espacio de trabajo:

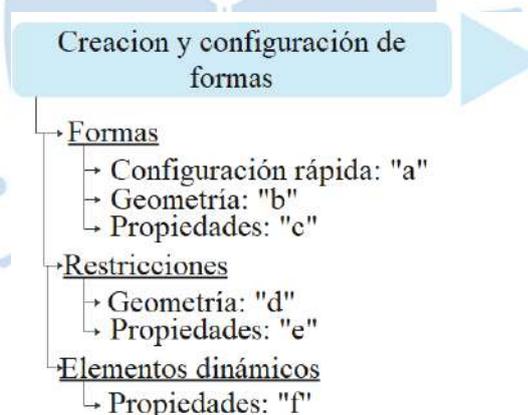
- a) **Workspace.** Activar: “*Rules, Grid lines, X, Y axes*”. Estas opciones permitirán tener un mejor control de los objetos cuando sean creados.
- b) **Numbers and units.** En la opción “*More Choices*” se puede especificar las unidades de trabajo y los dígitos de precisión.
- c) **Gravity.** El valor numérico de la aceleración de la gravedad puede ser ajustada de acuerdo con las condiciones del problema, sin embargo, la influencia de esta

magnitud es mucho más amplia. Activar la gravedad permite trabajar en un espacio de trabajo similar a una pared (Vista de frente), los elementos que tengan contacto en su superficie, generaran fricción y la velocidad configurada en el eje "Y" se verá afectada directamente por la gravedad. En un modelo con gravedad desactivada permite que el espacio de trabajo sea similar al suelo (Vista de panta) las magnitudes cinemáticas configuradas (velocidad en X y Y) se conservarán en el tiempo.

- d) **Accuaracy.** Permite mejorar la precisión, el cálculo de las variables se realiza en "Frames por segundo", esta puede ser incrementada con el fin de mejorar los resultados.
- e) **Preferences.** En esta sección se puede definir la colisión o no colisión de objetos en el programa, este parámetro se debe ajustar dependiendo de cada ejercicio. En laboratorios posteriores se podrá definir tanto la colisión como la no colisión de objetos en un mismo modelo.

### 3.5.2.2 Construcción de elementos

La secuencia de pasos sugerida para la construcción y ensamblaje de formas representa en la figura 46.



**Figura 46** Secuencia de creación de formas y elementos dinámicos en el *software Working Model*.

#### **Formas**

Una correcta configuración de elementos y objetos permite conseguir resultados adecuados, se sugiere seguir la siguiente secuencia:

- a) **Configuración rápida.** Una vez seleccionada el tipo de geometría que se desea se puede modificar sus dimensiones y ubicación de forma directa en el grupo de funciones de "Coordenadas y configuración rápida".

- b) Geometría.** En caso de requerir un polígono de número de lados diferentes a 4, en la pestaña de “*Window*” activar la ventana “*Geometry*” de esta forma se podrá añadir una mayor cantidad de puntos a un polígono.
- c) Propiedades.** A esta ventana se puede acceder dando doble clic sobre la figura y en esta sección se pueden modificar sus variables físicas y condiciones cinéticas iniciales.

### **Restricciones**

Las restricciones limitan el movimiento de las formas de acuerdo al tipo.

**Tabla 6 Detalle de restricciones disponibles en el *software Working Model***

Restricción	Nombre	Restringe	Permite
	Pin rotacional	Movimiento en X y Y	Rotación
	Pin rotacional de canal horizontal	Movimiento en Y	Movimiento sobre una línea en X y rotación
	Pin rotacional de canal vertical	Movimiento en X	Movimiento sobre una línea en Y y rotación
	Pin rotacional de canal curvo abierto	-	Movimiento en dirección del canal y rotación
	Pin rotacional de canal curvo cerrado	-	Movimiento en dirección del canal y rotación
	Pin rígido	Movimiento en X y Y y rotación	-
	Pin rígido de canal horizontal	Movimiento en Y y rotación	Movimiento en X
	Pin rígido de canal vertical	Movimiento en X y rotación	Movimiento en Y

- a) Geometría.** Cuando se utiliza un pin rotacional de canal curvo o cerrado este requiere que se especifiquen los puntos de paso del canal mediante la ventana de geometría.

- b) Propiedades.** Se puede añadir fricción en la interacción canal pin, además de modificar valores como puntos de paso u orientación.

### ***Elementos dinámicos***

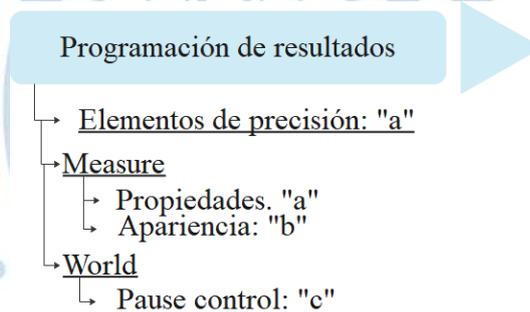
Los elementos dinámicos más usados son el motor y el actuador, en estos se puede programar posiciones, velocidades, aceleraciones, fuerzas, en sentido lineal y rotacional respectivamente.

- a) Propiedades.** Las propiedades de los elementos dinámicos permiten en uso de la opción “*Active when*” que permite activar el elemento dinámico mediante una secuencia lógica.

### **3.5.2.3 Programación de resultados**

El programa *Working Model* posee opciones para determinar de forma directa magnitudes como posición, velocidad, aceleración, etc. En la mayoría de los casos es necesario reformular los resultados mediante la programación de resultados.

En la figura 47 se muestra la secuencia de pasos para la correcta programación de resultados.



**Figura 47** Secuencia de programación de resultados de un modelo en el *software Working Model*.

- a) Elementos de precisión.** Se utiliza para mejorar la precisión y reducir la magnitud de las funciones programadas. Generalmente se analiza mediante la colocación de un punto.
- b) Propiedades.** Una vez generado un cuadro de resultados, accediendo a este mediante un doble clic se encontrarán dos secciones, en la primera sección se podrán determinar los parámetros que se deseen extraer. La primera fila corresponde al parámetro de una variable sobre la cual se formula una función en las filas posteriores. En la sección dos se puede ajustar el espacio visual de las gráficas generadas, modificando los límites de sus ejes (X y Y) para mejorar la visualización de los puntos de dispersión generados como resultado de la

formula especificada en la sección 1. Las fórmulas deben ser escritas en formato lineal. (Ver figura 48)

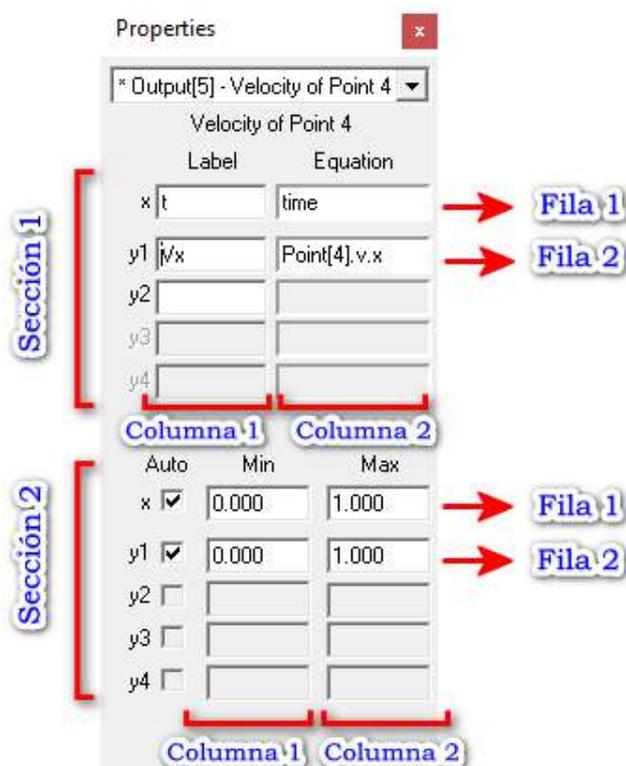


Figura 48 Detalle de la distribución de la pestaña de resultados en el software *Working Model*.

- c) **Pause control.** Con esta función se puede limitar el alcance de la simulación, por medio de una secuencia lógica generalmente expresada en base al tiempo.

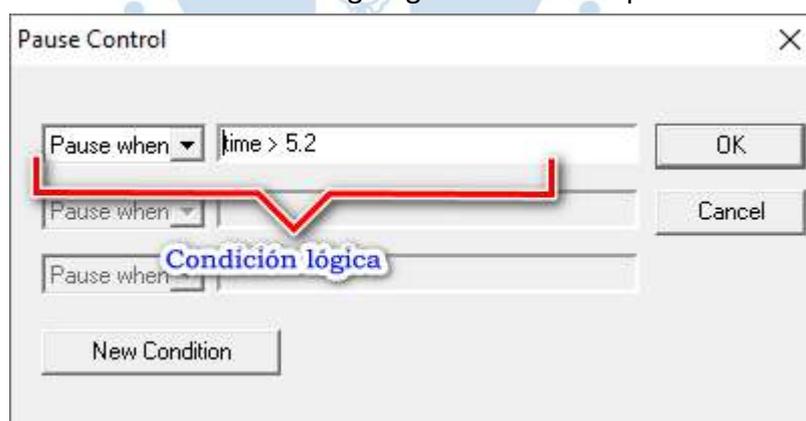


Figura 49 Detalle de la distribución de la pestaña de control de pausa en el software *Working Model*.

### 3.6 Instrucciones para construir modelos y mecanismos de los Laboratorios

Actualmente todas las instrucciones para construir modelos y mecanismos utilizando el software *Working Model* se encuentran en formato textual y son poco detalladas.

Considerando que la información de este proyecto de tesis estará disponible en biblioteca de forma escrita, se vio por conveniente desarrollar un nuevo sistema que permita representar las instrucciones de construcción de un mecanismo al detalle.

A continuación, se presentarán los enunciados de los ejercicios que se desarrollarán en los laboratorios con sus respectivas instrucciones de construcción.

### 3.6.1 Laboratorio 1

El laboratorio 1 está orientado al desarrollo de dos temas académicos:

- Cinemática con coordenadas normales y tangenciales, que se desarrollará mediante el ejercicio 1 que presenta el análisis de una montaña rusa compuesto de 3 tipos de tramos, el primer tramo está determinado mediante una función polinómica  $f(x)$ , el segundo tramo es lineal y, por último, el tercer tramo corresponde a una circunferencia de radio " $r$ ".
- Movimiento dependiente, este tema se desarrollará mediante un ejercicio típico de dinámica de poleas.

Las soluciones numéricas de los ejercicios correspondientes al laboratorio 1 se encuentran en el "Apéndice A".

#### 3.6.1.1 Ejercicio 1 - Laboratorio 1, instrucciones de construcción y programación en el software Working Model 2D

Una montaña rusa consta de tres tipos de tramos: El tramo 1 se encuentra entre  $x=0.00$  y  $x=30.00$  m donde el recorrido de la montaña usa se puede definir como una función parabólica. El tramo 2 es un recorrido lineal en  $y=0$  hasta  $x=45$ . Finalmente, el tramo 3 consta de una circunferencia de radio  $5.00$  m cuyo centro se encuentra ubicado  $(45.00;5.00)$ , si el vagón conserva una velocidad tangencial  $V=8.00$  m/s, calcule el valor del radio de curvatura en cada punto y el valor de la aceleración normal para todo  $x$ . (Ver figura 50)

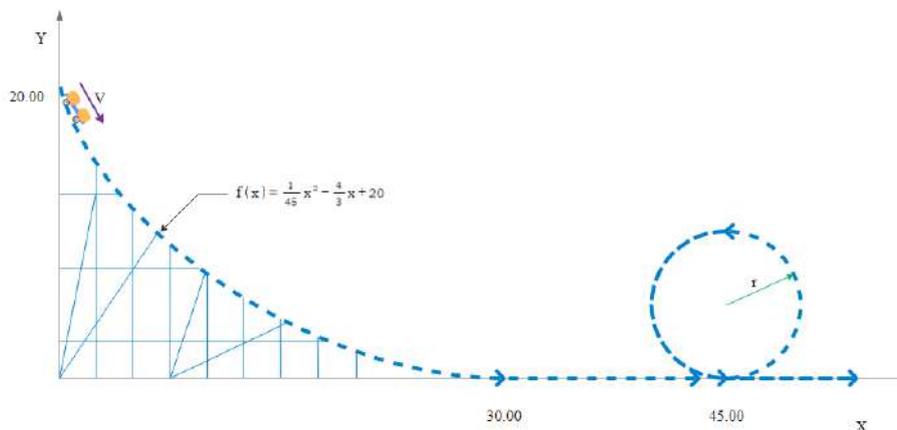


Figura 50 Ejercicio 1 - Laboratorio 1, montaña rusa.

### Configurar el espacio de trabajo

Tabla 7 Espacio de trabajo, Ejercicio 1 - Laboratorio 1.

Función	Opciones	Valor
<i>Workspace</i>	Activar: - <i>Rules</i> - <i>Grid Lines</i> - <i>X, Y Axes</i>	[ - ]
<i>Accuracy</i>	<i>Animation Step</i>	100 Frames/s
<i>Gravity</i>	Desactivar la gravedad	None

### Construcción de formas y restricciones

Tabla 8 Formas y restricciones, Ejercicio 1 - Laboratorio 1 (Parte 1).

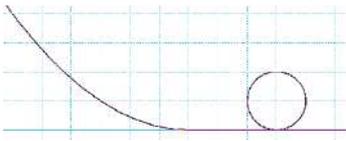
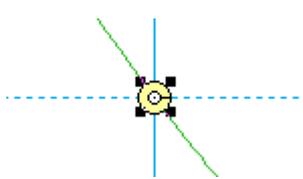
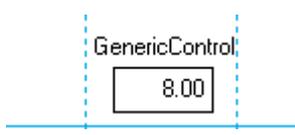
Elemento	Propiedades / Geometría	Restricciones
Elementos iguales: [ - ]	Valores iguales: [ - ]	Restricciones iguales: [ - ]
Tipo: <b>Canal curvo abierto</b> Nombre: <b>Constraint[3 ]- Curved Slot Joint</b> 	Geometría <ul style="list-style-type: none"> <li>• Generar los puntos de la función cada 2 und, para <math>x \in [-2.00;30.00]</math></li> <li>• Completar cada 2 und con <math>y=0</math> para <math>x \in [30.00;45.00]</math></li> <li>• Generar una secuencia continua con una función de circunferencia cada 0.2 und</li> </ul> $f(x) = \frac{1}{45}x^2 - \frac{4}{3}x + 20$ $(x - 45)^2 + (y - 5)^2 = 5^2$	<i>Slot is</i>  <b>Slider</b>  <i>Display in</i>  CartesianCoordinates  <i>Table:</i>  Pegar los puntos generados

Tabla 9 Formas y restricciones, Ejercicio 1 - Laboratorio 1 (Parte 2).

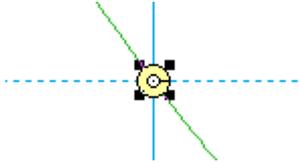
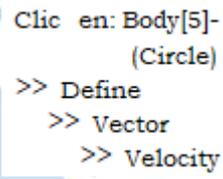
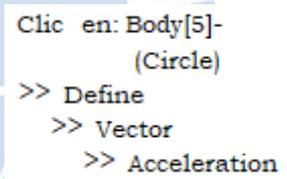
Elemento	Propiedades / Geometría	Restricciones
<p>Tipo: <i>Circunferencia</i></p> <p>Nombre: <i>Body[5]</i></p> 	<p>Propiedades:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dimensiones <math>r = 0.50 \text{ [m]}</math></li> <li>- Posición <i>Body[5]</i> <math>x = 0.00 \text{ [m]}</math> <math>y = 20.00 \text{ [m]}</math></li> </ul>	<p>Conexión:</p> <p><i>Constraint[3]</i> ↓ <i>Body[5]</i></p> <p>- Ubicación: <i>[5]</i> <math>x' = 0.00 \text{ [m]}</math> <math>y' = 0.00 \text{ [m]}</math></p>

### Programación de elementos dinámicos

Tabla 10 Elementos de programación directa, Ejercicio 1 - Laboratorio 1.

Elemento	Conexión	Propiedades
<p><i>Generic Control</i></p> <p><i>Input[7]</i></p> 	<p>Creación:</p> <pre>&gt;&gt; Define &gt;&gt; New Control &gt;&gt; Generic Control</pre>	<p>- <i>Type:</i> Text box</p> <p>- <i>Rank:</i> <math>\text{min} = 0.00</math> <math>\text{max} = 10.00</math></p> <p>- <i>Valor:</i> 8.00</p>

**Tabla 11 Programación de condiciones iniciales, Ejercicio 1 - Laboratorio 1.**

Elemento	Condición inicial de movimiento
<p>Nombre:</p> <p>Body[5]</p> 	<p>De los cálculos manuales:</p> <p>Para <math>t=0</math></p> $\theta_0 = -0.91 \text{ rad}$ <p>- Propiedades Body[5]:</p> $V_x = \text{Input}[7] \cdot \cos(-0.91)$ $V_y = \text{Input}[7] \cdot \sin(-0.91)$
<p>Nombre:</p> <p>[Vector Velocidad]</p>	<p>Creación:</p> 
<p>Nombre:</p> <p>[Vector Aceleración]</p>	<p>Creación:</p> 

**Programación de resultados**

**Tabla 12 Control de pausa, Ejercicio 1 - Laboratorio 1.**

Control de pausa	Condición
Control de pausa 1	<i>Body[5].p.x&gt;60</i>

Tabla 13 Programación de resultados, Ejercicio 1 - Laboratorio 1.

Valor	Función programada	Eje x
x	$Body[5].p.x$	Time
$V_x$	$Body[5].v.x$	Time
$V_y$	$Body[5].v.y$	Time
$ V $	$ Body[5].v $	Time
$A_x$	$Body[5].a.x$	Time
$A_y$	$Body[5].a.y$	Time
$A_n= A $	$ Body[5].a $	Time
$\rho$	$ Body[5].v ^2/ Body[5].a $	Time

## Estado inicial

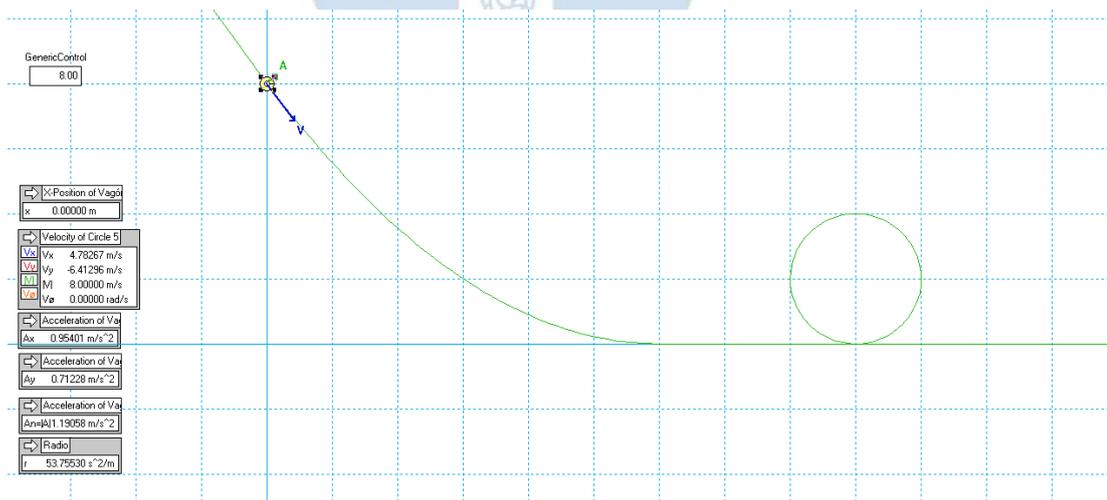
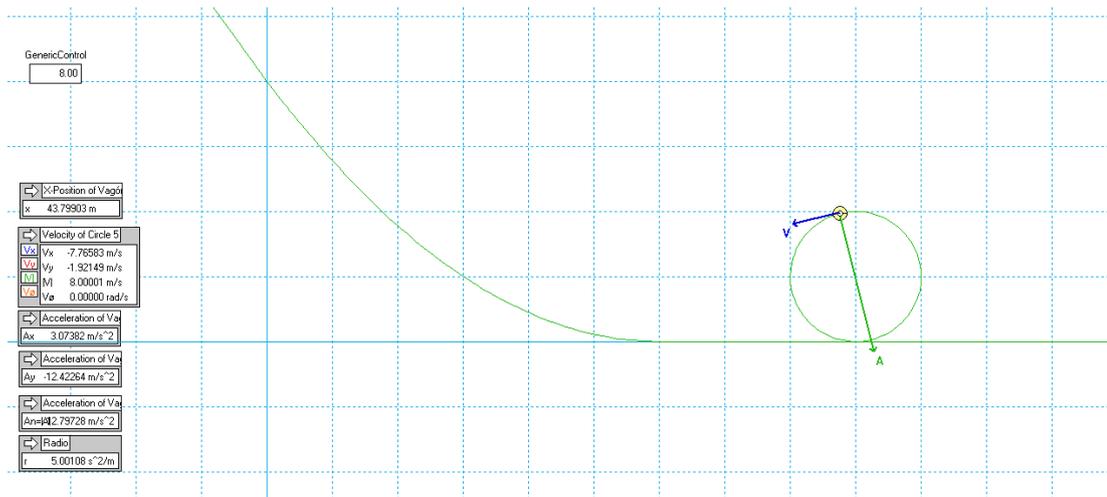


Figura 51 Simulación, Ejercicio 1 - Laboratorio 1, estado inicial.

## Estado final



**Figura 52 Simulación, Ejercicio 1 - Laboratorio 1, estado final.**

## Conclusiones del ejercicio

Este ejercicio representa un sistema donde se puede apreciar con exactitud la dinámica de una partícula expuesta a un movimiento analizado por coordenadas Normales y Tangenciales.

- En el primer tramo se puede apreciar como el vector aceleración siempre apunta al centro de la curvatura en cada punto de la trayectoria.
- Al no existir aceleración tangencial, el vector aceleración, en el tramo horizontal se pierde puesto el radio de curvatura es infinito y este al ser un denominador hace que la aceleración tienda a 0.
- En el tramo circular se puede apreciar que la aceleración siempre apunta hacia el centro de la circunferencia puesto que el radio es constante al igual que la velocidad por lo tanto el valor de la aceleración será constante modificando únicamente su orientación.

La correcta programación de resultados permite visualizar los valores correspondientes de velocidad y aceleración en todos los puntos. (Ver figura 53)

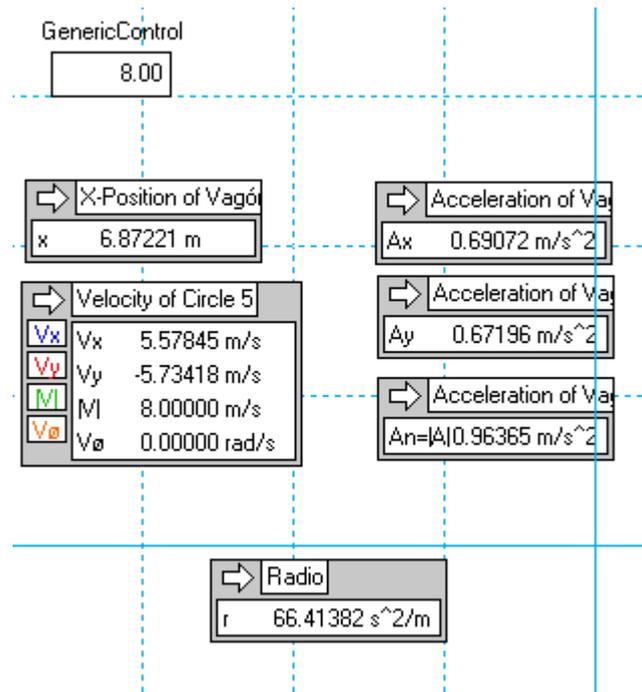


Figura 53 Simulación, Ejercicio 1 - Laboratorio 1, tabla de resultados.

### 3.6.1.2 Ejercicio 2 – Laboratorio 1, instrucciones de construcción y programación en el software *Working Model 2D*

Los motores A y B tiran de los cables con una aceleración  $a=0.2*t$  [ $m/s^2$ ] donde “t” está en segundos, determine la rapidez del bloque cuando alcanza una altura de  $h=4.00$  m partiendo del reposo en  $h=0$ , además también calcular el tiempo que demora en alcanzar dicha altura. (Ver figura 54)

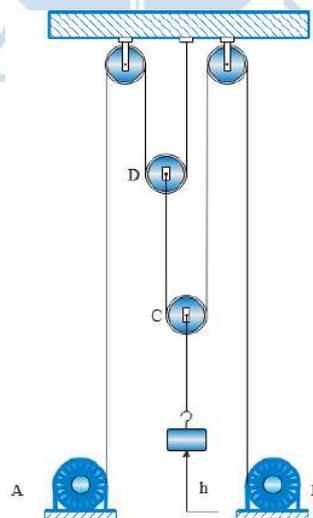


Figura 54 Rediseño Prob. 12-209 software *EDraw Max*.  
Fuente: Hibbeler (2010)

### Configurar el espacio de trabajo

Tabla 14 Espacio de trabajo, Ejercicio 2 - Laboratorio 1.

Función	Opciones	Valor
<i>Workspace</i>	Activar: - <i>Rules</i> - <i>Grid Lines</i> - <i>X, Y Axes</i>	[ - ]
<i>Accuracy</i>	<i>Animation Step</i>	100 Frames/s
<i>Gravity</i>	Desactivar la gravedad	None
<i>Preferences</i>	Desactivar las colisiones	<i>Objects do not collide by default</i>

### Construcción de formas y restricciones

Tabla 15 Formas y restricciones, Ejercicio 2 - Laboratorio 1 (Parte 1).

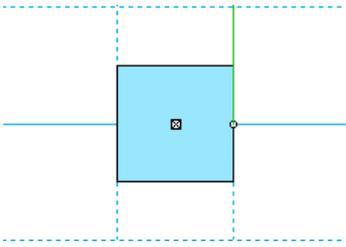
Elemento	Propiedades / Geometría	Restricciones
Elementos iguales:  Cuadrados [2]  Circunferencias [4]	Valores iguales:  [Dimensiones]	Restricciones iguales:  [ - ]
Tipo:  Cuadrado  Nombre:  Body [22] Body [23]  	Propiedades: - Dimensiones $h = 1.00 [m]$ - Posición  [22] $\begin{cases} x = 2.00 [m] \\ y = 0.00 [m] \\ \theta = 0.00 [rad] \end{cases}$  [23] $\begin{cases} x = -2.50 [m] \\ y = 0.00 [m] \\ \theta = 0.00 [rad] \end{cases}$	Elementos:  [22] y [23] - Tipo:  Pin rígido - Ubicación: $x' = 0.00 [m]$ $y' = 0.00 [m]$ - Relación: $[22] y [23]$ ↓ Espacio de trabajo

Tabla 16 Formas y restricciones, Ejercicio 2 - Laboratorio 1 (Parte 2).

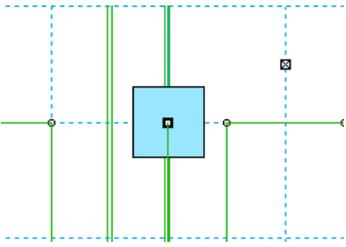
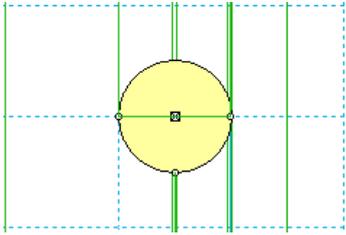
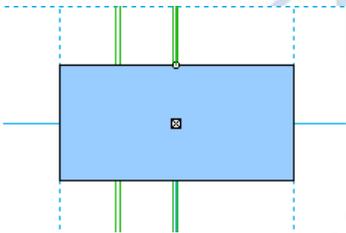
Elemento	Propiedades / Geometría	Restricciones								
<p>Tipo: Cuadrado</p> <p>Nombre: Body [ 32 ]</p> 	<p>Propiedades:</p> <p>- Dimensiones</p> $h = 0.20 \text{ [m]}$ <p>- Posición</p> $x = 0.00 \text{ [m]}$ $y = 25.00 \text{ [m]}$ $\theta = 0.00 \text{ [rad]}$	<p>Elemento: [ 32 ]</p> <p>- Tipo: <input checked="" type="checkbox"/> Pin rígido</p> <p>- Ubicación: <math>x' = 0.00 \text{ [m]}</math> <math>y' = 0.00 \text{ [m]}</math></p> <p>- Relación: Body [ 32 ] ↓ Espacio de trabajo</p>								
<p>Tipo: Circunferencia</p> <p>Nombre: Body [ 1 ] Body [ 6 ] Body [ 10 ] Body [ 11 ]</p> 	<p>Propiedades:</p> <p>- Dimensiones</p> $r = 0.50 \text{ [m]}$ <p>- Posición</p> <table border="0"> <tr> <td>[ 1 ]</td> <td><math>x = 0.00 \text{ [m]}</math> <math>y = 5.00 \text{ [m]}</math></td> </tr> <tr> <td>[ 6 ]</td> <td><math>x = -0.50 \text{ [m]}</math> <math>y = 15.00 \text{ [m]}</math></td> </tr> <tr> <td>[ 10 ]</td> <td><math>x = 1.00 \text{ [m]}</math> <math>y = 25.00 \text{ [m]}</math></td> </tr> <tr> <td>[ 11 ]</td> <td><math>x = -1.50 \text{ [m]}</math> <math>y = 25.00 \text{ [m]}</math></td> </tr> </table>	[ 1 ]	$x = 0.00 \text{ [m]}$ $y = 5.00 \text{ [m]}$	[ 6 ]	$x = -0.50 \text{ [m]}$ $y = 15.00 \text{ [m]}$	[ 10 ]	$x = 1.00 \text{ [m]}$ $y = 25.00 \text{ [m]}$	[ 11 ]	$x = -1.50 \text{ [m]}$ $y = 25.00 \text{ [m]}$	<p>Elementos: [ 10 ] y [ 11 ]</p> <p>- Tipo: <input checked="" type="checkbox"/> Pin rígido</p> <p>- Ubicación: <math>x' = 0.00 \text{ [m]}</math> <math>y' = 0.50 \text{ [m]}</math></p> <p>Elementos: [ 1 ] y [ 6 ]</p> <p>- Tipo: <input checked="" type="checkbox"/> Pin rígido de canal vertical</p>
[ 1 ]	$x = 0.00 \text{ [m]}$ $y = 5.00 \text{ [m]}$									
[ 6 ]	$x = -0.50 \text{ [m]}$ $y = 15.00 \text{ [m]}$									
[ 10 ]	$x = 1.00 \text{ [m]}$ $y = 25.00 \text{ [m]}$									
[ 11 ]	$x = -1.50 \text{ [m]}$ $y = 25.00 \text{ [m]}$									

Tabla 17 Formas y restricciones, Ejercicio 2 - Laboratorio 1 (Parte 3).

Elemento	Propiedades / Geometría	Restricciones
Nombre:  Body [ 1 ] Body [ 6 ] Body [ 10 ] Body [ 11 ] Continuación	[ - ]	- Ubicación: $x' = 0.00 [m]$ $y' = 0.00 [m]$ - Relación: [ 1 ][ 6 ][ 10 ][ 11 ] ↓ Espacio de trabajo

Tabla 18 Formas y restricciones, Ejercicio 2 - Laboratorio 1 (Parte 3).

Elemento	Propiedades / Geometría	Restricciones
Tipo: Rectángulo  Nombre: Body [ 2 ]  	Propiedades: - Dimensiones $h = 1.00 [m]$ $w = 2.00 [m]$ - Posición $x = 0.00 [m]$ $y = 0.00 [m]$ $\theta = 0.00 [rad]$	Elemento: <div style="border: 1px solid blue; padding: 2px; display: inline-block;">[ 2 ]</div> - Tipo:  Pin rígido de canal vertical - Ubicación: $x' = 0.00 [m]$ $y' = 0.00 [m]$ - Relación: Body [ 2 ] ↓ Espacio de trabajo

### Programación de elementos dinámicos

Tabla 19 Elementos dinámicos, Ejercicio 2 - Laboratorio 1 (Parte 1).

Elemento	Conexión	Propiedades
Polea  Nombre: Constraint[43]-Pulley	Propiedades: - Puntos de paso (-2.00;0.00) (-2.00;25.00) (-1.00;25.00) (-1.00;15.00) (0.00;15.00) (0.00;25.00)	- <i>Type:</i> Length - <i>Valor:</i> $47.00-1/30*t^3$ - <i>Active when</i> Always

Tabla 20 Elementos dinámicos, Ejercicio 2 - Laboratorio 1 (Parte 2).

Elemento	Conexión	Propiedades
Polea  Nombre: Constraint[27]-Pulley	Propiedades: - Puntos de paso (1.50;0.00) (1.50;25.00) (0.50;25.00) (0.50;5.00) (-0.50;5.00) (-0.50;14.50)	- <i>Type:</i> Length - <i>Valor:</i> $56.50-1/30*t^3$ - <i>Active when</i> Always
Cuerda  Nombre: Constraint[27]-Pulley	Propiedades: - Puntos de paso (0.00;0.50) (0.00;4.50)	- <i>Type:</i> Length - <i>Valor:</i> 4.00 - <i>Active when</i> Always

### Programación de resultados

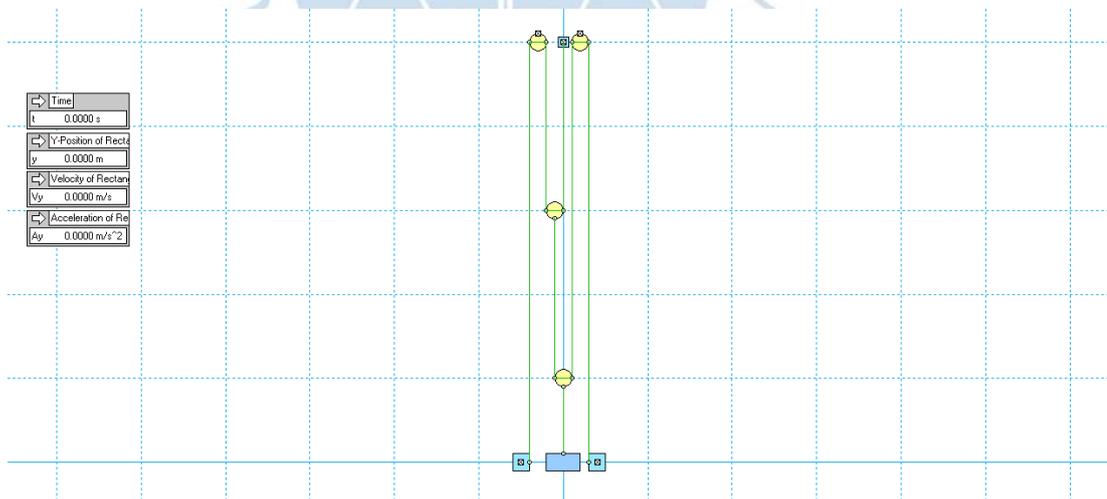
**Tabla 21 Control de pausa, Ejercicio 2 - Laboratorio 1.**

Control de pausa	Condición
Control de pausa 1	$Body[2].p.y > 4$

**Tabla 22 Programación de resultados, Ejercicio 2 - Laboratorio 1.**

Valor	Función programada	Eje x
$Time$	$Time$	$Frame()$
$h$	$Body[2].p.y$	$Time$
$V_y$	$Body[2].v.y$	$Time$
$A_y$	$Body[2].a.y$	$Time$

### Estado inicial



**Figura 55 Simulación, Ejercicio 2 - Laboratorio 1, estado inicial.**

### Estado final

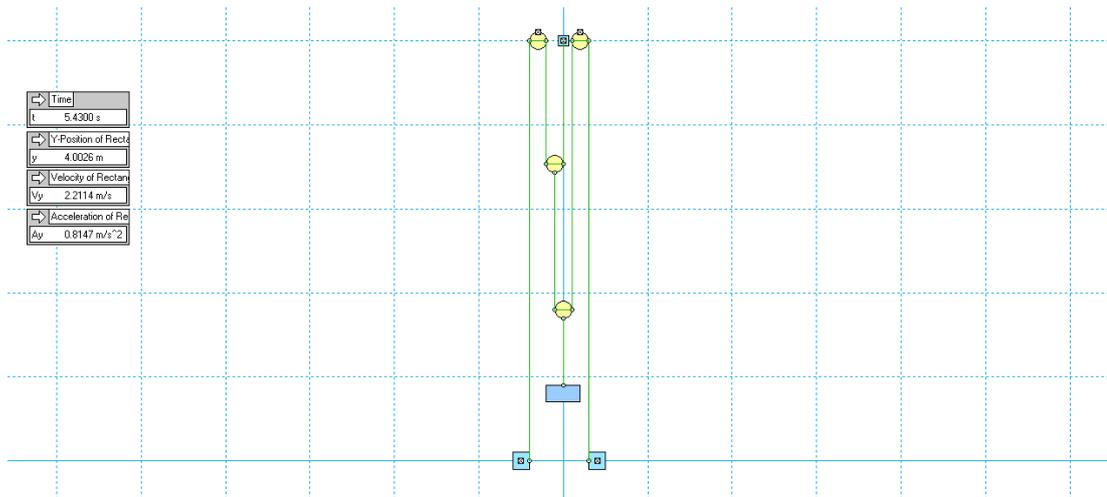


Figura 56 Simulación, Ejercicio 2 - Laboratorio 1, estado final.

### Conclusiones del ejercicio

Se debe tener un especial cuidado en las funciones que serán ingresadas como propiedades de la polea, puesto que de no ser calculadas correctamente no se obtendrían los resultados calculados manualmente.

La expresión que se introduce en el elemento dinámico “polea” consta de dos partes:

- Constante estable, corresponde al valor de la longitud inicial de la cuerda, este valor debe ser igual al expresado en la sección “Current” de las propiedades del mismo elemento.
- Función de cambio, corresponde a la función calculada manualmente que permite incrementar o reducir el tamaño de la cuerda, generalmente es una función que tiene como variable el tiempo. (Ver figura 57)

#### Properties

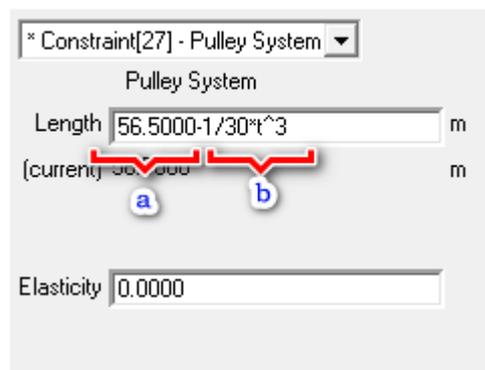


Figura 57 Simulación, Ejercicio 2 - Laboratorio 1, función programada.

### 3.6.2 Laboratorio 2

El laboratorio 2 tiene como objetivo desarrollar los temas de: cinemática con coordenadas polares y cilíndricas. Para ello se diseñó un ejercicio que permita desarrollar ambos temas de forma progresiva.

Inicialmente se debe analizar el brazo mecánico desde una perspectiva de planta (coordenadas polares), para posteriormente añadir el desplazamiento en dirección Z realizar el análisis correspondiente al tema de coordenadas cilíndricas.

Las soluciones numéricas de los ejercicios correspondientes al laboratorio 2 se encuentran en el “Apéndice B”.

#### 3.6.2.1 Ejercicio 1 – Laboratorio 2, instrucciones de construcción y programación en el software *Working Model 2D*

Se tiene un brazo mecánico con  $L_0=1.50$  m de largo en su posición sin extender. Inicialmente el brazo se encuentra alineado con el eje x formando un ángulo de  $\theta_2=30^\circ$  que mantendrá durante todo su movimiento. Considerando que el brazo rota sobre el eje Z a razón de  $\dot{\theta} = 0.176$  rad/s y el punto A se aleja del centro con una velocidad de 0.43 m/s y desaceleración de  $0.07$  m/s<sup>2</sup>, para los siguientes casos:

- Caso 1: El brazo mecánico es visto desde arriba (vista de planta) (Ver figura 59)
- Caso 2: El brazo mecánico visto en 3D (Ver figura 58)

Para un tiempo  $t=4.50$  s determinar el valor de:

- $V_r$ : Velocidad en dirección del radio.
- $V_\theta$ : Velocidad en dirección  $\theta$ .
- $V_z$ : Velocidad en dirección Z.
- $V_{TOT}$ : Velocidad total.
- $a_r$ : Aceleración en dirección del radio.
- $a_\theta$ : Aceleración en dirección  $\theta$ .
- $a_z$ : Aceleración en dirección Z.
- $a_{tot}$ : Aceleración total.

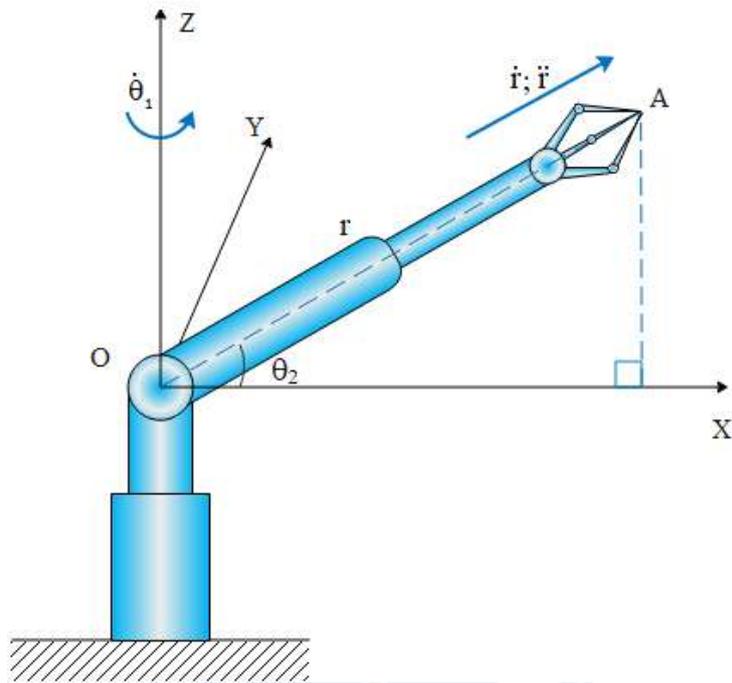


Figura 58 Ejercicio 1 - Laboratorio 2, brazo mecánico, vista 3D.

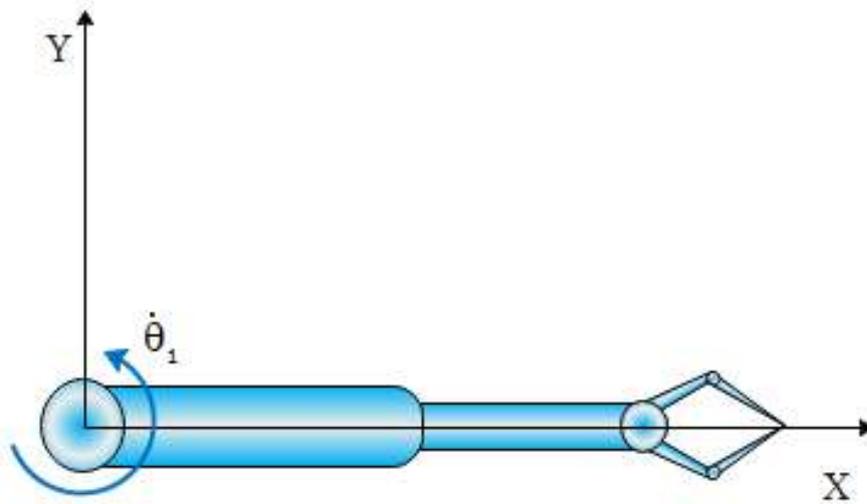


Figura 59 Ejercicio 1 - Laboratorio 2, brazo mecánico, vista de planta.

## Caso 1

## Configurar el espacio de trabajo

Tabla 23 Espacio de trabajo, Ejercicio 1, caso 1 – Laboratorio 2.

Función	Opciones	Valor
<i>Workspace</i>	Activar: - <i>Rules</i> - <i>Grid Lines</i> - <i>X, Y Axes</i>	[ - ]
<i>Accuracy</i>	<i>Animation Step</i>	100 Frames/s
<i>Gravity</i>	Desactivar la gravedad	None
<i>Preferences</i>	Desactivar las colisiones	<i>Objects do not collide by default</i>

## Construcción de formas y restricciones

Tabla 24 Formas y restricciones, Ejercicio 1, caso 1 – Laboratorio 2 (Parte 1).

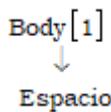
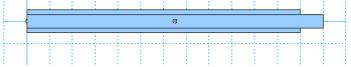
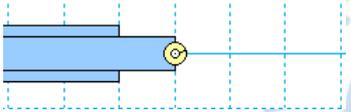
Elemento	Propiedades / Geometría	Restricciones
Elementos iguales: [ - ]	Valores iguales: [ - ]	Condiciones iguales: [ - ]
 Nombre: <b>Body [ 1 ]</b> Tipo: Rectángulo	Propiedades: - Dimensiones $h = 0.10 [m]$ $w = 1.20 [m]$ - Posición $x = 0.60 [m]$ $y = 0.00 [m]$ $\theta = 0.00 [rad]$	Tipo:  <b>Pin rotacional</b> - Ubicación: $x' = -0.60 [m]$ $y' = 0.00 [m]$ - Relación: 

Tabla 25 Formas y restricciones, Ejercicio 1, caso 1 – Laboratorio 2 (Parte 2).

Elemento	Propiedades / Geometría	Restricciones
 <p>Nombre: Body [ 8 ]</p> <p>Tipo: Rectángulo</p>	<p>Propiedades:</p> <p>- Dimensiones</p> <p style="margin-left: 40px;"><math>h = 0.06 \text{ [m]}</math></p> <p style="margin-left: 40px;"><math>w = 1.30 \text{ [m]}</math></p> <p>- Posición</p> <p style="margin-left: 40px;"><math>x = 0.65 \text{ [m]}</math></p> <p style="margin-left: 40px;"><math>y = 0.00 \text{ [m]}</math></p> <p style="margin-left: 40px;"><math>\theta = 0.00 \text{ [rad]}</math></p>	<p>Tipo:</p>  <p>Pin rígido de canal horizontal</p> <p>- Ubicación:</p> <p style="margin-left: 40px;"><math>x' = 0.00 \text{ [m]}</math></p> <p style="margin-left: 40px;"><math>y' = 0.00 \text{ [m]}</math></p> <p>- Relación:</p> <p style="margin-left: 40px;">Body [ 8 ]</p> <p style="margin-left: 80px;">↓</p> <p style="margin-left: 40px;">Body [ 1 ]</p>
 <p>Nombre: Body [ 13 ]</p> <p>Tipo: Circulo</p>	<p>Propiedades:</p> <p>- Dimensiones</p> <p style="margin-left: 40px;"><math>r = 0.02 \text{ [m]}</math></p> <p>- Posición</p> <p style="margin-left: 40px;"><math>x = 1.30 \text{ [m]}</math></p> <p style="margin-left: 40px;"><math>y = 0.00 \text{ [m]}</math></p> <p style="margin-left: 40px;"><math>\theta = 0.00 \text{ [rad]}</math></p>	<p>Tipo:</p>  <p>Pin rotacional</p> <p>- Ubicación:</p> <p style="margin-left: 40px;"><math>x' = 0.00 \text{ [m]}</math></p> <p style="margin-left: 40px;"><math>y' = 0.00 \text{ [m]}</math></p> <p>- Relación:</p> <p style="margin-left: 40px;">Body [ 13 ]</p> <p style="margin-left: 80px;">↓</p> <p style="margin-left: 40px;">Body [ 8 ]</p>

## Programación de elementos dinámicos

Tabla 26 Elementos dinámicos, Ejercicio 1, caso 1 – Laboratorio 2 (Parte 1).

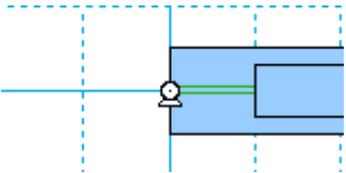
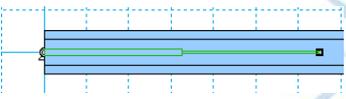
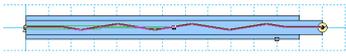
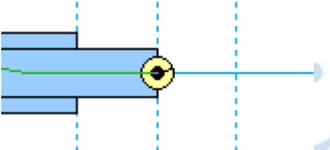
Elemento	Conexión	Propiedades
Elementos iguales: $[-]$	Valores iguales: $[-]$	Condiciones iguales: $[-]$
 <p>Motor</p> <p>Nombre: Constrain [ 7 ] – Motor</p>	Propiedades: - Conexión Body [ 1 ] $x = -0.60 [m]$ $y = 0.00 [m]$	- Type: Velocity - Valor: $0.176 [rad/s]$ - Active when Always
 <p>Actuador</p> <p>Nombre: Constrain [ 18 ] – Actuador</p>	Propiedades: - Conexión Punto 1 Body [ 1 ] $x = -0.60 [m]$ $y = 0.00 [m]$ Punto 2 Body [ 8 ] $x = 0.00 [m]$ $y = 0.00 [m]$	- Type: Velocity - Valor: $0.372-0.0606*t [m/s]$ - Active when Always
 <p>Resorte</p> <p>Nombre: Constrain [ 22 ] – Spring</p>	Propiedades: - Conexión Punto 1 Body [ 1 ] $x = -0.60 [m]$ $y = 0.00 [m]$	- Force: $Kx$ - K $0.000001$ - Length $1.35 [m]$

Tabla 27 Elementos dinámicos, Ejercicio 1, caso 1 – Laboratorio 2 (Parte 2).

Elemento	Conexión	Propiedades
<p>Nombre:</p> <p>Constrain [ 22 ] – Spring</p> <p>Continuación</p>	<p>Punto 2</p> <p>Body [ 13 ]</p> <p><math>x = 0.00</math> [m]</p> <p><math>y = 0.00</math> [m]</p>	<p>[ - ]</p>
<p>Resorte</p>  <p>Nombre:</p> <p>Constrain [ 22 ] – Spring</p>	<p>Propiedades:</p> <p>- Conexión</p> <p>Punto 1</p> <p>Body [ 1 ]</p> <p><math>x = -0.60</math> [m]</p> <p><math>y = 0.00</math> [m]</p> <p>Punto 2</p> <p>Body [ 13 ]</p> <p><math>x = 0.00</math> [m]</p> <p><math>y = 0.00</math> [m]</p>	<p>- Force:</p> <p><b>K x</b></p> <p>- K</p> <p>0.000001</p> <p>- Length</p> <p>1.35[m]</p>
<p>Punto</p>  <p>Nombre:</p> <p>Point [ 21 ] – Point</p>	<p>Propiedades:</p> <p>- Conexión</p> <p>Body [ 13 ]</p> <p><math>x = 0.00</math> [m]</p> <p><math>y = 0.00</math> [m]</p>	<p>Propiedades</p> <p>[ - ]</p>

### Programación de resultados

Tabla 28 Control de pausa, Ejercicio 1, caso 1 – Laboratorio 2.

Control de pausa	Condición
Control de pausa 1	$time > 12$

Tabla 29 Programación de resultados, Ejercicio 1, caso 1 – Laboratorio 2.

Valor	Función programada	Eje x
$V_r = \dot{r}$	<i>Constraint[22].dv.x</i>	<i>Time</i>
$V_\theta = r \cdot \dot{\theta}$	<i>Body[1].v.r*Constraint[22].dp.x</i>	<i>Time</i>
$ V  = \sqrt{V_r^2 + V_\theta^2}$	<i> Point[21].v </i>	<i>Time</i>
$\ddot{r}$	<i>Constraint[22].da.x</i>	<i>Time</i>
$A_r = \ddot{r} - r \cdot \dot{\theta}^2$	<i>Constraint[22].da.x - Constraint[22].dp.x*Body[1].v.r^2</i>	<i>Time</i>
$A_\theta = r \cdot \ddot{\theta} + 2 \cdot \dot{r} \cdot \dot{\theta}$	<i>2*Constraint[22].dv.x*Body[1].v.r</i>	<i>Time</i>
$ A  = \sqrt{A_r^2 + A_\theta^2}$	<i> Point[21].a </i>	<i>Time</i>

Estado inicial

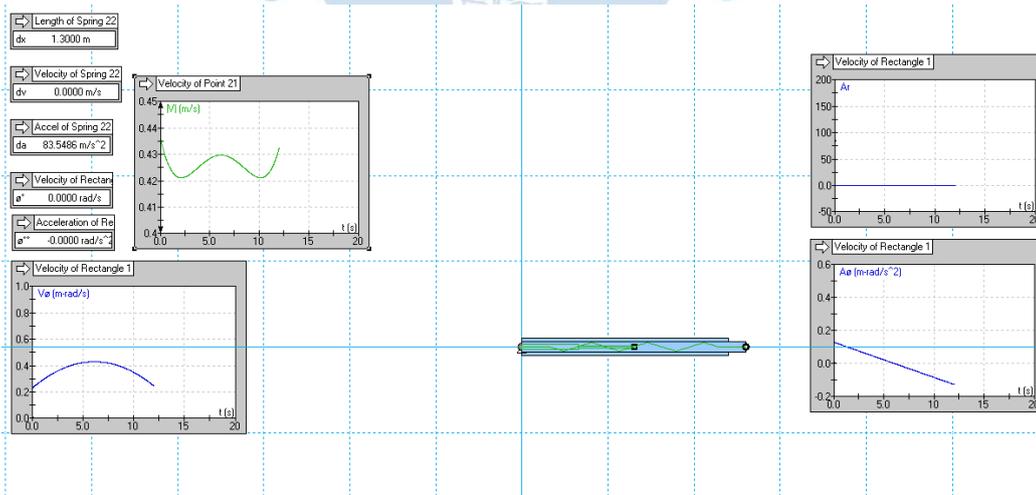


Figura 60 Simulación, Ejercicio 1, caso 1 – Laboratorio 2, estado inicial.

## Estado final

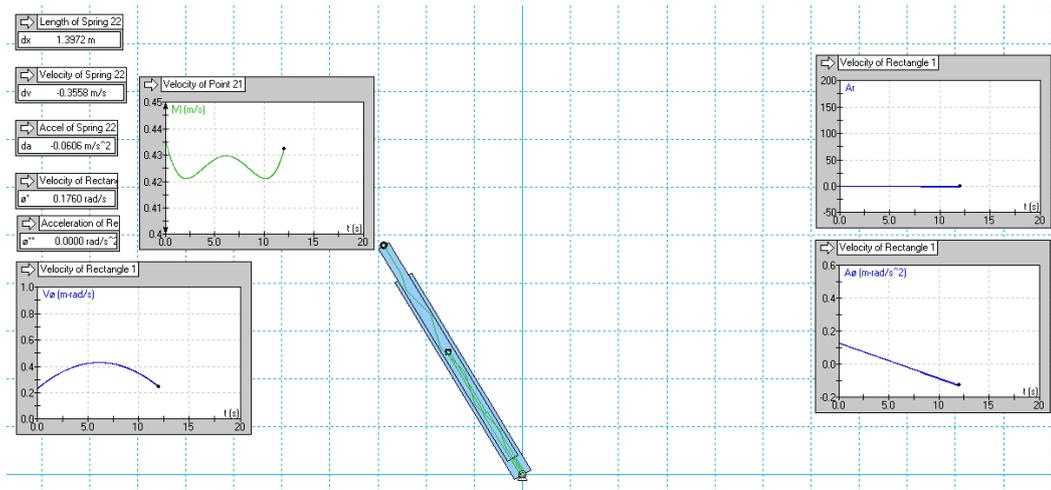


Figura 61 Simulación, Ejercicio 1, caso 1 – Laboratorio 2, estado final.

## Análisis de resultados

En tanto se tengan sistemas con adecuada programación se pueden utilizar resortes y/o separadores con valores de “K” semejantes a cero, para medir la velocidad y aceleración en dirección del radio de forma directa, evitando el uso excesivo de ecuaciones en los cuadros de respuesta.

Graficar los valores de la velocidad y aceleración permite una mejor comparación de los resultados obtenidos mediante el *software Working Model* y los cálculos manuales.

## Caso 2

Duplicar el modelo anterior, colocar la copia en y=2

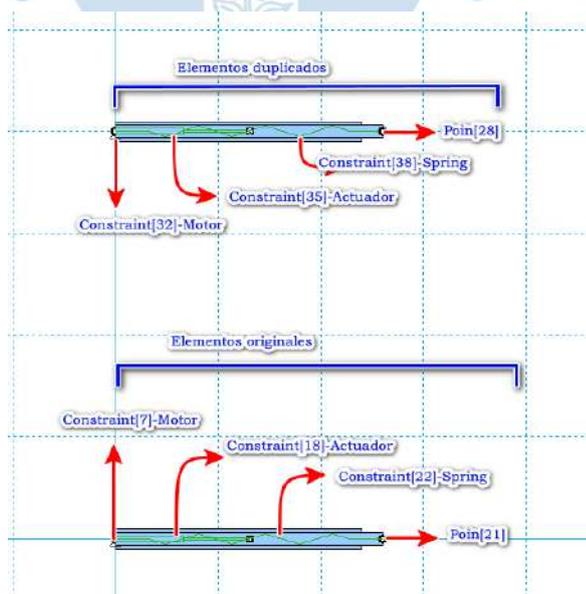


Figura 62 Distribución para la programación del Ejercicio 1, caso 2 – Laboratorio 2.

Se deben modificar únicamente los elementos dinámicos, asegurándose de que los elementos no roten.

**Tabla 30 Elementos dinámicos, Ejercicio 1, caso 2 – Laboratorio 2.**

Nombre	Tipo	Valor
<i>Constraint[18]-Actuador</i>	<i>Leght</i>	$0.85+0.43*t-0.035*t^2$
<i>Constraint[7]-Motor</i>	<i>Rotation</i>	$30*pi/180$
<i>Constraint[35]-Actuador</i>	<i>Leght</i>	$Point[21].p.x-0.6500$

**Programación de resultados**

**Tabla 31 Control de pausa, Ejercicio 1, caso 2 – Laboratorio 2.**

Control de pausa	Condición
Control de pausa 1	$time > 12$

**Tabla 32 Programación de resultados, Ejercicio 1, caso 2 – Laboratorio 2.**

Valor	Función programada	Eje x
$V_r = \dot{r}$	<i>Constraint[22].dv.x</i>	<i>Time</i>
$V_\theta = r \cdot \dot{\theta}$	<i>Body[41].v.r*Constraint[38].dp.x</i>	<i>Time</i>
$V_z = \dot{z}$	<i>Point[21].v.y</i>	<i>Time</i>
$ V  = \sqrt{V_r^2 + V_\theta^2 + V_z^2}$	$( Point[28].v ^2 + Point[21].v.y^2)^{0.5}$	<i>Time</i>
$\ddot{r}$	<i>Constraint[22].da.x</i>	<i>Time</i>
$A_r = \ddot{r} - r \cdot \dot{\theta}^2$	<i>Constraint[22].da.x - Body[41].v.r^2*Constraint[38].dp.x</i>	<i>Time</i>
$A_\theta = r \cdot \ddot{\theta} + 2 \cdot \dot{r} \cdot \dot{\theta}$	$2*Constraint[38].dv.x*Body[41].v.r$	<i>Time</i>
$A_z = \ddot{z}$	<i>Point[21].a.y</i>	<i>Time</i>
$ A  = \sqrt{A_r^2 + A_\theta^2 + A_z^2}$	$(Output[60].y1^2 + Output[56].y1^2 + Output[59].y1^2)^{0.5}$	<i>Time</i>

## Estado inicial

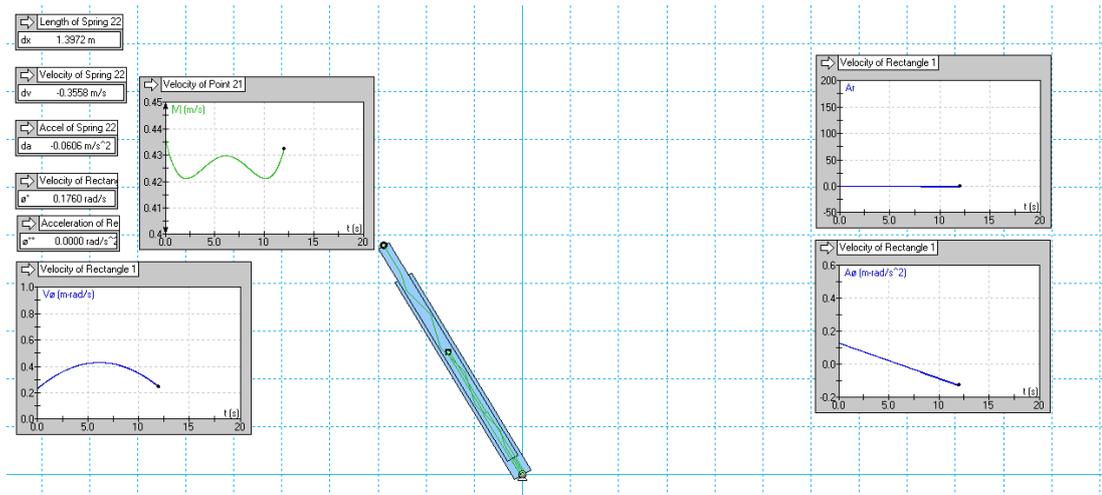


Figura 63 Simulación, Ejercicio 1, caso 2 – Laboratorio 2, estado inicial.

## Estado final

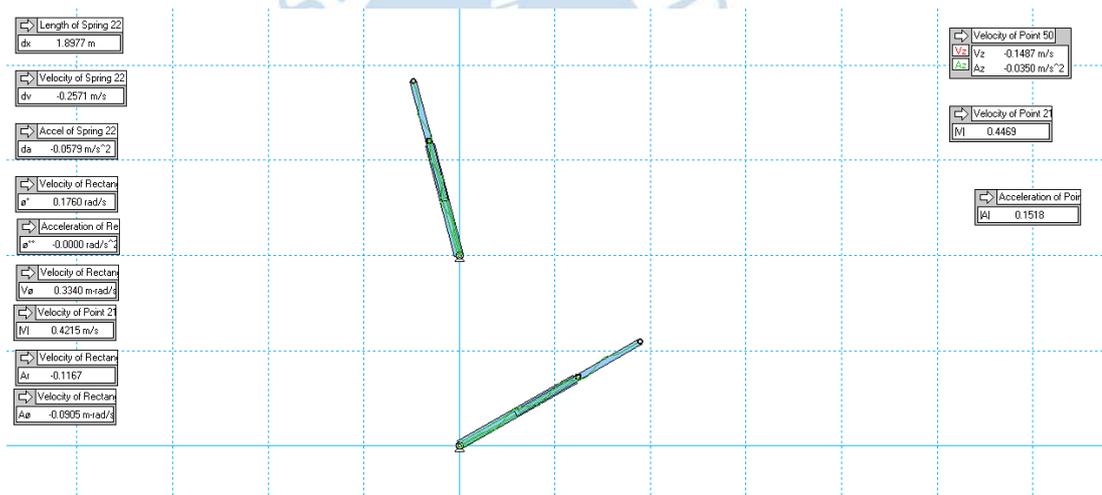


Figura 64 Simulación, Ejercicio 1, caso 2 – Laboratorio 2, estado final.

## Análisis de resultados

Debido a la naturaleza 3D del ejercicio y que el *software Working Model* trabaja en un entorno 2D se debe desarrollar el ejercicio mediante vistas, siendo la inferior la vista frontal y la superior la vista de planta.

La solución manual del ejercicio se desarrolla mediante expresiones vectoriales, por otro lado, el *software Working Model* trabaja exclusivamente con valores numéricos, es por ello que los resultados obtenidos mediante la simulación del ejercicio corresponden a los módulos de los vectores respuesta obtenidos mediante la solución manual.

Para simplificar la extensión de las expresiones que representan los resultados se deben utilizar cuadros de respuesta denominados “Output[#]” en la sección “Programación de resultados”.

### 3.6.3 Laboratorio 3

El laboratorio 3 tiene como objetivo enfocarse en los temas de: Conservación de la energía y la conservación del momento angular desarrollando un ejercicio para cada tema.

El ejercicio 1 consiste en la combinación de dos tipos de movimiento, horizontal y vertical, conectados mediante un sistema de poleas, además se incorporó un resorte para limitar el desplazamiento.

El ejercicio 2 consiste en un ejercicio escalonado que aborda los siguientes casos: conservación del momento angular en sistemas con radio de giro variable y conservación del momento angular en sistemas con influencia de fuerzas externas.

Las soluciones numéricas de los ejercicios correspondientes al laboratorio 3 se encuentran en el “Apéndice C”.

#### 3.6.3.1 Ejercicio 1 – Laboratorio 3, instrucciones de construcción y programación en el software Working Model 2D

Los bloques mostrados son conectados por un cable indeformable, el resorte tiene un módulo  $K=300$  N/m y una longitud no deformada de  $0.40$  m la fricción puede ser despreciada, si el sistema es soltado desde  $x_1= -0.75$  m. sabiendo que  $y_1=0.60$  m;  $m_1=10.00$  kg y  $m_2=5.00$  kg. (Ver figura 65)

Determinar:

- La velocidad de los bloques cuando  $x=0.00$
- El mayor desplazamiento de  $x$

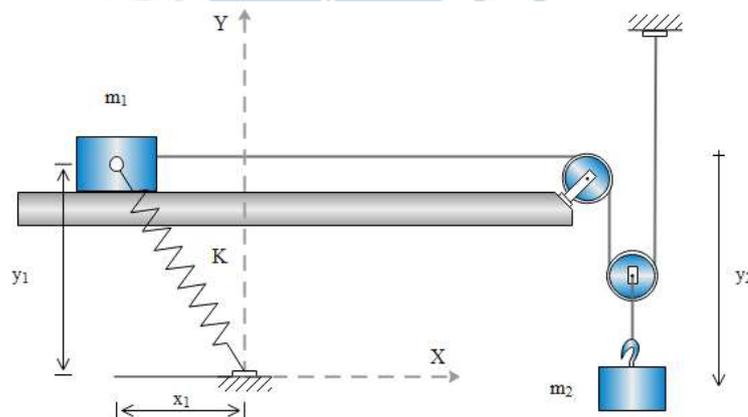


Figura 65 Ejercicio 1 - Laboratorio 3, rediseño, software EDraw Max.

Fuente: Ojeda (2015)

### Configurar el espacio de trabajo

Tabla 33 Espacio de trabajo, Ejercicio 1 - Laboratorio 3.

Función	Opciones	Valor
<i>Workspace</i>	Activar: - <i>Rules</i> - <i>Grid Lines</i> - <i>X, Y Axes</i>	[ - ]
<i>Accuracy</i>	<i>Animation Step</i>	100 Frames/s
<i>Gravity</i>	Vertical	9.81

### Construcción de formas y restricciones

Tabla 34 Formas y restricciones, Ejercicio 1 - Laboratorio 3 (Parte 1).

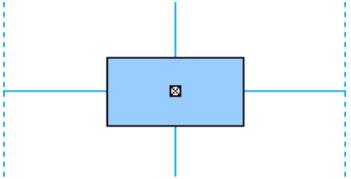
Elemento	Propiedades / Geometría	Restricciones
Elementos iguales: <b>Circunferencias [2]</b>	Valores iguales: Dimensiones	Restricciones iguales: [ - ]
Tipo: <b>Rectángulo</b> Nombre: <b>Body [ 1 ]</b> 	Propiedades: - Dimensiones <b><math>h = 0.20 [m]</math></b> <b><math>w = 0.40 [m]</math></b> - Posición <b>Body [ 1 ]</b> <b><math>x = 0.00 [m]</math></b> <b><math>y = 0.00 [m]</math></b> <b><math>\theta = 0.00 [rad]</math></b>	Elemento: <b>[ 1 ]</b> - Tipo:  <b>Pin rígido</b> - Ubicación: <b><math>x' = 0.00 [m]</math></b> <b><math>y' = 0.00 [m]</math></b> - Relación: <b>Body[1]</b> ↓ <b>Espacio de trabajo</b>

Tabla 35 Formas y restricciones, Ejercicio 1 - Laboratorio 3 (Parte 2).

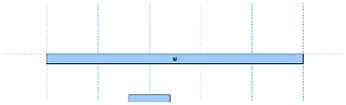
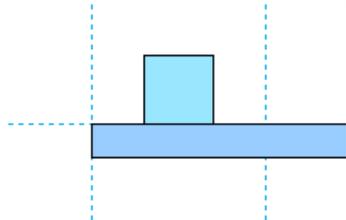
Elemento	Propiedades / Geometría	Restricciones
<p>Tipo: <b>Rectángulo</b></p> <p>Nombre: <b>Body [ 5 ]</b></p> 	<p>Propiedades:</p> <p>- Dimensiones</p> <p><math>h = 0.10 [m]</math> <math>w = 2.50 [m]</math></p> <p>- Posición</p> <p><b>Body [ 5 ]</b> <math>x = 0.25 [m]</math> <math>y = 0.45 [m]</math> <math>\theta = 0.00 [rad]</math></p> <p>- Prop. Físicas</p> <p><math>stat.fric = 0.000001</math> <math>kin.fric = 0.000001</math></p>	<p>Elementos: <b>[ 5 ]</b></p> <p>- Tipo:</p>  <p><b>Pin rígido</b></p> <p>- Ubicación:</p> <p><math>x' = 0.00 [m]</math> <math>y' = 0.00 [m]</math></p> <p>- Relación:</p> <p><b>Body[5]</b> ↓ <b>Espacio de trabajo</b></p>
<p>Tipo: <b>Cuadrado</b></p> <p>Nombre: <b>Body [ 9 ]</b></p> 	<p>Propiedades:</p> <p>- Dimensiones</p> <p><math>h = 0.20 [m]</math></p> <p>- Posición</p> <p><b>Body [ 9 ]</b> <math>x = -0.75 [m]</math> <math>y = 0.60 [m]</math> <math>\theta = 0.00 [rad]</math></p> <p>- Prop. Físicas</p> <p><math>mass = 10.00 [kg]</math> <math>stat.fric = 0.000001</math> <math>kin.fric = 0.000001</math></p>	<p><b>[ - ]</b></p>

Tabla 36 Formas y restricciones, Ejercicio 1 - Laboratorio 3 (Parte 3).

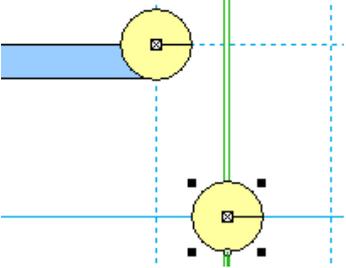
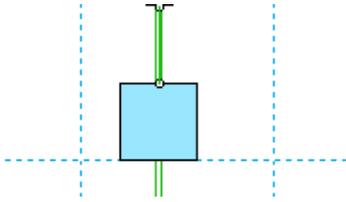
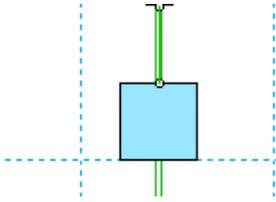
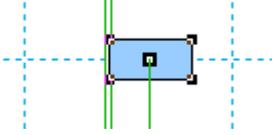
Elemento	Propiedades / Geometría	Restricciones
<p>Tipo:</p> <p style="text-align: center;">Circunferencias</p> <p>Nombre:</p> <p style="text-align: center;">Body [ 10 ] Body [ 14 ]</p> 	<p>Propiedades:</p> <p>- Dimensiones</p> <p style="text-align: center;"><math>r = 0.10 \text{ [m]}</math></p> <p>- Posición</p> <p style="text-align: center;">Body [ 10 ] <math>x = 1.50 \text{ [m]}</math> <math>y = 0.50 \text{ [m]}</math></p> <p style="text-align: center;">Body [ 14 ] <math>x = 1.70 \text{ [m]}</math> <math>y = 0.00 \text{ [m]}</math></p> <p>- Prop. Físicas</p> <p style="text-align: center;">Body [ 14 ] <math>mass = 0.000001 \text{ [kg]}</math></p>	<p>Elemento:</p> <p style="text-align: center;">[ 10 ]</p> <p>- Tipo:</p> <p style="text-align: center;"> Pin rígido</p> <p>- Ubicación:</p> <p style="text-align: center;"><math>x' = 0.00 \text{ [m]}</math> <math>y' = 0.00 \text{ [m]}</math></p> <p>Elemento:</p> <p style="text-align: center;">[ 14 ]</p> <p>- Tipo:</p> <p style="text-align: center;"> Pin rígido de canal vertical</p> <p>- Ubicación:</p> <p style="text-align: center;"><math>x' = 0.00 \text{ [m]}</math> <math>y' = 0.00 \text{ [m]}</math></p> <p>- Relación</p> <p style="text-align: center;">Body[14] ↓ Espacio de trabajo</p>
<p>Tipo:</p> <p style="text-align: center;">Cuadrado</p> <p>Nombre:</p> <p style="text-align: center;">Body [ 22 ]</p> 	<p>Propiedades:</p> <p>- Dimensiones</p> <p style="text-align: center;"><math>h = 0.20 \text{ [m]}</math></p> <p>- Posición</p> <p style="text-align: center;">Body [ 22 ] <math>x = 1.70 \text{ [m]}</math> <math>y = -0.40 \text{ [m]}</math> <math>\theta = 0.00 \text{ [rad]}</math></p>	<p style="text-align: center;">[ - ]</p>

Tabla 37 Formas y restricciones, Ejercicio 1 - Laboratorio 3 (Parte 4).

Elemento	Propiedades / Geometría	Restricciones
Nombre: <p style="text-align: center;">Body [ 22 ]</p> Continuación	- Prop. Físicas <p style="text-align: center;"><math>mass = 5.00 [kg]</math></p>	<p style="text-align: center;">[ - ]</p>
Tipo: <p style="text-align: center;">Cuadrado</p> Nombre: <p style="text-align: center;">Body [ 22 ]</p> 	Propiedades: - Dimensiones <p style="text-align: center;"><math>h = 0.20 [m]</math></p> - Posición <p style="text-align: center;">Body [ 22 ]  <math>x = 1.70 [m]</math>  <math>y = -0.40 [m]</math>  <math>\theta = 0.00 [rad]</math></p> - Prop. Físicas <p style="text-align: center;"><math>mass = 5.00 [kg]</math></p>	<p style="text-align: center;">[ - ]</p>
Tipo: <p style="text-align: center;">Rectángulo</p> Nombre: <p style="text-align: center;">Body [ 18 ]</p> 	Propiedades: - Dimensiones <p style="text-align: center;"><math>h = 0.10 [m]</math>  <math>w = 0.20 [m]</math></p> - Posición <p style="text-align: center;">Body [ 18 ]  <math>x = 1.80 [m]</math>  <math>y = 1.00 [m]</math>  <math>\theta = 0.00 [rad]</math></p>	Elemento: <p style="text-align: center;">[ 18 ]</p> - Tipo: <p style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></p> <p style="text-align: center;">Pin rígido</p> - Ubicación: <p style="text-align: center;"><math>x' = 0.00 [m]</math>  <math>y' = 0.00 [m]</math></p> - Relación: <p style="text-align: center;">Body[18]            ↓            Espacio de trabajo</p>

## Programación de elementos dinámicos

Tabla 38 Elementos dinámicos, Ejercicio 1 - Laboratorio 3 (Parte 1).

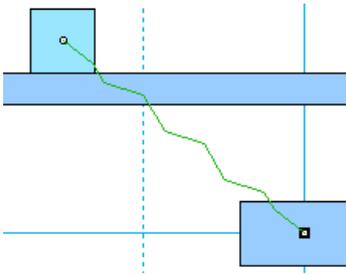
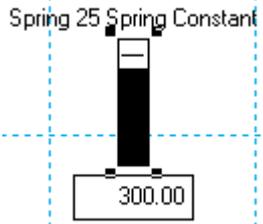
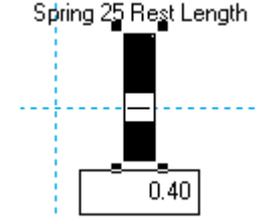
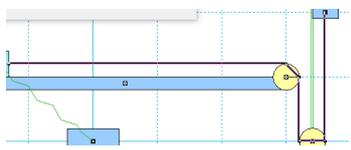
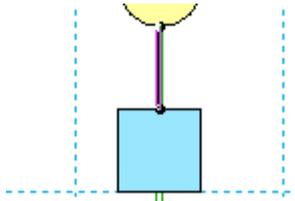
Elemento	Conexión	Propiedades
<p>Resorte</p> <p>Constraint[25]-Spring</p> 	<p>- Conexión</p> <p>Punto 1</p> <p>Body[1]</p> <p><math>x' = 0.00</math> [m]</p> <p><math>y' = 0.00</math> [m]</p> <p>Punto 2</p> <p>Body[9]</p> <p><math>x' = 0.00</math> [m]</p> <p><math>y' = 0.00</math> [m]</p>	<p>- Type:</p> <p>Force-Kx</p> <p>- Valor:</p> <p><math>K = 300.00</math> [N/m]</p> <p>Length = 0.40 [m]</p> <p>- Active when</p> <p>Always</p>
<p>Generic Control</p> <p>Input[40]</p> <p>Spring 25 Spring Constant</p> 	<p>Creación</p> <p>Clic en: Constraint[25]- (Spring)</p> <pre>&gt;&gt; Define &gt;&gt; New Control &gt;&gt; Spring Constant</pre>	<p>- Type:</p> <p>Slider</p> <p>- Rank:</p> <p>min = 3.00</p> <p>max = 300.00</p> <p>- Valor:</p> <p>300.00</p>
<p>Generic Control</p> <p>Input[41]</p> <p>Spring 25 Rest Length</p> 	<p>Creación</p> <p>Clic en: Constraint[25]- (Spring)</p> <pre>&gt;&gt; Define &gt;&gt; New Control &gt;&gt; Rest Length</pre>	<p>- Type:</p> <p>Slider</p> <p>- Rank:</p> <p>min = 0.00</p> <p>max = 1.00</p> <p>- Valor:</p> <p>0.40</p>

Tabla 39 Elementos dinámicos, Ejercicio 1 - Laboratorio 3 (Parte 2).

Elemento	Conexión	Propiedades
Polea  <p>Constraint[26]-Pulley</p>	- Conexión Puntos de paso (-0.65;0.60) (1.50;0.60) (1.60;0.50) (1.60;0.00) (1.80;0.00) (1.80;1.00)	- Type: Length - Valor: 3.991 - Active when Always
Cuerda  <p>Constraint[35]-Rope</p>	- Conexión Punto 1 Body[14] $x' = 0.00$ [m] $y' = -0.10$ [m] Punto 2 Body[22] $x' = 0.00$ [m] $y' = 0.10$ [m]	- Type: Length - Valor: 0.20 - Active when Always

## Programación de resultados

Tabla 40 Control de pausa, Ejercicio 1 - Laboratorio 3.

Control de pausa	Condición
Control de pausa 1	$Body[22].v.y > 0$

Tabla 41 Programación de resultados, Ejercicio 1 - Laboratorio 3.

Valor	Función programada	Eje x
<i>Time</i>	<i>Time</i>	<i>Frame()</i>
$V_x$	<i>Body[9].v.x</i>	<i>Time</i>
$x$	<i>Body[9].p.x</i>	<i>Time</i>
$V_y$	<i>Body[22].v.y</i>	<i>Time</i>
$y$	<i>Body[22].p.y</i>	<i>Time</i>
$E_{cinetica} = \frac{1}{2} m_1 v_1^2$ Código: <i>Output[47].y1</i>	<i>0.5 * Body[9].mass * sqr( Body[9].v )</i>	<i>Time</i>
$E_{resore} = \frac{1}{2} k \delta^2$ Código: <i>Output[45].y1</i>	<i>0.5*input[10]*(Constraint[26].dp.x-0.4)^2</i>	<i>Time</i>
$E_{potencial} = m_2 g (\Delta h)$ Código: <i>Output[43].y1</i>	<i>5*9.81*(Body[19].p.y-(-0.40))</i>	<i>Time</i>
$E_{cinetica} = \frac{1}{2} m_2 v_2^2$ Código: <i>Output[44].y1</i>	<i>0.5*5*Body[19].v.y^2</i>	<i>Time</i>
<i>Energía total</i>	<i>Output[47].y1+Output[45].y1 +Output[43].y1+Output[44].y1</i>	<i>Time</i>

### Estado inicial

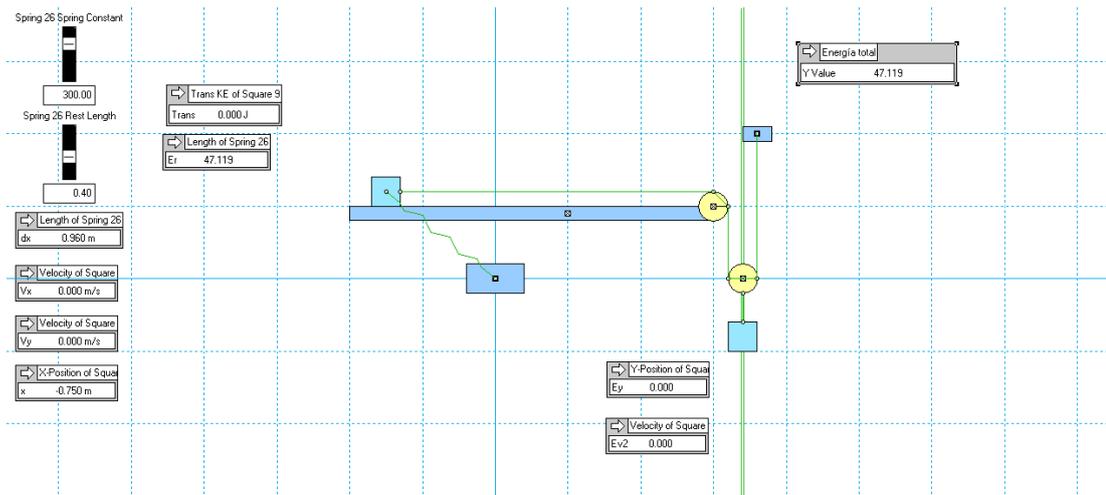


Figura 66 Simulación, Ejercicio 1 - Laboratorio 3, estado inicial.

### Estado final

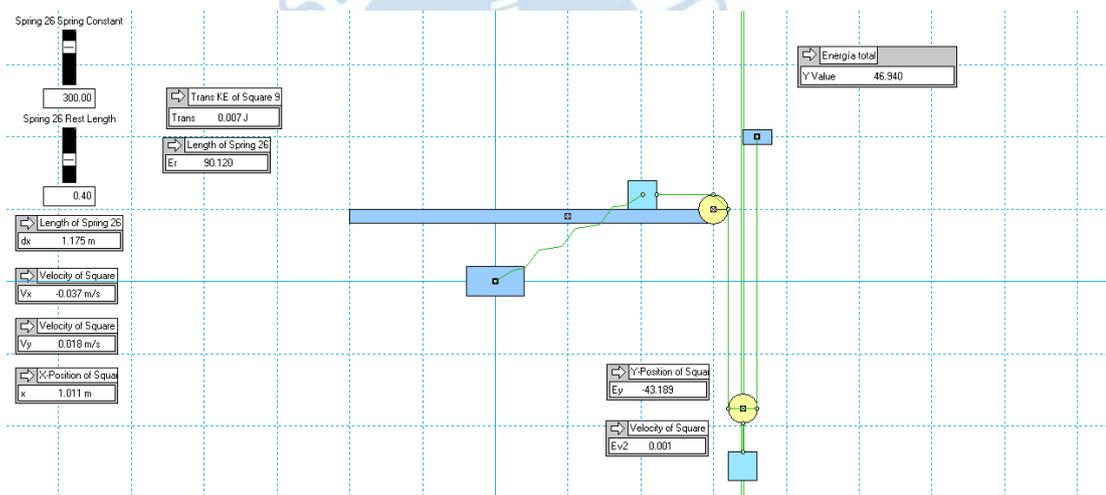


Figura 67 Simulación, Ejercicio 1 - Laboratorio 3, estado final.

### Análisis de resultados

Si el ejercicio que se desea simular, tiene un objeto desplazándose horizontalmente sobre una superficie, durante el proceso de programación, se debe modificar las propiedades físicas del objeto que representa la superficie y reducir su fricción a 0.00001 (no se puede utilizar cero, porque el *software* dejaría de funcionar), de esta forma no se perderá energía por fricción.

Es importante programar, como parte de los resultados, el valor de la “Energía total” que es la resultante de la suma de todas las energías de un sistema, debido a que este será el cuadro de control que permitirá definir la calidad de la simulación.

Debido al principio de conservación de la energía, el valor del cuadro de “Energía total” se debe mantener constante a lo largo del tiempo.

Si el valor de la “Energía total” medida al inicio difiere en una unidad de la “Energía total” medida al final de la simulación, representa una mala construcción o programación del ejercicio, generalmente la pérdida de energía es ocasionada por la fricción entre dos superficies.

### 3.6.3.2 Ejercicio 2 – Laboratorio 3, instrucciones de construcción y programación en el software *Working Model 2D*

#### Caso 1

La esfera A de 2.5 lb se mueve a través de una trayectoria circular alrededor del eje Z, se sabe que cuando el radio  $r_1$  es igual a 17.0 pies la esfera A tiene una velocidad de 1.5 pies/s. Además, la esfera A esta conectada a una cuerda que aplica una fuerza F que arrastra a la esfera hacia su centro de giro a una velocidad constante de 2.3 pies/s. (Ver figura 68)

Calcular la velocidad para todo  $t \in [0.00;7.00]$ s.

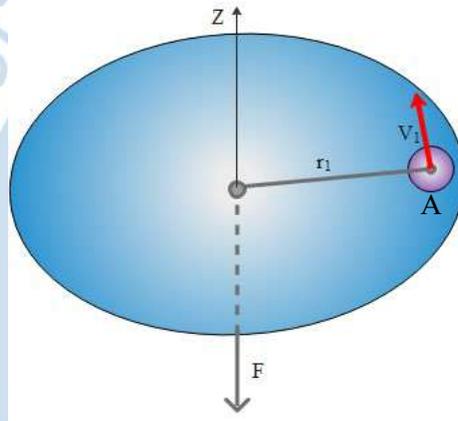
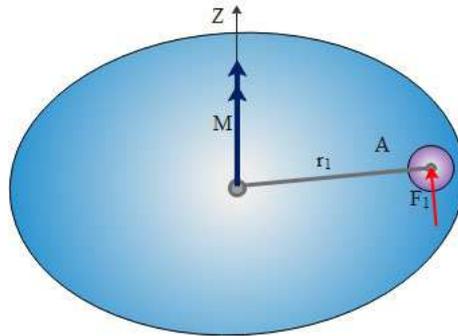


Figura 68 Ejercicio 2, caso 1 - Laboratorio 3, Momentum angular.

#### Caso 2

La esfera A se encuentra en reposo y está unida al eje Z mediante una cuerda de longitud constante  $r_1 = 17.0$  pies. Si el movimiento es inducido por una fuerza  $F_1 = 0.50$  lb y un momento de  $M_1 = 4.20 * t$  lb.m. (Ver figura 69)

Calcular la velocidad para todo  $t \in [0.00;7.00]$ s.

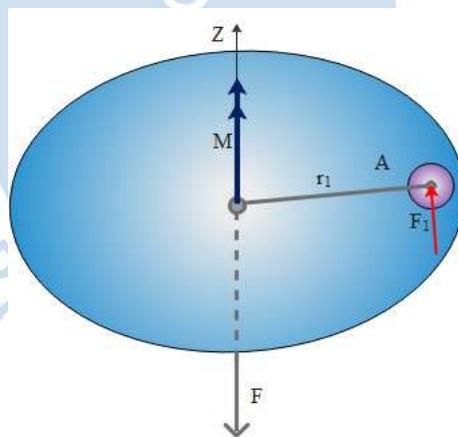


**Figura 69 Ejercicio 2, caso 2 - Laboratorio 3, Momentum angular.**

### Caso 3

La esfera A se encuentra en reposo y está unida al eje Z mediante una cuerda cuya longitud inicial es  $r_1 = 17.0$  pies, el movimiento de la esfera A sobre el plano "XY" es inducido por una fuerza  $F_1 = 0.50$  lb y un momento de  $M_1 = 4.20 \cdot t$  lb.m. Además, la cuerda aplica una fuerza F que arrastra a la esfera hacia su centro de giro a una velocidad constante de 2.3 pies/s. (Ver figura 70)

Calcular la velocidad para todo  $t \in [0.00; 7.00]$ s.



**Figura 70 Ejercicio 2, caso 3 - Laboratorio 3, Momentum angular.**

## Caso 1 Ejercicio 2

## Configurar el espacio de trabajo

Tabla 42 Espacio de trabajo, Ejercicio 2, caso 1 - Laboratorio 3.

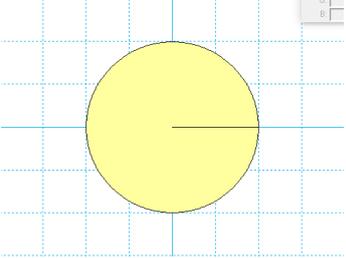
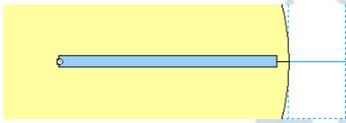
Función	Opciones	Valor
<i>Workspace</i>	Activar: - <i>Rules</i> - <i>Grid Lines</i> - <i>X, Y Axes</i>	[ - ]
<i>Numbers and Units</i>	- <i>Distance:</i> <i>Feet</i> - <i>Mass:</i> <i>Earth Pounds</i>	[ - ]
<i>Accuracy</i>	<i>Animation Step</i>	<i>100 Frames/s</i>
<i>Gravity</i>	Desactivar la gravedad	<i>None</i>
<i>Preferences</i>	Desactivar las colisiones	<i>Objects do not collide by default</i>

## Construcción de formas y restricciones

Tabla 43 Formas y restricciones, Ejercicio 2, caso 1 - Laboratorio 3 (Parte 1).

Elemento	Propiedades / Geometría	Restricciones
Elementos iguales: [ - ]	Valores iguales: [ - ]	Restricciones iguales: [ - ]
Tipo: <i>Circunferencia</i> Nombre: <i>Body [ 1 ]</i>	Propiedades: - Dimensiones <i>r = 20.00 [ft]</i>	Elemento: [ 1 ] - Tipo:  <i>Pin rígido</i>

Tabla 44 Formas y restricciones, Ejercicio 2, caso 1 - Laboratorio 3 (Parte 2).

Elemento	Propiedades / Geometría	Restricciones
	<p>- Posición</p> <p>Body[1]</p> <p><math>x = 0.00</math> [ft]</p> <p><math>y = 0.00</math> [ft]</p> <p><math>\theta = 0.00</math> [rad]</p>	<p>- Ubicación:</p> <p><math>x' = 0.00</math> [m]</p> <p><math>y' = 0.00</math> [m]</p> <p>- Relación:</p> <p>Body[1]</p> <p>↓</p> <p>Espacio de trabajo</p>
<p>Tipo:</p> <p>Rectángulo</p> <p>Nombre:</p> <p>Body [ 5 ]</p> 	<p>Propiedades:</p> <p>- Dimensiones</p> <p><math>h = 1.00</math> [ft]</p> <p><math>w = 19.00</math> [ft]</p> <p>- Posición</p> <p>Body[5]</p> <p><math>x = 9.50</math> [ft]</p> <p><math>y = 0.00</math> [ft]</p> <p><math>\theta = 0.00</math> [rad]</p> <p>- Prop. Físicas</p> <p><math>mass = 0.00001</math> [lb]</p>	<p>Elementos:</p> <p>[5]</p> <p>- Tipo:</p>  <p>Pin rotacional</p> <p>- Ubicación:</p> <p><math>x' = -9.50</math> [ft]</p> <p><math>y' = 0.00</math> [ft]</p> <p>- Relación:</p> <p>Body[5]</p> <p>↓</p> <p>Body[1]</p>
<p>Tipo:</p> <p>Circunferencia</p> <p>Nombre:</p> <p>Body [ 9 ]</p> 	<p>Propiedades:</p> <p>- Dimensiones</p> <p><math>r = 1.00</math> [ft]</p> <p>- Posición</p> <p>Body[9]</p> <p><math>x = 17.00</math> [ft]</p> <p><math>y = 0.00</math> [ft]</p> <p><math>\theta = 0.00</math> [rad]</p> <p>- Prop. Físicas</p> <p><math>mass = 2.50</math> [lb]</p>	<p>Elemento:</p> <p>[9]</p> <p>- Tipo:</p>  <p>Pin rotacional de canal horizontal</p> <p>- Ubicación:</p> <p><math>x' = 0.00</math> [m]</p> <p><math>y' = 0.00</math> [m]</p>

## Programación de elementos dinámicos

Tabla 45 Elementos dinámicos, Ejercicio 2, caso 1 - Laboratorio 3 (Parte 1).

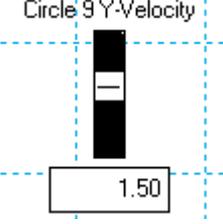
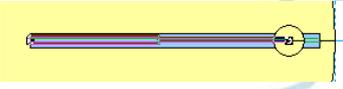
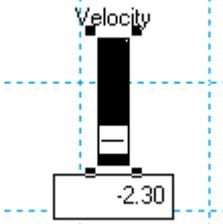
Elemento	Conexión	Propiedades
<p>Generic Control</p> <p>Input [ 24 ]</p> 	<p>Creación</p> <p>Clic en: Body[9] (circulo)          &gt;&gt; Define          &gt;&gt; New Control          &gt;&gt; Initial Y Velocity</p>	<p>- Type: Slider</p> <p>- Rank: min = - 10.00 max = 10.00</p> <p>- Valor: 1.50</p>

Tabla 46 Elementos dinámicos, Ejercicio 2, caso 1 - Laboratorio 3 (Parte 2).

Elemento	Conexión	Propiedades
<p>Actuador</p> <p>Constraint [ 8 ] - Actuador</p> 	<p>- Conexión</p> <p>Punto 1</p> <p>Body[5]  <math>x' = -9.50</math> [ft]  <math>y' = 0.00</math> [ft]</p> <p>Punto 2</p> <p>Body[9]  <math>x' = 0.00</math> [ft]  <math>y' = 0.00</math> [ft]</p>	<p>- Type: Velocity</p> <p>- Valor: [-]</p> <p>- Active when Always</p>
<p>Generic Control</p> <p>Input [ 25 ]</p> 	<p>Creación:</p> <p>Clic en: Constraint[8]- (Actuador)          &gt;&gt; Define          &gt;&gt; New Control          &gt;&gt; Velocity</p>	<p>- Type: Slider</p> <p>- Rank: min = - 3.00 max = 3.00</p> <p>- Valor: -2.30</p>

### Programación de resultados

Tabla 47 Control de pausa, Ejercicio 2, caso 1 - Laboratorio 3.

Control de pausa	Condición
Control de pausa 1	$time > 7.0$

Tabla 48 Programación de resultados, ejercicio 2, caso 1 – laboratorio 3

Valor	Función programada	Eje x
$Time$	$Time$	$Frame()$
$ V $	$ Body[9].v $	$Time$

#### Estado inicial

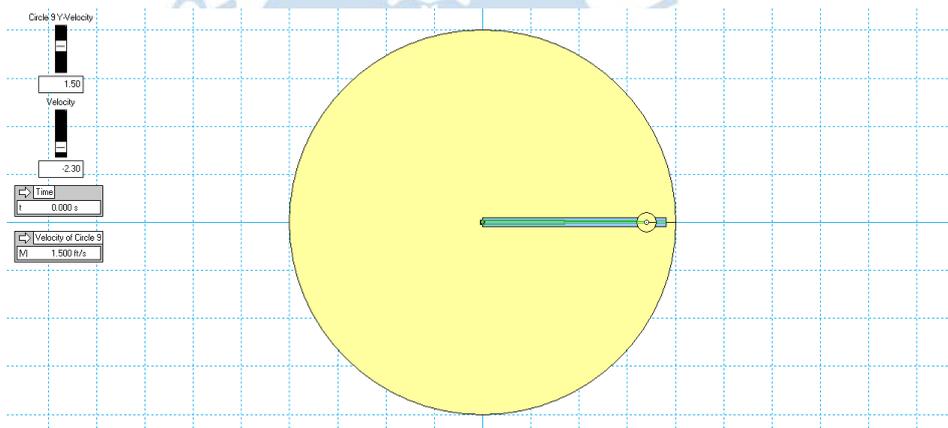


Figura 71 Simulación, Ejercicio 2, caso 1 - Laboratorio 3, estado inicial.

#### Estado final

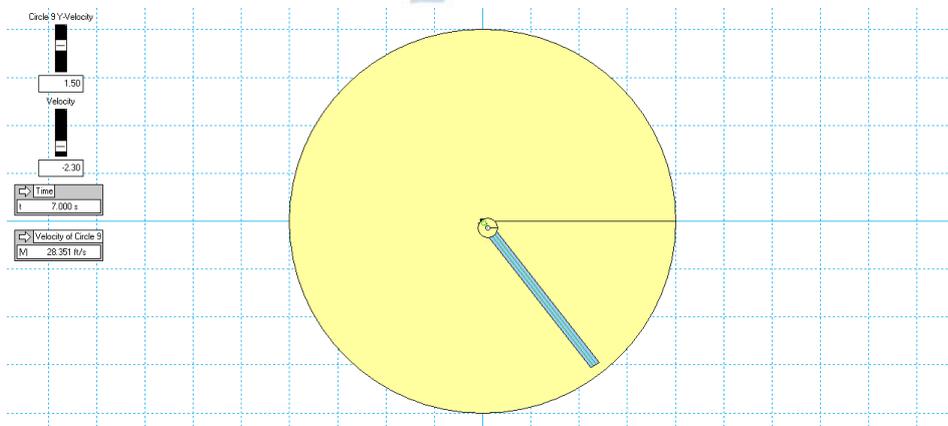


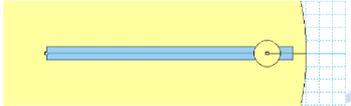
Figura 72 Simulación, Ejercicio 2, caso 1 - Laboratorio 3, estado final.

## Caso 2 Ejercicio 2

### Construcción de formas y restricciones

Cambiar la restricción de la circunferencia a un pin rígido de canal horizontal.

**Tabla 49 Formas y restricciones, Ejercicio 2, caso 2 - Laboratorio 3.**

Elemento	Propiedades / Geometría	Restricciones
Tipo: <b>Circunferencia</b> Nombre: <b>Body [9]</b> 	Propiedades - Dimensiones: $r = 1.00$ [ft] - Posición: Body[9] $x = 17.00$ [ft] $y = 0.00$ [ft] $\theta = 0.00$ [rad] - Prop. Físicas: $mass = 2.50$ [1b]	Elemento: <b>[9]</b> - Tipo:  <b>Pin rígido de canal horizontal</b> - Ubicación: $x' = 0.00$ [m] $y' = 0.00$ [m] - Relación: Body[9] ↓ Body[5]

### Programación de elementos dinámicos

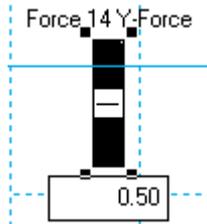
Modificar valores existentes

**Tabla 50 Elementos dinámicos existentes, Ejercicio 2, caso 2 - Laboratorio 3.**

Elemento	Conexión	Propiedades
Generic Control <b>Input [24]</b>	[-]	- Valor: 0.00
Generic Control <b>Input [25]</b>	[-]	- Valor: 0.00

### Programación de elementos dinámicos

Tabla 51 Elementos dinámicos nuevos, Ejercicio 2, caso 2 - Laboratorio 3.

Elemento	Conexión	Propiedades
Torque Constraint [ 20 ] - Torque 	- Conexión: Body[5] $x' = -9.50$ [ft] $y' = 0.00$ [ft]	- Valor: 4.20*t
Fuerza Constraint [ 14 ] - Force 	- Conexión: Body[9] $x' = 0.00$ [ft] $y' = 0.00$ [ft]	- Tipo: Cartesian [x]Rotate with body - Valor: [-]
Generic Control Input [ 15 ] 	- Creación: Clic en: Constraint[14]- (Force) >> Define >> New Control >> Y-Force	- Type: Slider - Rank: min = 0.00 max = 1.00 - Valor: 0.50

### Programación de resultados

No se modificará la programación de resultados del caso anterior.

### Caso 3 ejercicio 2

### Programación de elementos dinámicos

Modificar los valores existentes.

Tabla 52 Elementos dinámicos existentes, Ejercicio 2, caso 3 - Laboratorio 3.

Elemento	Conexión	Propiedades
Generic Control Input [ 25 ]	[ - ]	- Valor: -2.30
Generic Control Input [ 15 ]	[ - ]	- Valor: 0.50

Estado inicial

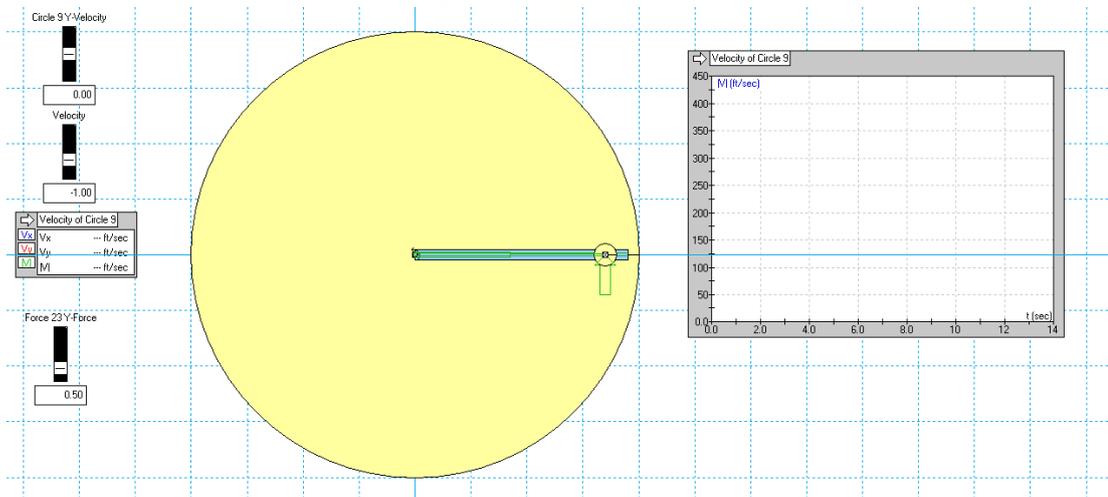


Figura 73 Simulación, Ejercicio 2, caso 3 - Laboratorio 3, estado inicial.

Estado final

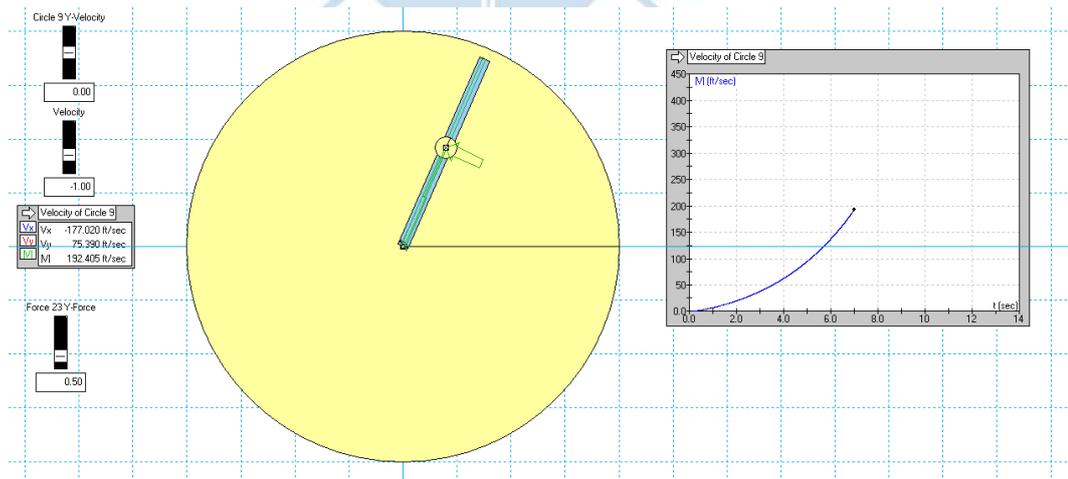


Figura 74 Simulación, Ejercicio 2, caso 3 - Laboratorio 3, estado final.

### Análisis de resultados

La programación de ejercicios mediante casos constructivos añadiendo características permite tener una visión más amplia de un problema.

La programación de este ejercicio permite verificar, de forma directa, distintos casos teniendo un mayor alcance.

El *software Working Model* no puede mostrar como resultado las integrales propias de la solución de un ejercicio de conservación del momento angular, es por ello que el parámetro a medir debe ser la velocidad para distintos puntos.

### 3.6.4 Laboratorio 4

Los temas que se desarrollarán en el laboratorio 4 corresponden a: Vibración mecánica, vibración amortiguada, péndulo simple y péndulo amortiguado.

En el tema de vibración se dará un especial enfoque a la reducción de sistemas de resortes en serie y paralelo y el análisis de sistemas de vibración amortiguada.

El tema de péndulo simple se abordará mediante un ejercicio habitual. Por otro lado, en tema de péndulo amortiguado, evaluará el movimiento de un péndulo simple afectado por el rozamiento del aire estático, generando que el desplazamiento horizontal a lo largo del tiempo, se reduzca y llegue a ser cero.

Las soluciones numéricas de los ejercicios correspondientes al laboratorio 4 se encuentran en el "Apéndice D".

#### 3.6.4.1 Ejercicio 1 – Laboratorio 4, instrucciones de construcción y programación en el *software Working Model 2D*

##### Caso 1

En el sistema que se muestra el bloque A de masa  $m_1=450.00$  kg está conectado a un sistema de resortes con coeficientes de rigidez  $K_1=600.40$  N/m y  $K_2=375.50$  N/m. Se sabe que la velocidad inicial del bloque A es  $V_0=2.91$  m/s. (Ver figura 75)

- Determinar el sistema equivalente reducido.
- Determinar la función de desplazamiento del bloque en el tiempo.
- Determinar la función de velocidad del bloque en el tiempo.

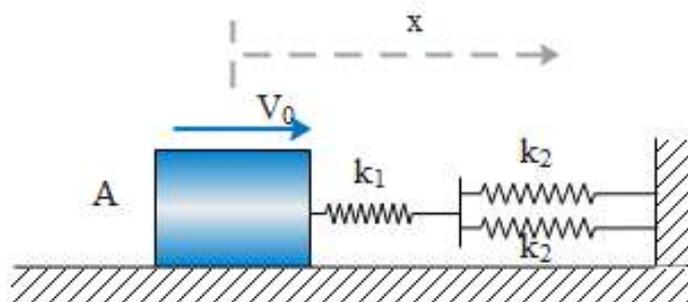


Figura 75 Ejercicio 1, caso 1 - Laboratorio 4, vibración simple.

### Caso 2

En el instante mostrado un bloque de 450.00 kg avanza hacia la derecha con una velocidad inicial  $V_0$  en m/s, cuando comienza a ser detenido por la acción de un resorte y un amortiguador de constantes de rigidez  $K$  y  $C$  respectivamente. Si se conoce la respuesta de la posición del bloque " $x$ " respecto del tiempo, según la gráfica de la "figura77" Calcular el valor de la velocidad inicial y las constantes de rigidez respectivas. (Ver figura 76)

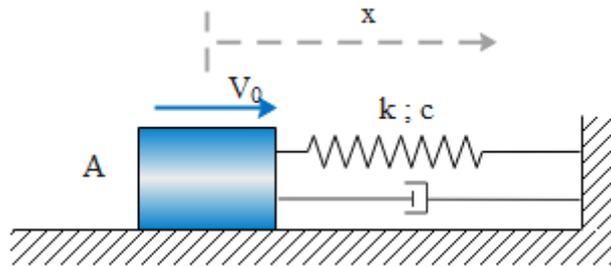


Figura 76 Ejercicio 1, caso 2 - Laboratorio 4, vibración amortiguada, sistema.

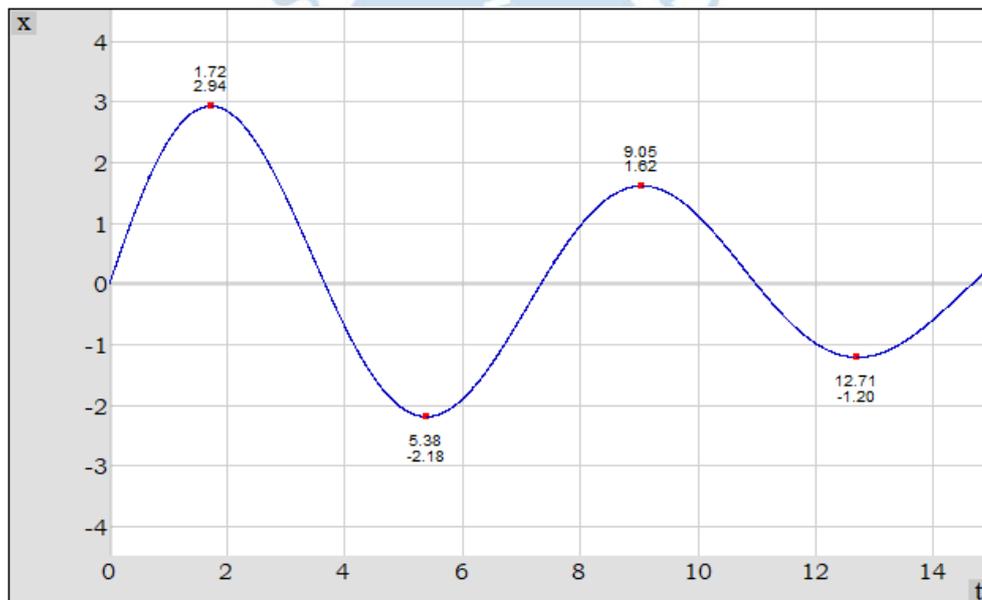


Figura 77 Ejercicio 1, caso 2 - Laboratorio 4, vibración amortiguada, función de desplazamiento.

### Respuestas Caso 1 y 2

- Caso 1:

$$\frac{1}{k_e} = \frac{1}{600.4} + \frac{1}{2 \cdot 375.5}$$

$$k_e = 333.7$$

- Caso 2, mediante cálculos manuales se determinó lo siguiente:

$$V_0 = 2.91 \text{ m/s}$$

$$K = 333.65 \text{ N/m}$$

$$C = 73.45 \text{ N} \cdot \text{s/m}$$

### Caso 1, Ejercicio 1

#### Configurar el espacio de trabajo

Tabla 53 Espacio de trabajo, Ejercicio 1, caso 1 - Laboratorio 4.

Función	Opciones	Valor
Workspace	Activar: - Rules - Grid Lines - X, Y Axes	[ - ]
Accuracy	Animation Step	100 Frames/s
Gravity	Desactivar la gravedad	None

### Construcción de formas y restricciones

Tabla 54 Formas y restricciones, Ejercicio 1, caso 1 - Laboratorio 4 (Parte 1).

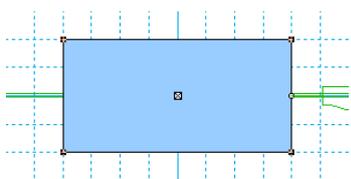
Elemento	Propiedades / Geometría	Restricciones
Elementos iguales: [ - ]	Valores iguales: [ - ]	Restricciones iguales: [ - ]
Tipo: <b>Rectangulo</b> Nombre: <b>Body [ 1 ]</b> 	Propiedades: - Dimensiones $h = 4.00 \text{ [m]}$ $w = 8.00 \text{ [m]}$ - Posición <b>Body[1]</b> $x = 0.00 \text{ [m]}$ $y = 10.00 \text{ [m]}$ $\theta = 0.00 \text{ [rad]}$	Elemento: <b>[ 1 ]</b> - Tipo:  <b>Pin rígido de canal horizontal</b> - Ubicación: $x' = 0.00 \text{ [m]}$ $y' = 0.00 \text{ [m]}$

Tabla 55 Formas y restricciones, Ejercicio 1, caso 1 - Laboratorio 4 (Parte 2).

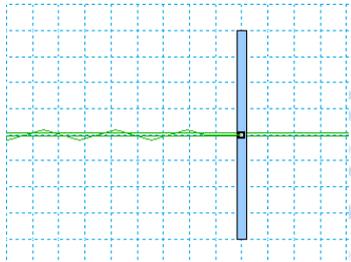
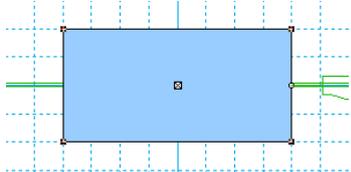
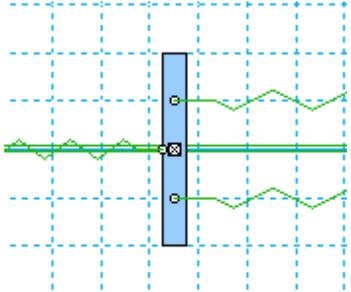
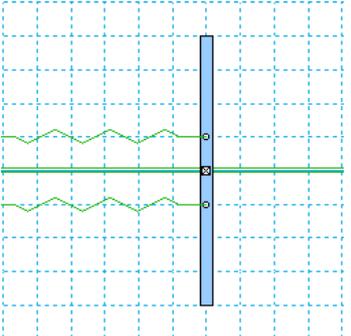
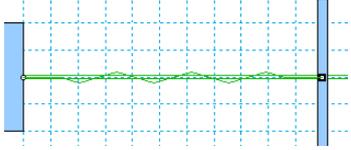
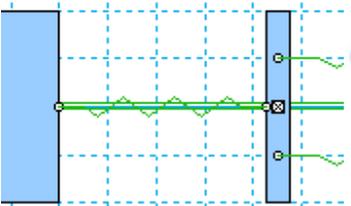
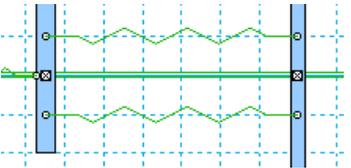
Elemento	Propiedades / Geometría	Restricciones
<p>Nombre:</p> <p style="text-align: center;">Body [ 1 ]</p> <p>Continuación.</p>	<p>- Prop. Físicas</p> <p style="text-align: center;"><math>V_x = 2.91 \text{ [m/s]}</math></p> <p style="text-align: center;"><math>mass = 450.00 \text{ [kg]}</math></p>	<p>- Relación:</p> <p style="text-align: center;">Body[1] ↓ Espacio de trabajo</p>
<p>Tipo:</p> <p style="text-align: center;">Rectangulo</p> <p>Nombre:</p> <p style="text-align: center;">Body [ 5 ]</p> 	<p>Propiedades:</p> <p>- Dimensiones</p> <p style="text-align: center;"><math>h = 8.00 \text{ [m]}</math></p> <p style="text-align: center;"><math>w = 0.40 \text{ [m]}</math></p> <p>- Posición</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p style="text-align: center;">Body[5]</p> <p style="text-align: center;"><math>x = 15.00 \text{ [m]}</math></p> <p style="text-align: center;"><math>y = 10.00 \text{ [m]}</math></p> <p style="text-align: center;"><math>\theta = 0.00 \text{ [rad]}</math></p> </div>	<p>Elemento:</p> <p style="text-align: center;">[5]</p> <p>- Tipo:</p> <p style="text-align: center;"> Pin rígido</p> <p>- Ubicación:</p> <p style="text-align: center;"><math>x' = 0.00 \text{ [m]}</math></p> <p style="text-align: center;"><math>y' = 0.00 \text{ [m]}</math></p> <p>- Relación:</p> <p style="text-align: center;">Body [5] ↓ Espacio de trabajo</p>
<p>Tipo:</p> <p style="text-align: center;">Rectangulo</p> <p>Nombre:</p> <p style="text-align: center;">Body[2]</p> 	<p>Propiedades:</p> <p>- Dimensiones</p> <p style="text-align: center;"><math>h = 4.00 \text{ [m]}</math></p> <p style="text-align: center;"><math>w = 8.00 \text{ [m]}</math></p> <p>- Posición</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p style="text-align: center;">Body[2]</p> <p style="text-align: center;"><math>x = 0.00 \text{ [m]}</math></p> <p style="text-align: center;"><math>y = 0.00 \text{ [m]}</math></p> <p style="text-align: center;"><math>\theta = 0.00 \text{ [rad]}</math></p> </div> <p>- Prop. Físicas</p> <p style="text-align: center;"><math>V_x = 2.91 \text{ [m/s]}</math></p> <p style="text-align: center;"><math>mass = 450.00 \text{ [kg]}</math></p>	<p>Elemento:</p> <p style="text-align: center;">[2]</p> <p>- Tipo:</p> <p style="text-align: center;"> Pin rígido de canal horizontal</p> <p>- Ubicación:</p> <p style="text-align: center;"><math>x' = 0.00 \text{ [m]}</math></p> <p style="text-align: center;"><math>y' = 0.00 \text{ [m]}</math></p> <p>- Relación:</p> <p style="text-align: center;">Body [2] ↓ Espacio de trabajo</p>

Tabla 56 Formas y restricciones, Ejercicio 1, caso 1 - Laboratorio 4 (Parte 3).

Elemento	Propiedades / Geometría	Restricciones
<p>Tipo: Rectangulo</p> <p>Nombre: Body[21]</p> 	<p>Propiedades:</p> <p>- Dimensiones</p> <p><math>h = 4.00 \text{ [m]}</math> <math>w = 0.50 \text{ [m]}</math></p> <p>- Posición</p> <p>Body[21] <math>x = 8.50 \text{ [m]}</math> <math>y = 0.00 \text{ [m]}</math> <math>\theta = 0.00 \text{ [rad]}</math></p> <p>- Prop. Físicas</p> <p><math>mass = 0.000001 \text{ [kg]}</math></p>	<p>Elemento: [21]</p> <p>- Tipo:  Pin rígido de canal horizontal</p> <p>- Ubicación: <math>x' = 0.00 \text{ [m]}</math> <math>y' = 0.00 \text{ [m]}</math></p> <p>- Relación: Body [21] ↓ Espacio de trabajo</p>
<p>Tipo: Rectangulo</p> <p>Nombre: Body[6]</p> 	<p>Propiedades:</p> <p>- Dimensiones</p> <p><math>h = 8.00 \text{ [m]}</math> <math>w = 0.40 \text{ [m]}</math></p> <p>- Posición</p> <p>Body[6] <math>x = 15.00 \text{ [m]}</math> <math>y = 10.00 \text{ [m]}</math> <math>\theta = 0.00 \text{ [rad]}</math></p>	<p>Elemento: [6]</p> <p>- Tipo:  Pin rígido</p> <p>- Ubicación: <math>x' = 0.00 \text{ [m]}</math> <math>y' = 0.00 \text{ [m]}</math></p> <p>- Relación: Body [6] ↓ Espacio de trabajo</p>

## Programación de elementos dinámicos

Tabla 57 Elementos dinámicos, Ejercicio 1, caso 1 - Laboratorio 4 (Parte 1).

Elemento	Conexión	Propiedades
<p>Resorte</p> <p>Constraint[14]- Spring</p> 	<p>- Conexión</p> <p>Punto 1</p> <p>Body[1]  <math>x' = 4.00</math> [m]  <math>y' = 0.00</math> [m]</p> <p>Punto 2</p> <p>Body[5]  <math>x' = 0.00</math> [m]  <math>y' = 0.00</math> [m]</p>	<p>- Force <math>Kx</math></p> <p><math>K = 333.65</math> N/m</p> <p>Length = 11.00 m</p> <p>- Active when</p> <p>Always</p>
<p>Resorte</p> <p>Constraint[27]- Spring</p> 	<p>- Conexión</p> <p>Punto 1</p> <p>Body[2]  <math>x' = 4.00</math> [m]  <math>y' = 0.00</math> [m]</p> <p>Punto 2</p> <p>Body[21]  <math>x' = 0.00</math> [m]  <math>y' = 0.00</math> [m]</p>	<p>- Force <math>Kx</math></p> <p><math>K = 600.40</math> N/m</p> <p>Length = 4.25 m</p> <p>- Active when</p> <p>Always</p>
<p>Resorte</p> <p>Constraint[30]- Spring &amp; Constraint[33]- Spring</p> 	<p>- Conexión</p> <p>Punto 1</p> <p>Body[21]  <math>x' = 0.00</math> [m]  <math>y' = \pm 1.00</math> [m]</p> <p>Punto 2</p> <p>Body[6]  <math>x' = 0.00</math> [m]  <math>y' = \pm 1.00</math> [m]</p>	<p>- Force <math>Kx</math></p> <p><math>K = 600.40</math> N/m</p> <p>Length = 4.25 m</p> <p>- Active when</p> <p><math>K = 375.50</math> N/m</p> <p>Length = 6.50 m</p> <p>Always</p>

### Programación de resultados

Tabla 58 Control de pausa, Ejercicio 1, caso 1 - Laboratorio 4.

Control de pausa	Condición
Control de pausa 1	$time > 15.00$

Tabla 59 Programación de resultados, Ejercicio 1, caso 1 - Laboratorio 4.

Valor	Función programada	Eje x
$Time$	$Time$	$Frame()$
$x$	$Body[1].p.x$	$Time$
$x$	$Body[2].p.x$	$Time$

### Estado inicial

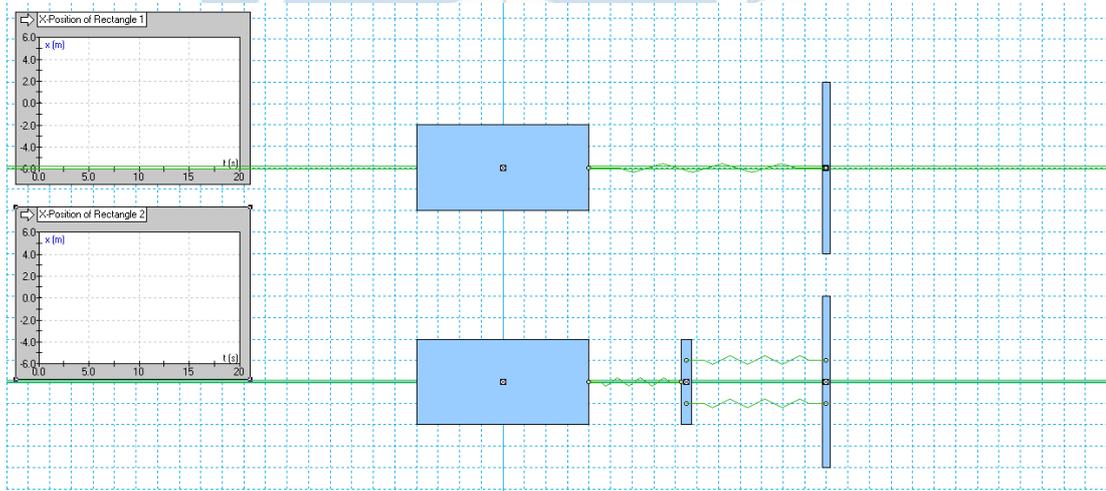


Figura 78 Simulación, Ejercicio 1, caso 1 - Laboratorio 4, estado inicial.

### Estado final

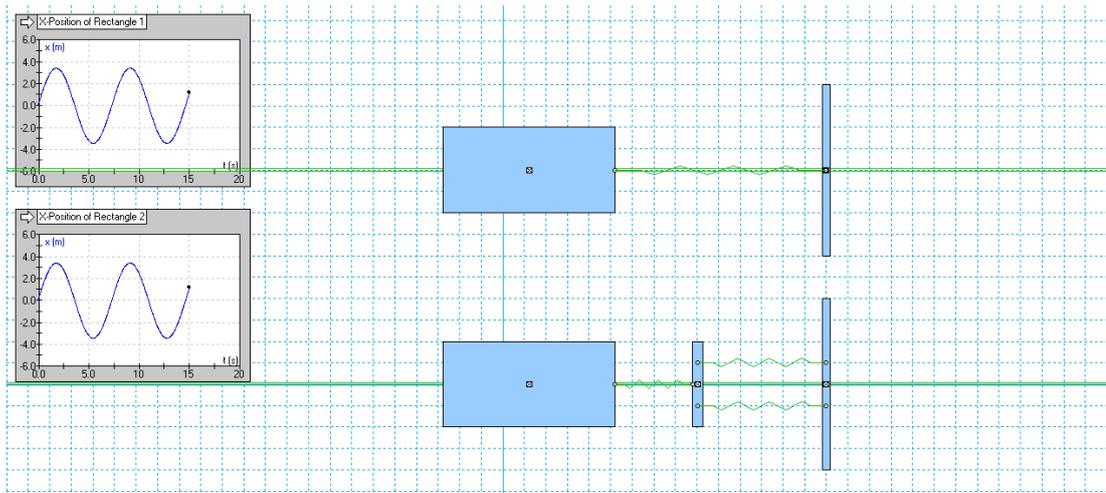


Figura 79 Simulación, Ejercicio 1, caso 1 - Laboratorio 4, estado final.

### Análisis de resultados

Mediante este mecanismo se puede demostrar que una reducción de resortes es posible en tanto se considere un punto de paso que no tenga masa, en este ejercicio el punto de paso es el "Body[21]", valores como la frecuencia y el periodo pueden ser programados fácilmente en el software haciendo uso de relaciones entre parámetros del mecanismo.

### Caso 2 – Ejercicio 1

#### Configurar el espacio de trabajo

Tabla 60 Espacio de trabajo, Ejercicio 1, caso 2 - Laboratorio 4.

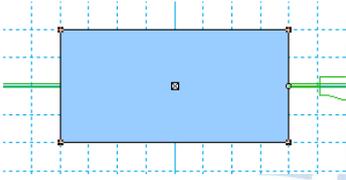
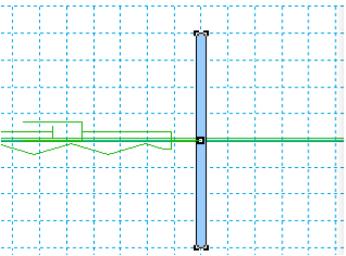
Función	Opciones	Valor
<i>Workspace</i>	Activar: - <i>Rules</i> - <i>Grid Lines</i> - <i>X, Y Axes</i>	[ - ]
<i>Accuracy</i>	<i>Animation Step</i>	<i>100 Frames/s</i>
<i>Gravity</i>	<i>Desactivar la gravedad</i>	<i>None</i>

### Construcción de formas y restricciones

Tabla 61 Formas y restricciones, Ejercicio 1, caso 2 - Laboratorio 4 (Parte 1).

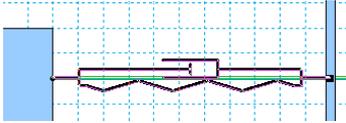
Elemento	Propiedades / Geometría	Restricciones
Elementos iguales: [ - ]	Valores iguales: [ - ]	Restricciones iguales: [ - ]

Tabla 62 Formas y restricciones, Ejercicio 1, caso 2 - Laboratorio 4 (Parte 2).

Elemento	Propiedades / Geometría	Restricciones
<p>Tipo: Rectángulo</p> <p>Nombre: Body [ 1 ]</p> 	<p>Propiedades:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dimensiones           <ul style="list-style-type: none"> <li><math>h = 4.00 \text{ [m]}</math></li> <li><math>w = 8.00 \text{ [m]}</math></li> </ul> </li> <li>- Posición           <ul style="list-style-type: none"> <li>Body[1]               <ul style="list-style-type: none"> <li><math>x = 0.00 \text{ [m]}</math></li> <li><math>y = 0.00 \text{ [m]}</math></li> <li><math>\theta = 0.00 \text{ [rad]}</math></li> </ul> </li> </ul> </li> <li>- Prop. Físicas           <ul style="list-style-type: none"> <li><math>V_x = 2.91 \text{ [m/s]}</math></li> <li><math>mass = 450.00 \text{ [kg]}</math></li> </ul> </li> </ul>	<p>Elemento: [ 1 ]</p> <p>- Tipo:</p>  <p>Pin rígido de canal horizontal</p> <p>- Ubicación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>x' = 0.00 \text{ [m]}</math></li> <li><math>y' = 0.00 \text{ [m]}</math></li> </ul> <p>- Relación:</p> <p>Body[1] ↓ Espacio de trabajo</p>
<p>Tipo: Rectángulo</p> <p>Nombre: Body [ 5 ]</p> 	<p>Propiedades:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dimensiones           <ul style="list-style-type: none"> <li><math>h = 8.00 \text{ [m]}</math></li> <li><math>w = 0.40 \text{ [m]}</math></li> </ul> </li> <li>- Posición           <ul style="list-style-type: none"> <li>Body[5]               <ul style="list-style-type: none"> <li><math>x = 15.00 \text{ [m]}</math></li> <li><math>y = 10.00 \text{ [m]}</math></li> <li><math>\theta = 0.00 \text{ [rad]}</math></li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>	<p>Elemento: [ 5 ]</p> <p>- Tipo:</p>  <p>Pin rígido</p> <p>- Ubicación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>x' = 0.00 \text{ [m]}</math></li> <li><math>y' = 0.00 \text{ [m]}</math></li> </ul>

### Programación de elementos dinámicos

Tabla 63 Elementos dinámicos. Ejercicio 1, caso 2 - Laboratorio 4.

Elemento	Conexión	Propiedades
Resorte y amortiguador Constraint[3 ]- Spring Damper 	- Conexión Punto 1 Body[1] $x' = 4.00$ [m] $y' = 0.00$ [m] Punto 2 Body[5] $x' = 0.00$ [m] $y' = 0.00$ [m] $\theta = 0.00$ [rad]	- Spring $K = 333.65$ N/m Length = 11.00 m - Damper $K = 73.45$ N-s/m - Active when Always

### Programación de resultados

Tabla 64 Control de pausa, Ejercicio 1, caso 2 - Laboratorio 4.

Control de pausa	Condición
Control de pausa 1	$time > 15.00$

Tabla 65 Programación de resultados, Ejercicio 1, caso 2 - Laboratorio 4.

Valor	Función programada	Eje x
<i>Time</i>	<i>Time</i>	<i>Frame()</i>
<i>x</i>	<i>Body[1].p.x</i>	<i>Time</i>
<i>Lim sup</i>	$3.39 * 2.7182^{(-0.080 * t)}$	<i>Time</i>

### Estado inicial

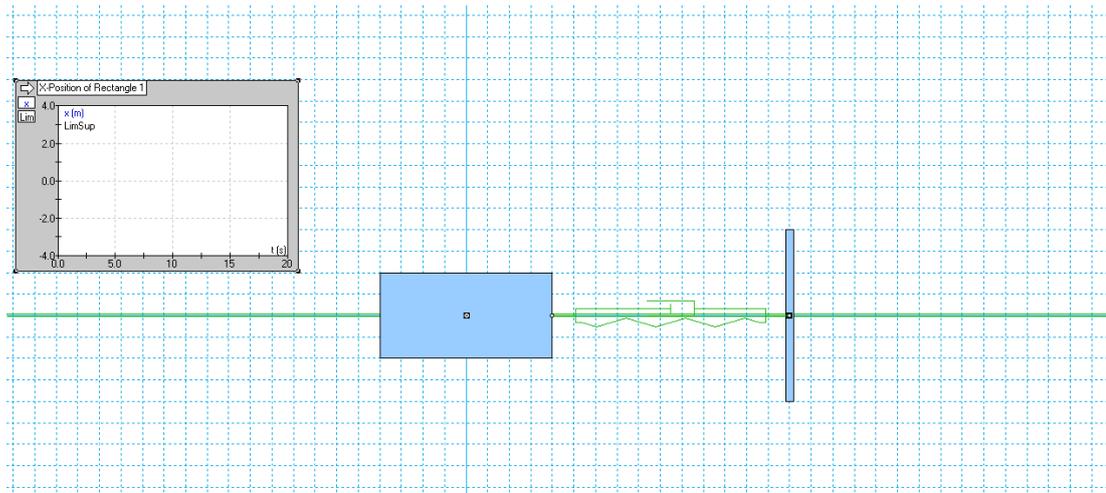


Figura 80 Simulación, Ejercicio 1, caso 2 - Laboratorio 4, estado inicial.

### Estado final

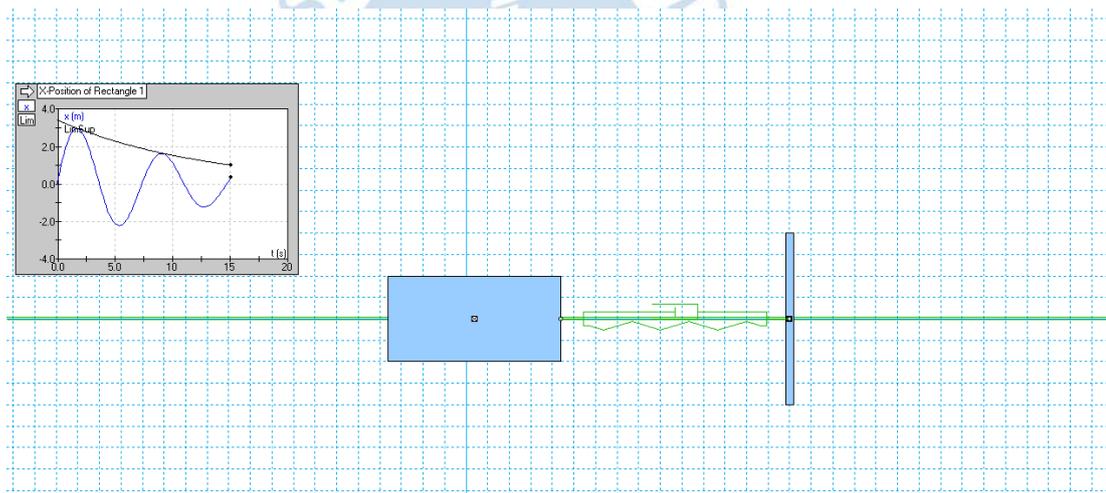


Figura 81 Simulación, Ejercicio 1, caso 2 - Laboratorio 4, estado final.

### Análisis de resultados

Como se puede apreciar, la respuesta es correspondiente a un sistema amortiguado, se graficó una curva límite que representa valores que no puede exceder la respuesta horizontal del sistema.

### 3.6.4.2 Ejercicio 2 – Laboratorio 4, instrucciones de construcción y programación en el software *Working Model 2D*

#### Caso 1

La esfera A de radio  $r=0.50$  m tiene una masa de 0.30 kg y está conectado por una cuerda al techo de longitud 5.00 m y  $x_0=4.00$  m. (Ver figura 82)

Determinar el periodo de vibración del péndulo simple y la curva de la onda vibratoria  $\theta$  vs  $t$  para un  $t \in [0.00;10.00]$ s.

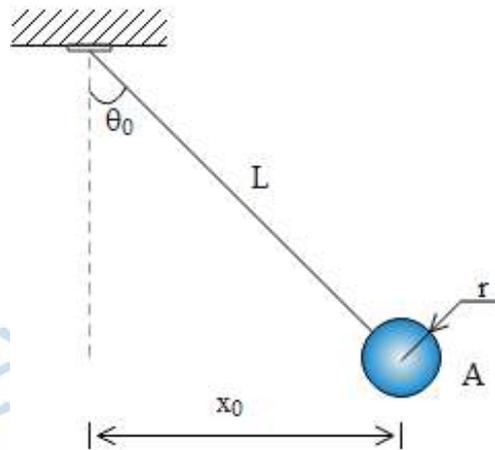


Figura 82 Ejercicio 2, caso 1 - Laboratorio 4, péndulo simple.

#### Caso 2

Analiza el ejercicio anterior en un ambiente que tiene una resistencia de aire de velocidad baja de 0.07 kg/m-s. (Ver figura 83)

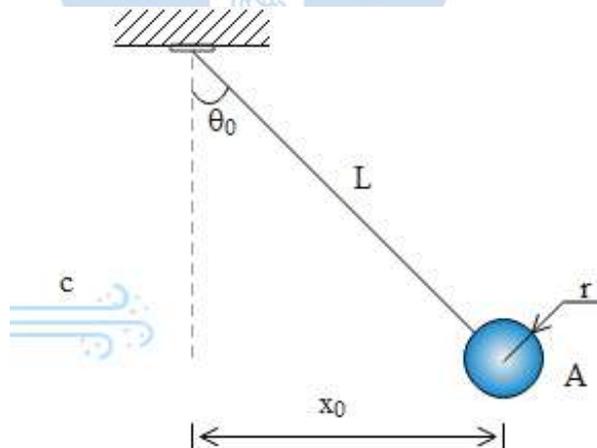


Figura 83 Ejercicio 2, caso 2 - Laboratorio 4, péndulo amortiguado por fricción del aire.

## Caso 1 – Ejercicio 2

## Configurar el espacio de trabajo

Tabla 66 Espacio de trabajo, Ejercicio 2, caso 1 - Laboratorio 4.

Función	Opciones	Valor
<i>Workspace</i>	Activar: - <i>Rules</i> - <i>Grid Lines</i> - <i>X, Y Axes</i>	[ - ]
<i>Accuracy</i>	<i>Animation Step</i>	100 Frames/s
<i>Gravity</i>	<i>Vertical</i>	9.810

## Construcción de formas y restricciones

Tabla 67 Formas y restricciones, Ejercicio 2, caso 1 - Laboratorio 4 (Parte 1).

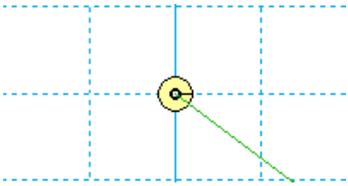
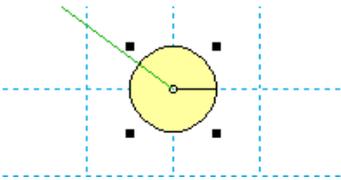
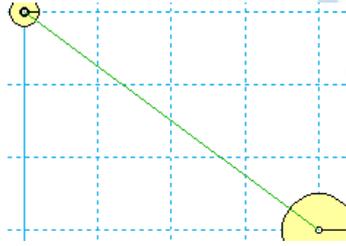
Elemento	Propiedades / Geometría	Restricciones
Elementos iguales: [ - ]	Valores iguales: [ - ]	Restricciones iguales: [ - ]
Tipo: <i>Circunferencia</i> Nombre: Body [ 1 ] 	Propiedades: - Dimensiones $r = 0.20 [m]$ - Posición Body [ 1 ] $x = 0.00 [m]$ $y = 10.00 [m]$	Elemento: [ 1 ] - Tipo:  Pin rotacional - Ubicación: $x' = 0.00 [m]$ $y' = 0.00 [m]$ - Relación: Body[1] ↓ Espacio de trabajo

Tabla 68 Formas y restricciones, Ejercicio 2, caso 1 - Laboratorio 4 (Parte 2).

Elemento	Propiedades / Geometría	Restricciones
Tipo: <p style="text-align: center;">Circunferencia</p> Nombre: <p style="text-align: center;">Body [ 5 ]</p> 	Propiedades: - Dimensiones $r = 0.50 \text{ [m]}$ - Posición $\text{Body [ 5 ]}$ $x = 4.00 \text{ [m]}$ $y = 7.00 \text{ [m]}$ - Prop. Físicas $\text{mass} = 0.30 \text{ [kg]}$	[ - ]

## Programación de elementos dinámicos

Tabla 69 Elementos dinámicos, Ejercicio 2, caso 1 - Laboratorio 4.

Elemento	Conexión	Propiedades
Barra <p style="text-align: center;">Constraint[8]-Rod</p> 	- Conexión Punto 1 $\text{Body [ 1 ]}$ $x' = 0.00 \text{ [m]}$ $y' = 0.00 \text{ [m]}$ Punto 2 $\text{Body [ 9 ]}$ $x' = 0.00 \text{ [m]}$ $y' = 0.00 \text{ [m]}$	[ - ]

## Programación de resultados

Tabla 70 Control de pausa, Ejercicio 2, caso 1 - Laboratorio 4.

Control de pausa	Condición
Control de pausa 1	$\text{time} > 10.00$

Tabla 71 Programación de resultados, Ejercicio 2, caso 1 - Laboratorio 4.

Valor	Función programada	Eje x
<i>Time</i>	<i>Time</i>	<i>Frame()</i>
<i>th</i>	<i>asin(Body[5].p.x/5)</i>	<i>Time</i>

## Estado inicial

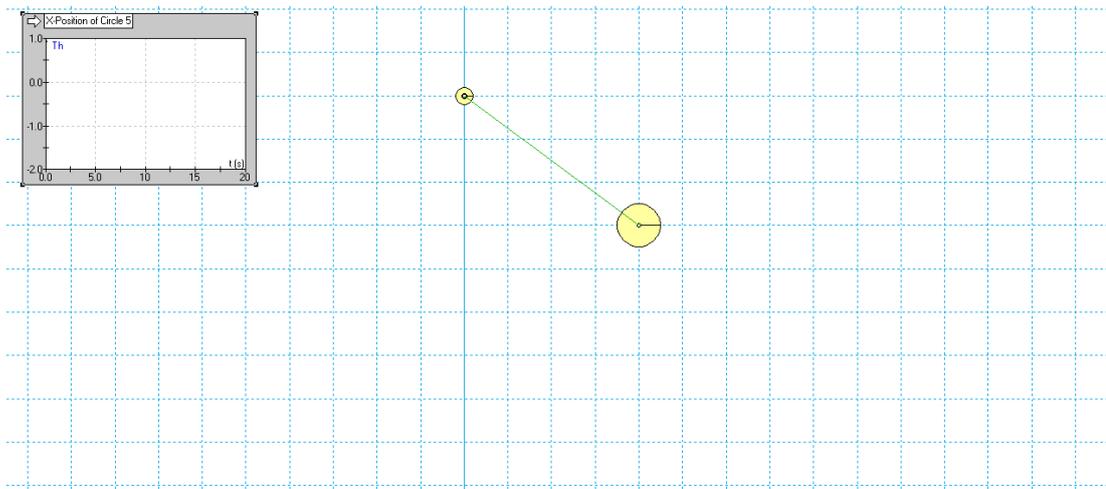


Figura 84 Simulación, Ejercicio 2, caso 1 - Laboratorio 4, estado inicial.

## Estado final

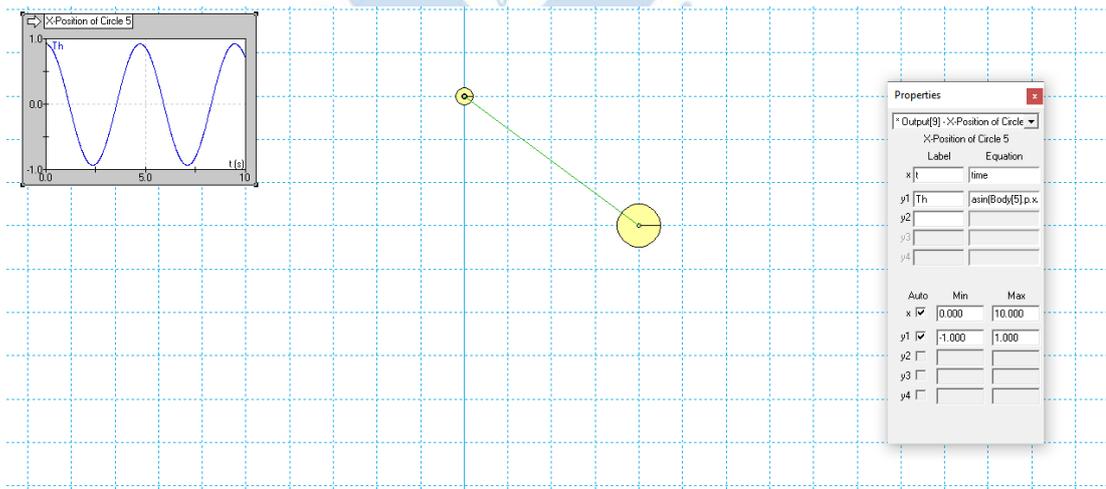


Figura 85 Simulación, Ejercicio 2, caso 1 - Laboratorio 4, estado final.

## Caso 2 – Ejercicio 2

Duplicar el documento del modelo original

Modificar el espacio de trabajo programado en el anterior caso

Tabla 72 Espacio de trabajo, Ejercicio 2, caso 2 - Laboratorio 4.

Función	Opciones	Valor
<i>Air Resistance</i>	<i>Low speed</i>	<i>0.070</i>

### Estado inicial

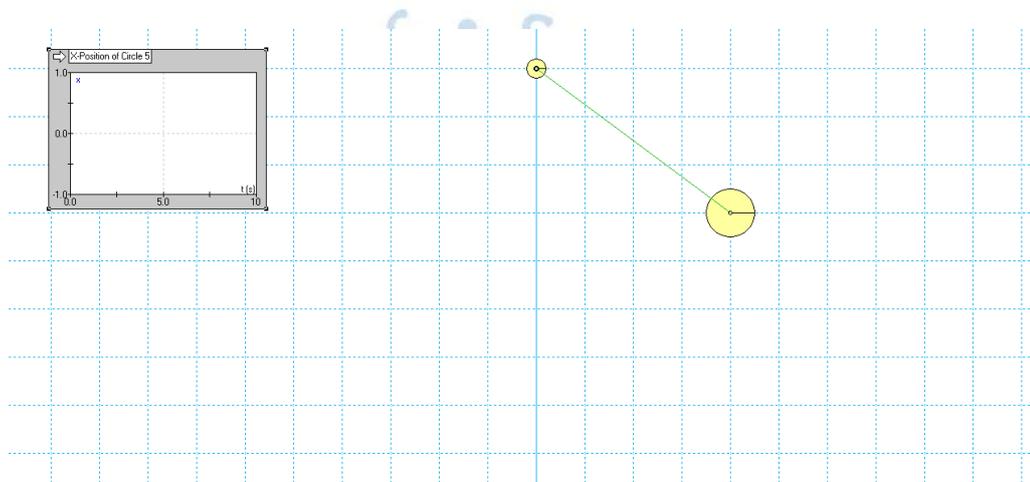


Figura 86 Simulación, Ejercicio 2, caso 2 - Laboratorio 4, estado inicial.

### Estado final

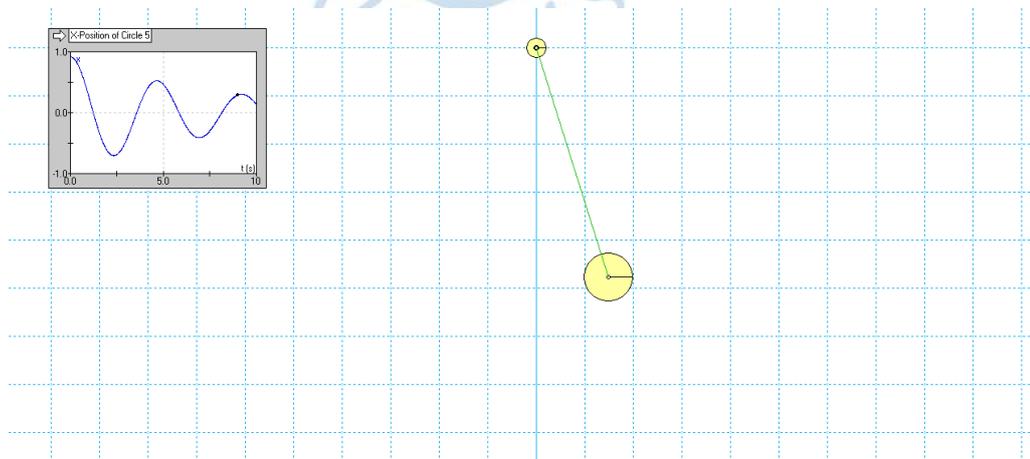


Figura 87 Simulación, Ejercicio 2, caso 2 - Laboratorio 4, estado final.

### Análisis de resultados

La programación de los resultados de un sistema que comprende un péndulo simple es relativamente sencilla y no debe representar una dificultad para los estudiantes.

En el sistema del péndulo amortiguado, se debe precisar que el rozamiento del viento está en función de la sección transversal horizontal del elemento en movimiento, es por ello que se recomienda trabajar con una circunferencia de diámetro de un metro o en su defecto cualquier forma geométrica que posea un metro como dimensión máxima vertical, durante todo su recorrido.

### 3.7 Informes de laboratorio

En este apartado se dará a conocer ejercicios que podrían ser evaluados como parte de los informes de laboratorio que presentarían los alumnos del curso posterior al desarrollo de los laboratorios.

El objetivo de los informes de laboratorio es reforzar los conocimientos obtenidos en el desarrollo de los laboratorios. La metodología de evaluación de los informes de laboratorio está presentada en el apartado “3.2.2. Puntaje y peso de los laboratorios en el curso”.

#### 3.7.1 Informe de laboratorio 1, ejercicios

En este apartado se presentarán los ejercicios correspondientes al informe de laboratorio 1, abordando los temas de: Coordenadas normales y tangenciales y Movimiento dependiente.

Las soluciones numéricas de los ejercicios correspondientes al informe de laboratorio 1 se encuentran en el “Apéndice E”.

#### Ejercicio 1

En la figura 88 se muestra una barra de longitud  $L$ , esta barra se encuentra inclinada y conectada en su extremo con un sistema de poleas. En el otro extremo del sistema de poleas el motor  $M$  tira del cable a una velocidad constante  $V$  en  $m/s$ . Conociendo los datos que se presentan a continuación, responda el cuestionario y complete la tabla 73.

#### Datos:

- Constantes:

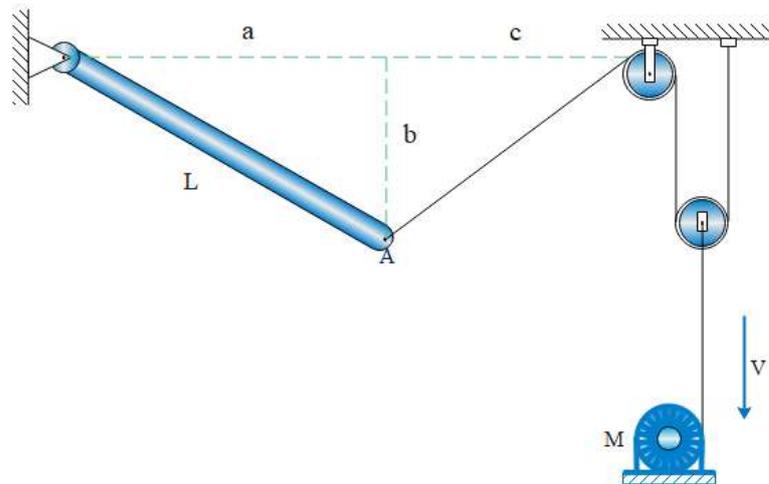
$$\bullet a = 7.00 + 0.20 \cdot N$$

$$\bullet b = 5.00 + 0.25 \cdot N$$

$$\bullet c = 6.00 + 0.10 \cdot N$$

- Velocidad:

$$\bullet V = 0.30 + 0.02 \cdot N$$



**Figura 88 Ejercicio 1 – Informe de laboratorio 1, sistema barra-poleas.**

**Cuestionario:**

- A. Completar la siguiente tabla, utilizando cálculos manuales y simulación *Working Model*. Limitar el análisis hasta que la barra alcance una posición horizontal.

**Tabla 73 Tabla de resultados, Ejercicio 1 – Informe de laboratorio 1.**

Tiempo [s]	b [m]	Velocidad vertical [m/s]	Aceleración vertical [m/s <sup>2</sup> ]	Velocidad angular de la barra [rad/s]
0.00				
1.00				
2.00				
3.00				
4.00				
5.00				
	0.00			

- B. ¿Cuánto tiempo tarda la barra en llegar a su posición horizontal?

Responder:

- C. ¿Cuál es la influencia del peso de la barra en los resultados?
- D. Proponer un sistema de poleas para el cual la velocidad de ascenso del punto A sea mayor a la calculada anteriormente en tanto los valores anteriores se mantengan.

- E. Proponer un sistema de poleas para el cual la velocidad de ascenso del punto A sea menor a la calculada anteriormente en tanto los valores anteriores se mantengan.

### Ejercicio 2

En la figura 89 se presenta un auto de carrera que debe recorrer una trayectoria curva definida con una función  $f(x)$  a una velocidad  $V$  constante. Conociendo los datos que se presentan a continuación, responda el cuestionario y complete la tabla 74.

#### Datos:

- Constantes:

- $a = 0.10 + 0.01 \cdot N$

- $b = 0.20 + 0.01 \cdot N$

- $c = 15.00 + 0.50 \cdot N$

- Función en metros:

- $f(x) = (a \cdot x)^3 + (b \cdot x)^2 + c$

- Velocidad en metros por segundo:

- $V = 3.00 + 0.10 \cdot N$

- Siendo "m" el valor de x cuando la función se hace 0.

$$f(m) = (a \cdot m)^3 + (b \cdot m)^2 + c = 0$$

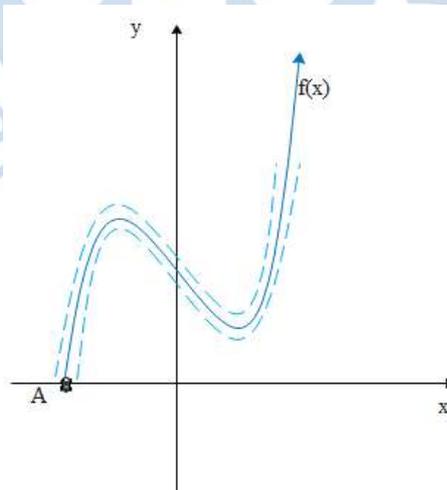


Figura 89 Ejercicio 2 – Informe de laboratorio 1, circuito de carrera.

**Cuestionario:**

A. Completar la siguiente tabla.

**Tabla 74** Tabla de resultados, Ejercicio 2 – Informe de laboratorio 1

X [m]	Y [m]	Vx [m/s]	Vy [m/s]	Ax [m/s <sup>2</sup> ]	Ay [m/s <sup>2</sup> ]	An [m/s <sup>2</sup> ]	Radio "r"
m							
m+5							
m+10							
m+15							
m+20							
m+25							
m+30							
m+35							
m+40							
m+45							
m+50							

Responder:

- ¿En qué punto del recorrido y por qué la aceleración se hace máxima?
- ¿En qué punto y por qué la aceleración se haría 0?
- ¿La masa y la geometría del vehículo influyen en la simulación?
- En el proceso de simulación, ¿Existe diferencia en los resultados si se cambia la geometría del móvil analizado?

**3.7.2 Laboratorio 2, ejercicios**

En este apartado se presentarán los ejercicios correspondientes al informe de laboratorio 2, abordando los temas de: Coordenadas polares y cilíndricas.

Las soluciones numéricas de los ejercicios correspondientes al informe de laboratorio 2 se encuentran en el "Apéndice F".

**Ejercicio 1**

En la figura 90 se presenta un mecanismo que está compuesto por un poste central que asciende a razón de una velocidad  $V_1$  en m/s, mientras que rota sobre su eje Z a velocidad

angular  $\omega$  en rad/s y aceleración angular  $\alpha$  en  $\text{rad/s}^2$ . Analice los casos 1 y 2 conociendo los datos que se presentan a continuación, responda el cuestionario y complete la tabla 75.

- Caso 1: Analice el mecanismo desde una vista superior, considerando únicamente la proyección sobre el plano XY
- Caso 2: Analice el mecanismo considerando las componentes en 3 dimensiones.

**Datos:**

- Constantes:

- $r = 4.50 + 0.05 \cdot N$

- $a = 2.00 + 0.05 \cdot N$

- $c = 3.50 + 0.10 \cdot N$

- Velocidades

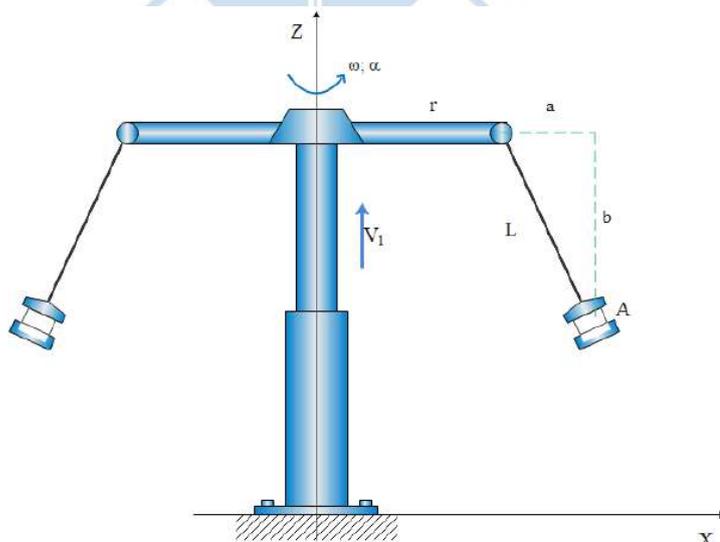
- $V_1 = \sin((0.60 + 0.20) \cdot t)$

- $\omega = 2.50 + 0.10 \cdot N$

- $\alpha = -(0.05 + 0.01 \cdot N)$

Siendo:

- $V_\theta$ : Velocidad en dirección  $\theta$ .
- $V_z$ : Velocidad en dirección Z.
- $V_{tot}$ : Velocidad total.
- $a_r$ : Aceleración en dirección del radio.
- $a_\theta$ : Aceleración en dirección  $\theta$ .
- $a_z$ : Aceleración en dirección Z.
- $a_{tot}$ : Aceleración total.



**Figura 90 Ejercicio 1 – Informe de laboratorio 2, sillas voladoras.**

**Cuestionario:**

A. Completar la siguiente tabla.

**Tabla 75 Tabla de resultados, Ejercicio 1 – Informe de laboratorio 2.**

Tiempo [s]	$V_{\theta}$ [m/s]	$V_z$ [m/s]	$V_{tot}$ [m/s]	$A_r$ [m/s <sup>2</sup> ]	$A_{\theta}$ [m/s <sup>2</sup> ]	$A_z$ [m/s <sup>2</sup> ]	$A_{tot}$ [m/s <sup>2</sup> ]
0.00							
1.00							
2.00							
3.00							
4.00							
5.00							
6.00							
7.00							
8.00							

Responder:

- B. Para el caso 1 determinar el instante en que se presenta el mayor módulo de la velocidad, justifica.
- C. Para el caso 2 determinar el instante en que se presenta el mayor módulo de la velocidad, justifica.
- D. Se tiene el mismo sistema sin aceleración angular ni velocidad vertical, sabiendo que el brazo “r” y la longitud “L” se mantienen constantes, determine los valores de “a” y “b” en el cual el sistema de velocidad angular constante se mantiene en equilibrio.

**3.7.3 Informe de laboratorio 3, ejercicios**

En este apartado se presentarán los ejercicios correspondientes al informe de laboratorio 3, abordando los temas de: Principio de conservación de la energía y conservación del momento angular

Las soluciones numéricas de los ejercicios correspondientes al informe de laboratorio 3 se encuentran en el “Apéndice G”.

### Ejercicio 1

En la figura 91 se presenta una esfera de masa “m” que está conectada a un resorte con coeficiente de rigidez K en N/m. La esfera viaja a lo largo de un canal definido por medio de una función  $f(y)$  y posee una velocidad inicial  $V_0$  tangente a la trayectoria. Conociendo los datos que se presentan a continuación, responda el cuestionario y complete la tabla 76.

#### Datos:

- Constantes:

$$\bullet a = 0.40 + 0.05 \cdot N$$

- Función en metros:

$$\bullet f(y) = 3 - a \cdot (y - 2)^3$$

- Esfera:

$$\bullet V_0 = 2.15 + 0.02 \cdot N \quad [\text{m/s}]$$

$$\bullet m = 15.00 + 0.20 \cdot N \quad [\text{kg}]$$

- Resorte:

$$\bullet k = 25.00 + 0.10 \cdot N \quad [\text{N/m}]$$

-  $L_0$ : El resorte no se encuentra deformado cuando su coordenada “x” es igual a 0.

Donde:

- $F_{\text{resorte}}$ : Fuerza generada por la deformación del resorte.
- V: Velocidad de la masa m.
- $E_{\text{gra}}$ : Energía potencial gravitatoria de la masa m.
- $E_{\text{res}}$ : Energía producto de la deformación del resorte.
- $E_{\text{cine}}$ : Energía cinética de la masa m.
- $E_{\text{tot}}$ : Energía total del sistema.

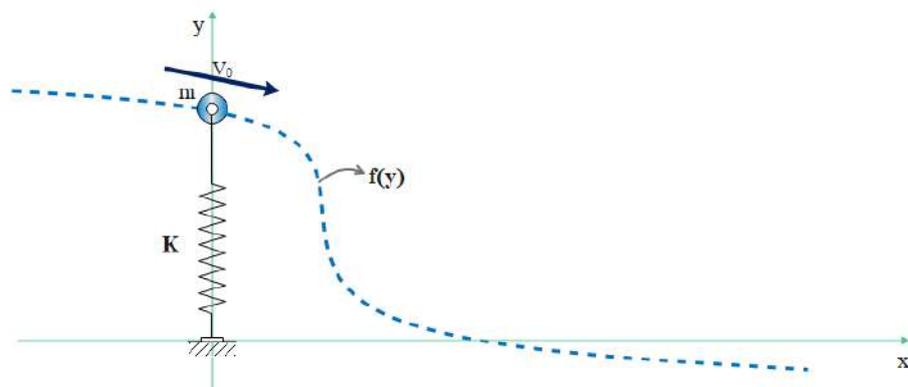


Figura 91 Ejercicio 1 – Informe de laboratorio 3, sistema de rieles y resortes.

**Cuestionario:**

A. Completar la siguiente tabla.

**Tabla 76 Tabla de resultados, Ejercicio 1 – Informe de laboratorio 3.**

X [m]	Y [m]	F <sub>resorte</sub> [N]	V [m/s]	E <sub>gra</sub> [N-m]	E <sub>res</sub> [N-m]	E <sub>cine</sub> [N-m]	E <sub>tot</sub> [N-m]
0.00							
0.50							
1.00							
2.00							
3.00							
4.00							
5.00							
	0.00						
			0.00				

Responder:

- B. Existe pérdida de energía por causa de la trayectoria curva.
- C. Para los datos asignados inicialmente, ¿Cuál debería ser el valor de K para que la esfera se detenga en  $y=0,00$ ? (De no ser posible, justifique el porqué)
- D. Para los datos asignados inicialmente, ¿Cuál debería ser el valor de la masa para que la esfera se detenga en  $y=0,00$ ? (De no ser posible, justifique el porqué)
- E. ¿Cuál sería el efecto si se reemplaza el resorte por un amortiguador de  $C=0.70 \cdot V_0$ ?

**3.7.4 Informe de laboratorio 4, ejercicios**

En este apartado se presentarán los ejercicios correspondientes al informe de laboratorio 4, abordando los temas de: Vibración mecánica, vibración amortiguada

Las soluciones numéricas de los ejercicios correspondientes al informe de laboratorio 4 se encuentran en el "Apéndice H".

### 3.7.4.1 Ejercicio 1

Se pide diseñar el sistema de amortiguación de una motocicleta que inicia con una velocidad  $V_0$  cuya respuesta de vibración debe estar contenida entre dos curvas límite. (Trabajar en un ambiente sin gravedad) (Ver figura 92)

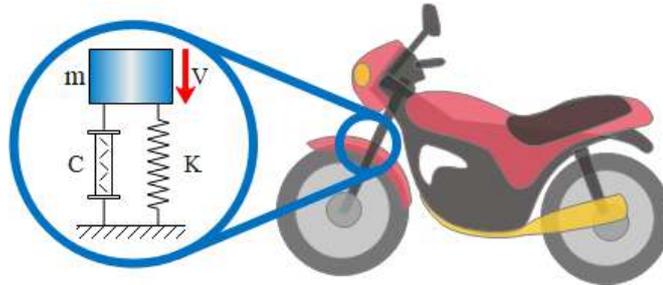


Figura 92 Ejercicio 1 – Informe de laboratorio 4, diseño de un sistema de amortiguación.

#### Datos:

- Masa:

$$\bullet m = 50.00 + 2.00 \cdot N \quad [\text{kg}]$$

- Constantes:

$$\bullet a = 0.15 + 0.01 \cdot N$$

$$\bullet b = 2.00 + 0.10 \cdot N$$

$$\bullet c = 0.20 - 0.01 \cdot N$$

- Límites:

○ Superior

$$\bullet \text{Lim} = a \cdot b^{-c \cdot t}$$

○ Inferior

$$\bullet \text{Lim} = -a \cdot b^{-c \cdot t}$$

○ Ejemplo N=5:

$$\text{Lim} = \pm 0.20 \cdot 2.50^{-0.25 t}$$

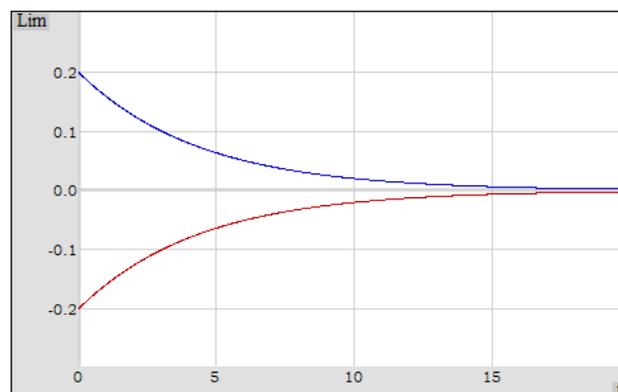


Figura 93 Funciones límite para la vibración.

**Cuestionario:**

- A. Determinar el valor del periodo de vibración [s].
- B. Determinar la frecuencia del sistema [rad/s].
- C. El valor de la constante K [N/m] del resorte.
- D. El valor de la constante C [N-s/m] del amortiguador.
- E. Determinar los límites de velocidad inicial para el correcto funcionamiento del mecanismo.
- F. Determinar el desplazamiento máximo.
- G. Determinar la función respuesta de la vibración del sistema.
- H. Generar la gráfica de la respuesta de la vibración acotada entre los límites propuestos.
- I. Completar la siguiente tabla.

**Tabla 77 Tabla de resultados, Ejercicio 1 – Informe de laboratorio 4.**

Tiempo [s]	Desplazamiento Y [m]	Velocidad Vy [m/s]
2.00		
4.00		
5.00		
8.00		
10.00		
12.00		
15.00		
20.00		

**Responder:**

- J. ¿Por qué considera que su respuesta respecto a los valores de C y K serian confortables en el nuevo vehículo?
- K. ¿Qué parámetro, de la respuesta de la vibración, controla el valor de C?
- L. ¿Qué parámetro, de la respuesta de la vibración, controla el valor de K?
- M. ¿Qué parámetro de la respuesta de la vibración (función), controla el valor de  $V_0$ ?
- N. ¿Existe la posibilidad de cumplir con el diseño solicitado con un sistema de resortes en serie y paralelo sin amortiguadores? (justifique su respuesta)

## Capítulo 4

### Evaluación de la respuesta de los estudiantes a la implementación de *Working Model 2D* como herramienta computacional en el curso de Mecánica Dinámica

En este capítulo se reportará del proceso en el cual se pusieron a prueba dos laboratorios desarrollados en este proyecto de tesis. Estos laboratorios fueron presentados a los alumnos del curso de Mecánica Dinámica UDEP en el ciclo 2020-II, posteriormente fueron evaluados mediante informes de laboratorio y encuestas.

Los resultados obtenidos mediante los informes de laboratorio y encuestas serán comparados con:

- Seminarios evaluados, sobre el uso del *software Working Model*, desarrollados en el mismo periodo académico.
- Proyectos grupales de simulación del ciclo 2020-I.
- Proyectos grupales de construcción y simulación del ciclo 2019-II.

Estos datos serán comparados estadísticamente mediante una prueba Z de dos muestras independientes. (Ver figura 94)

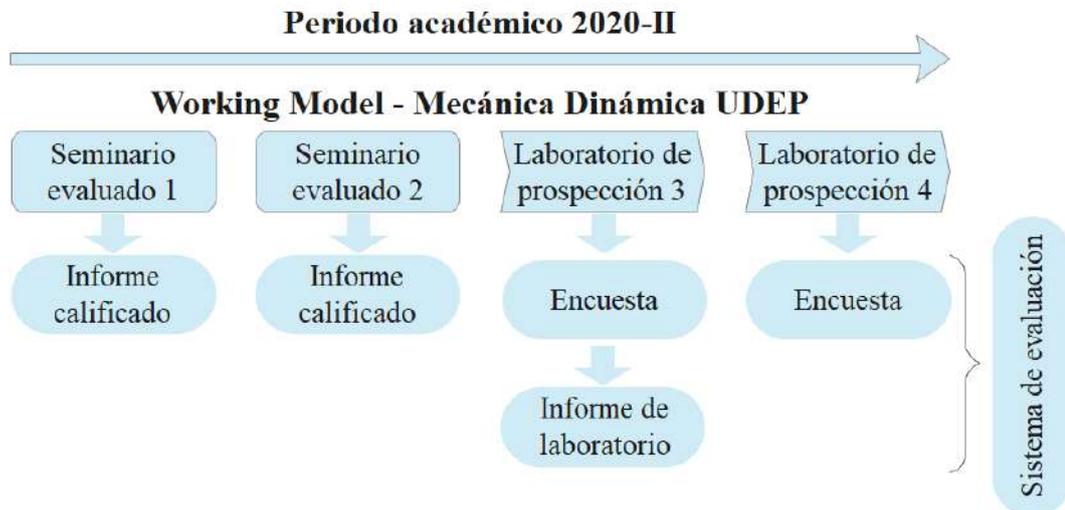


**Figura 94** Análisis de resultados del dictado de los laboratorios de prospección respecto metodologías aplicadas en ciclos académicos anteriores.

#### 4.1 Laboratorios de prospección para los alumnos del curso de Mecánica Dinámica en la Universidad de Piura

En el ciclo 2020-II, el curso de Mecánica Dinámica reemplazó los proyectos grupales de investigación por el dictado de seminarios de programación en *Working Model*, los seminarios estaban orientados a la enseñanza de comandos del *software* y temas académicos del curso de Mecánica Dinámica. Posteriormente los seminarios eran evaluados mediante el desarrollo de simulaciones asignadas. En este contexto, el docente del curso de Mecánica Dinámica y el

autor de este proyecto de tesis acordaron poner a prueba los laboratorios 3 y 4 desarrollados en el capítulo anterior de este proyecto de tesis, a los cuales se les denominó “Laboratorios de prospección”. Estos laboratorios de prospección se presentaron a los alumnos del curso en lugar de los seminarios, y serían desarrollados y evaluados bajo la metodología planteada con anterioridad. (Ver figura 95)



**Figura 95 Distribución de los seminarios y laboratorios de *Working Model* en el ciclo 2020-II en el curso de Mecánica Dinámica UDEP.**

**El laboratorio de prospección 3** fue dictado el día 26 de octubre en un lapso de 90 minutos, siendo destinado al desarrollo de los temas:

- Conservación de la energía.
- Conservación del momentum angular.

El informe del laboratorio 3 consistía de dos ejercicios que debían ser resueltos y simulados utilizando el *software Working Model*, la evaluación se realizaría mediante un informe de laboratorio que sería presentado una semana después.

**El laboratorio de prospección 4** fue dictado el día 9 de noviembre en un lapso de 90 minutos en el cual se desarrollaron los siguientes temas:

- Demostraciones relacionadas a las leyes de Newton.
- Concepto de volcadura.
- Vibración y movimiento armónico.

El informe de laboratorio consistía en resolver y simular el ejercicio planteado en el apartado “3.7.4. Informe de laboratorio 4, ejercicios”.

En cada una de las exposiciones se les solicitó a los alumnos que respondieran encuestas relacionadas al desarrollo y el nivel de los laboratorios desarrollados.

#### 4.1.1 Condiciones generales del desarrollo del laboratorio de prospección 3

Para el desarrollo del laboratorio de prospección 3 se tuvieron las siguientes consideraciones:

- Se les informó sobre el desarrollo del “laboratorio de prospección 3” 6 horas antes del inicio del mismo.
- Se les brindó un documento que contenían los manuales de construcción de los mecanismos que se desarrollarían en el laboratorio mediante la plataforma virtual de la Universidad de Piura.
- La solución manual de los ejercicios y archivos correspondientes a los modelos *Working Model* de los mecanismos que se desarrollarían en el laboratorio, fueron adjuntados como material de apoyo.

En la figura 96 se puede apreciar la portada del documento brindado a los alumnos del curso.

<b>DISEÑO Y PROGRAMACIÓN EN WORKING MODEL 2D</b>	
EDIT: CLOP-2020	
<b>Tesis de investigación:</b>	- Aplicación de metodologías interactivas con Working Model en la enseñanza del curso de Mecánica Dinámica
<b>Capítulo 3:</b>	- Laboratorio de prospección 3: Trabajo conservación de la energía y conservación del momentum angular
<b>Autor:</b>	- Bach. Carlos Lopez Lenés
	Octubre del 2020
<b>Encuesta:</b>	<a href="https://docs.google.com/forms/d/1Hcwapq7_a3eo7vBAg5zYktTj-71ebft7_On4TsgWCJc/edit?usp=sharing">https://docs.google.com/forms/d/1Hcwapq7_a3eo7vBAg5zYktTj-71ebft7_On4TsgWCJc/edit?usp=sharing</a>
<b>Modelo Working Model 2D (wm2d)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelo Working Model 2D – Ejercicio 1 <a href="https://yadi.sk/d/dmkKiDwcdAUr8w">https://yadi.sk/d/dmkKiDwcdAUr8w</a></li> <li>- Modelos Working Model 2D – Ejercicio 2 – Casos 1, 2, 3 <a href="https://yadi.sk/d/gv0_QA1O4WruRg">https://yadi.sk/d/gv0_QA1O4WruRg</a> <a href="https://yadi.sk/d/vhbnC0hFKwEGsQ">https://yadi.sk/d/vhbnC0hFKwEGsQ</a> <a href="https://yadi.sk/d/g4miADaS3VPZ1g">https://yadi.sk/d/g4miADaS3VPZ1g</a></li> </ul>

**Figura 96 Portada del documento del laboratorio 3, formato propio del autor.**

#### 4.1.2 Condiciones generales para el desarrollo del laboratorio de prospección 4

Para el desarrollo del laboratorio de prospección 4 se tuvieron las siguientes consideraciones:

- Al igual que el laboratorio anterior, se comunicó el desarrollo del laboratorio con 6 horas de anticipación.

- El material de laboratorio estuvo disponible para los alumnos en la plataforma virtual. Este material consistía en la solución manual de los ejercicios que se desarrollarían en el laboratorio.
- El material de laboratorio no contaba con una guía de construcción, esto con el fin de determinar la influencia de la guía de construcción en el dictado del laboratorio.

## **4.2 Evaluación de las encuestas realizadas a los alumnos después del desarrollo de los laboratorios de prospección**

Después de la presentación de los laboratorios de prospección 3 y 4, los alumnos del curso de Mecánica Dinámica del ciclo 2020-II respondieron encuestas para evaluar el desarrollo de los laboratorios y el nivel de aprendizaje alcanzado en cada ejercicio desarrollado.

### **4.2.1 Encuesta - Laboratorio 3**

La encuesta realizada en el laboratorio 3 consistía en una evaluación de acuerdo a una escala del 1 al 4 (donde 1 es malo; 2 regular; 3 bueno y 4 excelente) las preguntas desarrolladas fueron las siguientes:

#### **4.2.1.1 Encuesta del ejercicio 1**

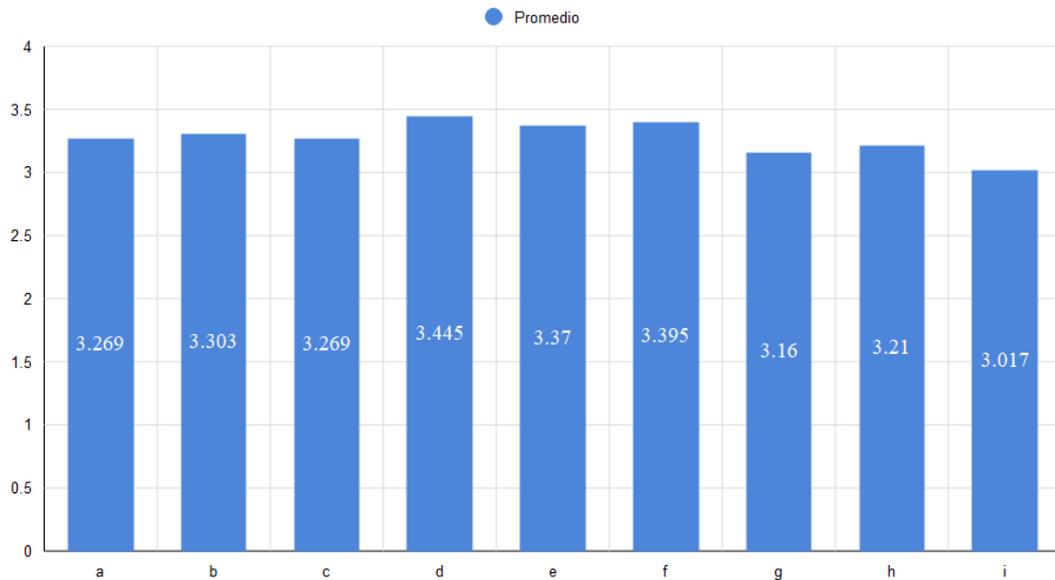
El ejercicio 1 desarrollado en el laboratorio de prospección 3 corresponde al ejercicio desarrollado en el apartado "3.6.3.1. Ejercicio 1 – Laboratorio 3, instrucciones de construcción y programación en el *software Working Model 2D*" de este proyecto de tesis.

Las preguntas realizadas en la encuesta fueron las siguientes:

- a. Considera que la calidad del ejercicio propuesto es: (Marque según corresponda)
  - 1. Malo     2. Regular     3. Bueno     4. Excelente
- b. Considera que la calidad de la solución manual es: (Marque según corresponda)
  - 1. Malo     2. Regular     3. Bueno     4. Excelente
- c. La calidad de la explicación del laboratorio es: (Marque según corresponda)
  - 1. Malo     2. Regular     3. Bueno     4. Excelente
- d. ¿El ejercicio logra desarrollar los conceptos básicos del tema al cual pertenece?
- e. ¿La simulación realizada ha contribuido a entender mejor el tema de trabajo y energía de partículas?
- f. ¿La relación entre simulación WM2D y el desarrollo manual del ejercicio, es adecuada?
- g. ¿Las instrucciones impartidas mediante el manual han sido suficientes para el aprendizaje de la herramienta WM2D?

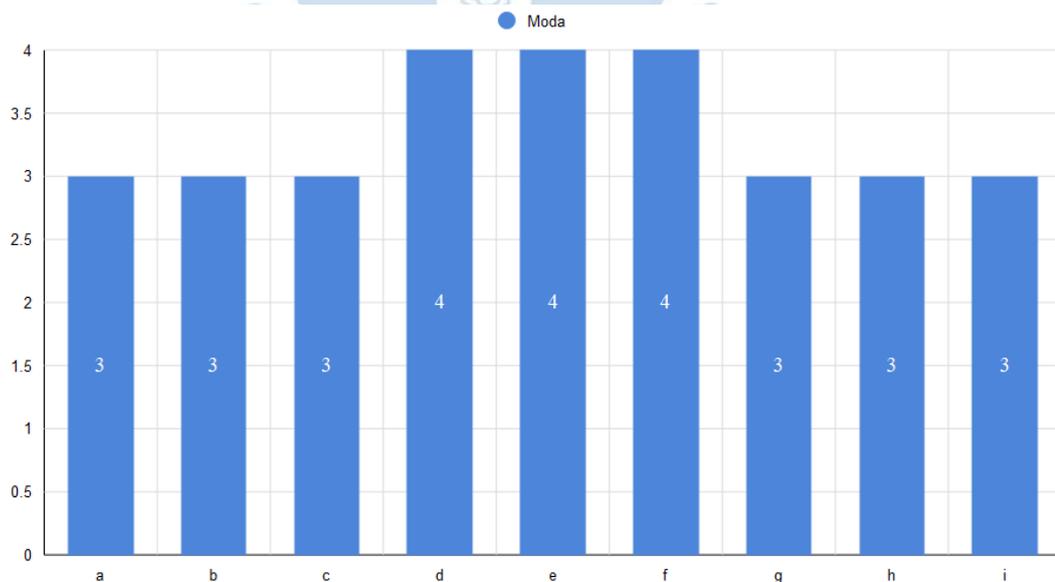
- h. ¿La exposición y simulación del ejercicio en WM2D han sido suficientes para comprender el ejercicio?
- i. ¿Después del laboratorio se siente capaz de simular con WM2D ejercicios sobre Trabajo y energía?

El promedio del puntaje obtenido en cada una de las preguntas de la encuesta es: Ver figura 97.



**Figura 97 Promedio de los resultados obtenidos en la encuesta, Ejercicio 1 - Laboratorio 3.**

La moda del puntaje obtenido en cada una de las preguntas de la encuesta es: Ver figura 98.



**Figura 98 Moda de los resultados obtenidos en la encuesta, Ejercicio 1 - Laboratorio 3.**

**Indicadores:**

En la mayoría de preguntas el promedio es mayor que la moda indicando una buena aceptación representada por los resultados de la encuesta.

En el ejercicio 1 se debe resaltar las preguntas d, e y f de la encuesta, puesto que la moda en estas es de 4 y obtienen un mayor promedio, estas tres preguntas están relacionadas al desarrollo de conceptos teóricos mediante las simulaciones y la relación que se puede conseguir entre las simulaciones y los cálculos manuales, dando cuenta de que al relacionar ambos conceptos mejora el aprendizaje en los alumnos.

Se puede concluir que el desarrollo del laboratorio 3, planteado en este proyecto de tesis, cumple con los objetivos de la metodología basada en “Laboratorios de aprendizaje”, logrando cubrir de forma objetiva los conceptos teórico-prácticos.

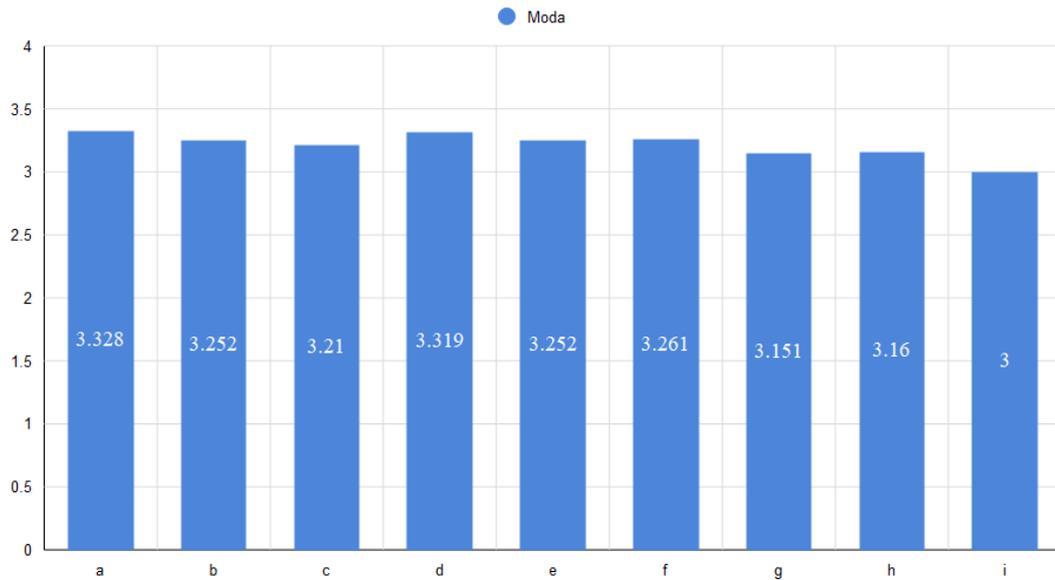
**4.2.1.2 Encuesta ejercicio 2**

El ejercicio 2 desarrollado en el laboratorio de prospección 3 corresponde al ejercicio desarrollado en el apartado “3.6.3.2. Ejercicio 2 – Laboratorio 3, instrucciones de construcción y programación en el *software Working Model 2D*” de este proyecto de tesis.

Las preguntas realizadas en la encuesta fueron las siguientes:

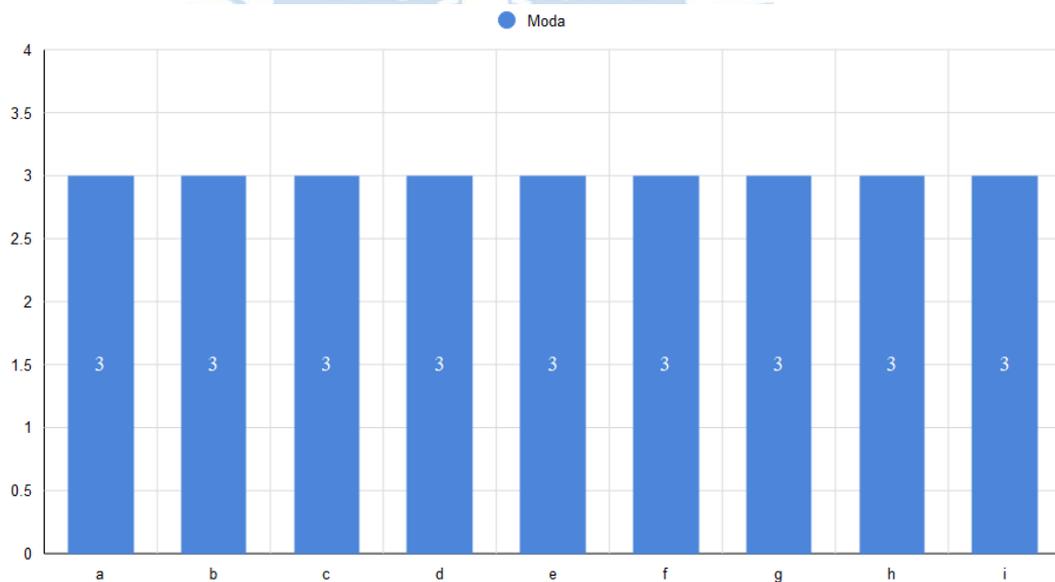
- a. Considera que la calidad del ejercicio propuesto es: (Marque según corresponda)
  - 1. Malo     2. Regular     3. Bueno     4. Excelente
- b. Considera que la calidad de la solución manual es: (Marque según corresponda)
  - 1. Malo     2. Regular     3. Bueno     4. Excelente
- c. La calidad de la explicación del laboratorio es: (Marque según corresponda)
  - 1. Malo     2. Regular     3. Bueno     4. Excelente
- d. ¿El ejercicio logra desarrollar los conceptos básicos del tema al cual pertenece?
- e. ¿La simulación realizada ha contribuido a entender mejor el tema de conservación del momentum angular?
- f. ¿La relación entre simulación WM2D y el desarrollo manual del ejercicio, es adecuada?
- g. ¿Las instrucciones impartidas mediante el manual han sido suficientes para el aprendizaje de la herramienta WM2D?
- h. ¿La exposición y simulación del ejercicio en WM2D han sido suficientes para comprender el ejercicio?
- i. ¿Después del laboratorio se siente capaz de simular con WM2D ejercicios sobre conservación del momentum angular?

El promedio del puntaje obtenido en cada una de las preguntas de la encuesta es: Ver figura 99.



**Figura 99 Promedio de los resultados obtenidos en la encuesta, Ejercicio 2 - Laboratorio 3.**

La moda del puntaje obtenido en cada una de las preguntas de la encuesta es: Ver figura 100.



**Figura 100 Moda de los resultados obtenidos en la encuesta, Ejercicio 2 - Laboratorio 3.**

#### **Indicadores:**

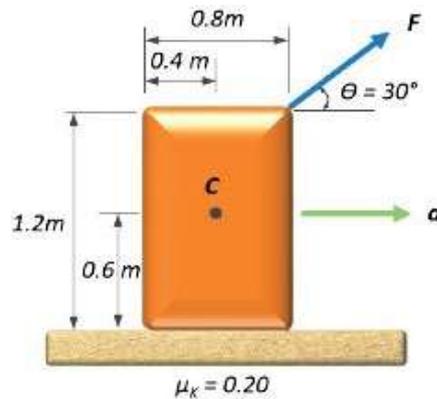
Las estadísticas del ejercicio 2 demuestran la buena recepción que éste obtuvo, siendo las preguntas d, e y f (nuevamente) las que obtuvieron un mayor promedio demostrando la efectividad del ejercicio para explicar y desarrollar conceptos teórico-prácticos.

#### 4.2.2 Encuestas – Laboratorio de prospección 4

Para el laboratorio 4 se mantuvo el sistema de calificación mediante la escala propuesta anteriormente, pero cambiaron las preguntas realizadas.

##### 4.2.2.1 Encuesta ejercicio 1:

El ejercicio desarrollado corresponde a un ejemplo demostrativo del efecto de una fuerza en un objeto sobre un plano rugoso, con el fin de demostrar los límites de fricción y volcadura. (Ver figura 101)



**Figura 101 Ejercicio 1 - Laboratorio 4.**  
Fuente: Extraído de Ojeda (2015)

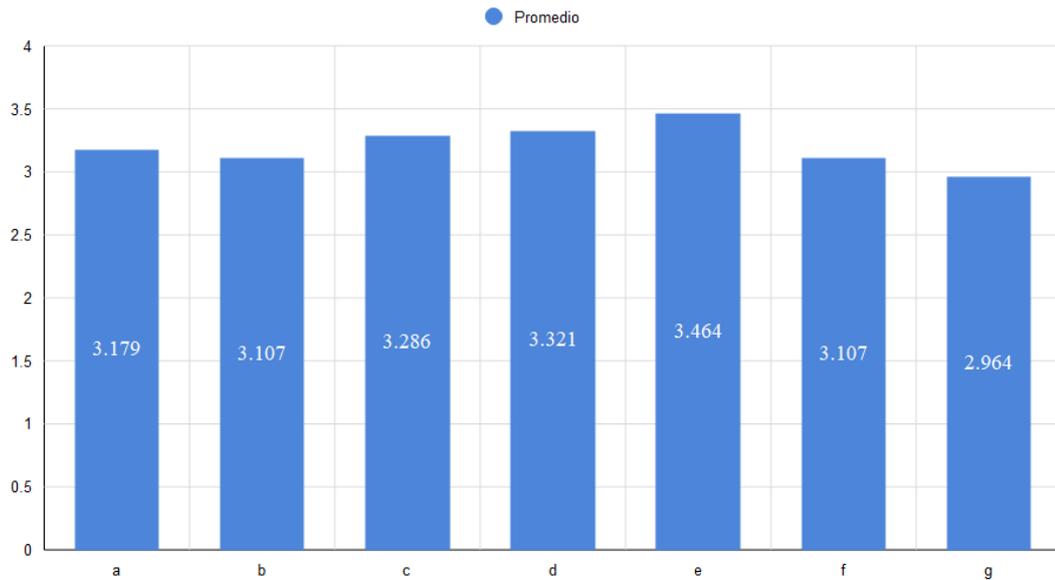
Las preguntas realizadas en la encuesta fueron las siguientes:

- Considera que la calidad del ejercicio propuesto es: (Marque según corresponda)
 

<input type="checkbox"/> 1. Malo	<input type="checkbox"/> 2. Regular	<input type="checkbox"/> 3. Bueno	<input type="checkbox"/> 4. Excelente
----------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------------	---------------------------------------
- La calidad de la explicación del laboratorio es: (Marque según corresponda)
 

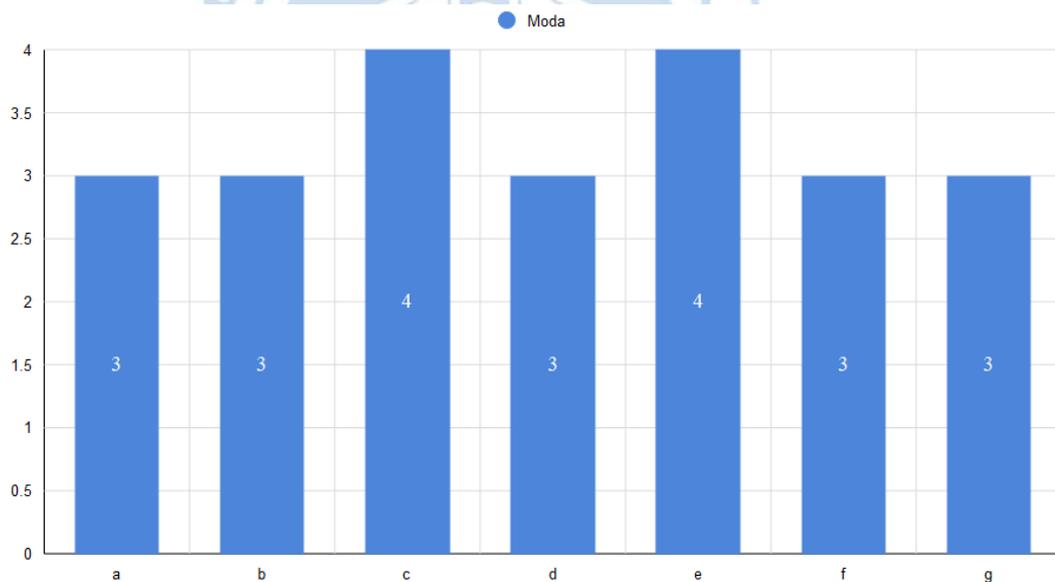
<input type="checkbox"/> 1. Malo	<input type="checkbox"/> 2. Regular	<input type="checkbox"/> 3. Bueno	<input type="checkbox"/> 4. Excelente
----------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------------	---------------------------------------
- ¿El ejercicio logra desarrollar los conceptos básicos del tema al cual pertenece?
- ¿La simulación realizada ha contribuido a entender mejor el tema de volcadura?
- ¿La relación entre simulación WM2D y el desarrollo manual del ejercicio, es adecuada?
- ¿La exposición y simulación del ejercicio en WM2D han sido suficientes para comprender el ejercicio?
- ¿Después del laboratorio se siente capaz de simular con WM2D ejercicios sobre Energía y Volcadura?

El promedio del puntaje obtenido en cada una de las preguntas de la encuesta es: Ver figura 102.



**Figura 102 Promedio de los resultados obtenidos en la encuesta, Ejercicio 1 - Laboratorio 4.**

La moda del puntaje obtenido en cada una de las preguntas de la encuesta es: Ver figura 103.



**Figura 103 Moda de los resultados obtenidos en la encuesta, Ejercicio 1 - Laboratorio 4.**

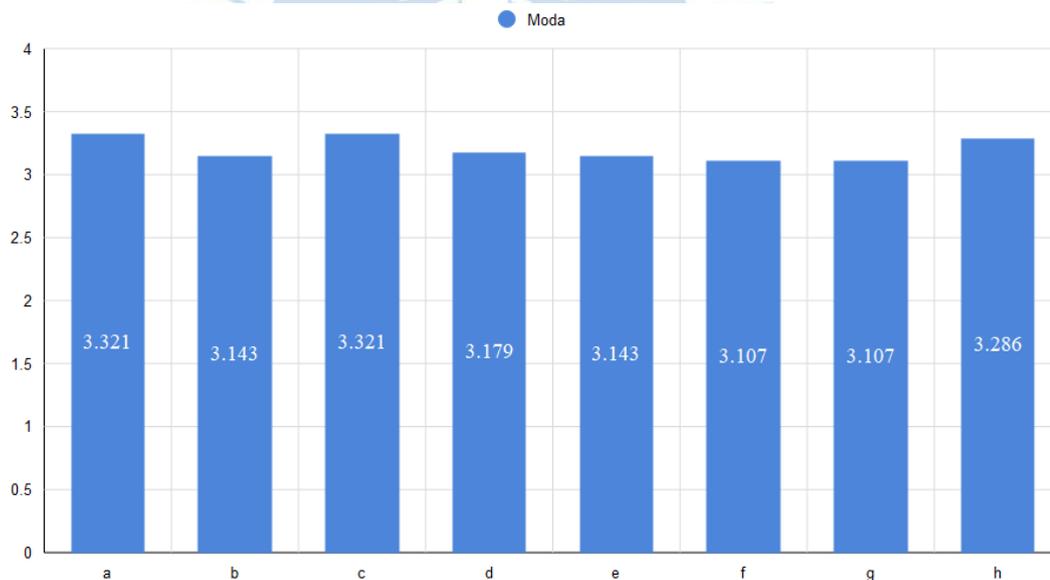
#### 4.2.2.2 Encuesta ejercicio 2

El ejercicio 2 corresponde al ejercicio desarrollado en el apartado “3.6.4.1. Ejercicio 1 – Laboratorio 4, instrucciones de construcción y programación en el *software Working Model 2D*” desarrollado en este proyecto de tesis.

Las preguntas realizadas en la encuesta fueron las siguientes:

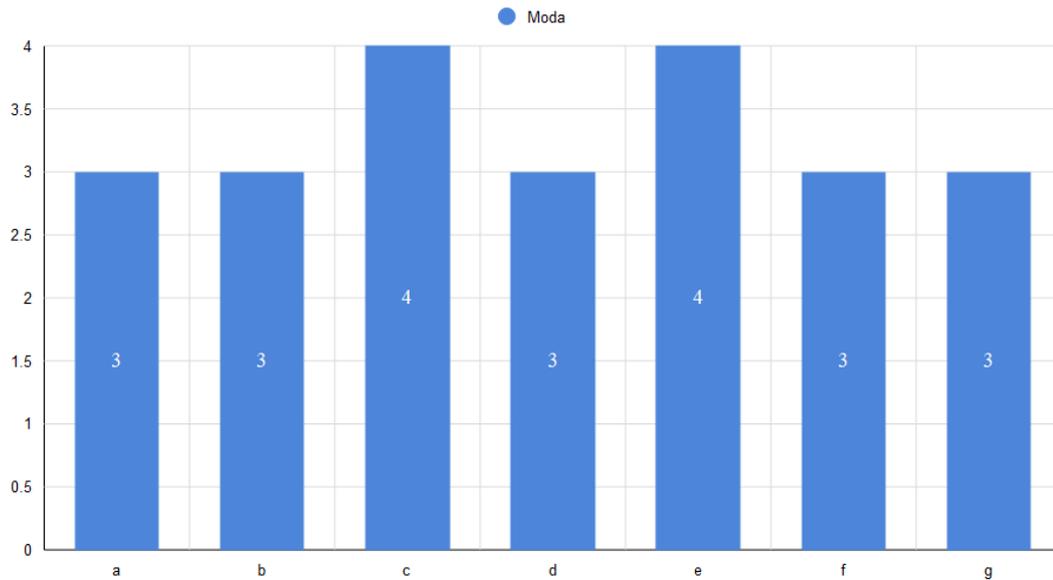
- a. Considera que la calidad del ejercicio propuesto es: (Marque según corresponda)  
 1. Malo     2. Regular     3. Bueno     4. Excelente
- b. La calidad de la explicación del laboratorio es: (Marque según corresponda)  
 1. Malo     2. Regular     3. Bueno     4. Excelente
- c. ¿El ejercicio logra desarrollar los conceptos básicos del tema al cual pertenece?
- d. ¿La simulación realizada ha contribuido a entender mejor el tema de vibración amortiguada?
- e. ¿La relación entre simulación WM2D y el desarrollo manual del ejercicio, es adecuada?
- f. ¿La exposición y simulación del ejercicio en WM2D han sido suficientes para comprender el ejercicio?
- g. ¿Después del laboratorio se siente capaz de simular con WM2D ejercicios sobre vibración amortiguada?
- h. ¿Considera adecuado el desarrollo de ejercicios mediante casos (Caso1, Caso 2) incrementando el nivel progresivamente?

El promedio del puntaje obtenido en cada una de las preguntas de la encuesta es: Ver figura 104.



**Figura 104 Promedio de los resultados obtenidos en la encuesta, Ejercicio 2 - Laboratorio 4.**

La moda del puntaje obtenido en cada una de las preguntas de la encuesta es: Ver figura 105.



**Figura 105 Moda de los resultados obtenidos en la encuesta, Ejercicio 2 - Laboratorio 4.**

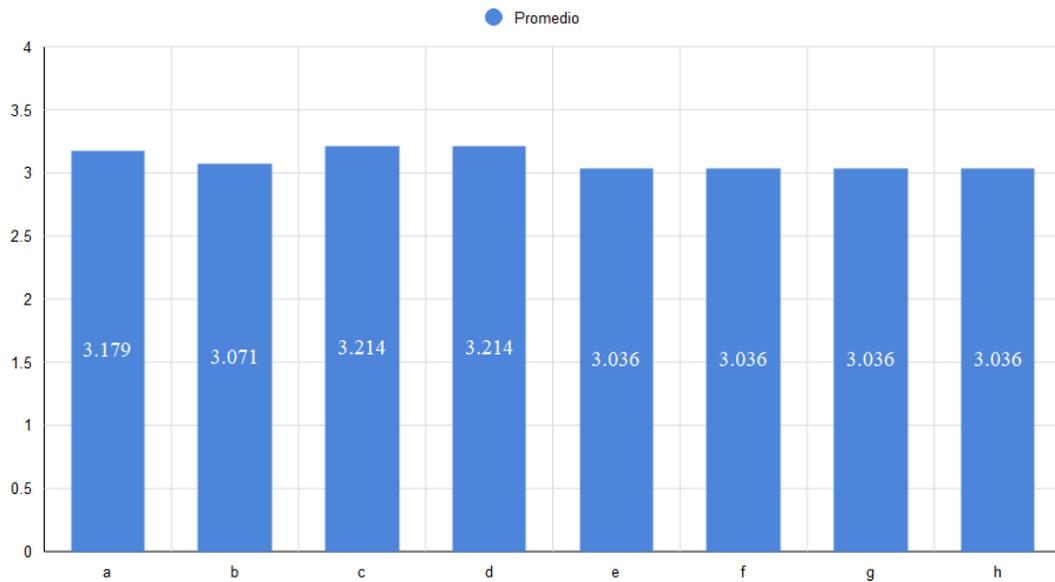
#### 4.2.2.3 Encuesta ejercicio 3:

El ejercicio 3 corresponde al ejercicio desarrollado en el apartado “3.6.4.2. Ejercicio 2 – Laboratorio 4, instrucciones de construcción y programación en el *software Working Model 2D*” desarrollado en este proyecto de tesis.

Las preguntas realizadas en la encuesta fueron las siguientes:

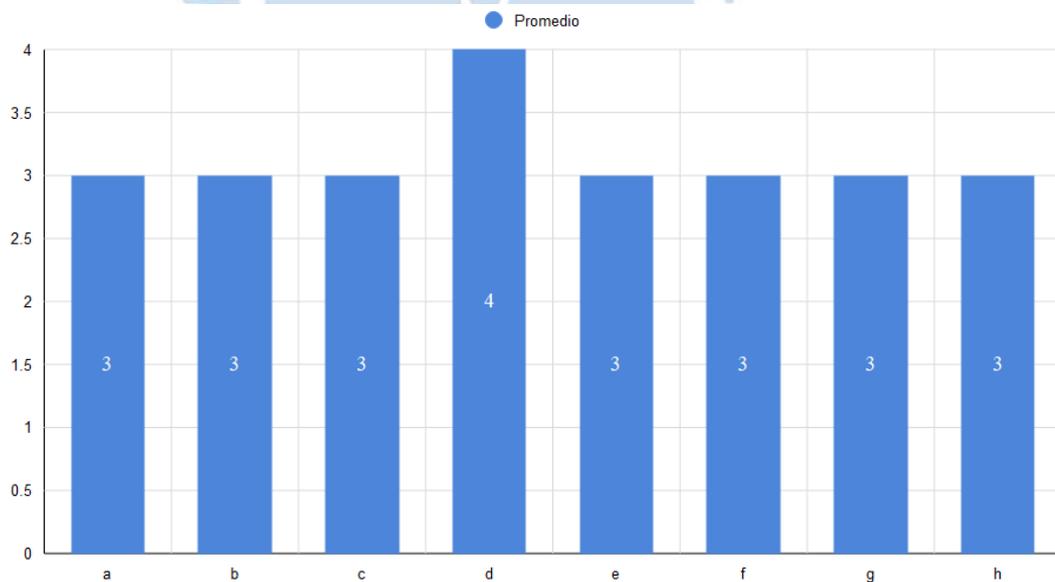
- Considera que la calidad del ejercicio propuesto es: (Marque según corresponda)
  - 1. Malo
  - 2. Regular
  - 3. Bueno
  - 4. Excelente
- La calidad de la explicación del laboratorio es: (Marque según corresponda)
  - 1. Malo
  - 2. Regular
  - 3. Bueno
  - 4. Excelente
- ¿El ejercicio logra desarrollar los conceptos básicos del tema al cual pertenece?
- ¿La simulación realizada ha contribuido a entender mejor el tema de vibración amortiguada?
- ¿La relación entre simulación WM2D y el desarrollo manual del ejercicio, es adecuada?
- ¿La exposición y simulación del ejercicio en WM2D han sido suficientes para comprender el ejercicio?
- ¿Después del laboratorio se siente capaz de simular con WM2D ejercicios sobre movimiento de péndulos?
- ¿Considera adecuado el desarrollo de ejercicios mediante casos (Caso1, Caso 2) incrementando el nivel progresivamente?

El promedio del puntaje obtenido en cada una de las preguntas de la encuesta es: Ver figura 106.



**Figura 106 Promedio de los resultados obtenidos en la encuesta, Ejercicio 3 - Laboratorio 4.**

La moda del puntaje obtenido en cada una de las preguntas de la encuesta es: Ver figura 107.



**Figura 107 Moda de los resultados obtenidos en la encuesta, Ejercicio 3 - Laboratorio 4.**

#### Indicadores generales:

Al igual que las encuestas correspondientes al laboratorio 3 los resultados relacionados al desarrollo del laboratorio de prospección 4, demuestran que el laboratorio 4 obtuvo una buena recepción por parte de los estudiantes del curso.

Como se mencionó con anterioridad, para el desarrollo del laboratorio de prospección 4 no se les brindó a los alumnos las guías de construcción, este efecto se vio evidenciado en la pregunta “Después del laboratorio se siente capaz de simular con WM2D ejercicios sobre movimiento de péndulos” donde se obtuvieron los menores promedios en los tres ejercicios desarrollados, de esta forma se puede concluir que las guías de construcción tienen un efecto positivo en los alumnos.

#### **4.2.3 Laboratorios de aprendizaje (LA) como nuevo sistema de evaluación**

En la encuesta correspondiente al desarrollo del laboratorio 4 realizada a los estudiantes que desarrollaron los laboratorios de prospección, se les consultó lo siguiente: “Considera que se deberían incrementar el número de horas destinadas a los laboratorios”. Se obtuvo como resultado que el 78% de los estudiantes consideran que sí son necesarias más horas de laboratorio utilizando el *software Working Model*.

#### **4.3 Evaluación de los informes de laboratorio desarrollados por los alumnos**

La revisión de los informes de laboratorio 4 no se pudo desarrollar por motivos políticos nacionales, ajenos a la programación de la Universidad de Piura.

La evaluación del informe del laboratorio 3 se desarrolló con normalidad. Obteniendo las siguientes estadísticas de las calificaciones obtenidas por los alumnos.

**Tabla 78 Estadísticas del puntaje obtenido por los alumnos en los informes del Laboratorio 3**

<b>Número de alumnos del curso</b>	172
<b>Número de alumnos que presentaron el informe de laboratorio 3</b>	155 (90.116% del total)
<b>Promedio de calificaciones obtenidas</b>	16.2774194
<b>Desviación estándar</b>	3.53927038

#### **Observaciones:**

- 17 alumnos no presentaron informes de laboratorio. Obteniendo como calificación 0.
- Las calificaciones de los alumnos que no presentaron informe de laboratorio deben ser rechazadas. Puesto que se desconoce el motivo por el cual no presentaron informe de laboratorio, pudiendo tratarse de alumnos retirados del curso o que no asistieron a la presentación de los laboratorios de prospección.

- El promedio de calificaciones obtenidas y la desviación estándar se obtiene analizando la muestra de alumnos que sí presentaron un informe de laboratorio.

#### 4.4 Evaluación de los resultados obtenidos por los alumnos en los laboratorios de prospección, respecto a los seminarios evaluados en el ciclo 2020 – II

##### 4.4.1 Prueba Z para la comparación de dos muestras independientes

La prueba Z es un proceso estadístico que permite analizar la media de una muestra normalmente distribuida con varianza conocida.

La prueba Z aplicada a dos muestras uniformemente distribuidas e independientes entre sí, permite comparar el valor de sus medias por medio del planteamiento de hipótesis bajo un nivel de confiabilidad. Esta prueba estadística generalmente se utiliza para:

- Comparar los datos resultantes de un mismo experimento desarrollado en dos muestras distintas separadas por un periodo de tiempo considerable.
- Comparar los datos resultantes obtenidos por dos experimentos diferentes, que buscan medir un mismo parámetro, aplicados a dos muestras distintas. (Ver figura 108)



**Figura 108 Distribución de data necesaria para prueba estadística Z de dos muestras independientes.**

Para analizar los resultados obtenidos por medio de los laboratorios de aprendizaje y compararlos con metodologías de trabajo anteriores se deberá considerar lo siguiente:

- Los resultados de las muestras analizadas en cada caso, se obtuvieron mediante experimentos distintos.
- Las muestras (población de alumnos del curso de mecánica Dinámica) que participaron del experimento están separadas en el tiempo.
- El parámetro que se comparará, es la calificación obtenida entre distintos tipos de metodología de trabajo (Laboratorios de aprendizaje, seminarios evaluados y proyectos grupales)

#### 4.4.2 Consideraciones generales para la aplicación de la prueba Z en la comparación de calificaciones obtenidas por distintas metodologías de trabajo

La prueba Z que se realizará para la comparar las calificaciones obtenidas por los alumnos mediante el desarrollo de los laboratorios de aprendizaje respecto de otras metodologías de trabajo, tendrá las siguientes consideraciones:

- Se realizará la prueba Z en dos muestras, “muestra 0” y “muestra 1” a las cuales se les aplicara la siguiente hipótesis: La media de las calificaciones presentados en la muestra 0 son mayores que la media de calificaciones presentados en la muestra 1.

$$H_0 : \mu_{SE-1} \geq \mu_{Lbs}$$

$$H_1 : \mu_{SE-1} < \mu_{Lbs}$$

- Se utilizará una confiabilidad del 95%.
- Para la comparación de resultados se considerará únicamente a los estudiantes que presentaron sus asignaciones, descartando las calificaciones nulas generadas por la deserción de alumnos en el transcurso del periodo académico.

#### 4.4.3 Seminario evaluado 1 vs Laboratorio 3

##### Consideraciones específicas:

- Pese a que son una misma población, se pretende evaluar los resultados obtenidos por los alumnos ante el desarrollo de seminarios prácticos y laboratorios de prospección que poseen material y metodologías diferentes entre sí. Por este motivo se debe considerar que son dos poblaciones separadas o individuales.
- Se debe corregir los resultados eliminando las muestras que tengan el valor de 0, debido a que se desconoce las razones por las cuales algunos alumnos no presentaron las asignaciones de los seminarios o los informes de laboratorio.

##### Datos:

Tabla 79 Datos estadísticos para prueba “z” Seminario Evaluado 1 vs Laboratorio 3

	Seminario Evaluado 1	Laboratorio 3
<b>Promedio</b>	10.29375	16.2774194
<b>Desviación estándar</b>	3.299698624	3.53927038
<b>Población n</b>	160	155

##### Hipótesis:

$$H_0 : \mu_{SE-1} \geq \mu_{Lbs}$$

$$H_1 : \mu_{SE-1} < \mu_{Lbs}$$

La hipótesis planteada “Ho” indica que el promedio de notas de los alumnos en los seminarios evaluados es mayor que el promedio de notas de los alumnos en el laboratorio de prospección 3.

**Prueba Z:**

**Tabla 80 Resultados de prueba “z” Seminario Evaluado 1 vs Laboratorio 3 - MegaStat**

<b>z</b>	-15.51
<b>p-value (one-tailed, lower)</b>	0.00E+00

El valor p menor a 0.05 determina el rechazo de la hipótesis “Ho” de esta forma se comprueba que se obtuvieron mejores resultados en el laboratorio de prospección 3 que en el seminario evaluado 1.

#### 4.4.4 Seminario evaluado 2 vs Laboratorio 3

**Datos:**

**Tabla 81 Datos estadísticos para prueba “z” Seminario Evaluado 2 vs Laboratorio 3**

	<b>Seminario Evaluado 2</b>	<b>Laboratorio 3</b>
<b>Promedio</b>	13.1137725	16.2774194
<b>Desviación estándar</b>	3.00886073	3.53927038
<b>Población n</b>	167	155

**Hipótesis:**

$$H_0 : \mu_{SE-2} \geq \mu_{Lb3}$$

$$H_1 : \mu_{SE-2} < \mu_{Lb3}$$

La hipótesis planteada “Ho” indica que el promedio de notas de los alumnos en los seminarios evaluados es mayor que el promedio de notas de los alumnos en el laboratorio de prospección 3.

**Prueba Z:**

**Tabla 82 Resultados de prueba “z” Seminario Evaluado 2 vs Laboratorio 3 - MegaStat**

<b>z</b>	-8.61
<b>p-value (one-tailed, lower)</b>	0.00E+00

El valor p menor a 0.05 determina el rechazo de la hipótesis “Ho” de esta forma se comprueba que se obtuvieron mejores resultados en el laboratorio de prospección 3 que en el seminario evaluado 2.

#### 4.5 Evaluación de los resultados obtenidos por los alumnos en los laboratorios de prospección, respecto a los trabajos grupales realizados en el ciclo 2020 - I

Para realizar esta evaluación se supondrá un escenario en el cual los alumnos desarrollaron los 4 laboratorios de prospección y lograron mantener un promedio similar al obtenido en el laboratorio de prospección 3. De esta forma se podrá comparar una nota del laboratorio de prospección 3 con los resultados obtenidos por los estudiantes del curso de mecánica dinámica en el desarrollo de su proyecto grupal.

##### Consideraciones:

- El proyecto grupal desarrollado por los alumnos del curso de Mecánica Dinámica en el ciclo 2020 – I correspondía el 15% del promedio general del curso, al igual que el promedio de las calificaciones de los seminarios evaluados y los laboratorios de prospección desarrollados el ciclo 2020 – II, por este motivo, estos dos parámetros son ideales para la comparación de resultados.
- El promedio de calificaciones obtenido en el laboratorio 3 puede representar el promedio general de los laboratorios (Promedio hipotético 2020 – II) obtenidos por los alumnos del curso, debido a que la dificultad del laboratorio 3 es mayor a la mayoría de otros laboratorios.

##### Datos:

Tabla 83 Datos estadísticos para prueba “z” Trabajo grupal 2020 – I vs Laboratorio 3.

	Trabajo grupal 2020 - I	Promedio hipotético 2020 - II
<b>Promedio</b>	15.2743363	16.2774194
<b>Desviación estándar</b>	3.19946365	3.53927038
<b>Población n</b>	113	155

##### Hipótesis:

$$H_0 : \mu_{TG20-I} \geq \mu_{PHlab}$$

$$H_1 : \mu_{TG20-I} < \mu_{PHlab}$$

La hipótesis planteada “Ho” indica que el promedio de notas de los alumnos en los seminarios evaluados es mayor que el promedio de notas de los alumnos en el laboratorio de prospección 3.

**Prueba Z:****Tabla 84 Resultados de prueba “z” Trabajo grupal 2020 – I vs Laboratorio 3 - MegaStat**

<b>z</b>	-3.73
<b>p-value (one-tailed, lower)</b>	0.0001

El valor p menor a 0.05 determina el rechazo de la hipótesis “Ho” de esta forma se comprueba que se obtuvieron mejores resultados en los laboratorios de prospección que en los proyectos grupales desarrollados en el ciclo 2020 - I.

**4.6 Evaluación de los resultados obtenidos por los alumnos en los laboratorios de prospección, respecto a los trabajos grupales realizados en el ciclo 2019 - II**

Se conservará el supuesto del promedio hipotético planteado en el anterior apartado para los laboratorios.

**Consideraciones:**

- El proyecto grupal desarrollado por los alumnos del curso de Mecánica Dinámica en el ciclo 2019 – II correspondía el 20% del promedio general del curso,
- Se debe considerar que: Los proyectos grupales del ciclo 2019 – II concentraban a los alumnos en un solo tema y modelo para la simulación y análisis de resultados, a diferencia de una metodología basada en laboratorios de aprendizaje, que puede desarrollar una mayor cantidad de temas académicos.

**Datos:****Tabla 85 Datos estadísticos para prueba “z” Trabajo grupal 2019 - II vs Laboratorio 3.**

	<b>Trabajo grupal 2019 - II</b>	<b>Promedio hipotético 2020 - 2</b>
<b>Promedio</b>	14.9623656	16.2774194
<b>Desviación estándar</b>	2.85196619	3.53927038
<b>Población n</b>	186	155

**Hipótesis:**

$$H_0 : \mu_{TG19-II} \geq \mu_{PHlab}$$

$$H_1 : \mu_{TG19-II} < \mu_{PHlab}$$

La hipótesis planteada “Ho” indica que el promedio de notas de los alumnos en el proyecto grupales del ciclo 2019 – II es mayor que el promedio de notas de los alumnos en los laboratorios de prospección.

**Prueba Z:****Tabla 86 Resultados de prueba “z” Trabajo grupal 2019 - II vs Laboratorio 3 - MegaStat**

<b>z</b>	-2.42
<b><i>p-value (one-tailed, lower)</i></b>	0.0077

El valor  $p$  menor a 0.05 determina el rechazo de la hipótesis “ $H_0$ ” de esta forma se comprueba que se obtuvieron mejores resultados en los laboratorios de prospección que en los proyectos grupales desarrollados en el ciclo 2019 - II.

**Observación:**

Los resultados obtenidos en el trabajo grupal realizado por los alumnos del ciclo 2019 – II son muy distintos en estructura a los obtenidos en los laboratorios prospectivos, debido a que, como se especificó en el capítulo 2, los proyectos grupales estaban relacionados a la construcción y simulación de un único modelo, limitando en nivel de aprendizaje que podrían obtener los alumnos.

De todas formas, es interesante notar que ampliar la variedad de temas que se desarrollen mediante el *software Working Model*, a través de los laboratorios de prospección, no solo mejora el promedio de los estudiantes, también ayuda a entender conceptos y que éstos puedan ser aplicados en el desarrollo habitual del curso, prácticas calificadas y exámenes.

#### **4.7 Apreciación cualitativa de los laboratorios como reemplazo del proyecto grupal del curso de Mecánica Dinámica en la Universidad de Piura**

Durante el paso de los años la sección dinámica del curso de Mecánica Dinámica correspondiente a los trabajos grupales ha cambiado incorporando herramientas y características con el fin de mejorar la experiencia educativa de los estudiantes del curso. Por otro lado, la sección estable del curso, correspondiente al dictado general del curso, se ha consolidado de buena forma con la metodología de dictado de clases y evaluaciones.

En el capítulo dos de este proyecto de tesis se reportan las distintas etapas que tuvieron los proyectos grupales desarrollados en el curso de Mecánica Dinámica, desde la construcción de modelos físicos, la incorporación de simulaciones, el paso a proyectos virtuales de simulación y finalmente los seminarios evaluados. Cada una de estas etapas estaba determinada principalmente por: La capacidad del curso de asignar asesores de apoyo, el tiempo disponible para el desarrollo de proyectos y las herramientas (virtuales o físicas) que se les brindaba a los estudiantes para desarrollar el proyecto. Conociendo estos datos, es necesario realizar la siguiente pregunta:

#### **4.7.1 ¿Por qué es mejor desarrollar los laboratorios de aprendizaje como una alternativa a los proyectos grupales antes desarrollados en el curso de Mecánica Dinámica?**

-La principal característica de los proyectos grupales de construcción y simulación, es que brindan a los estudiantes del curso un entorno de trabajo real en el cual los estudiantes desarrollan conocimientos teórico-prácticos, además de competencias y habilidades blandas, liderazgo y trabajo en equipo.

El anterior párrafo suele ser la conclusión principal que generalmente se encontró en la mayoría de los informes de los proyectos grupales de construcción evaluados hasta la fecha. Esto denota que la apreciación que los alumnos tienen por los proyectos grupales está orientada al proceso de construcción y las habilidades blandas que pueden desarrollar durante el proyecto.

Si bien es necesario desarrollar estas habilidades en un estudiante de ingeniería, en la totalidad de los casos los proyectos grupales encasillan al grupo en un único proyecto y, en consecuencia, limita a los estudiantes a profundizar únicamente en los temas relacionados al proyecto que se les asignó, lo que puede llegar a ser perjudicial para los estudiantes, afectando de manera negativa en la estabilidad de sus calificaciones finales.

Considerando que el proyecto grupal se desarrolla entre 7 y 8 semanas de un periodo académico se dan los siguientes casos:

- **Proyecto: modelo nuevo de un trimóvil impulsado por tracción humana.** En este proyecto, el alumno desarrolla principalmente los temas de: transmisiones, movimiento circular y movimiento relativo.
- **Proyecto: mecanismo seleccionador de limones.** Los temas desarrollados en este proyecto son: movimiento relativo, cinemática con coordenadas polares y movimiento circular.
- **Proyecto: mesa vibratoria para análisis sísmico.** Los temas desarrollados en este proyecto son: movimiento relativo y vibraciones.

Se podría considerar que una adecuada distribución de actividades y entregables del proyecto aseguran que el estudiante no termine sobrecargado de actividades y pueda cumplir adecuadamente con sus deberes universitarios. Pero a lo largo de los años se ha demostrado que pese a una planeación anticipada e incluso en casos en los que se reduce el número de entregables, los estudiantes terminan su informe horas antes de la entrega final y que muchos de los modelos construidos fueron acabados horas antes de la presentación o no fueron acabados. En muchos casos esta eventualidad no solo afecta las calificaciones de los estudiantes en el curso de Mecánica Dinámica si no también en otros cursos.

Una de las características negativas de los proyectos grupales es que no se ha logrado estandarizar las horas que invierten los estudiantes en el proyecto, el nivel de profundidad de análisis de los mecanismos creados y el dinero invertido en la construcción de sus modelos, en consecuencia, las calificaciones tienden a ser subjetivas y depender de otros factores como la exposición y presentación en clase del proyecto.

Las principales diferencias entre los “Laboratorios de aprendizaje” y los “Proyectos grupales” son:

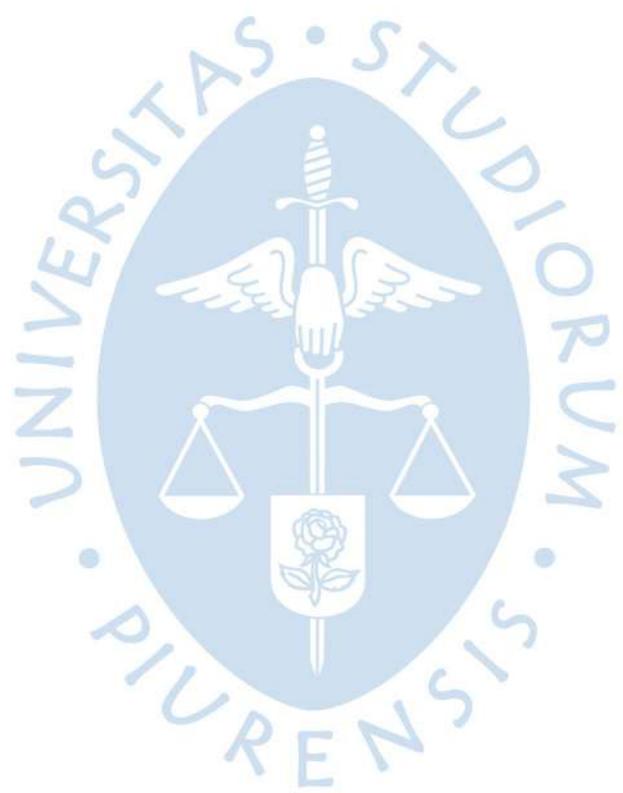
- Los “Laboratorios de aprendizaje” pueden desarrollar una mayor cantidad de temas en un periodo académico.
- Las instrucciones de construcción de los “Laboratorios de aprendizaje” ayudan a estandarizar el tiempo invertido para la elaboración de un informe de laboratorio, debido a que se elimina el tiempo que el estudiante invierte investigando sobre cómo debe realizar su simulación.
- La profundidad de análisis y el sistema de calificaciones se estandarizarían, puesto que todos los grupos de trabajo buscarían simular un único modelo con diferentes datos.
- Los “Laboratorios de aprendizaje” eliminan la inversión económica que los alumnos realizan en los proyectos grupales de construcción.

Probablemente el principal inconveniente que tendrían los “Laboratorios de aprendizaje” estaría relacionado al nivel al nivel de dificultad de los ejercicios desarrollados en los laboratorios, dicho nivel de dificultad deberá incrementarse o reducirse de acuerdo se requiera en el ciclo académico.

#### **4.7.2 ¿Por qué es mejor desarrollar los laboratorios de aprendizaje que los seminarios evaluados?**

Los seminarios evaluados desarrollados en el ciclo 2020-II en el curso de Mecánica Dinámica en la Universidad de Piura, tenían como objetivo explicar el funcionamiento y utilidades del *software Working Model* a su vez que desarrollaban temas de syllabus del curso, finalmente se evaluaba un ejercicio similar al desarrollado.

Los laboratorios de aprendizaje a diferencia de los seminarios evaluados, brinda al estudiante una base sobre la cual se puede apoyar el aprendizaje, por medio de las instrucciones de construcción y las soluciones de los ejercicios a desarrollar en el laboratorio (que pueden ser otorgadas a los alumnos o solicitadas como evaluación antes del laboratorio). Finalmente se debe indicar que el objetivo de los laboratorios es representar y simular un evento dinámico para analizarlo utilizando las herramientas de programación del *software*.



## Conclusiones

La metodología basada en laboratorios de aprendizaje (LA) establecida en esta tesis está inspirada en el sistema 4MAT y el ciclo de aprendizaje de Kolb aplicados por primera vez en el Instituto De Tecnología De Georgia y las universidades de Miami y Cincinnati (cfr. 1.6.1. y 1.6.2. del capítulo 1) con el fin de mejorar la enseñanza en los cursos de ingeniería. La principal característica de la metodología "LA" es que incorpora el *software Working Model* como una herramienta computacional, en el curso de Mecánica Dinámica, mediante el dictado de laboratorios (cfr. 3.1. del capítulo 3).

La enseñanza en los cursos de ingeniería se viene realizando mediante metodologías de enseñanza establecidas hace ya muchos años, actualmente la creación de nuevos *softwares* informáticos, puede ampliar el nivel de aprendizaje de los estudiantes. Si bien es muy poco probable que se cambien las metodologías actuales de enseñanza en los cursos de ingeniería esos deberían adaptar y añadir el uso de herramientas computacionales como parte del desarrollo habitual del curso mediante laboratorios o seminarios de demostración, de esta forma no solo se mejora la calidad de enseñanza de un curso, también se le brindan habilidades técnicas a los estudiantes que podrán utilizar en el ejercicio de su carrera profesional.

De acuerdo al numeral 2.4.5. del capítulo 2, hasta ciclo el 2020 – I el *software Working Model* se vino aplicando en el curso de Mecánica Dinámica mediante proyectos grupales, esta tesis propone reemplazar los proyectos grupales por la realización de laboratorios de aprendizaje que mejoran la metodología de enseñanza del *software Working Model* y en consecuencia se eleva la calidad de enseñanza del curso de Mecánica Dinámica.

Las instrucciones de construcción para mecanismos y modelos desarrolladas en esta tesis (cfr. 3.6. del capítulo 3) ayudan a que los estudiantes entiendan mejor los laboratorios y les facilite programar modelos similares por cuenta propia, esto es muy importante para estimular la capacidad inventiva, de tal modo que el estudiante está más preparado para enfrentar proyectos más complejos.

Se demostró que es posible simular y desarrollar mediante cálculos numéricos, ejercicios de movimiento pendular en un entorno con fricción ejercida por el aire (cfr. 3.6.4.2 del capítulo 3 y el apéndice D). Se debe investigar más acerca de este tema, puesto que, a la fecha de presentación de este informe, no existen libros o publicaciones que hayan desarrollado este tema.

La evaluación estadística que compara las calificaciones obtenidas en los laboratorios desarrollados en esta tesis, que fueron presentados a los estudiantes del curso de Mecánica Dinámica de la Universidad de Piura en el periodo académico 2020 – II versus las calificaciones obtenidas mediante proyectos grupales de periodos académicos anteriores, demuestran que mediante los laboratorios de aprendizaje se obtuvieron mejores resultados, no solo en cuanto a las calificaciones obtenidas, sino también al nivel de aceptación que estos obtuvieron (cfr. 4.4.; 4.5. y 4.6. del capítulo 4).

Los Laboratorios de aprendizaje desarrollados en este proyecto de tesis son una excelente alternativa para reemplazar los proyectos grupales de construcción y simulación realizados anteriormente en el curso de Mecánica Dinámica de la Universidad de Piura, debido a que desarrollan una mayor cantidad de temas del syllabus del curso y se estandariza el tiempo empleado para el desarrollo de los informes de laboratorio. Finalmente permite estandarizar el sistema de evaluación (cfr. 4.7. del capítulo 4).

La metodología desarrollada en esta tesis se puede aplicar en un entorno presencial y virtual, puesto que ya se probó en un entorno de modalidad virtual en el periodo académico 2020 – II debido a la pandemia por COVID-19, obteniendo resultados positivos. Un entorno presencial, facilitaría el desarrollo de los laboratorios puesto que la totalidad de los alumnos podrían acceder al *software* en los laboratorios de la Universidad de Piura (cfr. 4.1. y 4.2. del capítulo 4).

La metodología de laboratorios de aprendizaje (LA) desarrollado en esta tesis, se puede extender a los cursos de Física General 1, Mecánica Racional en el programa académico de Ingeniería Industrial, Teoría de Máquinas en el programa académico de Ingeniería Mecánica Eléctrica y el curso de Dinámica Estructural en el programa académico de Ingeniería Civil, como se puede apreciar en un desarrollo del estudio de una edificación sometida a acción sísmica en una dirección (cfr. Anexo C y Anexo D); así se generaría una mejor correlación entre dichos cursos.

El desarrollo de esta tesis ha sido posible gracias a la experiencia obtenida por el autor como: jefe de práctica, asistente en la evaluación de los trabajos grupales y dictado de seminarios en el curso de Mecánica Dinámica; también ha contribuido a mejorar la calidad del desarrollo del curso mediante talleres audiovisuales creados en el canal de YouTube: <https://www.youtube.com/channel/UCixlV9bc2gO-WqBeiZyTgQQ>

## Recomendaciones

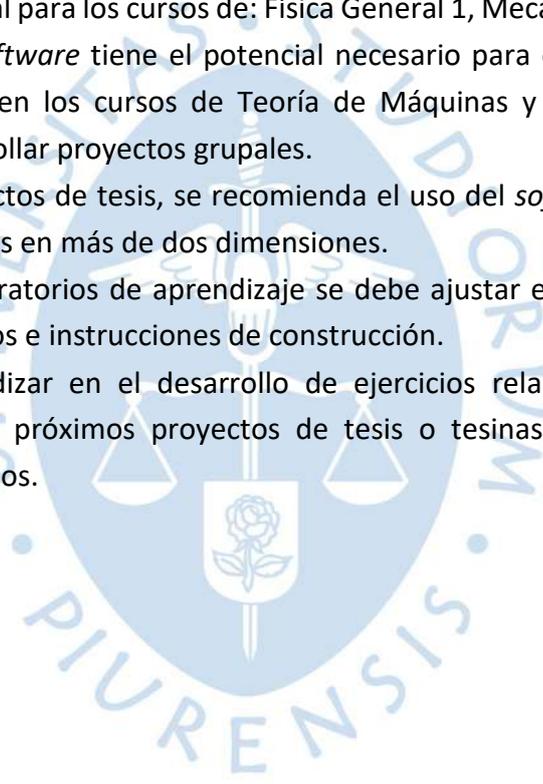
Se recomendaría que el curso de Mecánica Dinámica posea 5 créditos en lugar de 4, para distribuir de mejor manera los laboratorios en un periodo académico.

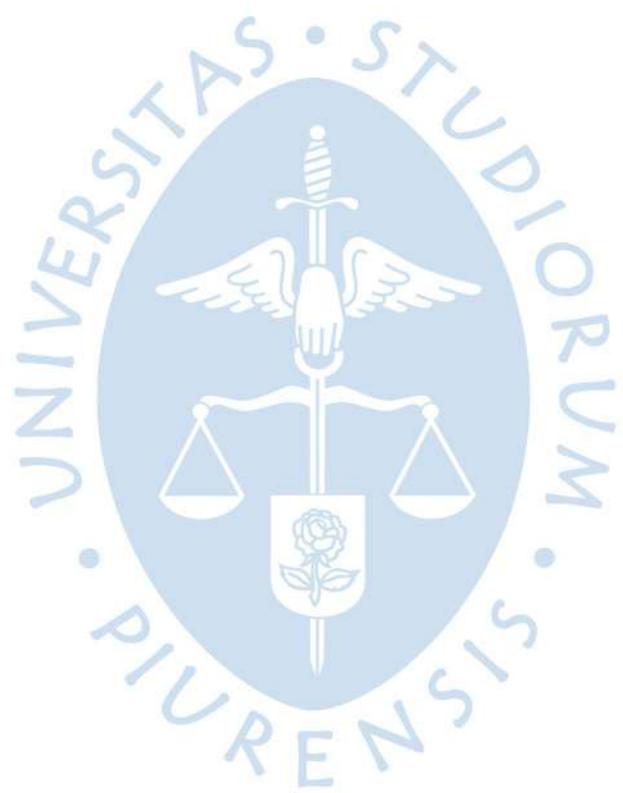
Se debe continuar la línea de desarrollo del *software Working Model* como una herramienta computacional para los cursos de: Física General 1, Mecánica Racional, Mecánica Estática, puesto que el *software* tiene el potencial necesario para desarrollar los ejercicios típicos de dichos cursos; en los cursos de Teoría de Máquinas y Dinámica Estructural el *software* permitiría desarrollar proyectos grupales.

En próximos proyectos de tesis, se recomienda el uso del *software SimWise 4D* para analizar ejercicios y eventos en más de dos dimensiones.

El nivel de los laboratorios de aprendizaje se debe ajustar en cada ciclo académico, añadiendo nuevos ejercicios e instrucciones de construcción.

Se sugiere profundizar en el desarrollo de ejercicios relacionados a movimiento pendular amortiguado en próximos proyectos de tesis o tesinas, explorando casos con distintas variables y entornos.





## Referencias bibliográficas

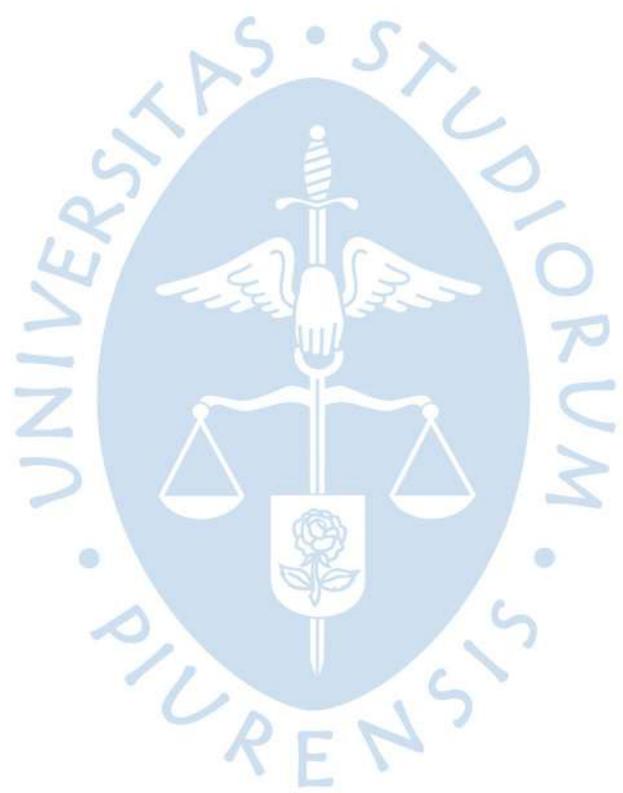
- A.S.E.E. (1993). *Journal of Engineering Education Vol. 82*. Maryland: A. S. E. E.
- Biblioteca de proyectos MDI. (2015-2020). *Biblioteca virtual MDI*. Obtenido de Biblioteca virtual MDI: [https://disk.yandex.ru/d/g\\_nF7\\_OJ4k9Tag?w=1](https://disk.yandex.ru/d/g_nF7_OJ4k9Tag?w=1)
- Boronkay, T. (1998). *Application of the Working Model in Mechanical Engineering Technology*. Miami: A.S.E.E.
- Dally, J. W. (1993). *A Freshman Engineering Design Course*. Maryland: University of Maryland.
- Galería virtual MDI. (2015-2020). *EXPO MDI*. Obtenido de Hoy UDEP: <http://udep.edu.pe/hoy/tema/expo-mdi/>
- Gramoll, K. (1994). Using 'Working Model' to Introduce Design into a Freshman Engineering Course. *Journal of Engineering Education* (págs. 25-31). Canada: American Society for Engineering Education.
- Harb, J. N. (1993). *Use of the Kolb Learning Cycle and the 4MAT System in Engineering Education*. Provo, Utah: American Society for Engineering Education.
- Hibbeler, R. C. (2010). *Ingeniería Mecánica Dinámica*. Monterey: Pearson .
- Kolb, D. (1987). *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*. N.J.: Cliffs.
- Mavrek, E. (2002). *Incorporating Working Model Into The Lab Of An Applied Kinematics Course* . Westvile: A.S.E.E.
- MSC.Software Corporation. (2004). *Working Model Guia español*. USA: MSC.
- Myszka, D. H. (1999). *MACHINES AND MECHANISMS APPLIED KINEMATIC ANALYSIS*. New Jersey: Pearson.
- Nagchaudhuri , A. (2004). *Integration of State of the Art Simulation Software Tools for Guidance and Control of an Under-actuated Surface Autonomous Vessel*. Maryland: E.S.E.E.
- Norton, R. L. (1992). *Design of Machinery An Introduction to the Synthesis and Analysis of Mechanisms and Machines*. Massachusetts: WCB McGraw-Hill.
- Ojeda, C. (2015). *Mecánica Dinámica*. Piura: Universidad de Piura.

- Rodríguez, R. (2015). *Innovación en la enseñanza de Mecánica Dinámica bajo el principio pedagógico de aprender haciendo*. Piura: UDEP.
- Simionescu, P. A. (2006). *Analysis and synthesis of flat cam mechanisms using Working Model 2D software*. Alabama: A.S.E.E.
- Simionescu, P. A. (2007). *Interactive involute gear analysis and tooth profile generation using Working Model 2D*. Alabama: A.S.E.E.
- Vavrek, E. (2002). *Incorporating Working Model Into The Lab Of An Applied Kinematics Course*. Westville: Purdue University .
- Wang, S.-L. (1998). *Mechanism Simulation With Working Model*. Greensboro: North Carolina A&T State University.
- Wang, Y. (1998). *Computer Aided Analysis of Loom Beating-up Mechanisms*. Atlanta: Institute of Technology Atlanta.



## Apéndices





## Apéndice A. Solucionario de ejercicios del laboratorio de aprendizaje 1

### Ejercicio 1 – Solucionario

Una montaña rusa consta de tres tipos de tramos: El tramo 1 se encuentra entre  $x=0.00$  y  $x=30.00$  m donde el recorrido de la montaña rusa se puede definir como una función parabólica. El tramo 2 es un recorrido lineal en  $y=0$  hasta  $x=45$ . Finalmente, el tramo 3 consta de una circunferencia de radio  $5.00$  m cuyo centro se encuentra ubicado  $(45.00;5.00)$ , si el vagón conserva una velocidad tangencial  $V=8.00$  m/s, calcule el valor del radio de curvatura en cada punto y el valor de la aceleración normal para todo  $x$ . (Ver figura 1)

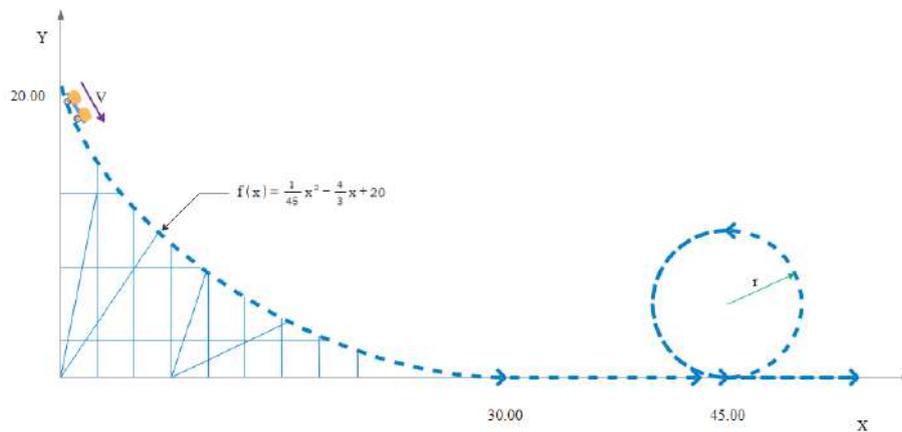


Figura 1109 Ejercicio 1 - Laboratorio 1, solucionario.

#### Tramo 1 función polinómica

Primero se debe calcular el radio de curvatura en cada punto de la trayectoria polinómica.

$$f(x) = \frac{1}{45}x^2 - \frac{4}{3}x + 20$$

$$f'(x) = \frac{2}{45}x - \frac{4}{3}$$

$$f''(x) = \frac{2}{45}$$

Reemplazar las derivadas en la función del radio.

$$\rho = \left| \frac{\left[ 1 + \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 \right]^{3/2}}{\frac{d^2y}{dx^2}} \right|$$

$$\rho = \left| \frac{\left[ 1 + \left( \frac{2}{45}x - \frac{4}{3} \right)^2 \right]^{3/2}}{\frac{2}{45}} \right|$$

$$\rho = \frac{45}{2} \left[ 1 + \left( \frac{2}{45}x - \frac{4}{3} \right)^2 \right]^{3/2}$$

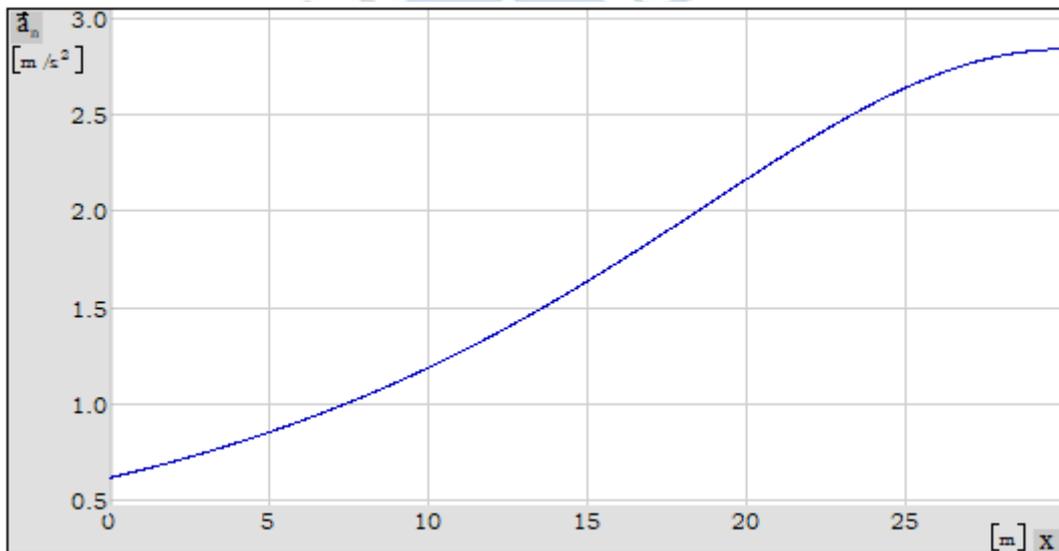
$$\rho = 22.5 (2.8 + 0.002x^2 - 0.12x)^{3/2}$$

Debido a que el móvil recorre la trayectoria a velocidad constante, a la expresión de la aceleración resulta:

$$\vec{a} = 0 \vec{e}_t + \frac{8.00^2}{\rho} \vec{e}_n$$

$$\vec{a}_n = \frac{64.0}{22.5 \cdot (2.8 + 0.002x^2 - 0.12x)^{3/2}}$$

Donde la expresión de la aceleración en función del tiempo resulta: (Ver figura 2)



**Figura 2 Aceleración normal, solución Ejercicio 1.**

Se sabe que la primera derivada de la función polinómica es equivalente a la tangente de la curvatura de la función entonces:

$$\tan \theta = f'(x)$$

$$\theta(x) = \arctan\left(\frac{2}{45}x - \frac{4}{3}\right)$$

Además, se sabe que:

$$a_x = a_t \cos \theta + a_n \sin \theta$$

$$a_y = a_t \sin \theta - a_n \cos \theta$$

Entonces se podría determinar las componentes rectangulares de la aceleración mediante las siguientes expresiones.

$$a_t = 0$$

$$a_x = \frac{64.0}{22.5 \cdot (2.8 + 0.002 x^2 - 0.12 x)^{3/2}} \cdot \sin\left(\arctan\left(\frac{2}{45} x - \frac{4}{3}\right)\right)$$

$$a_y = \frac{64.0}{22.5 \cdot (2.8 + 0.002 x^2 - 0.12 x)^{3/2}} \cdot \cos\left(\arctan\left(\frac{2}{45} x - \frac{4}{3}\right)\right)$$

Cuyas expresiones a lo largo de tiempo resultan: (Ver figura 3 y 4)

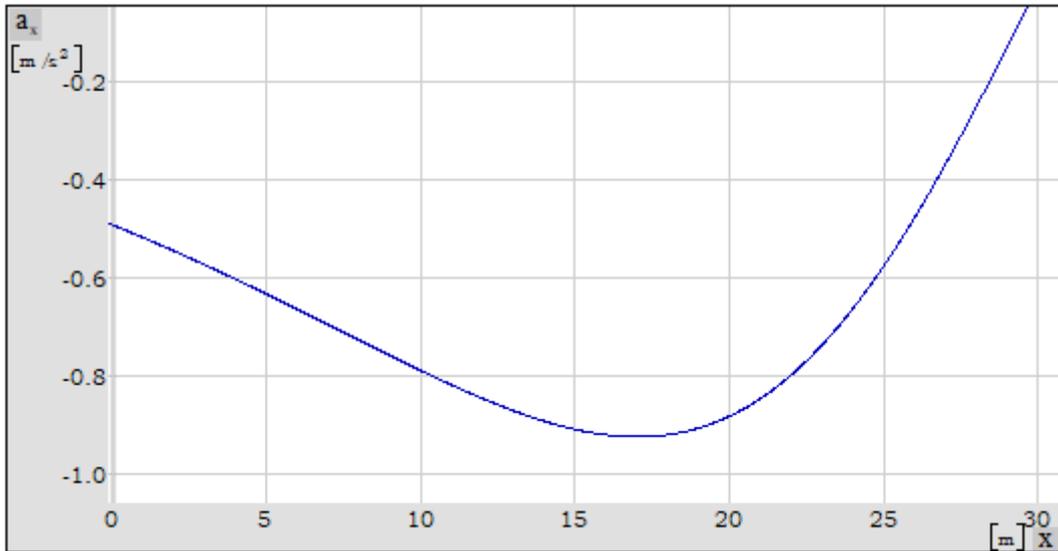


Figura 3 Aceleración "X", solución Ejercicio 1.

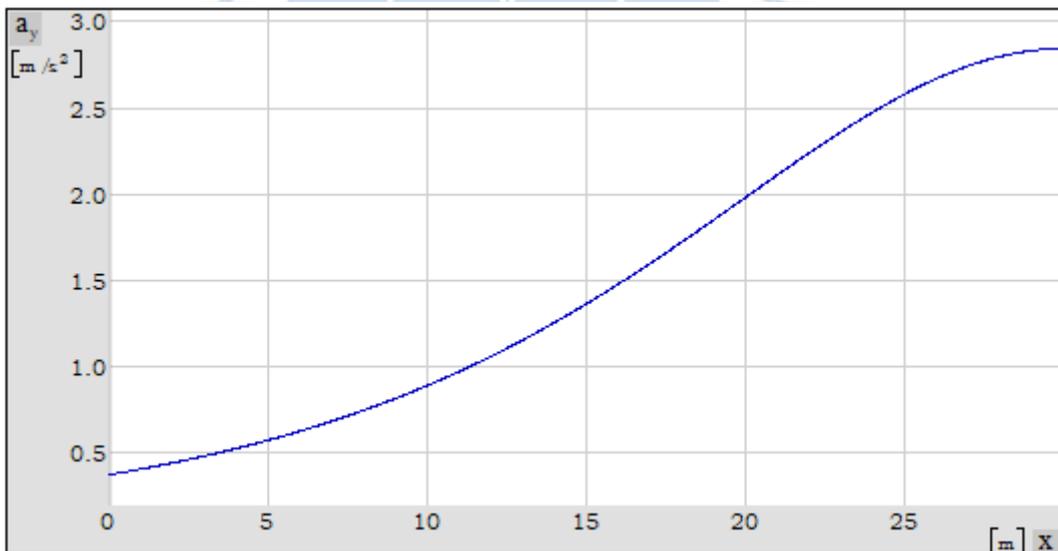


Figura 4 Aceleración "Y", solución Ejercicio 1.

### Tramo 2 trayectoria lineal en $y=0$

Debido a que el tramo 2 es lineal, el radio de curvatura tendería a infinito, en consecuencia, no existía aceleración en ninguna dirección.

$$\vec{a} = \vec{0}$$

### Tramo 3 trayectoria circular

La trayectoria circular comprende un radio constante por lo tanto la aceleración normal será un vector de modulo constante que siempre apunte al centro de la circunferencia.

$$\vec{a}_n = \frac{8.00^2}{5} = 12.8 \text{ m/s}^2$$

### Ejercicio 2 – Solucionario

Los motores A y B tiran de los cables con una aceleración  $a=0.2*t$  [m/s<sup>2</sup>] donde “t” está en segundos, determine la rapidez del bloque cuando alcanza una altura de  $h=4.00$  m partiendo del reposo en  $h=0$ , además también calcular el tiempo que demora en alcanzar dicha altura. (Ver figura 5)

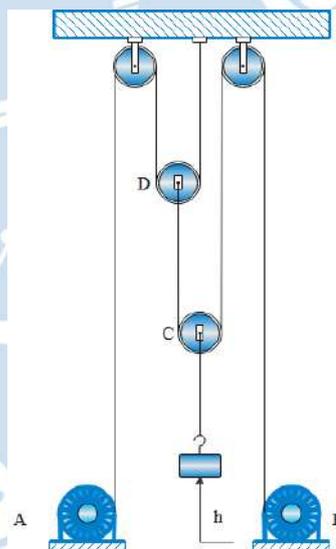


Figura 5 Problema 12-209 software EDraw  
Max. Fuente: Extraído de Hibbeler (2010)

### Relaciones geométricas

Para poder determinar las relaciones geométricas en el sistema de poleas se debe determinar un Datum del cual partirán vectores hacia los puntos de análisis. (Ver figura 6)

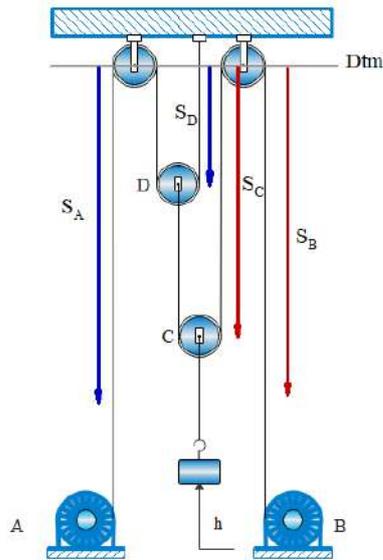


Figura 6 Datum, ejercicio 2 - Laboratorio 1.

Se deben determinar secciones continuas de cuerda en base a los vectores representados a partir del Datum.

Cuerda que parte de A	Cuerda que parte de B
$L_1 = S_A + 2 S_D$	$L_2 = S_B + S_C + (S_C - S_D)$

Simultáneamente se debe derivar para poder generar una relación entre las relaciones de cuerda.

Cuerda que parte de A	Cuerda que parte de B
$0 = \dot{S}_A + 2 \dot{S}_D$	$L_2 = S_B + 2 S_C - S_D$
$0 = \ddot{S}_A + 2 \ddot{S}_D$	$0 = \dot{S}_B + 2 \dot{S}_C - \dot{S}_D$
	$0 = \ddot{S}_B + 2 \ddot{S}_C - \ddot{S}_D$

Reemplazar la expresión de aceleración a la cual se enreda el cable en cada motor.

Cuerda que parte de A	Cuerda que parte de B (reemplazar $S_D$ en la expresión calculada)
$0 = 0.2 \cdot t + 2 \ddot{S}_D$	$0 = 0.2 \cdot t + 2 \ddot{S}_C - (-0.1 \cdot t)$
$\ddot{S}_D = -0.2 \cdot \frac{1}{2} \cdot t$	$\ddot{S}_C = -0.3 \cdot \frac{1}{2} \cdot t$
$\ddot{S}_D = -0.1 \cdot t$	$\ddot{S}_C = -0.15 \cdot t$

Conocido el valor de la aceleración a la cual asciende el punto "C" integrar para determinar la altura (recordar que a partir del Datum los vectores parten hacia abajo teniendo

un valor negativo, es por ello que, en un sistema general, la aceleración de "C" se debe positivizar).

$$a_c = 0.15 \cdot t$$

$$V_c = \int 0.15 \cdot t \, dt$$

$$V_c = \frac{1}{2} 0.15 \cdot t^2$$

$$V_c = 0.075 \cdot t^2$$

$$h = \int 0.075 \cdot t^2 \, dt$$

$$h = \frac{1}{3} 0.075 \cdot t^3$$

$$h = 0.025 \cdot t^3$$

Igualar la altura h a 4 para determinar el tiempo que demora el bloque en ascender 4.00 m.

$$4.00 = 0.025 \cdot t^3$$

$$t = \sqrt[3]{160.000} = \mathbf{5.43 \, s}$$

¿Cuál será la longitud del cable si los motores tiran de las cuerdas con una aceleración de  $0.20 \cdot t$ ?

Para ello se debe integrar la aceleración dos veces hasta conseguir la expresión que represente la longitud del cable. Considerar que el tirar de un cable representa una aceleración negativa.

$$a_{\text{cable}} = -0.2 \cdot t$$

$$V_{\text{cable}} = \int -0.2 \cdot t \, dt$$

$$V_{\text{cable}} = -0.1 \cdot t^2$$

$$L_{\text{cable}} = \int -0.1 \cdot t^2 \, dt$$

$$L_{\text{cable}} = L_0 - \frac{1}{30} t^3$$

La expresión resultante será la que se utilice en la programación del ejercicio en el *software Working Model*.

$$L_{\text{cable}} = L_0 - \frac{1}{30} t^3$$

## Apéndice B. Solucionario de ejercicios del laboratorio de aprendizaje 2

### Ejercicio 1 – Solucionario

Se tiene un brazo mecánico con  $L_0=1.50$  m de largo en su posición sin extender. Inicialmente el brazo se encuentra alineado con el eje x formando un ángulo de  $\theta_2=30^\circ$  que mantendrá durante todo su movimiento. Considerando que el brazo rota sobre el eje Z a razón de  $\dot{\theta} = 0.176$  rad/s y el punto A se aleja del centro con una velocidad de 0.43 m/s y desaceleración de  $0.07$  m/s<sup>2</sup>, para los siguientes casos:

- Caso 1: El brazo mecánico es visto desde arriba (vista de planta) (Ver figura 8)
- Caso 2: El brazo mecánico visto en 3D (Ver figura 7)

Para un tiempo  $t=4.50$  s determinar el valor de:

- $V_r$ : Velocidad en dirección del radio.
- $V_\theta$ : Velocidad en dirección  $\theta$ .
- $V_z$ : Velocidad en dirección Z.
- $V_{TOT}$ : Velocidad total.
- $a_r$ : Aceleración en dirección del radio.
- $a_\theta$ : Aceleración en dirección  $\theta$ .
- $a_z$ : Aceleración en dirección Z.
- $a_{tot}$ : Aceleración total.

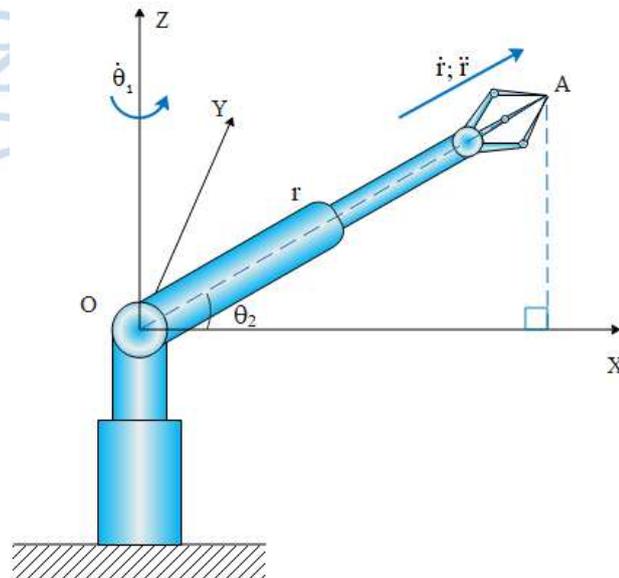
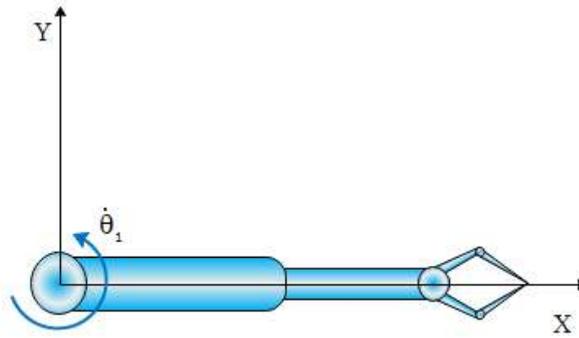


Figura 7 Ejercicio 1 - Laboratorio 2, brazo mecánico, vista 3D.



**Figura 8 Ejercicio 1 - Laboratorio 2, brazo mecánico, vista de planta.**

**Caso 1, vista de planta, solución paramétrica**

Primero se debe proyectar las expresiones en dirección del radio sobre el plano XY.

$$\dot{r}_0 = 1.50 \cdot \cos 30 = 1.299 \text{ m}$$

$$\dot{r}_0 = 0.43 \cdot \cos 30 = 0.372 \text{ m/s}$$

$$\ddot{r} = -0.07 \cdot \cos 30 = -0.0606 \text{ m/s}^2$$

Una vez conocidos los valores del desplazamiento en la dirección del radio se puede calcular la expresión paramétrica que se genere para el radio en función del tiempo. Para ello se debe integrar desde la aceleración en dirección del radio y reemplazar los valores anteriormente obtenidos.

$$\ddot{r} = -0.0606$$

$$\dot{r} = 0.372 - 0.0606 \cdot t$$

$$r = 1.299 + 0.372 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot 0.0606 \cdot t^2$$

Por su parte se puede determinar que el ángulo se puede expresar de la siguiente forma:

$$\theta_0 = 0 \text{ rad}$$

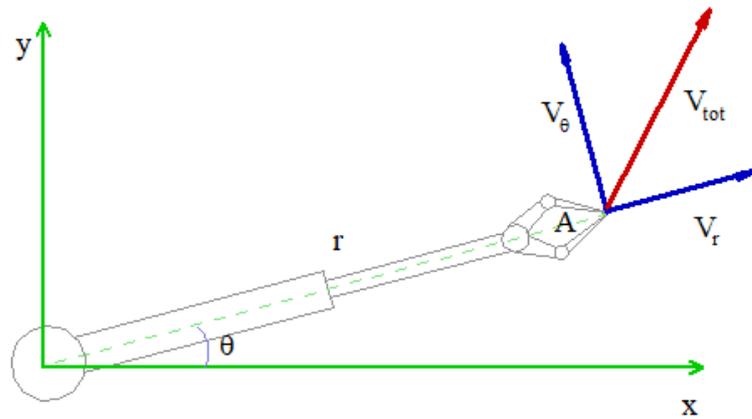
$$\dot{\theta}_0 = 0.176 \text{ rad/s}$$

Para la velocidad se sabe que:

$$\vec{V} = V_r \vec{e}_r + V_\theta \vec{e}_\theta$$

$$\vec{V} = \dot{r} \vec{e}_r + r \cdot \dot{\theta} \vec{e}_\theta$$

En la figura 9 se presenta la descomposición vectorial.



**Figura 9** Descomposición vectorial de la velocidad, vista de planta.

Entonces se tendría que:

$$V_r = \dot{r} = 0.372 - 0.0606 \cdot t$$

$$V_\theta = r \cdot \dot{\theta} = \left( 1.299 + 0.372 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot 0.0606 \cdot t^2 \right) \cdot (0.176)$$

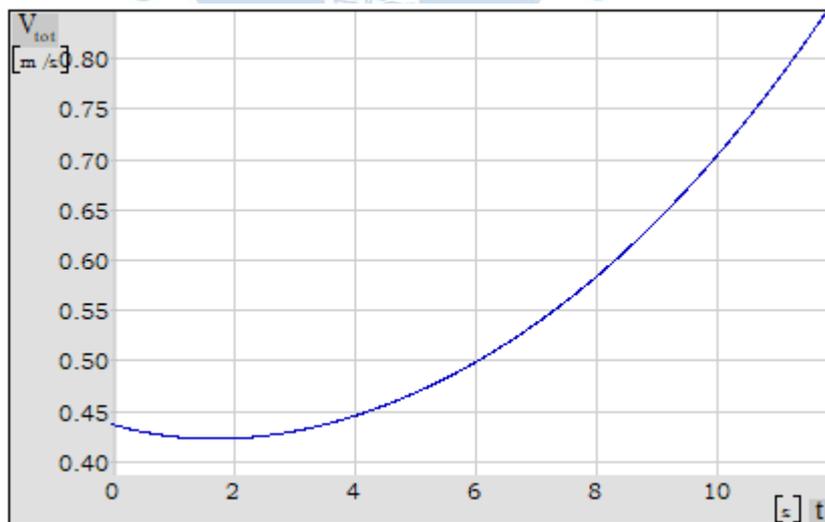
$$V_\theta = \left( 0.229 + 0.065 \cdot t - 0.0107 \cdot \frac{1}{2} \cdot t^2 \right)$$

Entonces la expresión que determina la velocidad total resulta:

$$V = \sqrt{V_r^2 + V_\theta^2}$$

$$V_{tot} = \sqrt{(0.372 - 0.0606 \cdot t)^2 + \left(0.229 + 0.065 \cdot t - 0.0107 \cdot \frac{1}{2} \cdot t^2\right)^2}$$

$$V_{tot} = \sqrt{0.191 - 0.0151 \cdot t + 0.0052 \cdot t^2 - 3.491491 \cdot 10^{-4} \cdot t^3 + 2.84387558 \cdot 10^{-5} \cdot t^4}$$

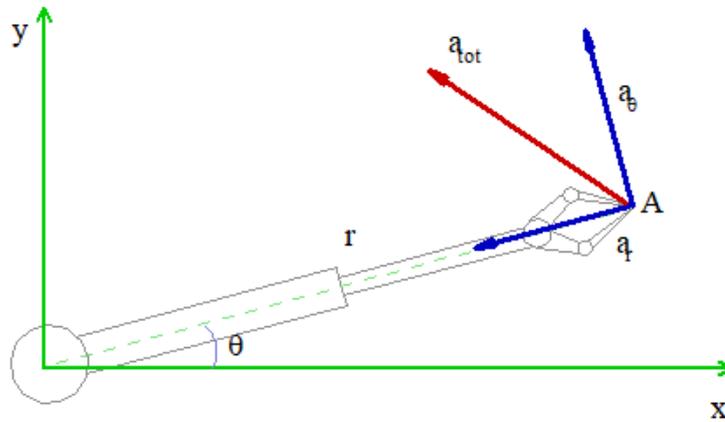


**Figura 10** Gráfica de la velocidad total caso 1.

Para la aceleración se sabe qué:

$$\mathbf{a}_{\text{tot}} = (\ddot{r} - r \cdot \dot{\theta}^2) \mathbf{e}_r + (r \cdot \ddot{\theta} + 2 \cdot \dot{r} \cdot \dot{\theta}) \mathbf{e}_\theta$$

En la figura 11 se presenta la descomposición vectorial de la aceleración:



**Figura 11** Descomposición vectorial de la aceleración, vista de planta, Ejercicio 1 - Laboratorio 2.

Entonces:

$$a_r = \ddot{r} - r \cdot \dot{\theta}^2 = -0.0606 - \left( 1.299 + 0.372 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot 0.0606 \cdot t^2 \right) \cdot (0.176)^2$$

$$a_r = -0.1008 - 0.0115 \cdot t + 0.0019 \cdot \frac{1}{2} \cdot t^2$$

$$a_\theta = r \cdot \ddot{\theta} + 2 \cdot \dot{r} \cdot \dot{\theta} = 2 \cdot (0.372 - 0.0606 \cdot t) \cdot 0.176$$

$$a_\theta = (0.131 - 0.0213 \cdot t)$$

Finalmente, el módulo de la aceleración resulta:

$$a_{\text{tot}} = \sqrt{a_r^2 + a_\theta^2}$$

$$a_{\text{tot}} = \sqrt{\left( -0.1008 - 0.0115 \cdot t + 0.0019 \cdot \frac{1}{2} \cdot t^2 \right)^2 + (0.131 - 0.0213 \cdot t)^2}$$

$$a_{\text{tot}} = \sqrt{0.0273 - 0.00326 \cdot t + 3.877 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 - 1.0815 \cdot 10^{-5} \cdot t^3 + 8.809 \cdot 10^{-7} \cdot t^4}$$

En la figura 12 se presenta la gráfica de la aceleración total en función del tiempo.

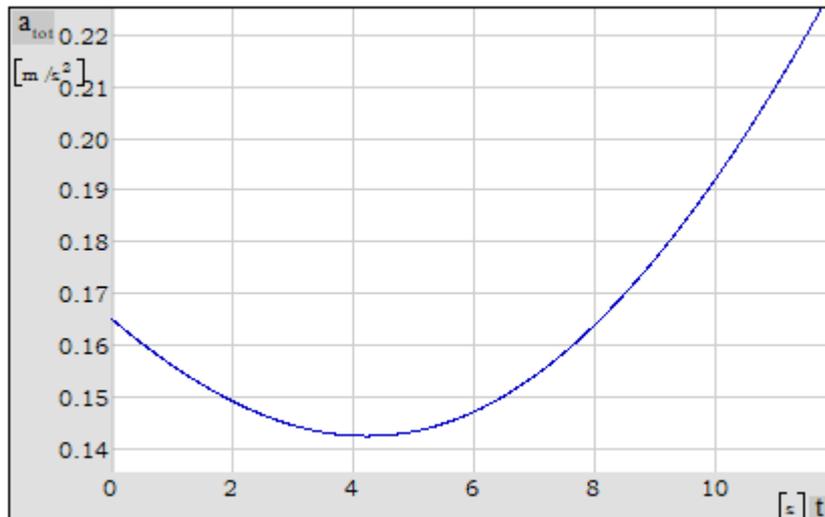


Figura 12 Gráfica de la aceleración total caso 1.

**Caso 2, Considerando las 3 componentes cilíndricas del movimiento, solución paramétrica**

Generar las expresiones que determinan el movimiento en el eje Z.

$$z_0 = 1.50 \cdot \sin 30 = 0.75$$

$$\dot{z}_0 = 0.43 \cdot \sin 30 = 0.215$$

$$\ddot{z}_0 = -0.07 \cdot \sin 30 = 0.035$$

Integrar a partir de la aceleración.

$$\ddot{z} = 0.035$$

$$\dot{z} = 0.215 - 0.035 \cdot t$$

$$z = 0.75 + 0.215 \cdot t - \frac{1}{2} 0.035 \cdot t^2$$

Las nuevas expresiones para la velocidad y la aceleración serían:

$$V_{\text{tot}} = \dot{r} \mathbf{e}_r + r \cdot \dot{\theta} \mathbf{e}_\theta + \dot{z} \mathbf{e}_z$$

$$a_{\text{tot}} = (\ddot{r} - r \cdot \dot{\theta}^2) \mathbf{e}_r + (r \cdot \ddot{\theta} + 2 \cdot \dot{r} \cdot \dot{\theta}) \mathbf{e}_\theta + (\ddot{z}) \mathbf{e}_z$$

Velocidad:

$$V_{\text{tot}} = \sqrt{(0.372 - 0.0606 \cdot t)^2 + \left(0.229 + 0.065 \cdot t - 0.0107 \cdot \frac{1}{2} \cdot t^2\right)^2 + (0.215 - 0.035 \cdot t)^2}$$

$$V_{\text{tot}} = \sqrt{0.237 - 0.0302 \cdot t + 0.0064 \cdot t^2 - 3.4915 \cdot 10^{-4} \cdot t^3 + 2.8440 \cdot 10^{-5} \cdot t^4}$$

En la figura 13 se presenta la gráfica de la velocidad total respecto al tiempo.

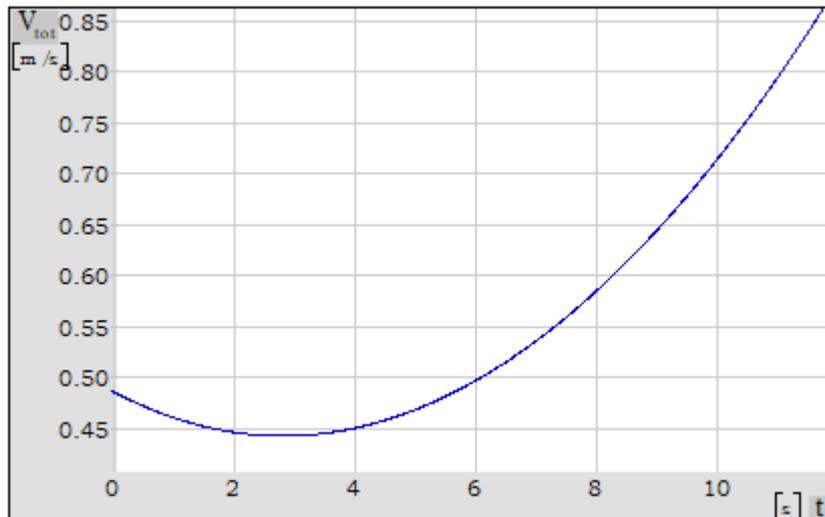


Figura 13 Gráfica de la velocidad total, caso 2.

Aceleración:

$$a_{\text{tot}} = \sqrt{\left(-0.1008 - 0.0115 \cdot t + 0.0019 \cdot \frac{1}{2} \cdot t^2\right)^2 + (0.131 - 0.0213 \cdot t)^2 + 0.035^2}$$

$$a_{\text{tot}} = \sqrt{0.0285 - 0.0033 \cdot t + 3.877 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 - 1.0815 \cdot 10^{-5} \cdot t^3 + 8.809 \cdot 10^{-7} \cdot t^4}$$

En la figura 14 se presenta la gráfica de la aceleración respecto del tiempo de la aceleración.

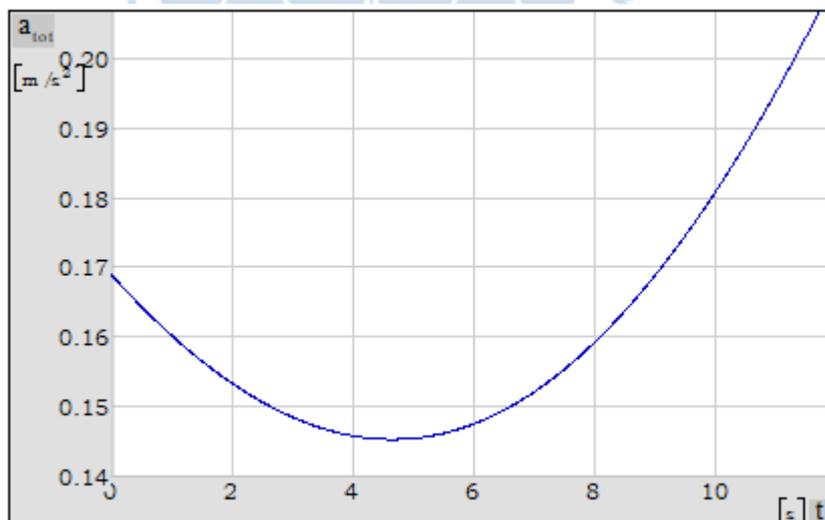


Figura 14 Gráfica de la aceleración total, caso 2.

Representación tridimensional del sistema en movimiento: (Ver figura 15)

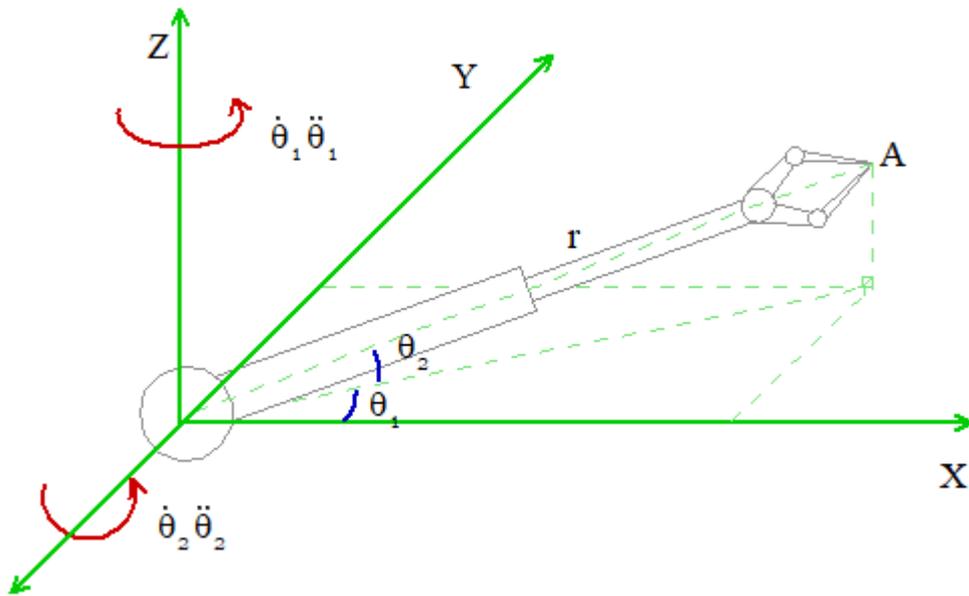


Figura 15 Representación tridimensional del ejercicio 1.



### Apéndice C. Solucionario de ejercicios del laboratorio de aprendizaje 3

#### Ejercicio 1 – Solucionario

Los bloques mostrados son conectados por un cable indeformable, el resorte tiene un módulo  $K=300 \text{ N/m}$  y una longitud no deformada de  $0.40 \text{ m}$  la fricción puede ser despreciada, si el sistema es soltado desde  $x_1= -0.75 \text{ m}$ . sabiendo que  $y_1=0.60 \text{ m}$ ;  $m_1=10.00 \text{ kg}$  y  $m_2=5.00 \text{ kg}$ . (Ver figura 16)

Determinar:

- La velocidad de los bloques cuando  $x=0.00$
- El mayor desplazamiento de  $x$

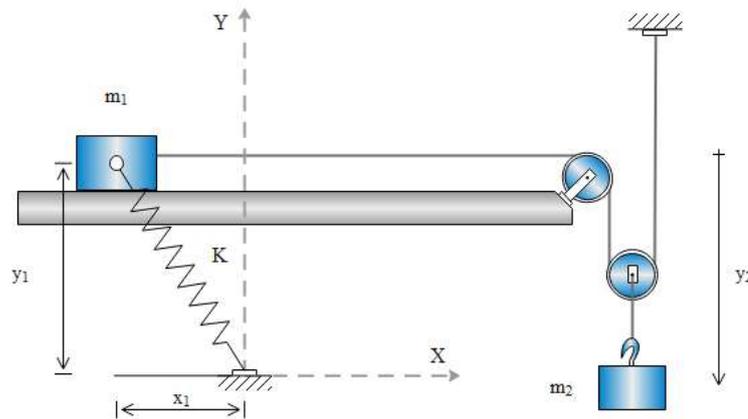


Figura 16 Ejercicio 1 - Laboratorio 3, rediseño, *software EDraw Max.*

Fuente: Mecánica Dinámica, C. Ojeda

Movimiento dependiente, análisis del sistema de poleas

Posicionando un punto "Datum" en la polea que no se desplaza. (Ver figura 17)

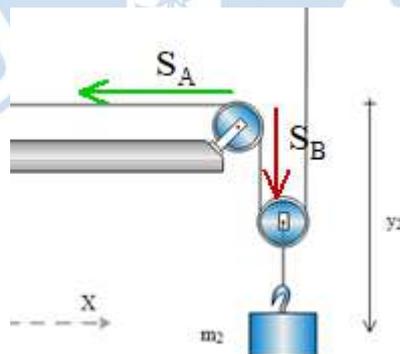


Figura 17 Datum Ejercicio 1.

$$L = S_A + 2 S_B$$

$$0 = \dot{S}_A + 2 \dot{S}_B$$

$$0 = \ddot{S}_A + 2 \ddot{S}_B$$

De esta relación se deduce:

$$0 = \Delta S_A + 2 \Delta S_B$$

$$0 = V_A + 2 V_B$$

$$V_A = -2 V_B$$

Considerando que el bloque A solo se mueve horizontalmente y que existe un resorte, la energía se expresaría de la siguiente forma:

$$E = m_1 g h_1 + m_2 g h_2 + \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 + \frac{1}{2} \cdot k \cdot \delta^2$$

#### Estado 0, posición inicial, $x = -0.75$ m

- El bloque A parte del reposo.
- Debido al movimiento horizontal del bloque A, este no generará cambios en su energía potencial gravitatoria.
- El nivel de referencia para el bloque B será su altura inicial, cuando la posición horizontal del bloque A sea  $x = -0.75$  m.

$$E_o = 0 + 0 + 0 + 0 + \frac{1}{2} \cdot k \cdot \delta^2$$

La única energía existente es la del resorte, para ello se debe calcular la deformación, puesto que el sistema inicialmente se encuentra en reposo.

$$d_{OA} = \sqrt{0.75^2 + 0.6^2} = 0.961 \text{ [m]}$$

$$\delta_o = 0.96 - 0.40 = 0.56 \text{ [m]}$$

$$E_o = \frac{1}{2} \cdot 300 \cdot (0.56)^2 = 47.04 \text{ [J]}$$

La energía total en el estado inicial es  $E = 47.04$  [J], esta se genera por la deformación del resorte y se mantendrá constante durante todo el recorrido.

#### Estado 1, $x = 0.00$ m

En el estado 1 todo el sistema adquiere energía, la única que se mantiene en 0 es la energía potencial gravitatoria del bloque 1, de esta forma se determina la expresión de la energía.

$$E_1 = 0 + m_2 g h_2 + \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 + \frac{1}{2} \cdot k \cdot \delta^2$$

Primero se debe determinar la altura recorrida por el bloque dos.

$$0 = \Delta S_A + 2 \Delta S_B$$

$$0 = 0.75 + 2 \Delta S_B$$

$$\Delta S_B = h = -0.375 \text{ [m]}$$

La deformación que se genera en el cable es:

$$\delta_1 = 0.60 - 0.40$$

$$\delta_1 = 0.20 \text{ [m]}$$

Reemplazando las expresiones resultaría que la energía en el estado 1 es:

$$E_1 = -5 \cdot 9.81 \cdot 0.375 + \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot v_1^2 + \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot v_2^2 + \frac{1}{2} \cdot 300 \cdot (0.20)^2$$

Se conoce la relación existente entre  $v_1$  y  $v_2$ .

$$E_1 = -5 \cdot 9.81 \cdot 0.375 + \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot (2v_2)^2 + \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot v_2^2 + \frac{1}{2} \cdot 300 \cdot (0.20)^2$$

$$E_1 = -12.39 + 22.5 \cdot v_2^2$$

Finalmente, el principio de conservación de la energía permite igualar la energía en el estado inicial con la energía del estado 1.

$$47.04 = -12.39 + 22.5 \cdot v_2^2$$

$$v_2 = \sqrt{2.64}$$

$$v_2 = \mathbf{1.63 \text{ m/s}}$$

$$v_1 = 2v_2$$

$$v_1 = 2 \cdot 1.63 \text{ m/s}$$

$$v_1 = \mathbf{3.26 \text{ m/s}}$$

Estado 2, Desplazamiento máximo en  $x$

Cuando el desplazamiento en  $x$  se hace máximo, el sistema vuelve a estar en reposo, un estado donde la energía está repartida entre la energía generada por la deformación del resorte y la energía potencial gravitatoria adquirida por el bloque 2.

$$E_2 = m_2 g h_2 + \frac{1}{2} \cdot k \cdot \delta_2^2$$

Cuando  $x$  alcance su máximo desplazamiento se generarían las siguientes relaciones para el desplazamiento del bloque 2.

$$0 = \Delta S_A + 2 \Delta S_B$$

$$0 = (0.75 + x_{\max}) + 2 \Delta S_B$$

$$h = -\frac{1}{2} (0.75 + x_{\max})$$

Por su parte, la deformación final del resorte se expresaría de la siguiente forma:

$$\bar{d}_{OA} = \sqrt{x_{\max}^2 + 0.6^2}$$

$$\delta_2 = \sqrt{x_{\max}^2 + 0.6^2} - 0.4$$

Reemplazando los valores en la ecuación de la energía, e igualando a la energía inicial del sistema se obtiene que.

$$E_2 = 5 \cdot 9.81 \cdot \left( -\frac{1}{2} (0.75 + x_{\max}) \right) + \frac{1}{2} \cdot 300 \cdot \left( \sqrt{x_{\max}^2 + 0.6^2} - 0.4 \right)^2$$

$$47.04 = 5 \cdot 9.81 \cdot \left( -\frac{1}{2} (0.75 + x_{\max}) \right) + \frac{1}{2} \cdot 300 \cdot \left( \sqrt{x_{\max}^2 + 0.6^2} - 0.4 \right)^2$$

$$49.05 x_{\max} - 300 x_{\max}^2 + 240 \sqrt{x_{\max}^2 + 0.36} = 25.13$$

$$x_{\max} = \mathbf{1.01 \text{ m}}$$

$$x_{\max} = -0.75 \text{ m}$$

### Ejercicio 2 – Solucionario

#### Caso 1

La esfera A de 2.5 lb se mueve a través de una trayectoria circular alrededor del eje Z, se sabe que cuando el radio  $r_1$  es igual a 17.0 pies la esfera A tiene una velocidad de 1.5 pies/s. Además, la esfera A está conectada a una cuerda que aplica una fuerza  $F$  que arrastra a la esfera hacia su centro de giro a una velocidad constante de 2.3 pies/s. (Ver figura 18)

Calcular la velocidad para todo  $t \in [0.00; 7.00]$ s.

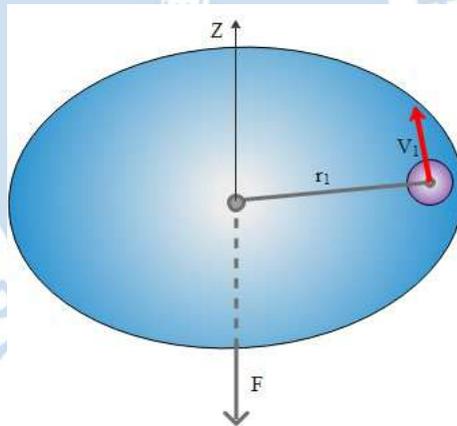
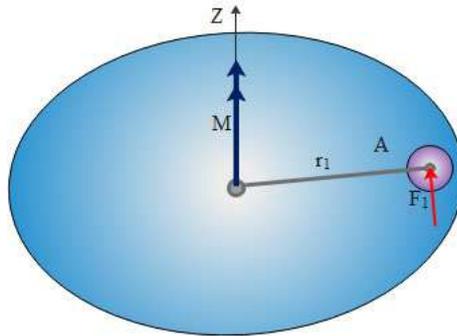


Figura 18 Ejercicio 2, caso 1 - Laboratorio 3, Momentum angular.

#### Caso 2

La esfera A se encuentra en reposo y está unida al eje Z mediante una cuerda de longitud constante  $r_1 = 17.0$  pies. Si el movimiento es inducido por una fuerza  $F_1 = 0.50$  lb y un momento de  $M_1 = 4.20 \cdot t$  lb.m. (Ver figura 19)

Calcular la velocidad para todo  $t \in [0.00; 7.00]$ s.

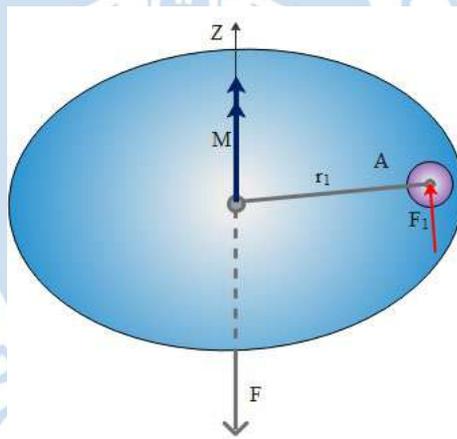


**Figura 19 Ejercicio 2, caso 2 - Laboratorio 3, Momentum angular.**

### Caso 3

La esfera A se encuentra en reposo y está unida al eje Z mediante una cuerda cuya longitud inicial es  $r_1 = 17.0$  pies, el movimiento de la esfera A sobre el plano "XY" es inducido por una fuerza  $F_1 = 0.50$  lb y un momento de  $M_1 = 4.20 \cdot t$  lb.m. Además, la cuerda aplica una fuerza F que arrastra a la esfera hacia su centro de giro a una velocidad constante de 2.3 pies/s. (Ver figura 20)

Calcular la velocidad para todo  $t \in [0.00; 7.00]$ s.



**Figura 20 Ejercicio 2, caso 3 - Laboratorio 3, Momentum angular.**

### Caso 1, solución

Debido a que la fuerza F jala a la esfera B con una velocidad de constante de 2.30 ft/s el radio se reduce a partir de su longitud inicial, de esta forma se determina que:

$$r_0 = 17.00 \text{ m}$$

$$r_t = 17.00 - 2.30 \cdot t \text{ m}$$

Aplicando el principio de la conservación del momentum angular:

$$H_0 + \sum \int M_0 \cdot dt = H_f$$

$$r_1 \cdot m \cdot v_1 + \sum \int M_0 \cdot dt = r_2 \cdot m \cdot v_2$$

$$17.00 \cdot \left( \frac{2.50}{32.20} \right) \cdot 1.50 + 0 = (17.00 - 2.30 \cdot t) \cdot \left( \frac{2.50}{32.20} \right) \cdot v_2$$

$$v_2 = - \frac{-63.75}{2.5(17.00 - 2.30 \cdot t)}$$

$$v_2 = \frac{63.75}{42.50 - 5.75 \cdot t}$$

Se sabe que la velocidad de arrastre que genera la cuerda y la velocidad generada por el momentum son perpendiculares, entonces se puede definir que la velocidad total de la esfera es el módulo de ambas expresiones.

$$V_f = \sqrt{(2.30)^2 + \left( \frac{63.75}{42.50 - 5.75 \cdot t} \right)^2}$$

En la figura 21 se presenta la gráfica de la velocidad final en función del tiempo:

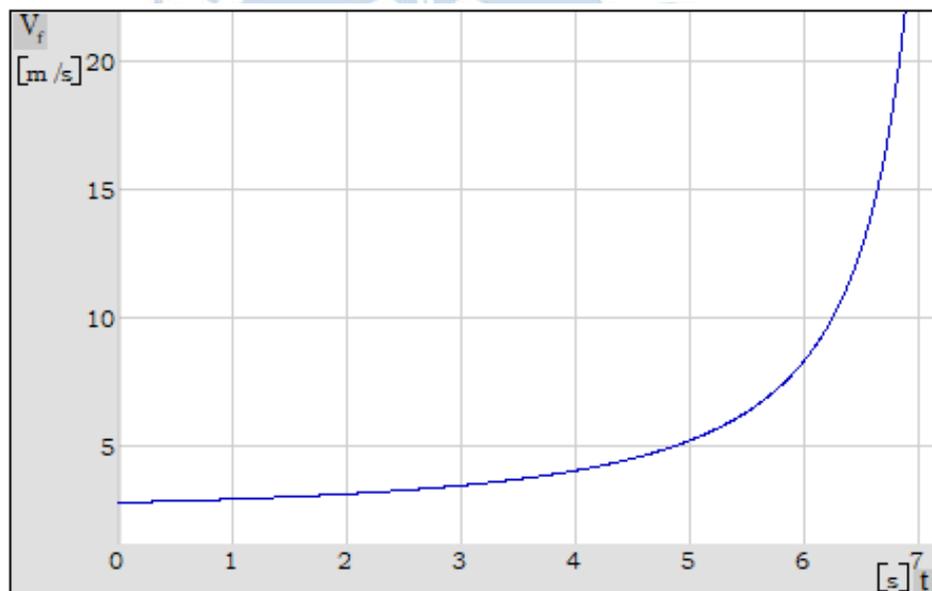


Figura 21 Gráfica de la velocidad total, caso 1.

**Caso 2, solución**

El sistema parte del reposo con radio constante entonces se deduce que:

$$H_0 + \sum \int M_0 \cdot dt = H_f$$

$$r_1 \cdot m \cdot v_1 + \sum \int M_0 \cdot dt = r_2 \cdot m \cdot v_2$$

$$\sum \int M_0 \cdot dt = r_2 \cdot m \cdot v_2$$

Recordar que la expresión del momentum angular requiere la integral de los momentos, es por ello que el efecto de la fuerza debe ser multiplicado por el radio de giro.

$$\sum \int (4.2 \cdot t + 0.5 \cdot 17) \cdot dt = 17 \cdot \left( \frac{2.50}{32.20} \right) \cdot v_2$$

$$\int 4.2 \cdot t dt + \int 8.5 dt = 1.32 \cdot v_2$$

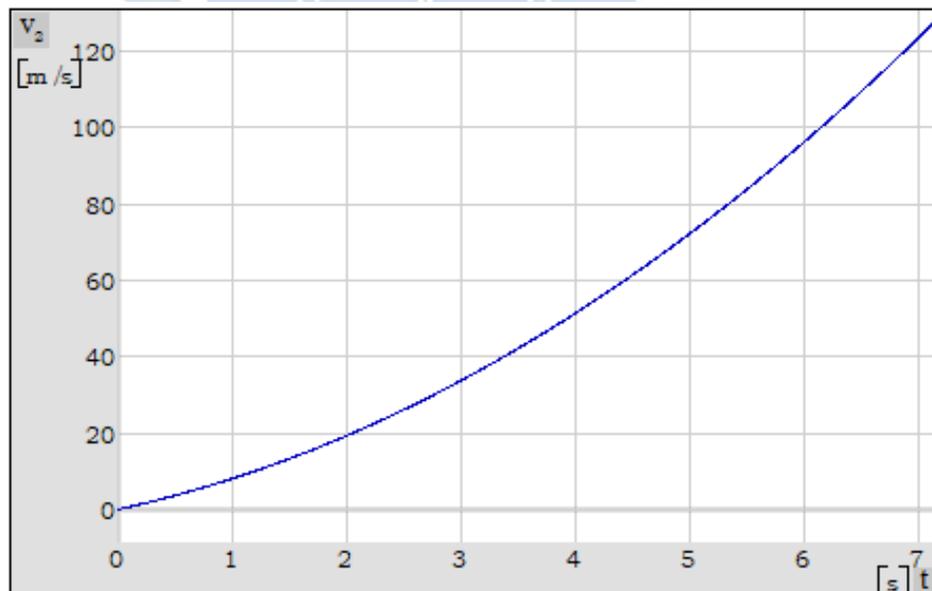
$$\frac{1}{2} \cdot 4.2 \cdot t^2 + 8.5 t = 1.32 \cdot v_2$$

$$v_2 = 1.6 \cdot t^2 + 6.44 t$$

Debido a que no existe una velocidad en dirección del radio, la expresión calculada corresponde a la velocidad total del sistema.

$$v_2 = 1.6 \cdot t^2 + 6.44 t$$

En la figura 22 se presenta la Gráfica de velocidad total en función del tiempo:



**Figura 22 Gráfica de la velocidad total, caso 2.**

**Caso 3, solución**

El caso 3 representa la unión de los dos casos anteriores, es por ello que se debe considerar que el sistema parte del reposo y el radio cambiara respecto al tiempo en función de la expresión calculada anteriormente. Donde se tendría que:

$$H_o + \sum \int M_o \cdot dt = H_f$$

$$r_1 \cdot m \cdot v_1 + \sum \int M_o \cdot dt = r_2 \cdot m \cdot v_2$$

Reemplazando valores se determinará la expresión de la velocidad tangencial en función del tiempo.

$$\sum \int (4.2 \cdot t + 0.5 \cdot (17.00 - 2.30 \cdot t)) \cdot dt = (17.00 - 2.30 \cdot t) \cdot \left( \frac{2.50}{32.20} \right) \cdot v_2$$

$$\int 4.2 \cdot t \cdot dt + \int (8.50 - 1.15 \cdot t) dt = (1.32 - 0.18 \cdot t) \cdot v_2$$

$$\frac{1}{2} \cdot 4.2 \cdot t^2 + 8.50 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot 1.15 \cdot t^2 = (1.32 - 0.18 \cdot t) \cdot v_2$$

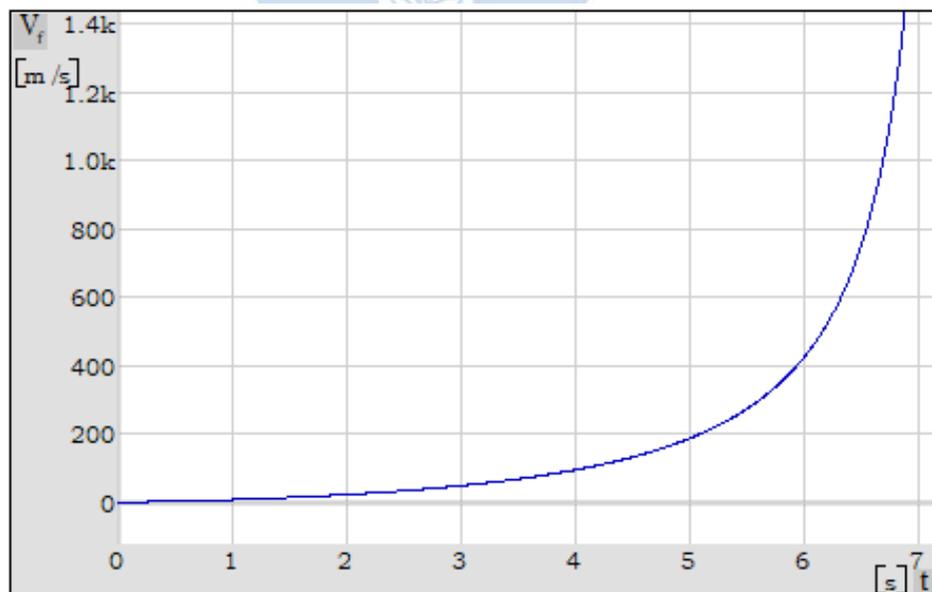
$$2.1 \cdot t^2 + 8.50 \cdot t - 0.575 \cdot t^2 = (1.32 - 0.18 \cdot t) \cdot v_2$$

$$v_2 = \frac{2.1 \cdot t^2 + 8.50 \cdot t - 0.575 \cdot t^2}{1.32 - 0.18 \cdot t}$$

En este caso si existe velocidad en dirección del radio entonces la velocidad final se debe calcular como el módulo de ambas velocidades.

$$V_f = \sqrt{(2.30)^2 + \left( \frac{1.525 \cdot t^2 + 8.50 \cdot t}{1.32 - 0.18 \cdot t} \right)^2}$$

En la figura 23 se presenta la gráfica de la velocidad final en función del tiempo:



**Figura 23** Gráfica de la velocidad total, caso 3.

## Apéndice D. Solucionario de ejercicios del laboratorio de prospección 4

### Ejercicio 1 – Solucionario

#### Caso 1

En el sistema que se muestra el bloque A de masa  $m_1=450.00$  kg está conectado a un sistema de resortes con coeficientes de rigidez  $K_1=600.40$  N/m y  $K_2=375.50$  N/m. Se sabe que la velocidad inicial del bloque A es  $V_0=2.91$  m/s. (Ver figura 24)

- Determinar el sistema equivalente reducido.
- Determinar la función de desplazamiento del bloque en el tiempo.
- Determinar la función de velocidad del bloque en el tiempo.

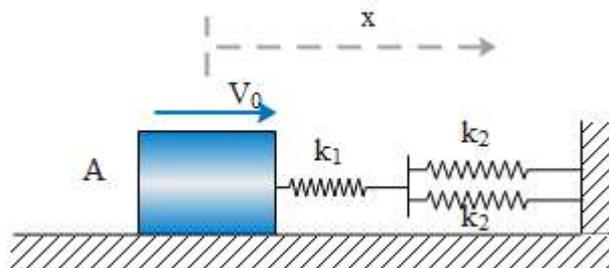


Figura 24 Ejercicio 1, caso 1 - Laboratorio 4, vibración simple.

#### Caso 2

En el instante mostrado un bloque de 450.00 kg avanza hacia la derecha con una velocidad inicial  $V_0$  en m/s, cuando comienza a ser detenido por la acción de un resorte y un amortiguador de constantes de rigidez  $K$  y  $C$  respectivamente. Si se conoce la respuesta de la posición del bloque “ $x$ ” respecto del tiempo, según la gráfica de la “figura 26” Calcular el valor de la velocidad inicial y las constantes de rigidez respectivas. (Ver figura 25)

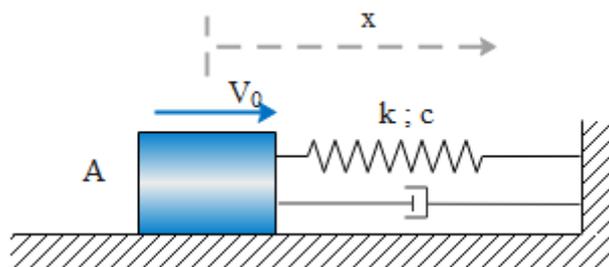


Figura 25 Ejercicio 1, caso 2 - Laboratorio 4, vibración simple.

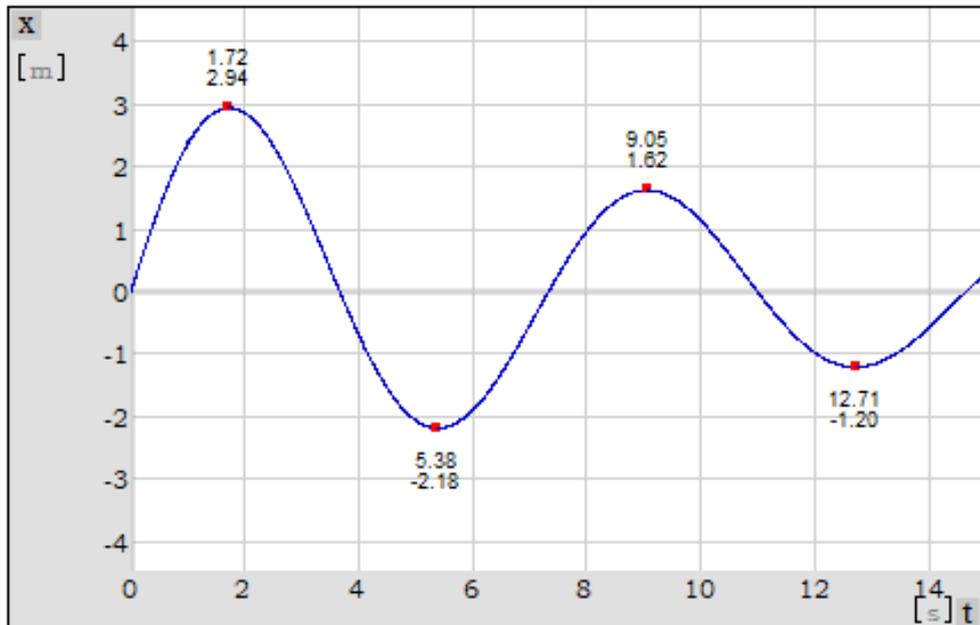


Figura 26 Ejercicio 1, caso 2 - Laboratorio 4, vibración amortiguada, función de desplazamiento.

#### Caso 1, solución

Primero se debe determinar el sistema equivalente, mediante la sumatoria de resistencias en los resortes.

$$\begin{array}{l} \text{Serie} \quad \frac{1}{k_e} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \\ \text{Paralelo} \quad k_2 = k_1 + k_2 \end{array}$$

Entonces:

$$\frac{1}{k_e} = \frac{1}{600.40} + \frac{1}{2 \cdot 375.50}$$

$$k_e = 333.65 \text{ N/m}$$

Primero se debe determinar la frecuencia de vibrar.

$$p = \sqrt{\frac{K}{M}}$$

$$p = \sqrt{\frac{333.65}{450}}$$

$$p = 0.8611 \text{ rad/s}$$

Se debe determinar la forma de vibrar como:

$$x = A \sin(p \cdot t) + B \cos(p \cdot t)$$

$$x = A \sin(0.8611 \cdot t) + B \cos(0.8611 \cdot t)$$

Derivando se obtiene la velocidad en dirección del tiempo.

$$v = \dot{x} = A p \cos(p \cdot t) - B p \sin(p \cdot t)$$

$$\dot{x} = 0.8611 A \cos(0.8611 \cdot t) - 0.8611 B \sin(0.8611 \cdot t)$$

Generar condiciones iniciales.

$$t = 0 \rightarrow x = 0 \rightarrow \text{I}$$

$$t = 0 \rightarrow \dot{x} = V_0 \rightarrow \text{II}$$

Reemplazando I.

$$0 = A \sin(0.8611 \cdot 0) + B \cos(0.8611 \cdot 0)$$

$$0 = 0 + B \cos(0.8611 \cdot 0)$$

$$B = 0$$

Reemplazando II.

$$V_0 = 2.91 = 0.8611 A \cos(0.8611 \cdot 0) - 0$$

$$2.91 = 0.8611 A \cos(0.8611 \cdot 0) - 0$$

$$A = 3.38$$

Entonces:

$$x = 3.38 \cdot \sin(0.8611 \cdot t)$$

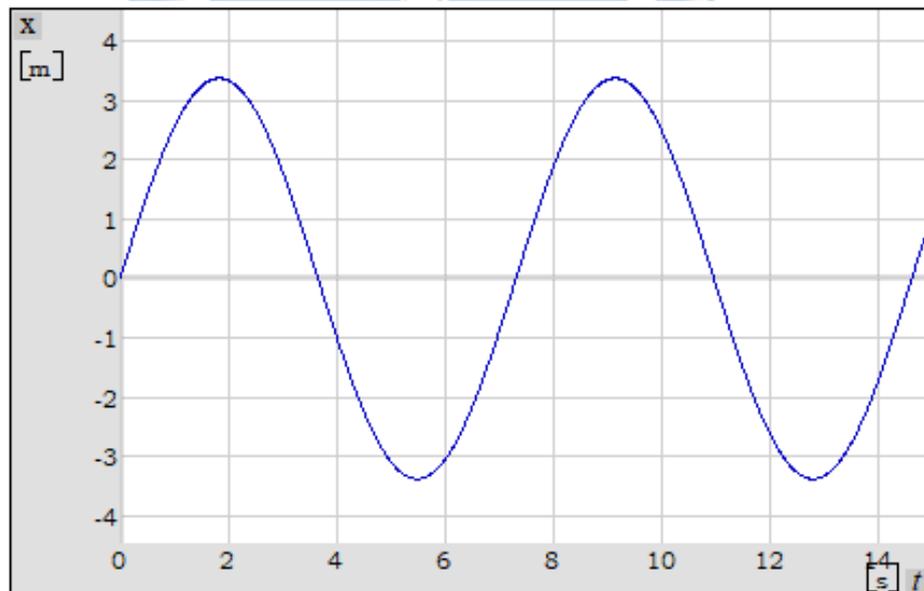


Figura 27 Gráfica de la respuesta de la vibración, caso 1.

**Caso 2, solución**

Conocida la gráfica, se pueden restar las componentes x de los picos más altos para poder determinar el periodo de la función y a partir de ese valor la frecuencia natural.

$$\tau = \frac{2\pi}{\omega_d} = (9.05 - 1.72)$$

$$\omega_d = 2 \frac{\pi}{7.33} = 0.8572$$

$$\omega_d = p \sqrt{1 - \zeta^2} = 0.8572 \text{ rad/s}$$

Se sabe que la función general de respuesta de un sistema amortiguado que parte de  $x=0$  sería de la forma:

$$x = A e^{-\zeta p t} \sin(\omega_d t + \alpha)$$

$$x = A e^{-\zeta p t} \sin(0.8572 t + \alpha)$$

Se sabe por medio de la gráfica que existen puntos de paso de la función.

$$t = 0.00 \quad x = 0.00 \quad \rightarrow \text{I}$$

$$t = 1.72 \quad x = 2.94 \quad \rightarrow \text{II}$$

$$t = 5.39 \quad x = -2.18 \quad \rightarrow \text{III}$$

Reemplazando I.

$$0 = A e^0 \sin(0.8572 \cdot 0 + \alpha)$$

$$\rightarrow \alpha = 0$$

Reemplazando II.

$$2.94 = A e^{-\zeta p 1.72} \cdot \sin(0.8572 \cdot 1.72)$$

$$2.95 = A e^{-1.72 \zeta p}$$

$$2.95 = A e^{-1.72 \cdot \left(\frac{c}{2m}\right)}$$

$$2.95 = A e^{-0.0019 \cdot c} \quad \rightarrow m$$

Reemplazando III.

$$-2.18 = A e^{-\frac{5.39}{900} \cdot c} \sin(0.8572 \cdot 5.39)$$

$$2.19 = A e^{-0.006 \cdot c} \quad \rightarrow n$$

Aplicando un sistema de ecuaciones logarítmicos en "n" y "m".

$$\ln 2.95 = \ln A e^{-0.0019 \cdot c}$$

$$\ln 2.19 = \ln A e^{-0.006 \cdot c}$$

---


$$1.0831 = (\ln A - 0.001911111 \cdot c)$$

$$0.7836 = (\ln A - 0.005988889 \cdot c)$$

Del sistema de ecuaciones se obtiene que:

$$c = 73.4454$$

$$A = e^{1.223426841} = 3.3988$$

Entonces la función del desplazamiento en x junto a su derivada para determinar la velocidad en x, resultan:

$$x = 3.40 \cdot e^{-0.0816 t} \cdot \sin(0.8572 \cdot t)$$

$$\dot{x} = -0.28 e^{-0.0816 t} \cdot \sin(0.86 \cdot t) + 2.91 \cdot e^{-0.0816 t} \cdot \cos(0.86 \cdot t)$$

Si se reemplaza  $t=0$  en la función de la velocidad se obtiene la velocidad inicial del sistema.

$$\dot{x} = V_0 \quad t = 0$$

$$V_0 = 0 + 2.91 \cdot 1 \cdot \cos 0$$

$$V_0 = 2.91 \text{ m/s}$$

Entonces si se conoce el valor de C, se puede determinar el valor de K, mediante las ecuaciones fundamentales del momento amortiguado.

$$\omega_d = p \sqrt{1 - \zeta^2}$$

$$\zeta = \frac{c}{2 \cdot \sqrt{k \cdot m}}$$

$$\zeta^2 = \frac{c^2}{4 \cdot k \cdot m}$$

$$p = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Reemplazando los valores obtenidos se determina que:

$$\omega_d = 0.8572 = \sqrt{\frac{k}{450.00}} \cdot \sqrt{1 - \frac{c^2}{4 \cdot k \cdot m}}$$

$$0.8572 = \sqrt{\frac{k}{450.00}} \cdot \sqrt{1 - \frac{73.4454^2}{4 \cdot k \cdot 450}}$$

$$\sqrt{\frac{k}{450.00}} \cdot \sqrt{1 - \frac{5394.2268}{1800 \cdot k}} = 0.8572$$

$$k = 333.6531 \text{ N/m}$$

Respuestas:

$$V_0 = 2.91 \text{ m/s}$$

$$c = 73.4454 \text{ N} \cdot \text{s/m}$$

$$k = 333.6531 \text{ N/m}$$

**Ejercicio 2– Solucionario****Caso 1**

La esfera A de radio  $r=0.50$  m tiene una masa de  $0.30$  kg y está conectado por una cuerda al techo de longitud  $5.00$  m y  $x_0=4.00$  m.

Determinar el periodo de vibración del péndulo simple y la curva de la onda vibratoria  $\theta$  vs  $t$  para un  $t \in [0.00;10.00]$ s.

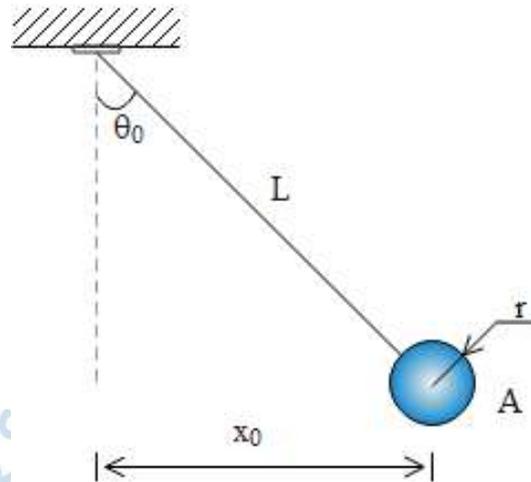


Figura 28 Ejercicio 2, caso 1 - Laboratorio 4, péndulo simple.

**Caso 2**

Analiza el ejercicio anterior en un ambiente que tiene una resistencia de aire de velocidad baja de  $0.07$  kg/m-s.

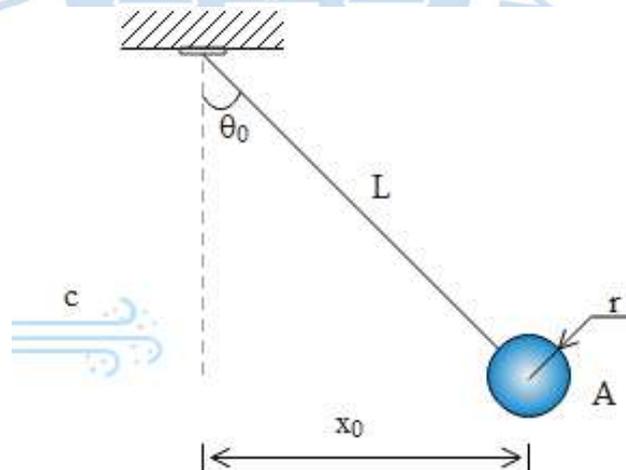
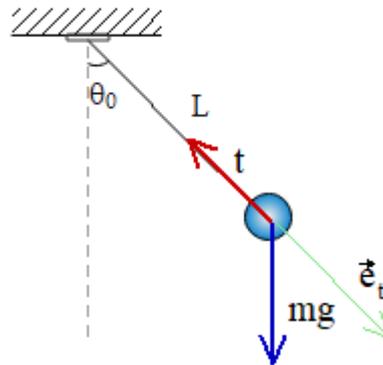


Figura 29 Ejercicio 2, caso 2 - Laboratorio 4, péndulo simple.

**Caso 1, solución**

Mediante equilibrio en el sistema tangencial se determina que:



**Figura 30** Equilibrio del sistema, caso 1.

$$\Sigma F_t = m \cdot a_t$$

$$a_t = \ddot{s}$$

$$s = L \cdot \theta$$

$$\ddot{s} = L \cdot \ddot{\theta}$$

$$-m \cdot g \cdot \sin \theta = m \cdot L \cdot \ddot{\theta}$$

Además, se sabe que:

$$p = \sqrt{\frac{g}{L}}$$

$$\theta = \theta_0 \cos(p \cdot t)$$

Reemplazando los valores del sistema inicial que parte del reposo se tiene:

$$L = 5.00 \text{ m}$$

$$x_0 = 4.00 \text{ m}$$

$$\theta_0 = \arcsin \frac{4}{5} = 0.93 \text{ rad}$$

$$p = \sqrt{\frac{9.81}{5}} = 1.401 \text{ rad/s}$$

De esta forma se determina que:

$$\theta = 0.93 \cdot \cos 1.401 t$$

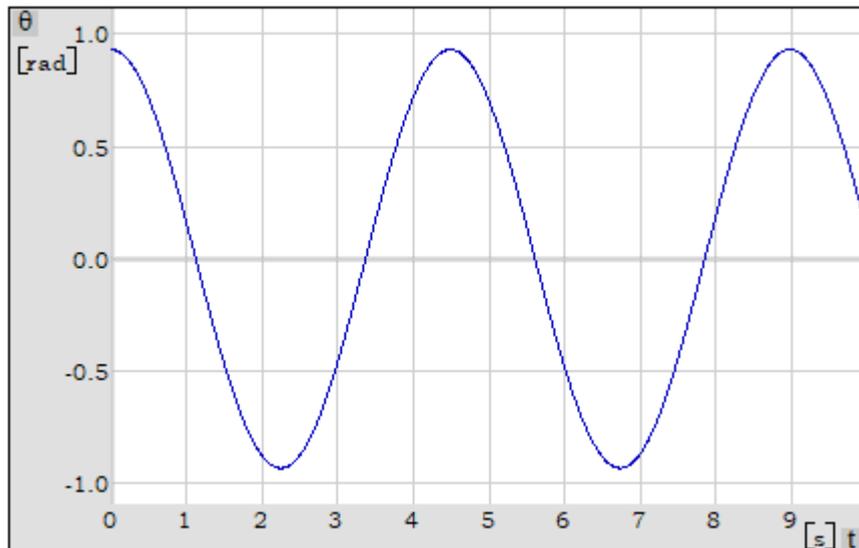


Figura 31 Función respuesta, caso 1.

### Caso 2, solución

Observaciones: en este ejercicio se estará utilizando como un coeficiente de amortiguación un parámetro denominado: Resistencia del aire de baja velocidad cuyas unidades son: [Kg\*s/m] que funciona correctamente cuando la sección transversal al eje horizontal del objeto que se desea analizar es igual a 1 durante todo el análisis (se recomienda usar esferas o circunferencias de diámetro 1).

Del ejercicio anterior y el enunciado de este se obtienen los siguientes datos.

$$m = 0.30 \text{ kg}$$

$$p = 1.401 \text{ rad/s}$$

$$c = 0.07 \text{ kg} \cdot \text{s/m}$$

Reemplazando se obtiene que:

$$\zeta = \frac{c}{c_{cr}} = \frac{c}{2 m \cdot p}$$

$$\zeta = \frac{0.07}{0.8406}$$

$$\zeta = 0.083$$

Entonces la frecuencia natural sería:

$$\omega_d = 1.401 \cdot \sqrt{1 - 0.083^2}$$

$$\omega_d = 1.39613$$

Sabiendo que el sistema parte del reposo se puede simplificar la función de respuesta del péndulo en la siguiente expresión.

$$\theta = \theta_0 \cdot e^{-\zeta \cdot p \cdot t} \cos(\omega_d \cdot t)$$

Reemplazando los valores calculados anteriormente se obtiene que:

$$\theta = 0.93 \cdot e^{-0.083 \cdot 1.401 \cdot t} \cdot \cos(1.39613 \cdot t)$$

$$\theta = 0.93 \cdot e^{-0.117 \cdot t} \cdot \cos(1.39613 \cdot t)$$

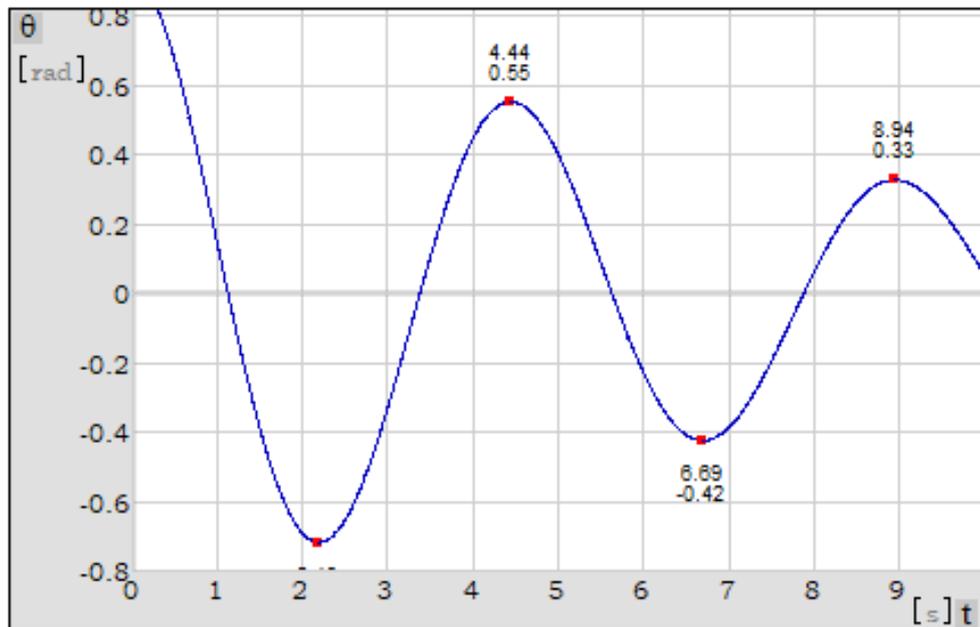
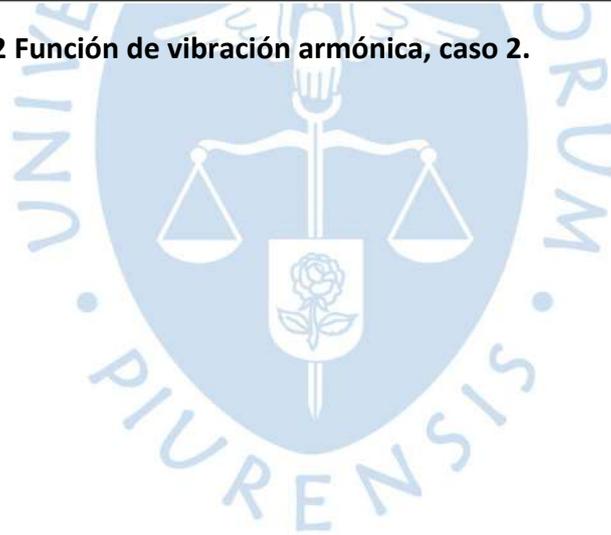


Figura 32 Función de vibración armónica, caso 2.



## Apéndice E. Solucionario de ejercicios del Informe de Laboratorio 1

### Ejercicio 1 – Solucionario

En la figura 33 se muestra una barra de longitud  $L$ , esta barra se encuentra inclinada y conectada en su extremo con un sistema de poleas. En el otro extremo del sistema de poleas el motor  $M$  tira del cable a una velocidad constante  $V$  en m/s.

Determinar:

- La magnitud de  $b$  [m] en función del tiempo.
- La velocidad vertical del punto  $A$  [m/s] en función del tiempo.
- La aceleración vertical del punto  $A$  [m/s<sup>2</sup>] en función del tiempo.
- Velocidad de la barra [rad/s] en función del tiempo.

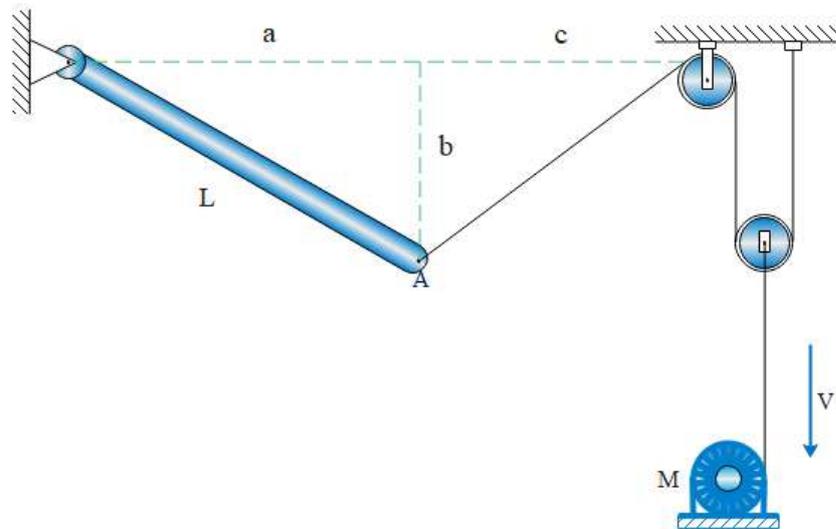


Figura 33 Ejercicio 1 – Informe de laboratorio 1, sistema barra-poleas.

Solución (N=5)

Datos para N=5

$$N = 5$$

$$a = 7.00 + 0.2 \cdot 5 = 8.00$$

$$b = 5 + 0.25 \cdot 5 = 6.25$$

$$c = 6 + 0.1 \cdot 5 = 6.5$$

$$V = 0.30 + 0.02 \cdot 5 = 0.40 \text{ m/s}$$

$$L = \sqrt{8.00^2 + 6.25^2} = 10.152 \text{ m}$$

Determinar el datum y generar las relaciones.

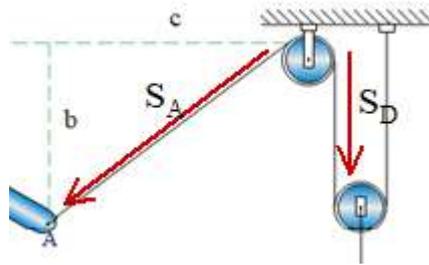


Figura 34 Datum ejercicio 1.

Analizando la longitud de cable del sistema de poleas se tiene que:

$$L_{\text{pol}} = S_A + 2 S_D$$

$$0 = \dot{S}_A + 2 \dot{S}_D$$

$$\dot{S}_A = -2 \dot{S}_D$$

$$\dot{S}_A = -2 \cdot 0.40$$

$$\dot{S}_A = -0.80$$

Conociendo los valores de b y c se puede determinar la longitud  $S_A$  y las relaciones correspondientes.

$$S_{A0} = \sqrt{6.25^2 + 6.50^2}$$

$$S_{A0} = 9.0173$$

$$S_A = S_{A0} - 0.80 \cdot t$$

$$S_A = 9.0173 - 0.80 \cdot t$$

Entonces se puede relacionar  $S_A$  en función de b y c, para determinar la velocidad a la que se eleva la barra en su punto A.

$$S_A = \sqrt{c^2 + b^2}$$

$$9.0173 - 0.80 \cdot t = \sqrt{6.50^2 + b^2}$$

$$b = \sqrt{(9.0173 - 0.80 \cdot t)^2 - 42.25}$$

$$\dot{b} = \frac{-14.4278 + 1.28 \cdot t}{2 \cdot \sqrt{(9.0173 - 0.80 \cdot t)^2 - 42.25}}$$

Se puede volver a derivar para obtener la aceleración vertical.

$$\ddot{b} = \frac{1}{2 \sqrt{(9.0173 - 0.80 \cdot t)^2 - 42.25}} \left( 1.28 \cdot t - 2 \left( \frac{-14.4278 + 1.28 \cdot t}{2 \cdot \sqrt{(9.0173 - 0.80 \cdot t)^2 - 42.25}} \right)^2 \right)$$

Para determinar la velocidad angular de la barra "L" se debe generar una relación geométrica en base a los datos obtenidos.

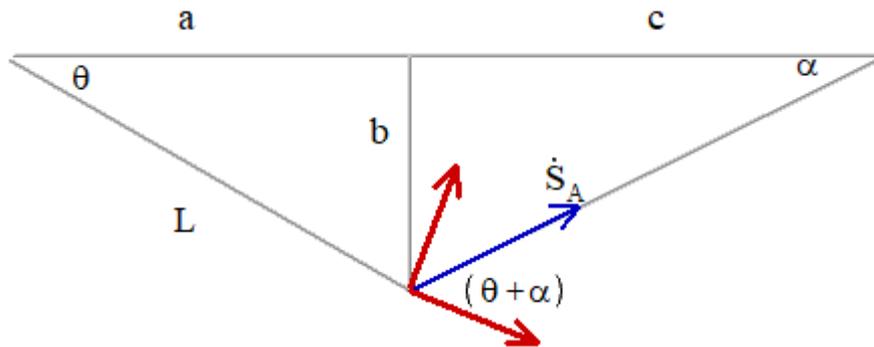


Figura 35 Representación vectorial de la velocidad, ejercicio 1.

$$\alpha = \arctan \frac{b}{c} \quad \alpha = \arctan \frac{\sqrt{(9.0173 - 0.80 \cdot t)^2 - 42.25}}{6.50}$$

$$\theta = \arctan \frac{b}{a} \quad \theta = \arctan \frac{\sqrt{(9.0173 - 0.80 \cdot t)^2 - 42.25}}{8.00}$$

Entonces se puede determinar la velocidad angular como:

$$\dot{\theta} = \frac{\dot{S}_A \cdot \sin(\alpha + \theta)}{L}$$

$$\dot{\theta} = \frac{0.80 \cdot \sin\left(\arctan \frac{\sqrt{(9.0173 - 0.80 \cdot t)^2 - 42.25}}{6.50} + \arctan \frac{\sqrt{(9.0173 - 0.80 \cdot t)^2 - 42.25}}{8.00}\right)}{10.152}$$

$$\dot{\theta} = \frac{0.80 \cdot \sin\left(2 \arctan \frac{\sqrt{(9.0173 - 0.80 \cdot t)^2 - 42.25}}{6.50}\right)}{10.152}$$

Gráficas generadas.

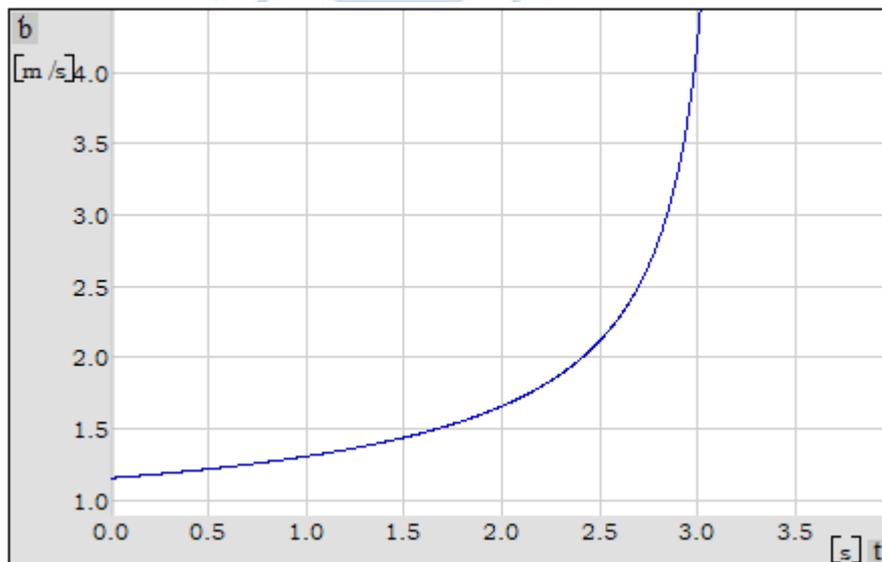


Figura 36 Gráfica de la velocidad en "b".

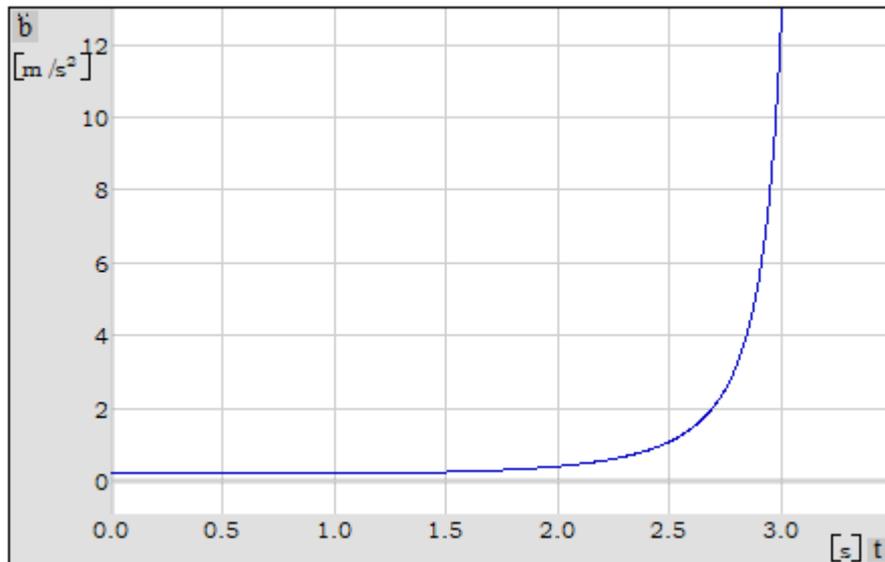


Figura 37 Gráfica de la aceleración en "b".

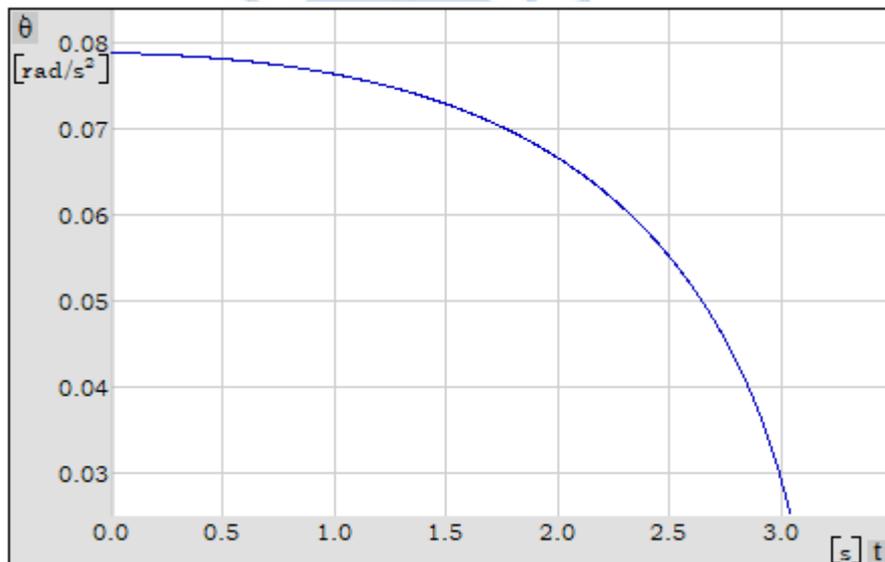


Figura 38 Gráfica de la velocidad angular de la barra.

### Ejercicio 2 – Solucionario

En la figura 39 se presenta un auto de carrera que debe recorrer una trayectoria curva definida con una función  $f(x)$  a una velocidad  $V$  constante.

Determinar:

- La velocidad en  $x$  en  $\text{m/s}$  del móvil en función de su posición  $x$ .
- La velocidad en  $y$  en  $\text{m/s}$  del móvil en función de su posición  $x$ .
- La aceleración en  $x$  en  $\text{m/s}^2$  del móvil en función de su posición  $x$ .
- La aceleración en  $y$  en  $\text{m/s}^2$  del móvil en función de su posición  $x$ .
- La aceleración normal en  $\text{m/s}^2$  del móvil en función de su posición  $x$ .

- El radio de curvatura en m de la trayectoria que describe el móvil en función de su posición x.

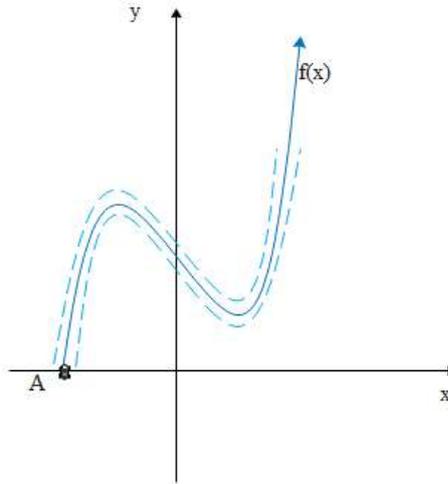


Figura 39 Ejercicio 2 – Informe de laboratorio 1, circuito de carrera.

**Solución (N=5)**

Datos para N=5.

$$a = 0.10 + 0.01 \cdot 5 = 0.15$$

$$b = 0.20 + 0.01 \cdot 5 = 0.25$$

$$c = 15.00 + 0.50 \cdot 5 = 17.50$$

$$V = 3.00 + 0.10 \cdot 5 = 3.50 \text{ m/s}$$

$$f(x) = (0.15 \cdot x)^3 + (0.25 \cdot x)^2 + 17.50$$

$$f(m) = (0.15 \cdot m)^3 + (0.25 \cdot m)^2 + 17.50 = 0$$

$$m = -26.119 \text{ m}$$

Conociendo la función  $f(x)$  se debe derivar dos veces para calcular el radio en cada punto.

$$f(x) = (0.15 \cdot x)^3 + (0.25 \cdot x)^2 + 17.50$$

$$f'(x) = 3 \cdot (0.15 \cdot x)^2 \cdot 0.15 + 2 \cdot (0.25 \cdot x) \cdot 0.25$$

$$f'(x) = 0.45 \cdot (0.15 \cdot x)^2 + 0.125 \cdot x$$

$$f''(x) = 0.45 \cdot 2 \cdot (0.15 \cdot x) \cdot 0.15 + 0.125$$

$$f''(x) = 0.02025 \cdot x + 0.125$$

Reemplazando en la función del radio.

$$\rho = \left| \frac{\left[ 1 + \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 \right]^{3/2}}{\frac{d^2y}{dx^2}} \right|$$

$$\rho = \left| \frac{\left[ 1 + [0.45 \cdot (0.15 \cdot x)^2 + 0.125 \cdot x]^2 \right]^{3/2}}{0.02025 \cdot x + 0.125} \right|$$

La aceleración normal se expresaría como.

$$a_n = \frac{v^2}{\rho}$$

$$a_n = \frac{3.50^2}{\left| \frac{\left[ 1 + [0.45 \cdot (0.15 \cdot x)^2 + 0.125 \cdot x]^2 \right]^{3/2}}{0.02025 \cdot x + 0.125} \right|}$$

Al conocer la primera derivada de la función se puede conocer el ángulo de la tangente de cada punto de la función.

$$\tan \theta = f'(x) = 0.45 \cdot (0.15 \cdot x)^2 + 0.125 \cdot x$$

$$\theta = \arctan(0.45 \cdot (0.15 \cdot x)^2 + 0.125 \cdot x)$$

Entonces se puede determinar la aceleración en X e Y.

$$a_x = a_t \cos \theta + a_n \sin \theta$$

$$a_y = a_t \sin \theta - a_n \cos \theta$$

$$a_x = \frac{3.50^2}{\left| \frac{\left[ 1 + [0.45 \cdot (0.15 \cdot x)^2 + 0.125 \cdot x]^2 \right]^{3/2}}{0.02025 \cdot x + 0.125} \right|} \cdot \sin(\arctan(0.45 \cdot (0.15 \cdot x)^2 + 0.125 \cdot x))$$

$$a_y = - \frac{3.50^2}{\left| \frac{\left[ 1 + [0.45 \cdot (0.15 \cdot x)^2 + 0.125 \cdot x]^2 \right]^{3/2}}{0.02025 \cdot x + 0.125} \right|} \cdot \cos(\arctan(0.45 \cdot (0.15 \cdot x)^2 + 0.125 \cdot x))$$

Finalmente, las gráficas resultantes serían:

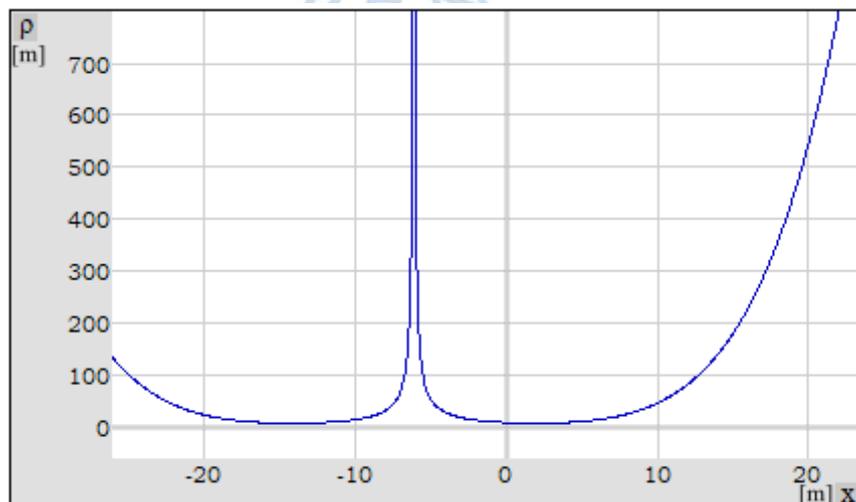


Figura 40 Gráfica del radio.

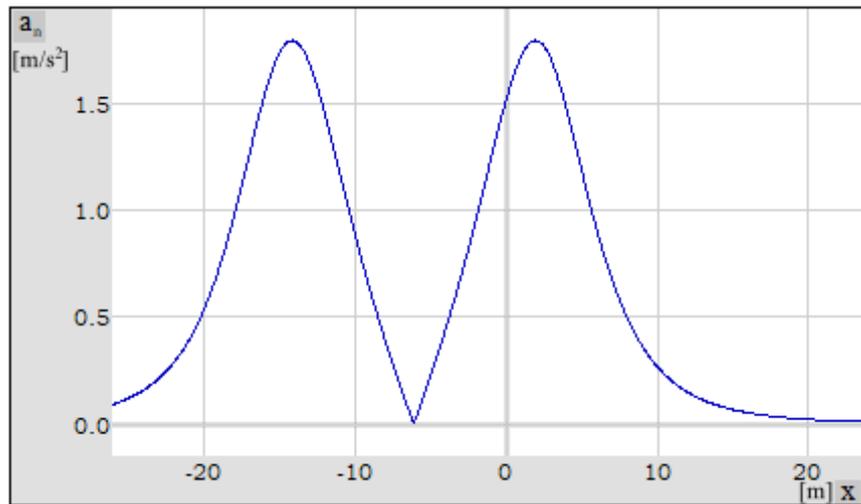


Figura 41 Gráfica de la aceleración normal.

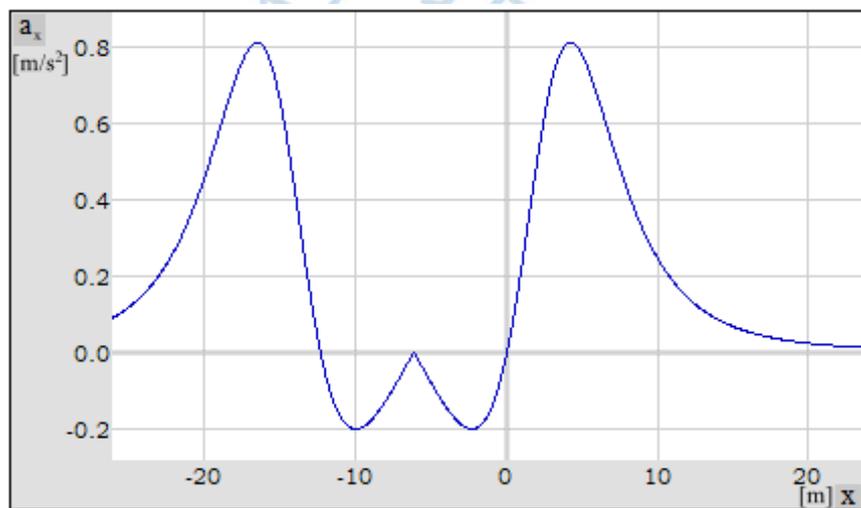


Figura 42 Gráfica de la aceleración "X".

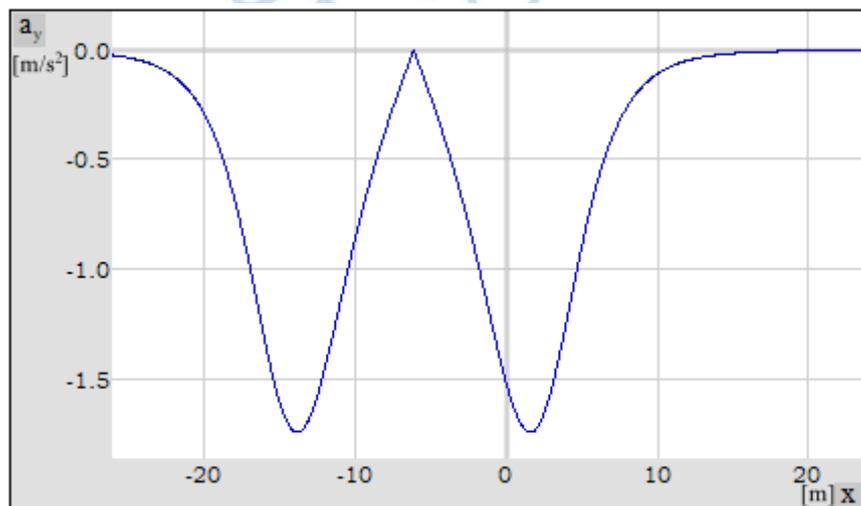


Figura 43 Gráfica de la aceleración "Y".

## Apéndice F. Solucionario de ejercicios del Informe de Laboratorio 2

### Ejercicio 1– Solucionario

En la figura 44 se presenta un mecanismo que está compuesto por un poste central que asciende a razón de una velocidad  $V_1$  en m/s, mientras que rota sobre su eje Z a velocidad angular  $\omega$  en rad/s y aceleración angular  $\alpha$  en rad/s<sup>2</sup>. Analice los casos 1 y 2 y responda.

- **Caso 1:** Analice el mecanismo desde una vista superior, considerando únicamente la proyección sobre el plano XY
- **Caso 2:** Analice el mecanismo considerando las componentes en 3 dimensiones.

Determine lo siguiente:

- $V_\theta$ : Velocidad en dirección  $\theta$  en m/s.
- $V_z$ : Velocidad en dirección Z en m/s.
- $V_{TOT}$ : Velocidad total en m/s.
- $a_r$ : Aceleración en dirección del radio en m/s<sup>2</sup>.
- $a_\theta$ : Aceleración en dirección  $\theta$  en m/s<sup>2</sup>.
- $a_z$ : Aceleración en dirección Z en m/s<sup>2</sup>.
- $a_{tot}$ : Aceleración total en m/s<sup>2</sup>.

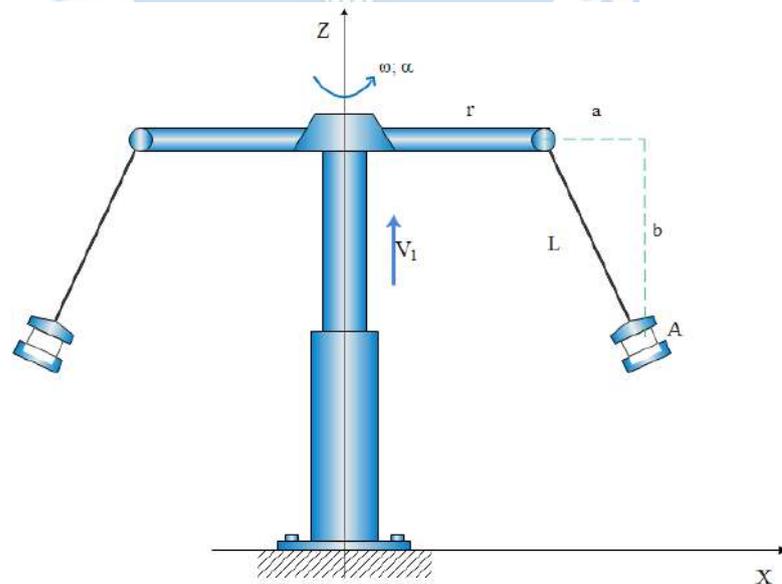


Figura 44 Ejercicio 1 – Informe de laboratorio 2, sillas voladoras.

**Caso 1****solución (N=5)**

Datos para N=5.

$$r = 4.50 + 0.05 \cdot 5 = 4.75 \text{ m}$$

$$a = 2.00 + 0.05 \cdot 5 = 2.25 \text{ m}$$

$$b = 3.50 + 0.10 \cdot 5 = 4.00 \text{ m}$$

$$V_1 = \sin((0.60 + 0.02 \cdot 5) \cdot t) = \sin 0.70 t \text{ m/s}$$

$$\omega = 2.50 + 0.10 \cdot 5 = 3.00 \text{ rad/s}$$

$$\alpha = -(0.05 + 0.01 \cdot 5) = -0.10 \text{ rad/s}^2$$

Dados los datos conocidos se puede determinar lo siguiente.

$$\theta = 3.00 \cdot t - \frac{0.10}{2} t^2$$

$$\omega = 3.00 - 0.10 \cdot t$$

$$a_z = 0.70 \cdot \cos 0.70 t$$

Se sabe que el radio no se modifica en el tiempo, entonces:

$$\theta = 3.00 \cdot t - \frac{0.10}{2} t^2$$

$$\omega = 3.00 - 0.10 \cdot t$$

$$a_z = 0.70 \cdot \cos 0.70 t$$

Expresión de la velocidad analizada en el sistema de coordenadas cilíndricas.

$$V = V_\theta + V_r + V_z$$

$$V_r = \dot{r} = 0$$

$$V_\theta = \dot{\theta} \cdot r$$

$$V_z = \sin 0.70 t$$

Reemplazando.

$$V_\theta = (3.00 - 0.10 \cdot t) \cdot (4.75 + 2.25)$$

$$V_\theta = (21 - 0.70 \cdot t)$$

$$V_z = \sin 0.70 t$$

$$V_{\text{total}} = \sqrt{(21 - 0.70 \cdot t)^2 + (\sin 0.70 t)^2}$$

$$V_{\text{total}} = \sqrt{441 - 29.40 \cdot t + 0.49 \cdot t^2 + \sin^2 0.70 t}$$

Expresión de la aceleración en el sistema de coordenadas cilíndricas.

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_r + \mathbf{a}_\theta + \mathbf{a}_z$$

$$\mathbf{a}_r = \ddot{r} - r \cdot \dot{\theta}^2$$

$$\mathbf{a}_\theta = r \cdot \ddot{\theta} + 2 \cdot \dot{r} \cdot \dot{\theta}$$

Reemplazando.

$$\mathbf{a}_r = -(4.75 + 2.25) \cdot (3.00 - 0.10 \cdot t)^2$$

$$\mathbf{a}_r = (-63 + 4.20 \cdot t - 0.07 \cdot t^2)$$

$$\mathbf{a}_\theta = (4.75 + 2.25) \cdot (-0.10)$$

$$\mathbf{a}_\theta = -0.70$$

$$\mathbf{a}_z = 0.70 \cdot \cos 0.70 t$$

Finalmente se tendría que la aceleración sería.

$$\mathbf{a}_{\text{tot}} = \sqrt{(-63 + 4.20 \cdot t - 0.07 \cdot t^2)^2 + (0.70)^2 + (0.70 \cdot \cos 0.70 t)^2}$$

$$\mathbf{a}_{\text{tot}} = \sqrt{3969.49 - 529.20 \cdot t + 26.166 \cdot t^2 - 0.294 \cdot t^3 + 0.0049 \cdot t^4 + 0.49 \cos^2 0.70 t}$$

Generando las gráficas de respuesta, resulta.



Figura 45 Gráfica de la velocidad total.



Figura 46 Gráfica de la aceleración total.



## Apéndice G. Solucionario de ejercicios del Informe de Laboratorio 3

### Ejercicio 1– Solucionario

En la figura 47 se presenta una esfera de masa “m” que está conectada a un resorte con coeficiente de rigidez K en N/m. La esfera viaja a lo largo de un canal definido por medio de una función f(y) y posee una velocidad inicial V<sub>0</sub> tangente a la trayectoria.

Determinar:

- La posición Y [m] de la esfera “m” en función de su posición en X.
- La fuerza ejercida por la deformación del resorte [N] en función de la posición X de la esfera m.
- Energía potencial gravitatoria [N-m] en función de la posición X de la esfera m.
- Energía potencial elástica producto de la deformación del resorte [N-m] en función de la posición X de la esfera m.
- Energía cinética [N-m] en función de la posición X de la esfera m.

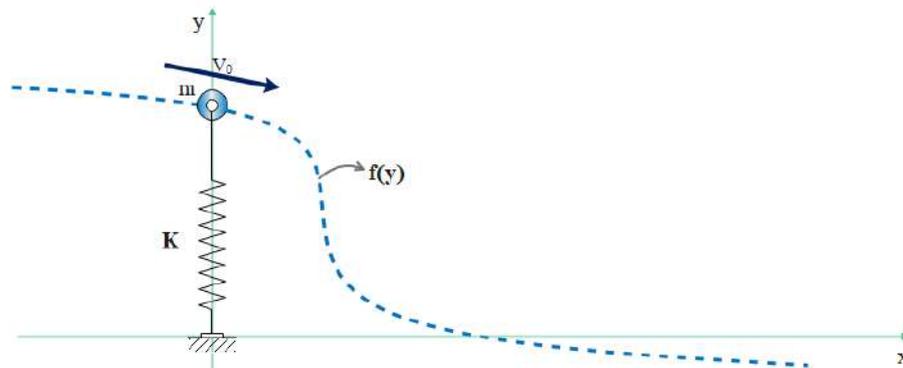


Figura 47 Ejercicio 1 – Informe de laboratorio 3, sistema de rieles y resortes.

**Solución (N=5)**

Datos para N=5.

$$a = 0.40 + 0.05 \cdot 5 = 0.65$$

$$V_0 = 2.15 + 0.02 \cdot 5 = 2.25 \text{ m/s}$$

$$m = 15.00 + 0.2 \cdot 5 = 16.00 \text{ kg}$$

$$K = 25.00 + 0.10 \cdot 5 = 25.50 \text{ N/m}$$

$$y = \sqrt[3]{\frac{1}{0.65}(3-x)} + 2$$

$$L_0 = \sqrt[3]{\frac{1}{0.65}(3-0)} + 2 = 3.6650 \text{ m}$$

Plantear la expresión de la conservación de la energía en el estado inicial.

$$E_o = E_{CIN} + E_{PG} + E_{PE} = \frac{1}{2} m \cdot v_o^2 + m g h_o + \frac{1}{2} \cdot k \delta_o^2$$

$$E_o = \frac{1}{2} \cdot 16.00 \cdot 2.25^2 + 16.00 \cdot 9.81 \cdot 3.6650 + 0$$

$$E_o = 615.7514 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Determinar la deformación y altura para cualquier x.

$$L_f = \sqrt{x^2 + \left( \sqrt[3]{\frac{1}{0.65}}(3-x) + 2 \right)^2}$$

$$\delta = \sqrt{x^2 + \left( \sqrt[3]{\frac{1}{0.65}}(3-x) + 2 \right)^2} - 3.6650$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{1}{0.65}}(3-x) + 2$$

$$f_{rst} = 25.50 \cdot \left( \sqrt{x^2 + \left( \sqrt[3]{\frac{1}{0.65}}(3-x) + 2 \right)^2} - 3.6650 \right)$$

La energía en cualquier punto, se determina de la siguiente forma.

$$E_1 = E_{CIN} + E_{PG} + E_{PE} = \frac{1}{2} m \cdot v_1^2 + m g h_1 + \frac{1}{2} \cdot k \delta_1^2$$

Reemplazando.

$$E_{CIN} = 8.00 \cdot v_1^2$$

$$E_{PG} = 156.96 \cdot \left( \sqrt[3]{1.54(3-x)} + 2 \right)$$

$$E_{PE} = 12.75 \cdot \left( \sqrt{x^2 + \left( \sqrt[3]{1.54(3-x)} + 2 \right)^2} - 3.66 \right)^2$$

Aplicando el principio de conservación de la energía se obtiene que:

$$E_1 = E_{CIN} + E_{PG} + E_{PE}$$

$$615.75 = \frac{1}{2} \cdot 16.00 \cdot v_1^2 + E_{PG} + E_{PE}$$

$$v_1 = \sqrt{76.97 - \frac{1}{8} E_{PG} - \frac{1}{8} E_{PE}}$$

Para obtener la gráfica de la velocidad en función de la posición X de la masa "m" se debe reemplazar las expresiones de la energía potencial gravitatoria y la energía potencial elástica obtenidas anteriormente, en la expresión de la velocidad.

Las gráficas generadas serían.

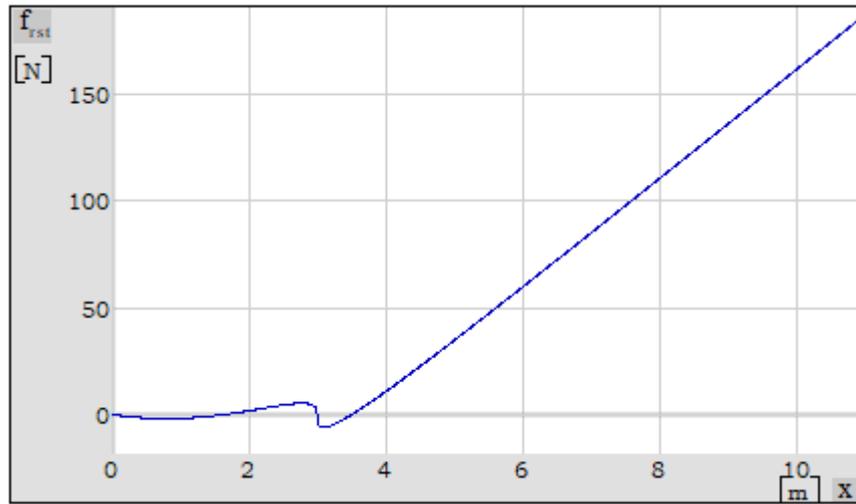


Figura 48 Gráfica de la fuerza del resorte, fuente propia

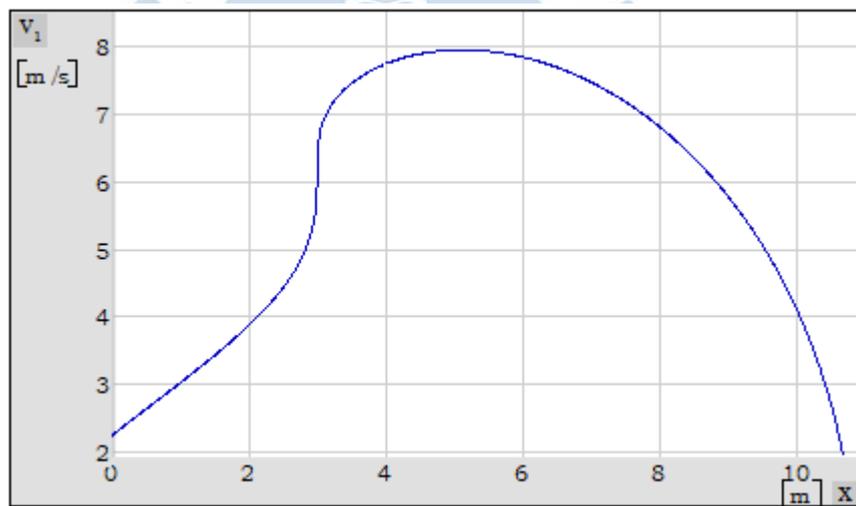


Figura 49 Gráfica de la velocidad total, fuente propia

## Apéndice H. Solucionario de ejercicios del Informe de Laboratorio 4

### Ejercicio 1 – Solucionario

Se pide diseñar el sistema de amortiguación de una motocicleta que inicia con una velocidad  $V_0$  cuya respuesta de vibración debe estar contenida entre dos curvas límite. (Trabajar en un ambiente sin gravedad) (Ver figura 50)

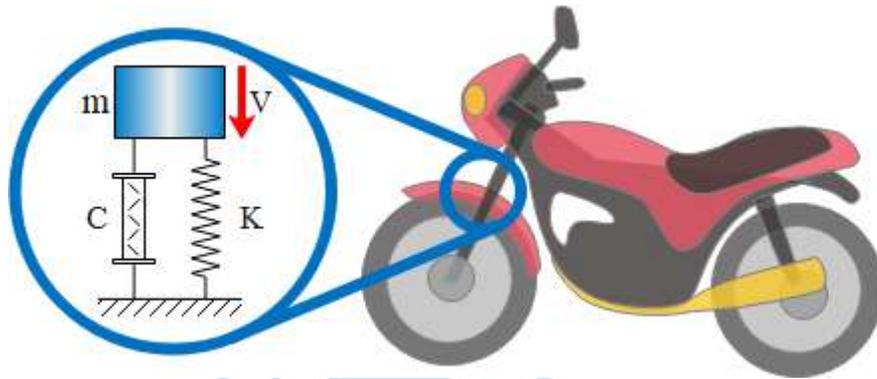


Figura 50 Ejercicio 1 – Informe de laboratorio 4, diseño de un sistema de amortiguación.

Solución (N=5)

Datos para N=5

$$m = 50.00 + 2.00 \cdot 5 = 60.00$$

$$a = 0.15 + 0.01 \cdot 5 = 0.20$$

$$b = 2.00 + 0.10 \cdot 5 = 2.50$$

$$c = -0.20 - 0.01 \cdot 5 = -0.25$$

$$\text{Lim} = \pm 0.20 \cdot 2.50^{-0.25 \cdot t}$$

La solución de este ejercicio es particular puesto que se espera que los valores de  $K$ ,  $C$ , y  $V_0$ ; sean calculados mediante tabulación utilizando el *software Working Model*. De tal forma encontrar valores que cumplan con todas las condiciones necesarias.

Valores tabulados para la solución serían.

$$k = 45.00 \text{ N/m}$$

$$c = 25.00 \text{ N}\cdot\text{s/m}$$

$$V_0 = 0.15 \text{ m/s}$$

Determinar los parámetros, que determinan la función de desplazamiento del bloque.

$$p = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{45.00}{60.00}} = 0.8660 \text{ rad/s}$$

$$\zeta = \frac{c}{2 \cdot m \cdot p} = \frac{25.00}{2 \cdot 60.00 \cdot 0.866} = 0.24$$

$$\omega_d = p \sqrt{1 - \zeta^2} = 0.866 \cdot \sqrt{1 - 0.24^2} = 0.8406 \text{ rad/s}$$

Entonces el valor de la constante A sería:

$$A = V_0 \cdot p = 0.15 \cdot 0.866 = 0.1299$$

Reemplazando los valores se obtiene la función respuesta del sistema.

$$x = A \cdot e^{-\zeta p t} \cdot \sin(\omega_d \cdot t)$$

$$x = 0.1299 \cdot e^{-0.24 \cdot 0.866 \cdot t} \cdot \sin(0.8406 \cdot t)$$

$$x = 0.1299 \cdot e^{-0.208 \cdot t} \cdot \sin(0.8406 \cdot t)$$

Gráfica respuesta que verifica los resultados.

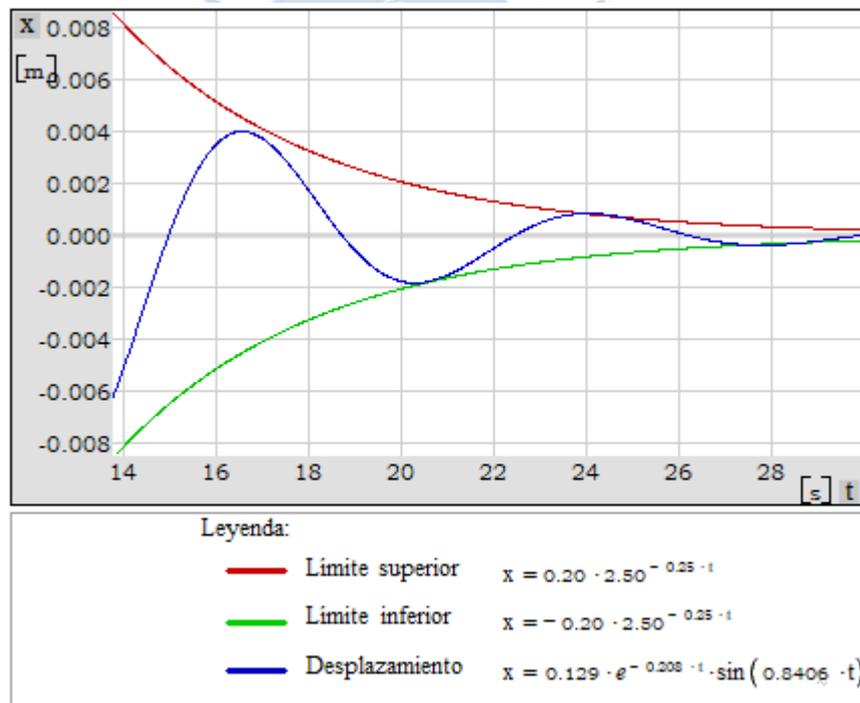
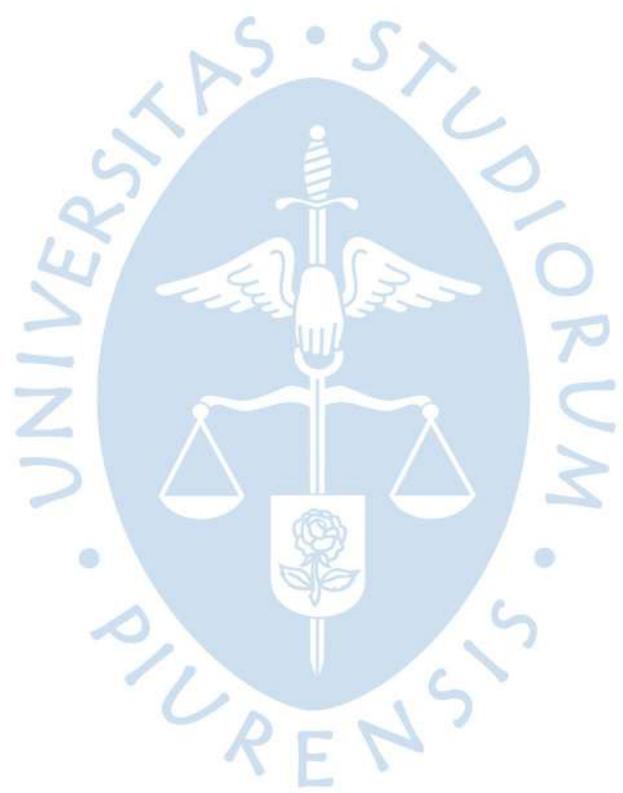


Figura 51 Respuesta de la vibración amortiguada del sistema.

**Anexos**





**Anexos A. Encuesta 1, ejercicios 1 y 2; laboratorio prospectivo 3**

Número de DNI \*

0 \_\_\_\_\_

Apellidos y Nombres \*

0 \_\_\_\_\_

Desarrollo del ejercicio 1 \*

	1	2	3	4
Considera que la calidad del ejercicio propuesto es:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Considera que la calidad de la solución manual es:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Calidad de la explicación del laboratorio	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
El ejercicio logra desarrollar los conceptos básicos del tema al cual pertenece	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

La simulación realizada ha contribuido a entender mejor el tema de trabajo y energía de partículas

La relación entre simulación WM2D y el desarrollo manual del ejercicio ¿Es adecuada?

Las instrucciones impartidas mediante el manual han sido suficientes para el aprendizaje de la herramienta WM2D

La exposición y simulación del ejercicio en WM2D han sido suficientes para comprender el ejercicio

Después del laboratorio se siente capaz de simular con WM2D ejercicios sobre Trabajo y energía

**Anexo B. Encuesta 2, ejercicios 1, 2 y 3; laboratorio prospectivo 4**

Desarrollo del ejercicio 3 (Vibración amortiguada) \*

	1	2	3	4
Considera que la calidad del ejercicio propuesto es:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Calidad de la explicación del laboratorio	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
El ejercicio logra desarrollar los conceptos básicos del tema al cual pertenece	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
La simulación realizada ha contribuido a entender mejor el tema de vibración amortiguada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>



### Anexo C. Replicación de una onda sísmica sobre roca y arena

En enero del año 2020, el autor de esta tesis, inició un proyecto de investigación titulado “Análisis dinámico para Estructuras Sismorresistentes de concreto armado utilizando *software Working Model 2D*”, actualmente dicho proyecto de investigación se encuentra en pausa.

El proyecto de investigación, mencionado en el anterior párrafo, consistía de dos partes: Vibración horizontal y Determinación de las derivas de un pórtico de concreto armado utilizando elementos de rigidez limitada.

#### Primera parte. Vibración horizontal

Esta sección se orientó al análisis del movimiento horizontal que genera el sistema biela–manivela (Ver figura 52) producto de distintas configuraciones de los parámetros geométricos (Radio “R” y brazo “L”) y dinámicos (Velocidad angular “ $\omega$ ” y coeficientes de rigidez “k” y “c”) con el fin de generar distintas formas de desplazamiento horizontal en el bloque  $m_1$ , el desplazamiento horizontal generado en  $m_1$  buscaba representar el movimiento horizontal que se genera en la base de una estructura ante distintos eventos, como: viento, oleaje, explosiones y sismo.

En el desarrollo del proyecto se logró generar desplazamientos horizontales en  $m_1$  de la forma:

- $x(t)=A*\sin(p*t)+B*\cos(p*t)$  para viento y oleaje.
- $x(t)=A*e^{-c*t}[\sin(p*t+\alpha)]$  para explosiones.

También se logró representar el movimiento horizontal de la base de una estructura producto de un sismo, para ello se utilizaron funciones compuestas “ $f(t)*g(t)$ ” con el fin de determinar el módulo de los elementos dinámicos “ $\omega$ ”, “k” y “c”, en función del tiempo.

Antes de la pausa del proyecto se logró determinar las configuraciones de los elementos dinámicos “ $\omega$ ”, “k” y “c” que permitieron representar el desplazamiento horizontal producto del sismo sobre roca y arena. Los resultados de la simulación realizada con *Working Model* se muestran figura 53.

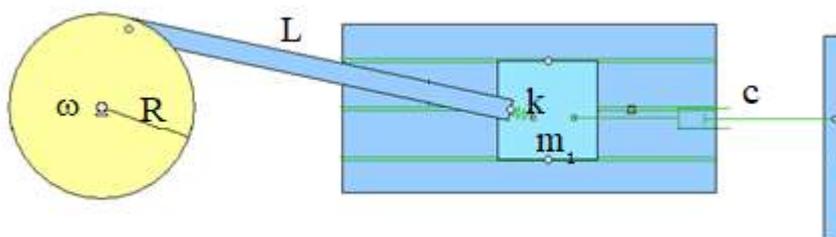


Figura 52 Sistema de vibración amortiguada periódica.

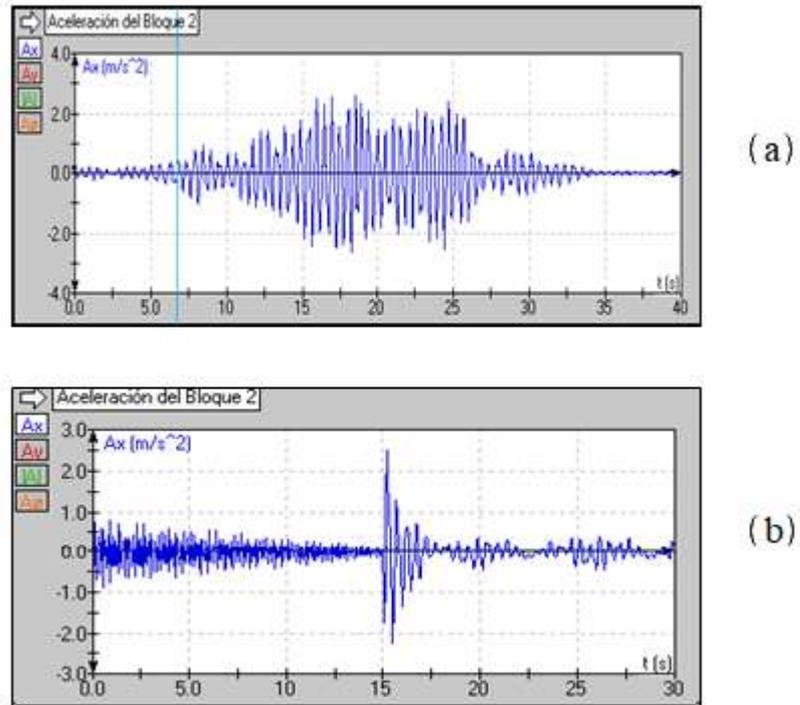
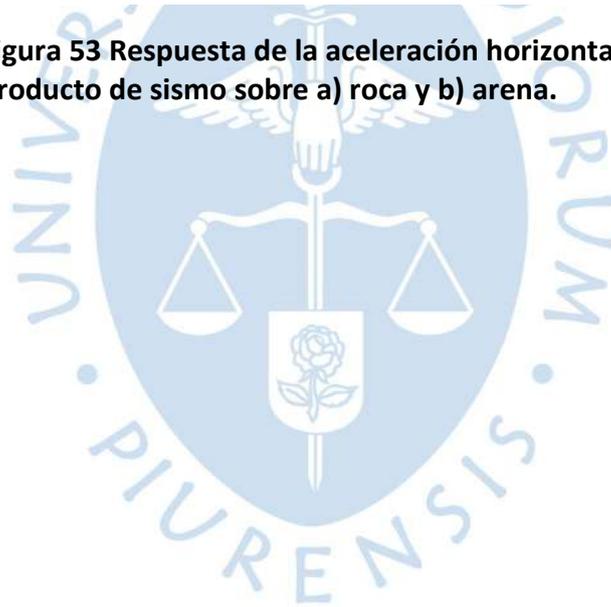


Figura 53 Respuesta de la aceleración horizontal de  $m_1$  producto de sismo sobre a) roca y b) arena.



## Anexo D. Aplicación de un modelo de onda sísmica sobre un pórtico de concreto, para el cálculo de derivas, utilizando elementos de rigidez controlada.

### Segunda parte. Determinación de las derivas de un pórtico de concreto armado utilizando elementos de rigidez limitada

La segunda parte del proyecto "Análisis dinámico para Estructuras Sismorresistentes de concreto armado utilizando *software Working Model 2D*" mencionado en el "Anexo C" consistía en analizar las derivas una estructura de concreto armado, ante los distintos casos de movimiento horizontal (viento, oleaje, explosiones y sismo) que fueron generadas en la primera parte del proyecto.

En la figura 162 se puede apreciar el perfil de una estructura de 3 niveles donde:

- $m_1$ : Corresponde al peso de una losa de concreto armado.
- $k_c$ : Son las columnas de concreto armado.
- B: Es el registro sísmico al cual está sometido el pórtico.
- A: Es un actuador que ejerce la fuerza sísmica (registrada en B) a la base del pórtico.
- D: Es un panel donde se introduce el valor de EI correspondiente al sistema de columnas de la estructura original.
- R: Es el panel de salida, donde se registra la posición horizontal del extremo derecho de cada losa de concreto para determinar la deriva de cada piso.

El sismo que se presenta en el recuadro "B" de la figura 54, fue diseñado con el fin de obtener un registro sísmico que posea la misma magnitud y duración que sismo ocurrido en la región de Piura el 09 de agosto del 2016, donde se determinó que la estructura excedía hasta en 80% las derivas permitidas por la norma E 030.

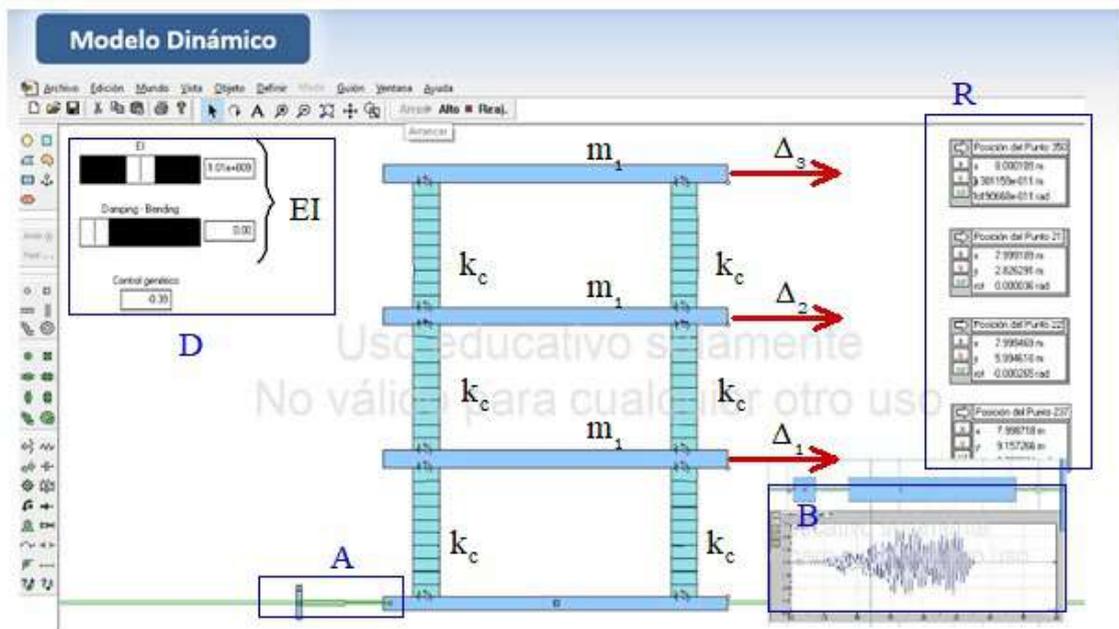


Figura 54 Sistema de pórtico de concreto ante acción sísmica en función del tiempo.