

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO



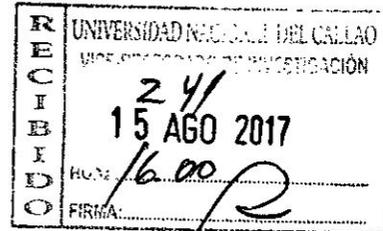
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA QUÍMICA**

DIC 2017



oulo81a
10:23



INFORME FINAL DEL TEXTO

**TEXTO: EXPERIMENTOS DE FÍSICA I USANDO EL
EQUIPO XPLOER GLX Y SUS SENSORES**

AUTOR: CÉSAR CABRERA ARISTA



PROFESOR COLABORADOR: RICHARD BELLIDO QUISPE



PERIODO DE EJECUCIÓN: Del 01-09-2015 al 31-08-2017

Resolución Rectoral No. 739-2015-R

**CALLAO-PERU
2017**



I.- ÍNDICE

	Página
ÍNDICE	1
Índice de Tablas	6
Índice de Figuras	9
Índice de Gráficas	17
II PRÓLOGO	19
III INTRODUCCIÓN	20
3.1 Importancia del texto	21
3.2 Justificación del texto	21
IV CUERPO DEL TEXTO O CONTENIDO	22
Capítulo I MEDICIONES	22
1.1 Sistemas de unidades	22
1.1.1 Materiales y equipos	24
1.1.2 Parte experimental	25
Actividad 1: Equivalencia onza – gramo	25
Actividad 2: Equivalencia libra – Newton	28
Actividad 3: Equivalencia inch – centímetro	32
1.2 Error en la medición	34
1.2.1 Medición	34
1.2.2 Medición directa	35
1.2.3 Medición indirecta	36
1.2.4 Materiales y equipos	37
1.2.5 Parte experimental	38

49

	Página
3.1.2 Parte experimental	99
Actividad 1: Fricción de hierro sobre aluminio	99
3.2 Leyes de Newton	112
3.2.1 Materiales y equipos	113
3.2.2 Parte experimental	114
Actividad 1: Relación aceleración vs fuerza	114
Actividad 2: Relación aceleración vs masa	119
3.2.3 Tercera ley de Newton	122
3.2.4 Materiales y equipos	122
3.2.5 Parte experimental	123
Actividad 3: Fuerzas de acción y reacción	123
3.3 Fuerza viscosa	125
3.3.1 Materiales y equipos	126
3.3.2 Parte experimental	127
Capítulo IV TRABAJO Y ENERGÍA	134
4.1 Trabajo y energía cinética,	134
4.1.1 Materiales y equipos	135
4.1.2 Parte experimental	136
4.2 Cambios de energía potencial	146
4.2.1 Materiales y equipos	146
4.2.2 Parte experimental	147
Actividad 1: Determinando la constante elástica	147
Actividad 2: Cambios de energía potencial	151




	Página
Capítulo V EQUILIBRIO	155
5.1 Primera condición de equilibrio	155
5.1.1 Materiales y equipos	155
5.1.2 Parte experimental	156
Actividad 1: Equilibrio de traslación	156
5.1.3 Segunda ley del equilibrio	163
5.1.4 Materiales y equipos	163
5.1.5 Parte experimental	164
Actividad 2: Equilibrio de rotación	164
5.2 Centro de masa.	171
5.2.1 Materiales y equipos	172
5.2.2 Parte experimental	173
Actividad 1: Centro de masa de la barra	173
Actividad 2: Centro de masa del disco	179
Capítulo VI COLISIONES	184
6.1 Colisión elástica,	184
6.1.1 Momento lineal de una partícula	184
6.1.2 Conservación del momento lineal	185
6.1.3 Materiales y equipos	185
6.1.4 Parte experimental	186
Actividad 1: Colisión de esferas livianas	186
Actividad 2: Colisión de esferas pesadas	192



	Página
6.2 Colisión inelástica	198
6.2.1 Materiales y equipos	200
6.2.2 Parte experimental	201
Actividad 1: Colisión inelástica de 1 ^{ra} clase	201
Capítulo VII MOMENTO ANGULAR	213
7.1 Momento angular	213
7.1.1 Conservación del momento angular	214
7.1.2 Materiales y equipos	214
7.1.3 Parte experimental	215
Actividad 1: Midiendo el momento angular	215
Actividad 2: Conservación del momento angular	220
7.2 Momento de inercia	221
7.2.1 Materiales y equipos	223
7.2.2 Parte experimental	223
Actividad 3: Determinación del momento de inercia	223
V REFERENCIALES	230
VI APÉNDICES	233
VII ANEXOS	239

HP



ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Capítulo I	
Tabla N° 1.1 Sistema internacional de unidades	22
Tabla N° 1.2 Sistema británico (ingles) de unidades	23
Tabla N° 1.3 Unidades de fuerza	23
Tabla N° 1.4 Masa de los cuerpos	26
Tabla N° 1.5 Equivalencia entre onza y gramo	28
Tabla N° 1.6 Peso de los cuerpos	30
Tabla N° 1.7 Equivalencia entre libra y Newton	31
Tabla N° 1.8 Dimensiones del bloque	32
Tabla N° 1.9 Equivalencia entre inch y centímetro	33
Tabla N° 1.10 Error sistemático de los equipos	38
Tabla N° 1.11 Medidas de las masas y sus errores	39
Tabla N° 1.12 Medidas de los pesos y sus errores	41
Tabla N° 1.13 Medida del volumen y masa del líquido	44
Tabla N° 1.14 Datos de presión y profundidad	49
Tabla N° 1.15 Datos de potencia y velocidad	49
Capítulo II	
Tabla N° 2.1 Datos de posición y tiempo de MRU	70
Tabla N° 2.2 Datos de velocidad y tiempo de MRU	71
Tabla N° 2.3 Datos de posición y tiempo de MRUV	72
Tabla N° 2.4 Datos de velocidad y tiempo de MRUV	73
Tabla N° 2.5 Mediciones de tiempo y posición del proyectil	93



	Página
Capítulo III	
Tabla N° 3.1 Coeficientes de fricción conocidos	97
Tabla N° 3.2 Mediciones de aceleración	104
Tabla N° 3.3 Datos de masa, fuerza y aceleración	117
Tabla N° 3.4 Datos de masa, fuerza y aceleración	120
Tabla N° 3.5 Mediciones de distancia y fuerzas	125
Tabla N° 3.6 Datos de fuerza viscosa	132
Capítulo IV	
Tabla N° 4.1: Medidas de velocidad y tiempo	141
Tabla N° 4.2: Cambios de energía cinética y trabajo	145
Tabla N° 4.3: Distancia, estiramiento y pesos	149
Tabla N° 4.4: Datos de masa, fuerza y estiramiento	153
Capítulo V	
Tabla N° 5.1: Medida de la fuerza en la barra	177
Tabla N° 5.2: Centro de masa de la barra	179
Tabla N° 5.3: Medida de la fuerza en el disco	182
Tabla N° 5.4: Centro de masa del disco	183
Capítulo VI	
Tabla N° 6.1: Velocidades en el choque elástico	188
Tabla N° 6.2: Velocidades en la colisión elástica	194
Tabla N° 6.3: Velocidades en el choque elástico	208
Capítulo VII	
Tabla N° 7.1 Masas y diámetros de los discos	216



	Página
Tabla N° 7.2 Datos de velocidad angular y masa	218
Tabla N° 7.3 Momento de inercia experimental	226
Tabla N° 7.4 Momento de inercia de la polea	227
Tabla N° 7.5 Momento de inercia del cilindro	230



ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Capítulo I	
Figura N° 1.1 Materiales para sistemas de unidades	24
Figura N° 1.2 Masa del cubo en gramos	25
Figura N° 1.3 Peso del cubo en onzas	26
Figura N° 1.4 Peso de la esfera en Newton	29
Figura N° 1.5 Peso de la esfera en libras	29
Figura N° 1.6 Longitud del bloque en cm e inch	32
Figura N° 1.7 Materiales para error de mediciones	38
Figura N° 1.8 Masa de la esfera	39
Figura N° 1.9 Arreglo para medir el peso	40
Figura N° 1.10 Longitud de la placa en cm	41
Figura N° 1.11 Longitud del cilindro	42
Figura N° 1.12 Menú principal del Xplorer	50
Figura N° 1.13 Ventana de tablas	50
Figura N° 1.14 Opciones de ventana de tablas	51
Figura N° 1.15 Creación de columna de datos	51
Figura N° 1.16 Columna de datos	52
Figura N° 1.17 Opciones de columnas de datos	52
Figura N° 1.18 Configuración de columna de datos	53
Figura N° 1.19 Cambios en columna de datos	53
Figura N° 1.20 Dígitos de columna de datos	54
Figura N° 1.21 Datos de presión vs profundidad	54



	Página
Figura N° 1.22 Opciones de eje vertical	55
Figura N° 1.23 Opciones de eje horizontal	55
Figura N° 1.24 Ventana de herramientas gráficas	56
Figura N° 1.25 Datos de potencia vs velocidad	58
Figura N° 1.26 Opciones del eje vertical	58
Figura N° 1.27 Datos de potencia	59
Figura N° 1.28 Ventana de calculadora	60
Figura N° 1.29 Opciones de funciones	60
Figura N° 1.30 Opciones de función log()	61
Figura N° 1.31 Creación de nuevas variables	61
Figura N° 1.32 Opciones de eje vertical	62
Figura N° 1.33 Configuración de eje vertical	62
Figura N° 1.34 Configuración de eje horizontal	63
Figura N° 1.35 Opciones de herramientas	64
Capítulo II	
Figura N° 2.1: Materiales para velocidad y aceleración	67
Figura N° 2.2: Ancho de banda	68
Figura N° 2.3: Montaje para velocidad y aceleración	69
Figura N° 2.4: Arreglo para medir la aceleración	72
Figura N° 2.5: Equipos para caída libre	76
Figura N° 2.6: Ventana de sensores	77
Figura N° 2.7: Configuración de fotopuerta	77
Figura N° 2.8: Medida del ancho de bandas	78



44

	Página
Figura N° 2.9: Ventana de posición vs tiempo	78
Figura N° 2.10: Montaje de caída libre	79
Figura N° 2.11: Masa de lámina obturadora	79
Figura N° 2.12: Inicio de toma de datos	80
Figura N° 2.13: Ventana de configuración	81
Figura N° 2.14: Ventana de herramientas	82
Figura N° 2.15: Arreglo del movimiento del proyectil	84
Figura N° 2.16: Equipos para movimiento del proyectil	85
Figura N° 2.17: diámetro del proyectil	86
Figura N° 2.18: opciones de configuración	86
Figura N° 2.19: Configuración de fotopuerta	87
Figura N° 2.20: Configuración de sensor de fuerza	88
Figura N° 2.21: Montaje de señor de fuerza	89
Figura N° 2.22: Montaje para movimiento del proyectil	89
Figura N° 2.23: Medida de velocidad y tiempo	90
Figura N° 2.24: Configuración de graficas	91
Figura N° 2.25: Medida de posición X1	92
Figura N° 2.26: Medida de posición Y1	92
Figura N° 2.27: Configuración de herramientas	94
Capítulo III	
Figura N° 3.1 Movimiento con rozamiento	98
Figura N° 3.2 Equipos para fuerza de fricción	99
Figura N° 3.3 Masa del móvil	100

	Pagina
Figura N° 3.4 Superficies deslizantes	100
Figura N° 3.5 Sensores disponibles en Xplorer	101
Figura N° 3.6 Configuración de sensor	101
Figura N° 3.7 Configuración de fotopuerta	102
Figura N° 3.8 Montaje para fricción	102
Figura N° 3.9 Medida de aceleración del móvil	103
Figura N° 3.10 Nueva aceleración del móvil	104
Figura N° 3.11 Columna de datos	105
Figura N° 3.12 Configuración de columnas	105
Figura N° 3.13 opciones de configuración	106
Figura N° 3.14 Configuración de datos	106
Figura N° 3.15 Configuración final	107
Figura N° 3.16 Configuración de columna 2	108
Figura N° 3.17 Datos para gráfica	108
Figura N° 3.18 Configuración de eje vertical	109
Figura N° 3.19 Datos de aceleración	109
Figura N° 3.20 Configuración de eje horizontal	110
Figura N° 3.21 Equipos para 2 ^{da} ley de Newton	114
Figura N° 3.22 Arreglo experimental	115
Figura N° 3.23 Configuración de fotopuerta	116
Figura N° 3.24 Medida de la masa	117
Figura N° 3.25 Materiales para la 3 ^{ra} ley de Newton	122
Figura N° 3.26 Arreglo experimental	123

HP



	Página
Figura N° 3.27 Liga entre los sensores	124
Figura N° 3.28 Fuerza de acción y reacción	124
Figura N° 3.29 Materiales para fuerza viscosa	127
Figura N° 3.30 Masa de la esfera	127
Figura N° 3.31 Montaje experimental	128
Figura N° 3.32 Ventana de configuración	129
Figura N° 3.33 Configuración del sensor	129
Capítulo IV	
Figura N° 4.1 Materiales para trabajo y energía	135
Figura N° 4.2 Ventana de sensores del Xplorer	136
Figura N° 4.3 Configuración de fotopuerta	137
Figura N° 4.4 Acho de banda de lámina obturadora	137
Figura N° 4.5 Menú principal del Xplorer	138
Figura N° 4.6 Montaje de trabajo y energía	138
Figura N° 4.7 Masa del móvil	139
Figura N° 4.8 Inicio de toma de datos	139
Figura N° 4.9 Medida de velocidad 1 y tiempo	140
Figura N° 4.10 Medida de velocidad 2 y tiempo	140
Figura N° 4.11 Equipos de energía potencial	147
Figura N° 4.12 Arreglo experimental	148
Figura N° 4.13 Mediciones de peso y deformación	149
Figura N° 4.14 Arreglo experimental de energía potencial	152




	Página
Capítulo V	
Figura N° 5.1 Equipos para la 1ra ley del equilibrio	156
Figura N° 5.2 Arreglo experimental N° 1	157
Figura N° 5.3 Medición de las tensiones	157
Figura N° 5.4 Medición de los ángulos	158
Figura N° 5.5 Descomposición de las fuerzas	158
Figura N° 5.6 Arreglo experimental N° 2	159
Figura N° 5.7 Medición de las tensiones	160
Figura N° 5.8 Descomposición de las fuerzas	160
Figura N° 5.9 Arreglo experimental N° 3	161
Figura N° 5.10 Medida de la fuerza 2	162
Figura N° 5.11 Descomposición de las fuerzas	162
Figura N° 5.12 Materiales para equilibrio de rotación	164
Figura N° 5.13 Masa de la barra	165
Figura N° 5.14 Arreglo de la 2 ^{da} ley del equilibrio	165
Figura N° 5.15 Calibración del sensor de fuerza	166
Figura N° 5.16 Medida de la fuerza F1	166
Figura N° 5.17 Medida de la fuerza F2	167
Figura N° 5.18 Diagrama de cuerpo libre N° 1	167
Figura N° 5.19 Arreglo experimental 2	169
Figura N° 5.20 Diagrama de cuerpo libre N° 2	170
Figura N° 5.21 Centro de masa de placas simétricas	171
Figura N° 5.22 Barra en equilibrio de rotación	172

HP



	Página
Figura N° 5.23 Materiales para centro de masa	173
Figura N° 5.24 Masa de la barra	174
Figura N° 5.25 Ventana del sensor de fuerza	174
Figura N° 5.26 Nivelación horizontal	175
Figura N° 5.27 Medida de la fuerza F1	176
Figura N° 5.28 Ventana para cambio de fuerza	176
Figura N° 5.29 Medida de la fuerza F2	177
Figura N° 5.30 Arreglo para medir el centro de masa	179
Figura N° 5.31 Medida de la fuerza F1	180
Figura N° 5.32 Ventana para cambio a F2	180
Figura N° 5.33 Medida de la fuerza F2	181
Capítulo VI	
Figura N° 6.1 Materiales y equipos	186
Figura N° 6.2 Montaje de choque elástico 1	187
Figura N° 6.3 Rapidez en el choque elástico	188
Figura N° 6.4 Montaje de choque elástico 2	193
Figura N° 6.5 Velocidades en el choque	194
Figura N° 6.6 Materiales para choque inelástico	201
Figura N° 6.7 Masa de las esferas	202
Figura N° 6.8 Medida del diámetro	202
Figura N° 6.9 Arreglo experimental	203
Figura N° 6.10 Sensores del Xplorer	204
Figura N° 6.11 Configuración de fotopuerta	204

	Página
Figura N° 6.12 Configuración final	205
Figura N° 6.13 Inicio de toma de datos	206
Figura N° 6.14 Datos de velocidades en choque 1	207
Figura N° 6.15 Datos de velocidades en choque 2	207
Capítulo VII	
Figura N° 7.1 Materiales para momento angular	215
Figura N° 7.2 Masa de los discos	215
Figura N° 7.3 Diámetro de los discos	216
Figura N° 7.4 Arreglo para medir momento angular	217
Figura N° 7.5 Agregando discos al sistema	217
Figura N° 7.6 Medida de la velocidad angular	218
Figura N° 7.7 Masa del disco	223
Figura N° 7.8 Medida de diámetro del disco	224
Figura N° 7.9 Diámetro de la polea	224
Figura N° 7.10 Arreglo para la 3 ^{ra} actividad	225
Figura N° 7.11 Masa de los cilindros	228
Figura N° 7.12 Longitud de los cilindros	228
Figura N° 7.13 Diámetro del cilindro	229
Figura N° 7.14 Arreglo experimental	229

47



INDICE DE GRÁFICAS

	Página
Capítulo I	
Grafica N° 1.1 Función lineal de Y vs X	47
Grafica N° 1.2 Función potencial de Y vs X	48
Grafica N° 1.3 Presión vs profundidad	56
Grafica N° 1.4 Ajuste lineal de P(kPa) vs H(m)	57
Grafica N° 1.5 Datos de potencia vs velocidad	59
Grafica N° 1.6 $\log(P)$ vs $\log(v)$	63
Grafica N° 1.7 Ajuste de $\log(P)$ vs $\log(v)$	64
Capítulo II	
Gráfica N° 2.1: Posición vs tiempo de un MRU	69
Gráfica N° 2.2: Ajuste lineal de posición	70
Gráfica N° 2.3: Velocidad vs tiempo de un MRU	71
Gráfica N° 2.4: Posición vs tiempo de un MRUV	73
Gráfica N° 2.5: Velocidad vs tiempo de un MRUV	74
Gráfica N° 2.6: Ajuste lineal de velocidad	74
Gráfica N° 2.7: Posición vs tiempo en caída libre	80
Gráfica N° 2.8: Velocidad vs tiempo en caída libre	81
Grafica N° 2.9: Ajuste lineal de la velocidad	83
Gráfica N° 2.10: Velocidad en la compuerta	87
Gráfica N° 2.11: Tiempo de impacto	91
Gráfica N° 2.12: Posición horizontal vs tiempo	94
Gráfica N° 2.13: Ajuste lineal de posición	95

	Página
Gráfica N° 2.14: Posición vertical vs tiempo	96
Capítulo III	
Gráfica N° 3.1: Aceleración versus fuerza	110
Gráfica N° 3.2: Ajuste lineal la recta	111
Gráfica N° 3.3: Fuerza versus aceleración	118
Gráfica N° 3.4: Ajuste lineal de la fuerza	118
Gráfica N° 3.5: Aceleración versus masa	120
Gráfica N° 3.6: Ajuste lineal de la aceleración	121
Gráfica N° 3.7: Velocidad versus tiempo	130
Gráfica N° 3.8: Velocidad en medio viscoso	130
Gráfica N° 3.9: Velocidad terminal	131
Gráfica N° 3.10: Fuerza viscosa	133
Capítulo IV	
Gráfica N° 4.1 Peso versus estiramiento	150
Gráfica N° 4.2 Ajuste lineal de peso vs estiramiento	150
Gráfica N° 4.3 Fuerza elástica máxima	152
Capítulo VII	
Gráfica N° 7.1 Masa versus recíproco de velocidad angular	219
Gráfica N° 7.2 Ajuste lineal de la recta	219



II.- PRÓLOGO

El propósito del presente trabajo de investigación fue la elaboración de un texto de experimentos de Física I usando el equipo Xplorer GLX adquiridos por la facultad de ingeniería química de la UNAC, con experimentos resueltos y que sirva de complemento a la formación brindada en el laboratorio y como una orientación en el estudio y reforzamiento de las enseñanzas brindadas por el profesor, lo cual significará un valioso aporte para los estudiantes de ciencias e ingeniería y en particular para los alumnos de la Facultad de Ingeniería Química.

La metodología utilizada para la elaboración del “Texto: EXPERIMENTOS DE FÍSICA I USANDO EL EQUIPO XPLOERER GLX Y SUS SENSORES”, se sustenta en 20 años de experiencia como profesor titular de las asignaturas de Física. La didáctica que el autor ha venido utilizando y brindando a los estudiantes de las asignaturas de Física durante muchos años ha sido mejorado a través del tiempo, incorporando cada vez temas actualizados sobre la materia, lo que redundará en el beneficio de los alumnos que cursan las asignaturas de Física y que ha permitido al autor definir el contenido del presente texto.

En general se ha logrado elaborar un texto de experimentos de Física I, sencillos y prácticos, de fácil entendimiento reproducción usando el equipo Xplorer y sus sensores electrónicos que dirigido a los estudiantes que inician el pre-grado de la carrera de ciencias e ingeniería.

CÉSAR CABRERA ARISTA



III.- INTRODUCCIÓN

El mercado de literatura científica en Lima carece de material bibliográfico de nivel universitario sobre experimentos de física I y es prácticamente nulo el material bibliográfico sobre experimentos de física I con uso del equipo Xplorer y sus sensores electrónicos. Los pocos textos de experimentos de física I y de experimentos de laboratorio que se utilizan en los claustros universitarios están desactualizados, no han sido revisados, corregidos y mejorados, como resultado de esto la mayoría de los estudiantes se mecanizan con experimentos de física con más de 4 décadas de antigüedad y no contemplan el uso y ayuda de la tecnología electrónica actual e importante en la solución de problemas reales, lo que no permite a los estudiantes novatos comprender los aspectos fundamentales, prácticos, sencillos y de utilidad de los principios fundamentales de la física en la solución de problemas reales.

Sin embargo en instituciones de enseñanza universitaria de gran prestigio en los Estados Unidos y en América Latina, por el contrario privilegian el uso de equipos y sensores electrónicos en aplicaciones experimentales, prácticas y experiencias de laboratorio, lo que permite a los estudiantes de ciencias e ingeniería conocer y manejar equipos electrónicos con tecnología actual en la solución de problemas reales y así cumplir con los propósitos de una adecuada enseñanza y formación profesional.

Durante los años que se viene desarrollando la asignatura de Física I, se ha podido observar en la facultad de ingeniería química una carencia de material bibliográfico y de textos sobre experimentos de física y menos con el uso del equipo Xplorer y sus sensores electrónicos, equipos con los que cuenta la facultad de ingeniería química y que permita a los estudiantes un aprendizaje adecuado y una mejor formación profesional. Por lo que ante lo mencionado surge la siguiente pregunta: ¿Es posible desarrollar un texto universitario de experimentos de laboratorio de física I usando el equipo Xplorer GLX y sus sensores



electrónicos, que permita aplicar los principios fundamentales de la física clásica en las soluciones prácticas de problemas reales, con el propósito de una mejor orientación y formación profesional de los estudiantes del pre-grado?

3.1.- Importancia del texto

Este texto es importante porque que sirve como material de consulta en las aplicaciones prácticas de las leyes físicas y sirve de introducción para la elaboración de experimentos de Física I usando el equipo Xplorer GLX y sus sensores electrónicos. Además de ser una herramienta útil que constituye la conexión entre la actividad experimental y leyes fundamentales de la física, adquiridas teóricamente en las asignaturas de formación básica de Ciencias e Ingeniería.

3.2.- Justificación del texto

El texto se justifica por la necesidad de contar con bibliografía que sirva como material de estudio para el desarrollo de los experimentos de Física I usando el equipo Xplorer GLX y sus sensores electrónicos con el propósito de lograr una adecuada enseñanza y contribuir de esta manera con la formación profesional del estudiante universitario de Ciencias e Ingeniería. Este texto, pretende ser un medio complementario a la formación que se brinda en el aula y que sirva como orientación en el estudio y reforzamiento de las enseñanzas brindadas por el profesor, lo que significará un valioso aporte para los estudiantes universitarios y porque no decir para los alumnos de Ingeniería Química.



IV CUERPO DEL TEXTO O CONTENIDO

CAPÍTULO I MEDICIONES

Cuando una propiedad física se describe empleando un número real acompañada de su respectiva unidad de medida, dicha propiedad queda bien establecida y de esta manera se tiene una cantidad física.

1.1 Sistemas de unidades

En general la magnitud de la medida de una cantidad física depende del sistema de unidades en la que se encuentren calibrados los instrumentos que se emplearan al efectuar la medición de una propiedad física. Para propósitos de medir una cantidad física existe el sistema internacional de pesos y medidas [1], conocido como sistema internacional de unidades (SI) que reconoce siete cantidades físicas fundamentales, que se muestran en la tabla.

**TABLA N°1.1
SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES**

Magnitud Física	Unidad	Símbolo	Subunidad	Símbolo
Longitud	Metro	M	centímetro	cm
Masa	Kilogramo	Kg	Gramo	g
tiempo	Segundo	S	...	...
Temperatura	Kelvin	K	...	...
Corriente Eléctrica	Ampere	A	mili-Ampere	mA
Cantidad de Sustancia	Mol	Mol	...	...
Intensidad Luminosa	Candela	Cd	...	...

Fuente: Elaboración propia



En los países de habla inglesa tal como el Reino Unido (UK), los Estados Unidos de América (USA), etc. es de uso común el sistema británico o inglés [2].

**TABLA N° 1.2
SISTEMA BRITÁNICO (INGLÉS) DE UNIDADES**

Magnitud Física	Unidad	Símbolo	Subunidad	Símbolo
Longitud	foot (pie)	Ft	Inch (pulgada)	in
Masa	Slug	Slug	...	...
Tiempo	Segundo	S	...	...
Temperatura	Fahrenheit	°F	..	...
Corriente Eléctrica	Ampere	A	mili-Ampere	mA
Cantidad de Sustancia	Mol	Mol	...	...
Intensidad Luminosa	Candela	Cd	...	...

Fuente: Elaboración propia

En los países de habla inglesa es común medir la fuerza de atracción gravitacional que ejerce la tierra sobre un cuerpo (esto es su peso) y no medir su masa. Por lo que existe el sistema británico o sistema inglés de pesos y medidas [3]. Así pues en la Tabla N° 1.3 se tiene las unidades de diversos sistemas de unidades para medir el peso de un cuerpo, esto es:

**TABLA N° 1.3
UNIDADES DE FUERZA**

Sistema	Magnitud	Unidad	Símbolo	Subunidad	Símbolo
Inglés	Fuerza	libra	lb	Onza	Oz
Internacional	Fuerza	Newton	N	Dina	dina
Técnico	Fuerza	Kilogramo Fuerza	Kg-f	Gramo Fuerza	g-f

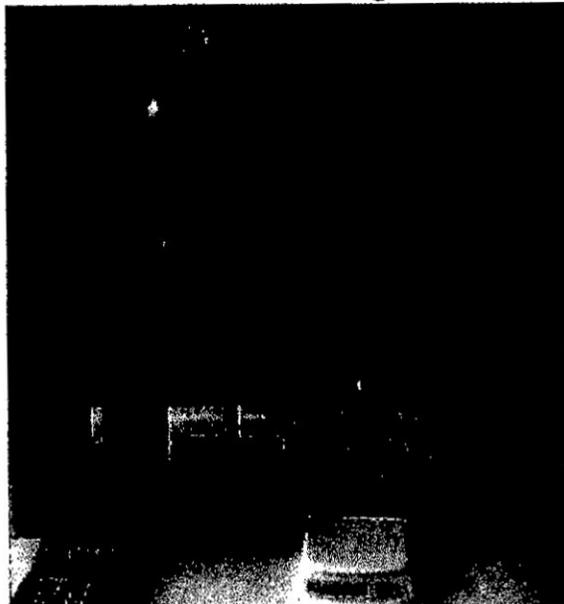
Fuente: Elaboración propia

1.1.1 Materiales y equipos

Para el desarrollo de este experimento de sistemas de unidades, se requiere de los equipos y materiales que se muestran en la Figura N°1.1 y se detalla a continuación:

- Un Xplorer GLX y su adaptador de corriente (cargador)
- Un sensor de fuerza
- Balanza analógica de 1kg,
- Balanza digital de 2.0 lb
- Regla metálica, de 1.00 m (SI) y de 40ft (SB)
- Soporte universal con pinza y nuez
- Un bloque de madera
- Un cilindro de madera
- Una esfera de madera
- Tres pequeños cilindros de madera
- Un cubo pequeño, también de madera.

**FIGURA N° 1.1
MATERIALES Y EQUIPOS**



Fuente: Foto en Laboratorio de Física FIQ

HP

1

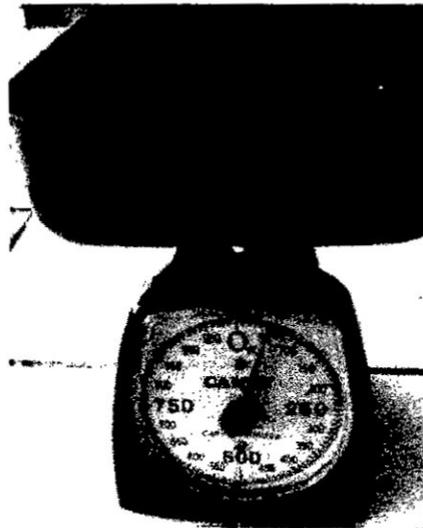
1.1.2 Parte Experimental

Actividad 1: Equivalencia onza - gramo

El experimento de sistemas de unidades empieza con la medición de las masas del cubo y de los cilindros de madera usando la balanza analógica, de color verde, que esta calibrada para medir cada 5.0g hasta $1000.0g = 1.0kg$, además se debe recordar que en el sistema internacional de pesos y medidas $1.0g = 0.001kg$.

La Figura N° 1.2 muestra la medición de la masa del primer cuerpo (un cubo de madera), este valor esta anotado en la Tabla N° 1.4. Los resultados de medir la masa de cada uno de los otros cuerpos y en orden creciente se presentan en la tabla N° 04.

**FIGURA N° 1.2
MEDIDA DE LA MASA DEL CUBO**



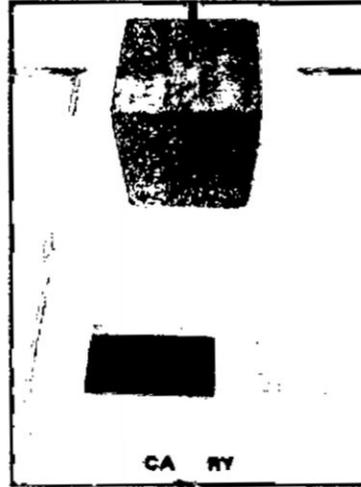
Fuente: Foto en Laboratorio de Física FIQ

A continuación se vuelve a medir la masa de los cuerpos anteriores pero usando la balanza de color blanco, que está calibrada en onzas (Oz), como se aprecia en la Figura N° 1.3, recuerde que 1.0 Oz es una unidad de peso del sistema británico ó sistema inglés.

LJP

[Handwritten signature]

**FIGURA N° 1.3
MEDIDA DE LA MASA DEL CUBO**



Fuente: Foto en Laboratorio de Física FIQ

Los resultados para las demás mediciones de las masas de los cuerpos, en orden creciente, se presentan en la Tabla N° 1.4.

**TABLA N° 1.4
MASA DE LOS CUERPOS.**

Cuerpos	Cubo	Cilindro 1	Cilindro 2	Cilindro 3
Masa (g)	49.1	56.8	120.1	154.2
Masa (Oz)	1.730	2.006	4.230	5.435

Fuente: Elaboración propia

De los resultados de la Tabla N° 1.4 podemos determinar la relación de equivalencia entre la unidad Onzas del sistema inglés y la unidad gramos del sistema internacional, esto es a partir de una simple regla de tres con los datos ya conocidos. Así pues, con los datos de la Tabla N° 1.4 para el cubo podemos establecer lo siguiente:

$$1.732\text{Oz} \rightarrow 49.1 \text{ g}$$

$$1.0 \text{ Oz} \rightarrow X$$

HP

[Handwritten signature]

De la cual se obtiene entonces:

$$X = \frac{49.1 \text{ g} \times 1.00 \text{ Oz}}{1.730 \text{ Oz}} = 28.38 \text{ g}$$

De la misma manera con los otros datos de masa de los otros cuerpos, mostrados en la Tabla N° 1.4, también se puede obtener el valor de la masa en gramos que le corresponde a 1.0 Oz del sistema inglés. Así para los datos del cilindro 1, se puede establecer lo siguiente:

$$2.006 \text{ Oz} \rightarrow 56.8 \text{ g}$$

$$1.00 \text{ Oz} \rightarrow X$$

De la cual también se obtiene:

$$X = \frac{56.8 \text{ g} \times 1.00 \text{ Oz}}{2.006 \text{ Oz}} = 28.31 \text{ g}$$

Para los datos del cilindro 2, se puede establecer lo siguiente:

$$4.230 \text{ Oz} \rightarrow 120.1 \text{ g}$$

$$1.00 \text{ Oz} \rightarrow X$$

De la cual también se obtiene:

$$X = \frac{120.1 \text{ g} \times 1.00 \text{ Oz}}{4.230 \text{ Oz}} = 28.39 \text{ g}$$

Para los datos del cilindro 3, se puede establecer lo siguiente:

$$5.435 \text{ Oz} \rightarrow 154.2 \text{ g}$$

$$1.00 \text{ Oz} \rightarrow X$$

De la cual también se obtiene:

$$X = \frac{154.2 \text{ g} \times 1.00 \text{ Oz}}{5.435 \text{ Oz}} = 28.37 \text{ g}$$

Así que, después de efectuar las operaciones respectivas a los valores de las masas de los otros cuerpos, los cuatro resultados obtenidos se muestran a continuación en la siguiente tabla:

TABLA N° 1.5
EQUIVALENCIA ONZA - GRAMO

Unidad	Resultado 1	Resultado 2	Resultado 3	Resultado 4	Promedio
Oz	28.38 g	28.31 g	28.39 g	28.37 g	28.35 g

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla N° 1.5, podemos ver cuatro resultados similares o cercanos al mismo valor. Por lo tanto a una onza (de peso) del sistema inglés le corresponde una masa de 28.35g del sistema internacional. Esto es:

$$1.00 \text{ Oz} = 28.35 \text{ g}$$

De este resultado podemos determinar el peso en unidades del sistema internacional que le corresponde a 1.0 Oz de peso del sistema inglés, esto es:

$$\begin{aligned} 1.0 \text{ Oz} &= 28.35 \text{ g} \times 10^{-3} \times 10^3 \times 9.8 \text{ m/s}^2 \\ &= 0.02835 \times 9.8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 \end{aligned}$$

$$1.0 \text{ Oz} = 0.278 \text{ N}$$

Actividad 2: Equivalencia libra - Newton

En la siguiente parte experimental, usamos el sensor de fuerza de 50.0N de máxima medida, conectado al Xplorer GLX, ambos de la marca PASCO [4] y luego se procede a medir el peso de los cuatro cuerpos grandes: la esfera, el bloque, el cilindro y la placa. A continuación la Figura N° 1.4 nos ilustra cómo se mide el peso de la esfera con el sensor de fuerza y el Xplorer GLX.

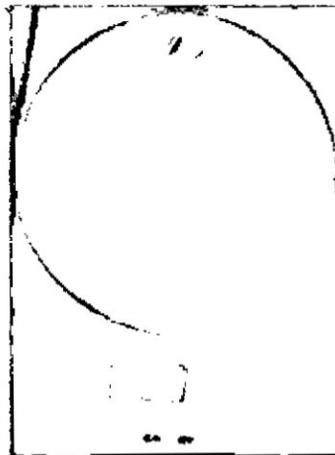
**FIGURA N° 1.4
MIDIENDO EL PESO DE LA ESFERA.**



Fuente: Foto en Laboratorio de Física FIQ

A continuación se vuelve a medir la masa de los mismos cuerpos anteriores pero usando la balanza de color blanco que ya está calibrada en libras (lb), como se aprecia en la Figura N° 1.5, esto es:

**FIGURA N° 1.5
PESO DE LA ESFERA EN LIBRAS**



Fuente: Foto en Laboratorio de Física FIQ

Los resultados de la medición (en orden creciente) se presentan en la Tabla N° 1.6 en la siguiente página.

[Handwritten signature]

**TABLA N° 1.6
PESO DE LOS CUERPOS.**

Cuerpos	Esfera	Cilindro 1	Cilindro 2	Cilindro 3
Peso (N)	4.883	5.088	5.906	7.440
Peso (lb)	1.1062	1.1375	1.328	1.659

Fuente: Elaboración propia

De los resultados de la Tabla N° 1.6 podemos determinar la relación de equivalencia entre la unidad de peso, del sistema inglés, la libra (1lb) y la unidad de peso el Newton (1N) del sistema internacional [2], a partir de una simple regla de tres con los datos ya conocidos. Así pues para la esfera podemos establecer lo siguiente:

$$1.1062\text{lb} \rightarrow 4.883 \text{ N}$$

$$1.0 \text{ lb} \rightarrow X$$

De la cual se obtiene entonces:

$$X = \frac{4.883 \text{ N} \times 1.00 \text{ lb}}{1.106 \text{ lb}} = 4.415 \text{ N}$$

De la misma manera con los otros datos de la Tabla N° 1.6 también se puede obtener el valor del peso en Newton que le corresponde a 1.0 lb del sistema inglés.

Así para las siguientes mediciones, se puede establecer lo siguiente:

$$1.1375 \text{ Oz} \rightarrow 5.088\text{N}$$

$$1.00 \text{ lb} \rightarrow X$$

De la cual también se obtiene:

$$X = \frac{5.088 \text{ N} \times 1.00 \text{ lb}}{1.1375 \text{ lb}} = 4.473 \text{ N}$$

Para la medición del siguiente cuerpo, se puede establecer lo siguiente:

$$1.328 \text{ lb} \rightarrow 5.906\text{N}$$

$$1.00 \text{ lb} \rightarrow X$$




De la cual también se obtiene:

$$X = \frac{5.906 \text{ N} \times 1.00 \text{ lb}}{1.328 \text{ lb}} = 4.447 \text{ N}$$

Para la medición del último cuerpo de la Tabla N° 1.6, se puede establecer lo siguiente:

$$1.6593 \text{ lb} \rightarrow 7.441 \text{ N}$$

$$1.00 \text{ lb} \rightarrow X$$

De la cual también se obtiene:

$$X = \frac{7.440 \text{ N} \times 1.00 \text{ lb}}{1.6593 \text{ lb}} = 4.4838 \text{ N}$$

Así pues después de realizar las operaciones respectivas, los cuatro resultados obtenidos se muestran a continuación en la siguiente Tabla N° 1.7:

TABLA N° 1.7
EQUIVALENCIA LIBRA (lb) -NEWTON (N)

Unidad	Resultado 1	Resultado 2	Resultado 3	Resultado 4	Promedio
1.00 lb	4.415N	4.473N	4.447N	4.483N	4.454N

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla N° 1.7 podemos ver cuatro resultados cercanos al mismo valor y el valor promedio, de esto a una libra de peso del sistema inglés le corresponde un peso de 4.454N del sistema internacional. Esto es:

$$1.00 \text{ lb} = 4.454 \text{ N}$$

De este resultado podemos determinar el valor de la masa que le corresponde al valor de una 1.0 lb de peso (del sistema inglés) [3], dividiendo el peso entre la magnitud g de la gravedad, esto es:

$$m = 1.0 \text{ lb} / g = 4.454\text{N} / 9.8\text{m/s}^2$$

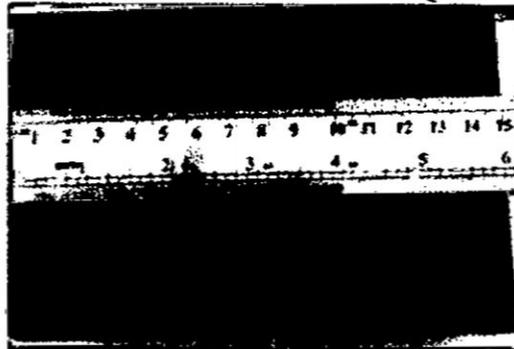
$$= 0.454 \text{ kg}$$

1.0 lb → 0.454kg

Actividad 3: Equivalencia pulgada - centímetro

Tomamos la regla metálica y medimos, en centímetros y en pulgadas (inch), el largo, el ancho y el espesor (dimensiones X, Y, Z) del bloque de madera, tal como se ilustra en la Figura N° 1.6, esto es:

**FIGURA N° 1.6
DIMENSIONES DEL BLOQUE**



Fuente: Foto en Laboratorio de Física FIQ

Los resultados para las otras dimensiones (lados) de la tabla se muestran en la Tabla N° 1.8, esto es:

**TABLA N° 1.8
DIMENSIONES DEL BLOQUE**

Dimensiones	X	Y	Z
Centímetros	15.10	9.85	4.95
Inch	5 + 15/16	3 + 7/8	1 + 15/16

Fuente propia: Resultados de las mediciones

HP

De las medidas que se muestran en la Tabla N° 1.6, se puede establecer la relación de equivalencia entre la unidad de medida de 1.0 cm y la unidad de medida 1.0 inch mediante una simple regla de tres, esto es:

$$\begin{aligned} 5 \text{ in} + 15/16 \text{ in} &= 95/16 \text{ in} \rightarrow 15.10 \text{ cm} \\ 1.0 \text{ in} &\rightarrow X \end{aligned}$$

De la cual también se obtiene:

$$X = \frac{15.10 \text{ cm} \times 1.0 \text{ in}}{\frac{95}{16} \text{ in}} = 2.543 \text{ cm}$$

Con la siguiente medida que se muestran en la Tabla N° 1.6, se puede establecer:

$$\begin{aligned} 3 \text{ in} + 7/8 \text{ in} &= 31/8 \text{ in} \rightarrow 9.85 \text{ cm} \\ 1.0 \text{ in} &\rightarrow X \end{aligned}$$

De la cual también se obtiene:

$$X = \frac{9.85 \text{ cm} \times 1.0 \text{ inch}}{\frac{31}{8} \text{ inch}} = 2.542 \text{ cm}$$

De la última medida en la Tabla N° 1.6, se puede establecer lo siguiente:

$$\begin{aligned} 1 \text{ in} + 15/16 \text{ in} &= 31/16 \text{ in} \rightarrow 4.95 \text{ cm} \\ 1.0 \text{ in} &\rightarrow X \end{aligned}$$

De la cual también se obtiene:

$$X = \frac{4.95 \text{ cm} \times 1.0 \text{ in}}{\frac{31}{16} \text{ in}} = 2.55 \text{ cm}$$

Los resultados de las tres operaciones y el valor promedio de las tres se presentan en la Tabla N° 1.9, esto es:

TABLA N° 1.9
EQUIVALENCIA INCH (in) y CENTIMETRO (cm)

Unidad	Resultado 1	Resultado 2	Resultado 3	Promedio
1.0 in	2.543 cm	2.542 cm	2.55 cm	2.545 cm

Fuente propia: Resultados de las mediciones

HP

1.2 Error en la medición

Las mediciones que se realizan en la Ciencia y la Ingeniería tienen por objetivo establecer el valor numérico de determinada magnitud. Este valor numérico no corresponde al valor real de la magnitud que se mide porque los resultados que se obtienen en el proceso de medición son aproximados debido a la presencia del error experimental.

Para tratar de manera crítica dichos valores y obtener conclusiones provechosas de ellos es necesario valorar el error asociado a la magnitud en cuestión durante el proceso de medición [5]. En la práctica, la tarea de determinar el error de una magnitud que se mide no es posible. La mayor dificultad radica en que la medición va acompañada de la acción e interacción de gran cantidad de factores que influyen en uno u otro grado en el resultado de la medición.

Sin embargo, si es posible establecer los límites dentro de los cuales se encuentra el valor verdadero de la magnitud medida. Cuanto más próximos se encuentren esos límites, más precisa será la medida. Es conveniente advertir que el objetivo del experimentador no es solo procurar que el error experimental sea lo más reducido posible sino que sea lo suficientemente pequeño para no afectar a las conclusiones que se puedan inferir de los resultados experimentales. En esta parte del capítulo vamos a determinar el error de medición de los instrumentos de precisión y así como también el error en una medición directa o indirecta.

1.2.1 Medición

La medición es una técnica por medio de la cual se le asigna un número a una propiedad física como resultado de su comparación con otra similar, usada como patrón, que se adopta como unidad [6]. Toda medición puede ser directa o indirecta.



1.2.2 Medición directa

Es el valor que se obtiene directamente de la lectura de un instrumento de medición. Ejemplos: medir la longitud usando una regla o una cinta métrica; medir el tiempo usando un cronometro o un reloj; medir la masa usando una balanza; medir la temperatura usando un termómetro, etc.

La medición directa de una propiedad física "x" queda completamente establecida cuando se escribe el resultado obtenido empleando un número \bar{x} con su respectiva unidad y además incluyendo la precisión (error) Δx de la medición [6]. Esto es:

$$x = \bar{x} \pm \Delta x \quad (1.1)$$

En el caso de realizar solo una lectura con el instrumento, la precisión Δx de la medición se define como el mínimo valor de lectura del instrumento entre dos (error sistemático) y además se debe expresar en la misma unidad de x .

En general, en la mayoría de los experimentos casi siempre se realizan N mediciones de una misma cantidad física, por lo que se tienen x_1, x_2, \dots, x_N valores. Entonces al tomar en cuenta la ecuación (1), \bar{x} viene a ser el valor promedio de las N mediciones directas y Δx es la precisión de la medición, esta contiene el error del instrumento (error sistemático e_s) y el error de dispersión (e_D) de las N mediciones directas. En este caso la precisión de la medición se calcula con la siguiente fórmula:

$$\Delta x = \sqrt{(e_s)^2 + (e_D)^2} \quad (1.2)$$

El error de dispersión e_D se calcula usando la siguiente fórmula:

$$e_D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n(n-1)}} \quad (1.3)$$

1.2.3 Medición indirecta

Es el valor que se obtiene al realizar una serie de operaciones con los resultados de una medición directa. Ejemplos: medir el perímetro de un triángulo, medir el volumen de un cubo sólido, medir la densidad de una sustancia al dividir la masa entre el volumen, etc.

En este caso la medición indirecta queda bien establecida cuando el resultado se describe por medio de un número con su unidad y la precisión de la medición análogamente a la ecuación (1.1). Esto es:

$$\begin{aligned} p &= \bar{p} \pm \Delta p \quad (\text{Perímetro}) \\ V &= \bar{V} \pm \Delta V \quad (\text{Volumen}) \\ \rho &= \bar{\rho} \pm \Delta \rho \quad (\text{Densidad}) \end{aligned} \tag{1.4}$$

En toda medición indirecta la precisión (error) del resultado depende de la precisión del instrumento y del tipo de operación que se realice con las mediciones directas. En este sentido para las operaciones más comunes en una medición indirecta existen fórmulas establecidas [6], así se tiene:

Error en la suma o resta: Consideremos dos propiedades físicas que se han medido en forma directa $\bar{x} \pm \Delta x$, y $\bar{y} \pm \Delta y$. Al sumar o restar estas mediciones directas se obtiene una nueva propiedad física "f" y la precisión (error) del resultado de la operación se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$\left. \begin{aligned} \bar{f} &= \bar{x} + \bar{y} \\ \bar{f} &= \bar{x} - \bar{y} \end{aligned} \right\} \Delta f = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2} \tag{1.5}$$

Error en la división y producto: Consideremos dos propiedades físicas que se han medido en forma directa $\bar{x} \pm \Delta x$, y $\bar{y} \pm \Delta y$. Al dividir o multiplicar estas mediciones directas se obtiene una nueva propiedad física "f" y la precisión (error) del resultado de la operación se obtiene a partir de la siguiente fórmula [6]:



$$\left. \begin{array}{l} \bar{f} = x \cdot y \\ \bar{f} = \frac{x}{y} \end{array} \right\} \Delta f = \bar{f} \sqrt{\left(\frac{\Delta x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{y}\right)^2} \quad (1.6)$$

Error en el producto de potencias: Consideremos dos propiedades físicas que se han medido en forma directa $\bar{x} \pm \Delta x$, y $\bar{y} \pm \Delta y$. Al realizar el producto de potencias de estas mediciones directas se obtiene una nueva propiedad física “f” y la precisión del resultado obtenido de realizar la operación se puede determinar por medio de la siguiente fórmula [7]:

$$\bar{f} = k (x)^n (y)^m \Rightarrow \Delta f = \bar{f} \sqrt{n^2 \left(\frac{\Delta x}{x}\right)^2 + m^2 \left(\frac{\Delta y}{y}\right)^2} \quad (1.7)$$

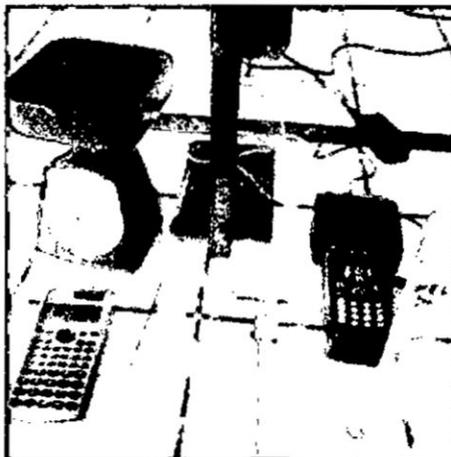
1.2.4 Materiales y equipos

Los materiales y equipos para el desarrollo del experimento de errores en la medición se indican de la siguiente manera:

- Un Xplorer GLX y su cargador
- Un sensor de fuerza de 50.0 N de capacidad de medida
- Un calibrador de Vernier
- Una regla metálica de 1.0 m de capacidad de medida
- Una balanza analógica de 1.0 kg de capacidad de medida
- Una probeta graduada de 100 ml de capacidad
- Recipiente lleno de un líquido
- Una placa y bloque de madera.
- Cuerpos cilindro y esférico de madera
- Un soporte universal, pinza y nuez




**FIGURA N° 1.7
MATERIALES PARA MEDICIONES**



Fuente: Foto en el Laboratorio de Física FIQ

1.2.5 Parte experimental

Actividad 1: Error en la masa y peso

El experimento de errores en la medición empieza con la identificación de los instrumentos de medida, tales como se muestra en la Figura N° 1.7.

A continuación se procede a determinar la mínima lectura de los instrumentos de medición en este caso de la regla metálica, calibrador de Vernier, balanza analógica y probeta graduada, así como también el error sistemático de esos instrumentos, donde este error es el error de la medición. En la Tabla N° 1.10, se indican la mínima lectura de los instrumentos de medición y el error sistemático.

**TABLA N° 1.10
ERROR SISTEMÁTICO DE LOS EQUIPOS**

Instrumentos	Regla Metálica	Calibrador de Vernier	Balanza Analógica	Probeta Graduada
Mínima Lectura	0.5 mm	0.02 mm	5 g	1 ml
Error Sistemático	0.25 mm	0.01 mm	2.5 g	0.5 ml

Fuente: Resultados de las mediciones

HP

Luego se mide la masa de una placa de madera con la ayuda de una balanza analógica y se toma la lectura de la masa y su error en la medición, se repite esta medida con otros objetos de madera como bloque, cilindro y esfera. En la Figura N° 1.8 se muestra la medida de la masa de una esfera y en la Tabla N° 1.11 se indican las medidas de masas de los objetos y sus errores respectivos.

**FIGURA N° 1.8
MEDIDA DE LA MASA**



Fuente: Foto en el Laboratorio de Física FIQ

**TABLA N° 1.11
MEDIDA DE LAS MASAS Y SUS ERRORES**

Objetos	Placa	Bloque	Cilindro	Esfera
$m \pm \Delta m$	$(755 \pm 2.5)g$	$(70 \pm 2.5)g$	$(605 \pm 2.5)g$	$(500 \pm 2.5)g$
Error %	0.33 %	3.57 %	0.41 %	0.50 %

Fuente: Resultados de las mediciones

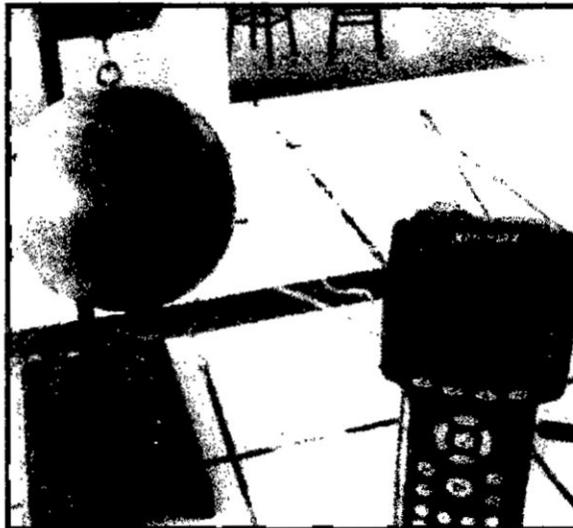
A continuación conectamos el cargador a la red doméstica 220 V, luego el extremo libre de este cargador se conecta al Xplorer GLX y automáticamente el Xplorer GLX se enciende [4]. Luego conectamos en uno de los puertos del Xplorer GLX el extremo libre del sensor de fuerza, para luego establecer el arreglo experimental como se muestra en la Figura N° 1.9.

HP

Antes de empezar a realizar las mediciones de los pesos, hacemos una previa configuración en el equipo Xplorer [4], en este caso, el equipo muestra una gráfica entre fuerza (empuje positivo) versus tiempo, haciendo doble click en el botón check del equipo [4], este automáticamente muestra una ventana en la cual se debe de seleccionar la opción fuerza (tiro positivo) y el equipo genera automáticamente una nueva gráfica ahora entre fuerza (tiro positivo) versus tiempo.

Además de esto, también deberemos de hacer la calibración del sensor de fuerza para esto presionamos el botón “zero” en el sensor y ya estamos listos para realizar las mediciones.

**FIGURA N° 1.9
ARREGLO PARA MEDIR EL PESO**



Fuente: Foto en el Laboratorio de Física de la FIQ

En la Figura N° 1.9, el equipo muestra la medida del peso de una esfera de madera el cual indica una medida de $(4.9 \pm 0.05)N$, previamente haciendo la calibración del sensor de fuerza es decir presionando nuevamente el botón “zero” en el sensor, repetimos el experimento con otros objetos de madera como placa, bloque y cilindro.

Handwritten signature

Handwritten signature

En la tabla N° 1.12 se indican las medidas de los pesos de estos objetos y sus errores.

**TABLA N° 1.12
MEDIDA DE LOS PESOS Y SUS ERRORES**

Objetos	Placa	Bloque	Cilindro	Esfera
$W \pm \Delta W$	$(7.0 \pm 0.05)N$	$(0.7 \pm 0.05)N$	$(5.5 \pm 0.05)N$	$(4.9 \pm 0.05)N$
Error %	0.71 %	7.14 %	0.90 %	1.02 %

Fuente: Resultados de las mediciones

Actividad 2: Error en el volumen

En esta parte el experimento de errores en la medición consiste en encontrar la medida y el error en el volumen de una placa, cilindro y esfera de madera, para esto se tienen en cuenta una serie de fórmulas. Esta actividad empieza con las medidas de las dimensiones de una placa de madera para ello hacemos uso de la regla metálica tal como se muestra en la Figura N° 1.10.

**FIGURA N° 1.10
MIDIENDO LA LONGITUD DE LA PLACA**



Fuente: Foto en el Laboratorio de Física FIQ

De acuerdo a la Figura N° 1.10, la medida es $(32.7 \pm 0.025)cm$, entonces las medidas de las dimensiones de la placa de madera son:

[Handwritten signature]

$$X = (26.7 \pm 0.025) \text{ cm}$$

$$Y = (32.7 \pm 0.025) \text{ cm}$$

$$Z = (1.0 \pm 0.025) \text{ cm}$$

Con el propósito de encontrar el volumen de la placa de madera $V = \bar{V} \pm \Delta V$, haremos uso de las siguientes fórmulas esto es:

$$\bar{V} = \bar{X} \cdot \bar{Y} \cdot \bar{Z}$$

$$\bar{V} = (26.7 \text{ cm})(32.7 \text{ cm})(1.0 \text{ cm}) = 873.09 \text{ cm}^3$$

$$\Delta V = \bar{V} \sqrt{\left(\frac{\Delta X}{\bar{X}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta Y}{\bar{Y}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta Z}{\bar{Z}}\right)^2}$$

$$\Delta V = (873.09 \text{ cm}^3) \sqrt{\left(\frac{0.025}{26.7}\right)^2 + \left(\frac{0.025}{32.7}\right)^2 + \left(\frac{0.025}{1}\right)^2}$$

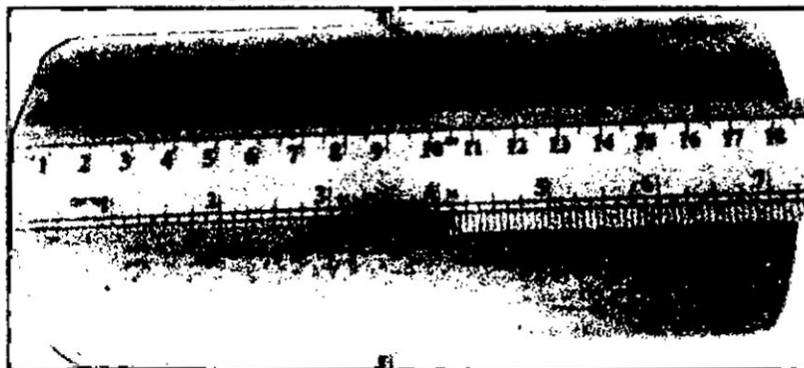
$$\Delta V = 21.85 \text{ cm}^3$$

Entonces el volumen de la placa de madera será de:

$$V = (873.09 \pm 21.85) \text{ cm}^3$$

Repetimos el experimento haciendo uso de un cilindro de madera, para ello tomamos nuevamente la regla metálica para medir la altura de este cilindro, tal como se muestra en la Figura N° 1.11, esto es:

**FIGURA N° 1.11
LONGITUD DEL CILINDRO**



Fuente: Foto en el Laboratorio de Física de la FIQ

44

[Handwritten signature]

De acuerdo a la Figura N° 1.11, la medida es $(18.6 \pm 0.025) \text{ cm}$, entonces las medidas de las dimensiones del cilindro de madera son:

$$D = (9.1 \pm 0.025) \text{ cm}$$

$$H = (18.6 \pm 0.025) \text{ cm}$$

Con el propósito de encontrar el volumen del cilindro de madera $V = \bar{V} \pm \Delta V$, haremos uso de las siguientes fórmulas esto es:

$$\bar{V} = \frac{\pi}{4} \bar{D}^2 \cdot \bar{H}$$

$$\bar{V} = \frac{\pi}{4} (9.1 \text{ cm})^2 (18.6 \text{ cm}) = 1209.722 \text{ cm}^3$$

$$\Delta V = \bar{V} \sqrt{n^2 \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + m^2 \left(\frac{\Delta H}{H}\right)^2}$$

$$\Delta V = 1209.722 \text{ cm}^3 \sqrt{(2)^2 \left(\frac{0.025}{9.1}\right)^2 + (1)^2 \left(\frac{0.025}{18.6}\right)^2}$$

$$\Delta V = 6.842 \text{ cm}^3$$

Entonces el volumen del cilindro de madera será de:

$$V = (1209.722 \pm 6.842) \text{ cm}^3$$

Repetimos los pasos del experimento haciendo uso de una esfera de madera, la medida de su diámetro fue de $D = (13.0 \pm 0.025) \text{ cm}$. Con el propósito de encontrar el volumen de la esfera de madera $V = \bar{V} \pm \Delta V$, haremos uso de las siguientes fórmulas esto es:

$$\bar{V} = \frac{\pi}{6} \bar{D}^3$$

$$\bar{V} = \frac{\pi}{6} (13.0 \text{ cm})^3 = 1150.346 \text{ cm}^3$$

$$\Delta V = \bar{V} \sqrt{n^2 \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2} = \bar{V} n \left(\frac{\Delta D}{D}\right)$$

$$\Delta V = (1150.346 \text{ cm}^3)(3) \left(\frac{0.025}{13.0}\right)$$

HP



$$\Delta V = 6.636 \text{ cm}^3$$

Entonces el volumen de la esfera de madera será de:

$$V = (1150.346 \pm 6.636) \text{ cm}^3$$

Actividad 3: Error en la densidad

Para la realización de esta parte del experimento se tiene en cuenta dos instrumentos de medición en caso tenemos a la balanza analógica y una probeta graduada.

El experimento empieza con la medida de la masa de la probeta para esto hacemos uso de la balanza analógica y la medida fue $m_p = (130 \pm 2.5) \text{ g}$. A continuación echamos el líquido en la probeta hasta alcanzar un volumen de $(50 \pm 0.5) \text{ ml}$, para luego colocarlo sobre la balanza analógica y medir la masa la medida fue de $(171 \pm 2.5) \text{ g}$, entonces la medida de la masa del líquido será de $(41 \pm 3.5) \text{ g}$. Repetimos el experimento con otros volúmenes, tal como se indica en la Tabla N° 1.13, esto es:

**TABLA N° 1.13
MEDIDA DEL VOLUMEN Y LA MASA DEL LÍQUIDO**

$V \pm \Delta V$	$(50 \pm 0.5) \text{ ml}$	$(60 \pm 0.5) \text{ ml}$	$(70 \pm 0.5) \text{ ml}$	$(80 \pm 0.5) \text{ ml}$
$m_t \pm \Delta m_t$	$(171 \pm 2.5) \text{ g}$	$(177 \pm 2.5) \text{ g}$	$(185 \pm 2.5) \text{ g}$	$(195 \pm 2.5) \text{ g}$
$m_l \pm \Delta m_l$	$(41 \pm 3.5) \text{ g}$	$(47 \pm 3.5) \text{ g}$	$(55 \pm 3.5) \text{ g}$	$(65 \pm 3.5) \text{ g}$

Fuente: Resultados de las mediciones

Con el propósito de encontrar la densidad del líquido usando los valores de cada volumen y de cada masa de la Tabla N° 1.13 y así como también calcular el error respectivo al determinar la densidad del líquido se hará uso de las fórmulas ya conocidas.



Para el volumen de $(50 \pm 0.5) \text{ ml}$, la densidad es:

$$\bar{\rho} = \frac{\bar{m}_l}{\bar{V}} = \frac{41 \text{ g}}{50 \text{ ml}} = 0.82 \text{ g/ml}$$

El error cometido al determinar la densidad es:

$$\Delta\rho = \bar{\rho} \sqrt{\left(\frac{\Delta m_l}{\bar{m}_l}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V}{\bar{V}}\right)^2}$$
$$\Delta\rho = (0.82 \text{ g/ml}) \sqrt{\left(\frac{3.5}{41}\right)^2 + \left(\frac{0.5}{50}\right)^2}$$
$$\Delta\rho = 0.070 \text{ g/ml}$$

Entonces la densidad del líquido será de:

$$\rho = (0.82 \pm 0.070) \text{ g/ml}$$

Para el volumen de $(60 \pm 0.5) \text{ ml}$, la densidad es:

$$\bar{\rho} = \frac{\bar{m}_l}{\bar{V}} = \frac{47 \text{ g}}{60 \text{ ml}} = 0.78 \text{ g/ml}$$

El error cometido al determinar la densidad es:

$$\Delta\rho = \bar{\rho} \sqrt{\left(\frac{\Delta m_l}{\bar{m}_l}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V}{\bar{V}}\right)^2}$$
$$\Delta\rho = (0.78 \text{ g/ml}) \sqrt{\left(\frac{3.5}{47}\right)^2 + \left(\frac{0.5}{60}\right)^2}$$
$$\Delta\rho = 0.058 \text{ g/ml}$$

Entonces la densidad del líquido será de:

$$\rho = (0.78 \pm 0.058) \text{ g/ml}$$

41

Para el volumen de $(70 \pm 0.5) \text{ ml}$, la densidad es:

$$\bar{\rho} = \frac{\bar{m}_l}{\bar{V}} = \frac{55 \text{ g}}{70 \text{ ml}} = 0.785 \text{ g/ml}$$

El error cometido al determinar la densidad es:

$$\Delta\rho = \bar{\rho} \sqrt{\left(\frac{\Delta m_l}{\bar{m}_l}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V}{\bar{V}}\right)^2}$$
$$\Delta\rho = (0.785 \text{ g/ml}) \sqrt{\left(\frac{3.5}{55}\right)^2 + \left(\frac{0.5}{70}\right)^2}$$
$$\Delta\rho = 0.050 \text{ g/ml}$$

Entonces la densidad del líquido será de:

$$\rho = (0.785 \pm 0.050) \text{ g/ml}$$

Para el volumen de $(80 \pm 0.5) \text{ ml}$, tenemos:

$$\bar{\rho} = \frac{\bar{m}_l}{\bar{V}} = \frac{65 \text{ g}}{80 \text{ ml}} = 0.812 \text{ g/ml}$$

El error cometido al determinar la densidad es:

$$\Delta\rho = \bar{\rho} \sqrt{\left(\frac{\Delta m_l}{\bar{m}_l}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V}{\bar{V}}\right)^2}$$
$$\Delta\rho = (0.812 \text{ g/ml}) \sqrt{\left(\frac{3.5}{65}\right)^2 + \left(\frac{0.5}{80}\right)^2}$$
$$\Delta\rho = 0.044 \text{ g/ml}$$

Entonces la densidad del líquido será de:

$$\rho = (0.812 \pm 0.044) \text{ g/ml}$$

H



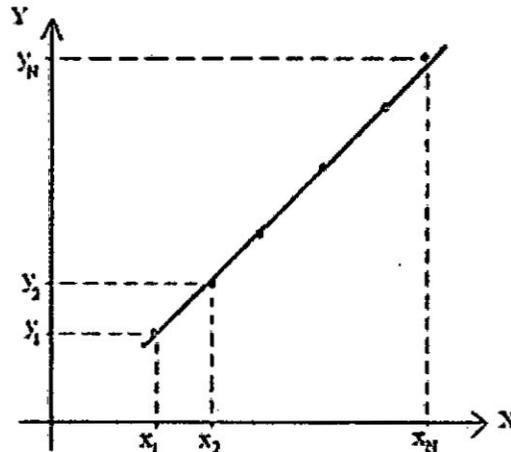
1.3 Análisis gráfico de datos

El análisis gráfico de los datos experimentales consiste en determinar la ley matemática que relaciona a los pares ordenados (x, y) de una tabla de datos de dos cantidades físicas que se han medido en un experimento, esto es:

X	x_1	x_2	...	...	x_n
Y	y_1	y_2	...	...	y_n

Si en el mejor de los casos, la nube de puntos (x, y) de la función $y = f(x)$ es una recta, como muestra la Gráfica N° 1.1, la ecuación matemática que relaciona las dos cantidades es de la forma $y = mx + b$ siendo "m" la pendiente de la recta y la cantidad "b" el intercepto con el eje vertical de la gráfica.

**GRÁFICA N° 1.1
RELACIÓN LINEAL DE Y VS X**



Fuente: Elaboración propia

En este caso el ajuste de curva por mínimos cuadrados [7] para una gráfica lineal, es el método ideal para determinar el valor de la pendiente m, esto es:

$$m = \frac{N(\sum x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)}{N\sum (x_i)^2 - (\sum x_i)^2}$$

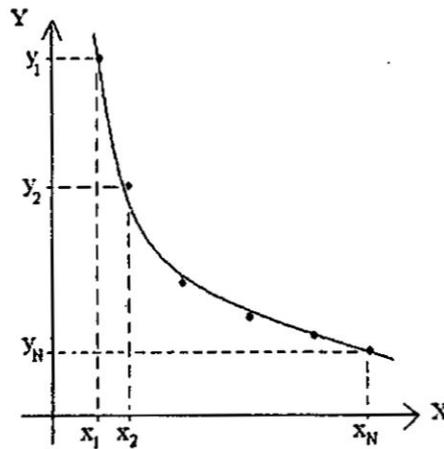
(1.8)

Donde N es el número de datos medidos. El intercepto b es:

$$b = \frac{(\sum y_i)(\sum (x_i)^2) - (\sum x_i y_i)(\sum x_i)}{N\sum (x_i)^2 - (\sum x_i)^2} \quad (1.9)$$

Por otro lado si la nube de puntos (x, y) de la gráfica, es curvilínea, de tipo función potencial $y = kx^m$, como muestra la Gráfica N° 1.2, el análisis gráfico consiste en hallar el valor de la potencia m (que debe ser numero entero) y el valor de la constante k .

**GRÁFICA N° 1.2
RELACIÓN POTENCIAL DE Y VS X**



Fuente: Elaboración propia

Para esto debemos tomar el logaritmo en base 10 a la función potencial [6] y después de algunas operaciones se tiene la siguiente ecuación $\log(y) = \log(k) + m \cdot \log(x)$, esta es la ecuación de una recta cuya pendiente es el valor de la potencia m que debemos conocer. Al definir dos nuevas variables $u_i = \log y_i$; $t_i = \log x_i$ y calcular el logaritmo de los datos de x e y , podemos construir una nueva tabla de datos con nuevos pares ordenados (t, u) , con una gráfica lineal, a la que podemos aplicarle el ajuste lineal para calcular el valor de la pendiente, esto es:

$$m = \frac{N(\sum t_i u_i) - (\sum t_i)(\sum u_i)}{N\sum (t_i)^2 - (\sum t_i)^2} \quad (1.10)$$

44

Donde N es el número de puntos ya conocido, y el valor del intercepto b, esto es:

$$b = \frac{(\sum u_i)(\sum (t_i)^2) - (\sum t_i u_i)(\sum t_i)}{N\sum (t_i)^2 - (\sum t_i)^2} \quad (1.11)$$

Conocido el valor de b, entonces ya podemos calcular el valor de la constante k de la función potencial, por medio de la ecuación $k = 10^b$.

1.3.1 Materiales y equipos

Los materiales y equipos necesarios para realizar este experimento se detallan a continuación:

- Xplorer GLX y su cargador
- Calculadora científica
- Tablas de datos de presión vs profundidad
- Tabla de datos de potencia vs velocidad

**TABLA N° 1.14
DATOS DE PRESIÓN Y PROFUNDIDAD**

H(m)	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
P(kPa)	103.2	104.3	105.3	106.2	107.1	108.2	109.3

Fuente: Elaboración propia

**TABLA N° 1.15
DATOS DE POTENCIA Y VELOCIDAD**

V(m/s)	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.3
P(W)	0.135	1.081	3.649	8.642	16.881	29.161	60.835

Fuente: Elaboración propia

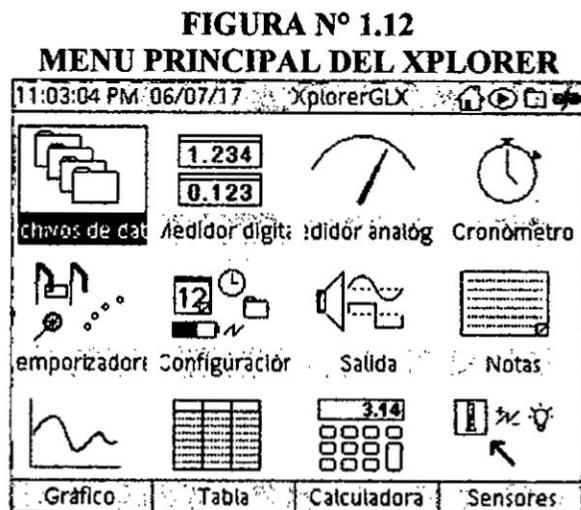
1.3.2 Parte experimental

47

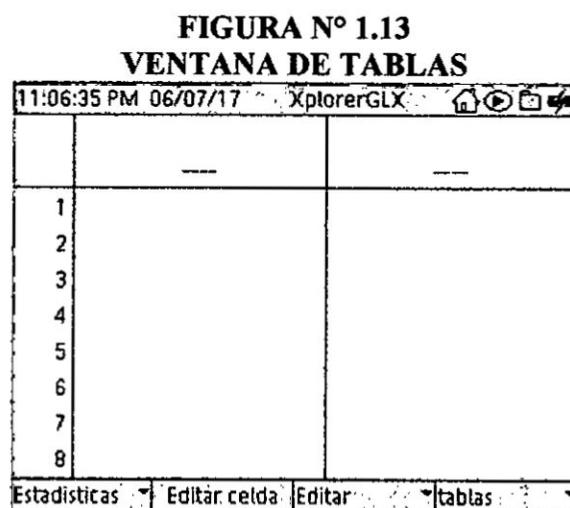


Actividad N° 1: Análisis de relación lineal

Este experimento empieza creando en el Xplorer una tabla de datos de presión (en kPa) versus la profundidad (en metros) [4], para lo cual encendemos el Xplorer GLX y esperamos a que el sistema cargue. Esto lo sabremos cuando la pantalla del Xplorer muestre el menú principal, como se muestra en la Figura N° 1.12, esto es:



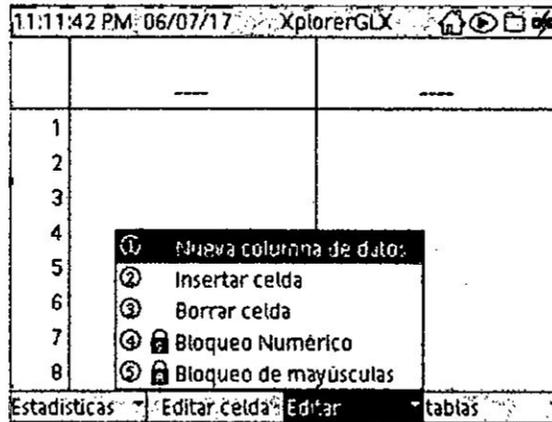
Presionando la tecla f2 en la pantalla del Xplorer y se activa la ventana que permite crear una tabla de datos [4], como muestra la Figura N° 1.13, esto es:



41

En seguida presionamos la tecla f3, y la pantalla del Xplorer activa una sub-ventana [4] con las opciones que se muestran en la Figura N° 1.14, esto es:

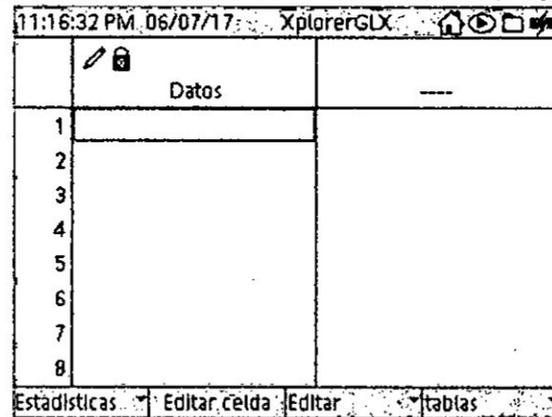
**FIGURA N° 1.14
OPCIONES DE VENTANA DE TABLAS**



Fuente: Pantalla del Xplorer

En seguida presione la tecla chek, para elegir el campo Nueva columna de datos, el sistema del Xplorer creará una columna de datos, como se muestra en la Figura N° 1.15, esto es:

**FIGURA N° 1.15
CREACIÓN DE COLUMNA DE DATOS**

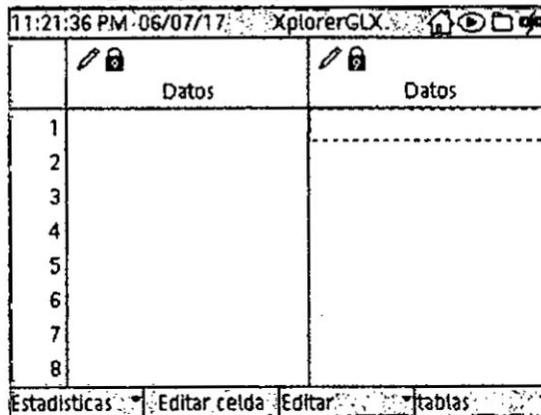


Fuente: Pantalla del Xplorer

Después creamos una nueva columna de datos, repitiendo los pasos ya conocidos, de manera que la pantalla muestre dos columnas, tal como se muestra en la Figura N° 1.16, esto es:

HP

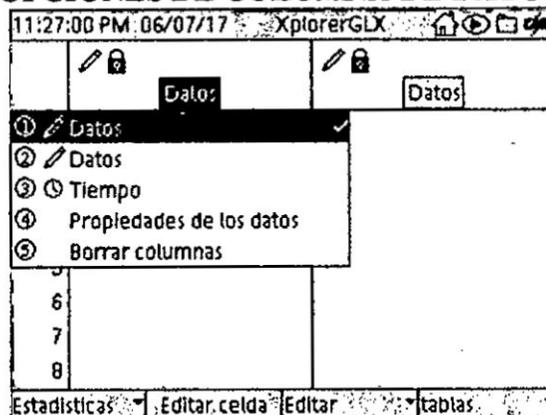
**FIGURA N° 1.16
COLUMNAS DE DATOS**



Fuente: Pantalla del Xplorer

Con la tecla direccional izquierda elegimos la primera columna de datos. Luego presionamos dos veces la tecla chek y en la pantalla del Xplorer se activa una ventana con las opciones de configuración de la primera columna, como se muestra en la Figura N° 1.17, esto es:

**FIGURA N° 1.17
OPCIONES DE COLUMNA DE DATOS**



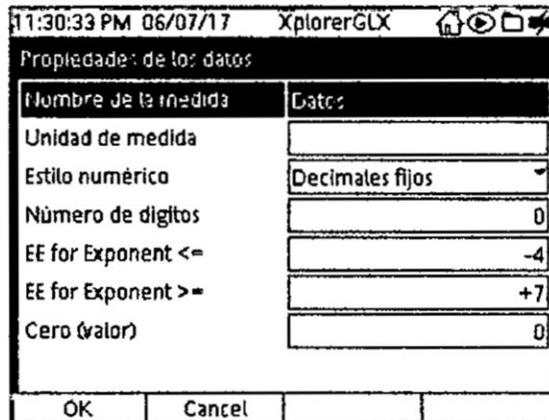
Fuente: Pantalla del Xplorer

Con las teclas direccionales elegimos el campo escrito con la frase: propiedades de los datos, luego de este paso, presionamos la tecla chek y en la pantalla se activa la ventana que se muestra en la Figura N° 1.18.

Handwritten mark

Handwritten signature

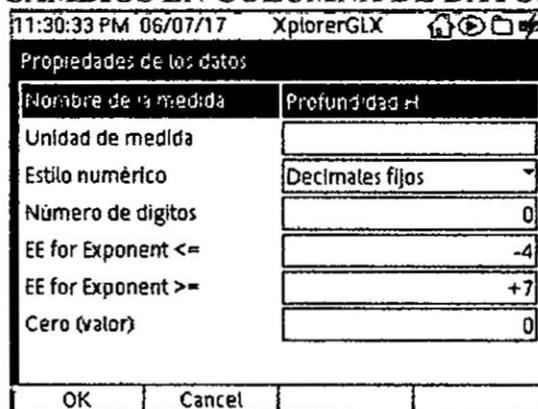
**FIGURA N° 1.18
CONFIGURACIÓN DE COLUMNA DE DATOS**



Fuente: Pantalla del Xplorer

Presionamos la tecla check y en el campo que se activa, escribimos “Profundidad H”, luego volvemos a presionar la tecla check y hemos cambiado el nombre de la columna como se muestra en la Figura N° 1.19, esto es:

**FIGURA N° 1.19
CAMBIOS EN COLUMNA DE DATOS**



Fuente: Pantalla del Xplorer

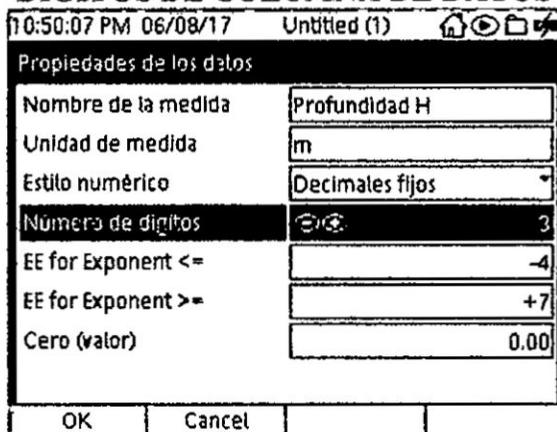
Después con las teclas direccionales para la vertical, bajamos al campo “unidad de medida” y presionamos la tecla check, luego escribimos el símbolo “m” de la unidad de medida 1.0metro y después volvemos presionar la tecla check. Con las teclas direccionales, bajamos al campo con el nombre “número de dígitos”, que está en la parte baja de la pantalla del Xplorer y presionamos la tecla con símbolo

Handwritten mark

Handwritten signature

+, el número de veces que sea necesario, para aumentar los dígitos decimales de los datos a escribir en la nueva tabla de datos [4], como muestra la Figura N° 1.20.

FIGURA N° 1.20
DÍGITOS DE COLUMNA DE DATOS



Fuente: Pantalla del Xplorer

Después de esto presionamos la tecla f1, en la pantalla del Xplorer se muestra la columna de datos de profundidad ya configurada. A continuación repetimos todo lo hecho con la primera columna para configura la otra columna de datos. En seguida presionamos la tecla f2, para editar la tabla de datos y estamos listos para escribir los valores de profundidad y presión, luego de llenar la tabla de datos con los valores de la Tabla N° 1.14, como se muestra en la Figura N° 1.21, esto es:

FIGURA N° 1.21
DATOS DE PRESIÓN VS PROFUNDIDAD

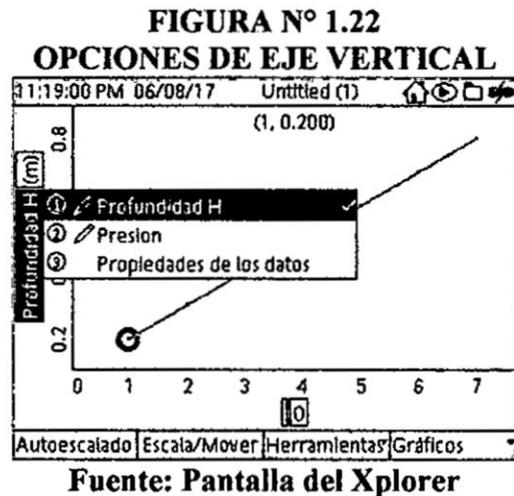
	Profundidad H (m)	Presion (kPa)
1	0.200	103.200
2	0.300	104.300
3	0.400	105.300
4	0.500	106.200
5	0.600	107.100
6	0.700	108.200
7	0.800	109.300
8		

Fuente: Pantalla del Xplorer

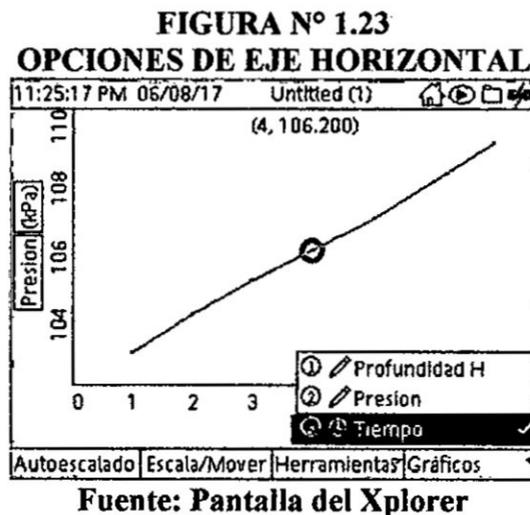
Handwritten mark

Handwritten signature

Presionando la tecla casa y seguidamente la tecla f1, la pantalla del Xplorer muestra una gráfica Y vs X. Para graficar la presión vs profundidad, presionamos la tecla chek dos veces y se muestra la ventana de la Figura N° 1.22, esto es:



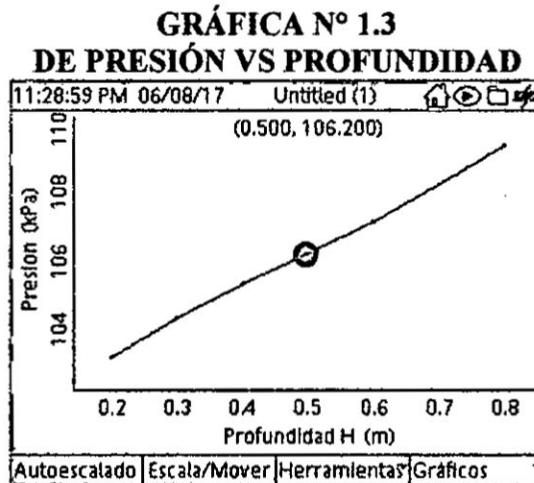
Elegimos el campo Presión, luego presionamos la tecla chek y la pantalla del Xplorer muestra los datos de Presión en el eje vertical. Después de presionar la tecla chek, en seguida presionamos la tecla direccional izquierda (al costado de la tecla chek), esto sombrea el nombre del eje horizontal de la gráfica [4]. Después presionamos la tecla chek y se activa una pequeña ventana con las opciones de configuración del eje horizontal, como se muestra en la Figura N° 1.23, esto es:



[Handwritten signature]

[Handwritten mark]

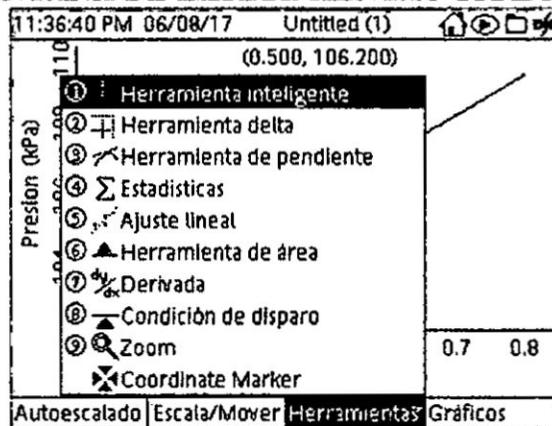
Con las teclas direccionales, elegimos el campo de profundidad H, luego presionamos la tecla check y la pantalla del Xplorer muestra la presión vs profundidad como muestra la Gráfica N° 1.3, esto es:



Fuente: Pantalla del Xplorer

La grafica anterior muestra una relación lineal entre la presión y la profundidad; por tanto hacemos un ajuste lineal, para lo cual presionamos la tecla f3, (herramientas) [4] y se activa una ventana con las opciones que muestra la Figura N° 1.24, esto es:

**FIGURA N° 1.24
VENTANA DE HERRAMIENTAS GRAFICAS**

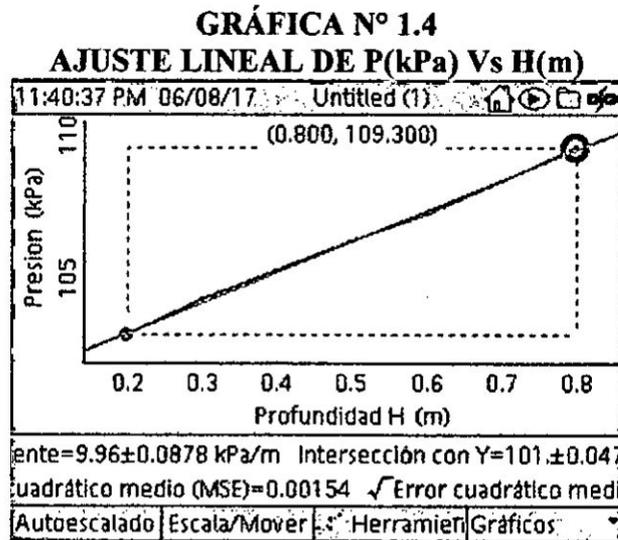


Fuente: Pantalla del Xplorer

HP

[Firma manuscrita]

Elegimos el campo: Ajuste lineal, presionamos la tecla chek y el Xplorer hace el ajuste lineal de la recta [4], como muestra la Gráfica N° 1.4, esto es:



Fuente: Resultados de las operaciones

Con los resultados del ajuste lineal dan una pendiente de 9.96 kPa/m y un intercepto de valor 101.29 kPa, por lo que la ecuación que relaciona la presión con la profundidad es de la forma siguiente:

$$P = 9,96 \frac{kPa}{m} H + 101.29 kPa$$

Actividad N° 2: Análisis de relación potencial

Esta actividad empieza elaborando en el Xplorer una tabla de datos de la potencia (en watt) versus la velocidad (en m/s) con los datos de la Tabla N° 1.15, tal como se muestra en la Figura N° 1.25 de la siguiente página.

Luego presionando la tecla del Xplorer con el símbolo casa, la pantalla del Xplorer regresa el menú principal, después de esto presionamos la tecla f1 y esto hace que la pantalla del Xplorer nos muestre una ventana gráfica de Y versus X.

41

FIGURA N° 1.25
DATOS DE POTENCIA VS VELOCIDAD

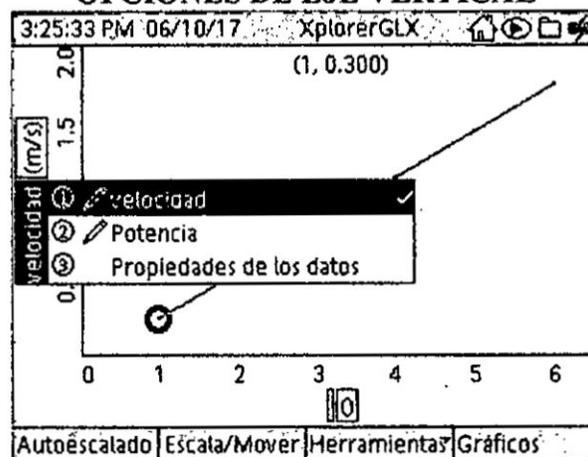
	✍️🔒 velocidad (m/s)	✍️🔒 Potencia (Watt)
1	0.300	0.135
2	0.600	1.081
3	0.900	3.644
4	1.200	8.642
5	1.500	16.880
6	1.800	29.161
7		
8		

Estadísticas | Editar celda | Editar | tablas

Fuente: Elaboración propia

En seguida presionamos dos veces la tecla del Xplorer con símbolo chek y en la pantalla del Xplorer se activa una ventana con las opciones del eje vertical que se muestra en la Figura N° 1.26, esto es:

FIGURA N° 1.26
OPCIONES DE EJE VERTICAL

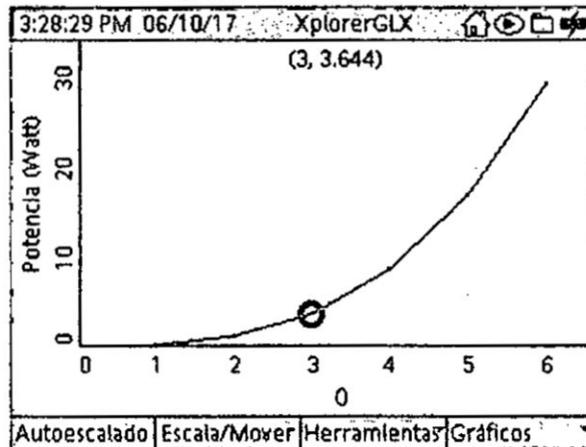


Fuente: Pantalla del Xplorer

Con las teclas direccionales elegimos el campo de potencia, luego presionamos la tecla chek y en seguida la pantalla muestra el eje vertical con los datos de la presión como se muestra en la Figura N° 1.27, esto es:

44

FIGURA N° 1.27
DATOS DE LA POTENCIA

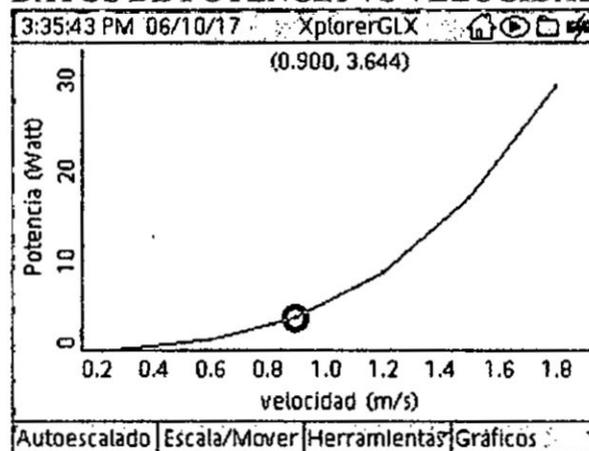


Fuente: Pantalla del Xplorer

Después de esto, presionamos la tecla chek y en seguida presionamos la tecla direccional izquierda y la pantalla del Xplorer sombrea el eje horizontal [4].

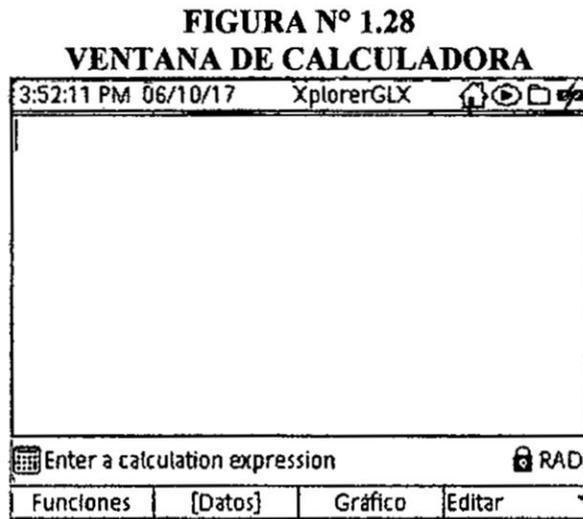
A continuación presionamos la tecla chek y se activa una ventana con las opciones correspondientes, con la tecla direccional elegimos el campo de velocidad y luego presionamos la tecla chek y la pantalla del Xplorer nos muestra la relación de la presión versus velocidad, como muestra la Gráfica N° 1.5, esto es:

GRÁFICA N° 1.5
DATOS DE POTENCIA VS VELOCIDAD



Fuente: Pantalla del Xplorer

La nube de puntos en la recta de la Gráfica N° 1.5 es curvilínea, por lo que es necesario un cambio de variables con: $u = \log(P)$ y $t = \log(v)$, que permita transformarla una gráfica lineal. Presionamos la tecla con símbolo casa y volvemos al menú principal, luego presionamos la tecla f3 y la pantalla nos muestra la ventana de calculadora [4], como se muestra la Figura N° 1.28, esto es:



Fuente: Pantalla del Xplorer

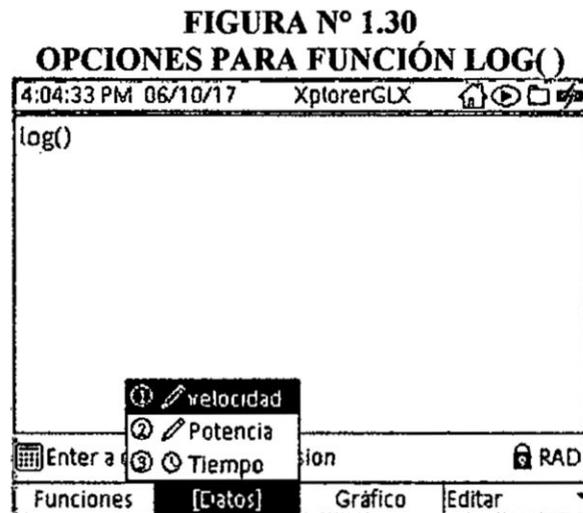
A continuación presionamos la tecla f1 y en la pantalla del Xplorer se activa una ventana con las opciones de funciones, vea la Figura N° 1.29, esto es:



Fuente: Pantalla del Xplorer

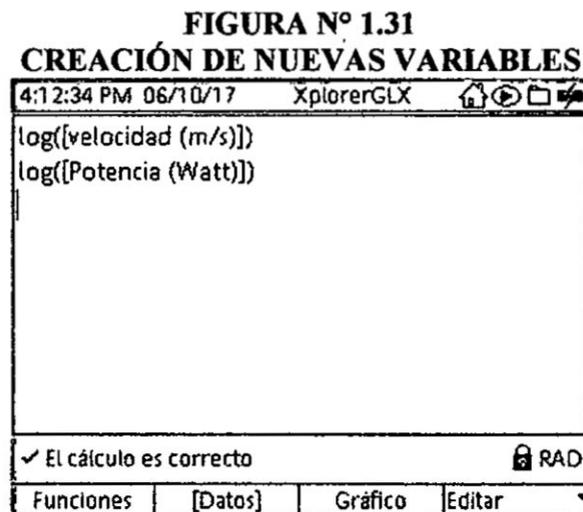
[Handwritten signature]

Con las teclas direccionales elegimos el campo de $\log()$, luego presionamos la tecla check y se activa la función logaritmo en base 10, en seguida presionamos la tecla f2 y se activa una ventana con las opciones respectivas, como se muestra en la Figura N° 1.30, esto es:



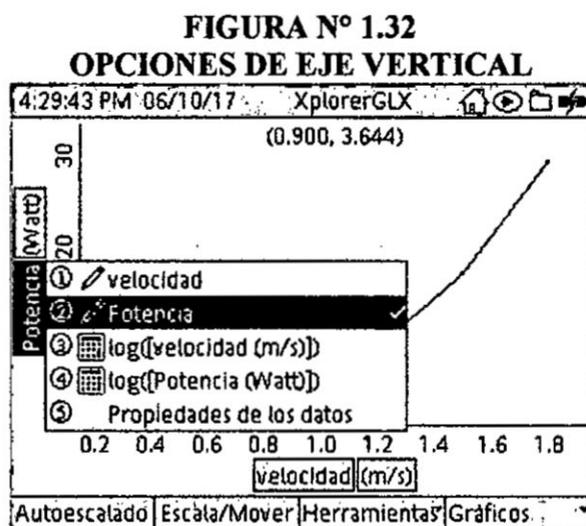
Fuente: Pantalla del Xplorer

Presionamos la tecla check para elegir la velocidad como rango de la función $\log()$ y después presionamos la tecla check. Después repetimos los pasos para crear una columna con la función $\log()$ de la potencia, como se muestra en la Figura N° 1.31, esto es:



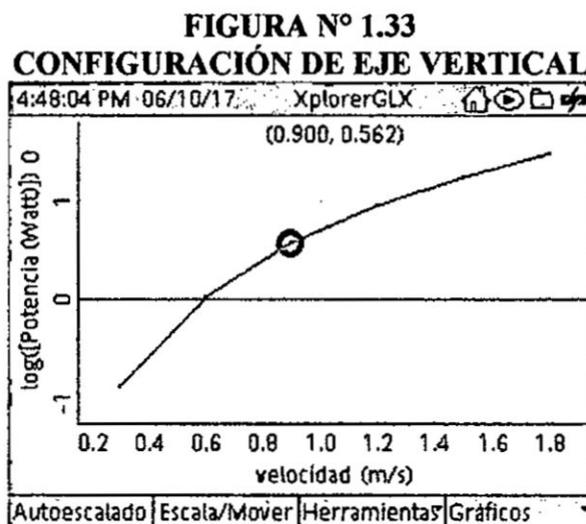
Fuente: Pantalla del Xplorer

Después presionamos la tecla con símbolo casa, en seguida presionamos la tecla fl y se activa la ventana gráfica. Presionamos la tecla chek dos veces y se activa la ventana que se muestra en la Figura N° 1.32, esto es:



Fuente: Pantalla del Xplorer

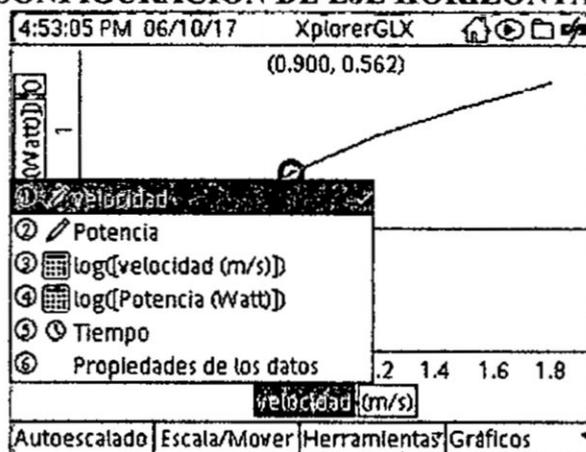
Con la tecla direccional elegimos el campo $\log(\text{potencia(watt)})$, luego presionamos la tecla chek y en el eje vertical de la gráfica se activa el logaritmo de la potencia, como muestra la Figura N° 1.33, esto es:



Fuente: Pantalla del Xplorer

Presionamos la tecla chek y luego la tecla direccional izquierda. A continuación presionamos dos veces la tecla chek se activa una ventana con las opciones que se muestra en la Figura N° 1.34, esto es:

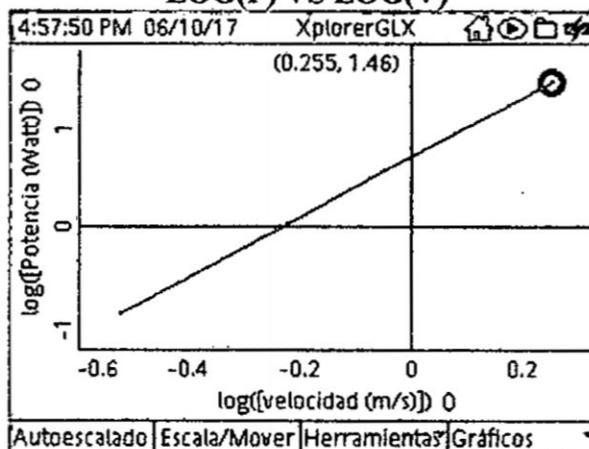
**FIGURA N° 1.34
CONFIGURACIÓN DE EJE HORIZONTAL**



Fuente: Pantalla del Xplorer

Con las teclas direccionales elegimos $\log([velocidad(m/s)])$, luego presionamos la tecla chek y la pantalla muestra la Gráfica N° 1.6 en la nueva escala logarítmica, esto es:

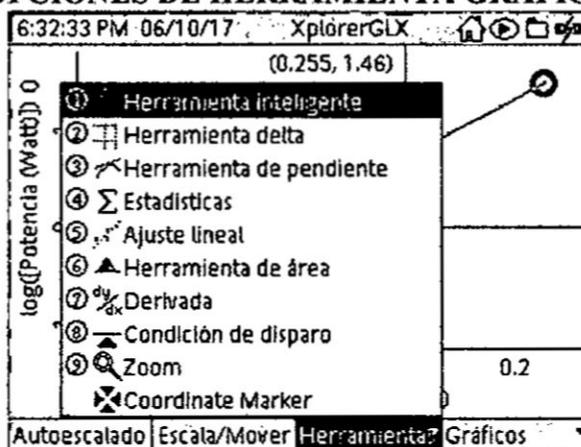
**GRÁFICA N° 1.6
LOG(P) VS LOG(V)**



Fuente: Pantalla del Xplorer

En la gráfica los puntos forma una recta a la que podemos aplicarle un ajuste de lineal usando las herramientas, para esto presionamos la tecla f3 y se activa una ventana con las opciones de herramientas, como muestra la Figura N° 1.35, esto es:

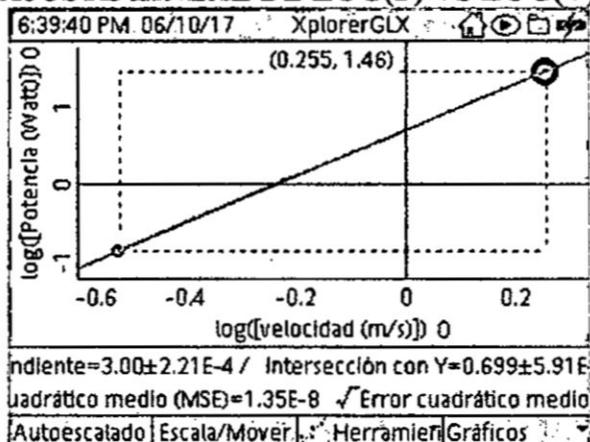
FIGURA N° 1.35
OPCIONES DE HERRAMIENTA GRÁFICA



Fuente: Pantalla del Xplorer

Con las teclas direccionales elegimos Ajuste lineal, después presionamos la tecla chek y se realiza el ajuste lineal de la recta, como muestra la Gráfica N° 1.7, esto es:

GRÁFICA N° 1.7
AJUSTE LINEAL DE LOG(P) VS LOG(V)



Fuente: Pantalla del Xplorer

47

Como vemos la pendiente de la recta resulta tener el valor $m = 3.00$, este valor también es la potencia de la función potencial.

El valor del intercepto con el eje vertical es: $b = 0.699$, por lo que el valor de la constante k se puede calcular tomando el antilogaritmo de b , esto es:

$$b = \log(k) \rightarrow k = 10^b$$

$$k = 10^{0.699} = 5.00$$

Por tanto del análisis gráfico la ecuación de la potencia vs velocidad es una función potencial que tiene la forma:

$$P = 5.0 \frac{W \cdot s}{m} v^3$$

Handwritten signature and initials in the bottom right corner of the page.

CAPÍTULO II

VELOCIDAD Y ACELERACIÓN

En este capítulo se tiene en cuenta el estudio del movimiento de los cuerpos sin considerar las causas que la originan, básicamente el estudio se realiza a partir de la cinemática. En primer lugar el experimento de velocidad y aceleración se encarga de estudiar el movimiento rectilíneo uniforme MRU y el movimiento rectilíneo uniformemente variado MRUV de un cuerpo. En el experimento de movimiento vertical estudiamos la caída de un cuerpo de una cierta altura y la determinación de la aceleración de la gravedad en el laboratorio. Y en el experimento de movimiento del proyectil se comprueba que este movimiento consta de dos movimientos un movimiento horizontal (MRU) y un movimiento vertical (MRUV) y además se determina la velocidad del proyectil.

2.1 Velocidad y aceleración

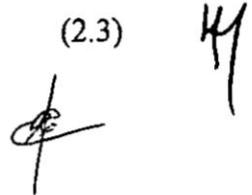
Cuando un cuerpo se encuentra en movimiento a velocidad constante [2], la posición de este cuerpo queda descrita por la ecuación de movimiento:

$$x = x_0 + vt \tag{2.1}$$

Donde la relación entre "x" y "t" representa la ecuación de una recta, en el cual x_0 y v expresan el intercepto y la pendiente de la recta. Como es sabido la pendiente de la recta (velocidad) es constante, razón por el cual a este movimiento se le llama movimiento rectilíneo uniforme (MRU). Para el movimiento de un cuerpo que baja por un plano inclinado partiendo del reposo con aceleración constante, la posición y la velocidad de este cuerpo quedan descritas por las ecuaciones [2]:

$$x = x_0 + v_0t + \frac{1}{2}at^2 \tag{2.2}$$

$$v = v_0 + at \tag{2.3}$$



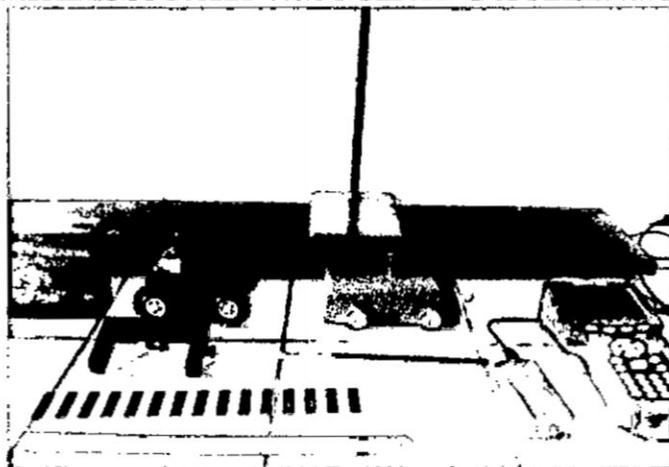
La relación entre "x" versus "t" de la ecuación (2.2) es la ecuación de una parábola, mientras la relación entre "v" versus "t" en la ecuación (2.3) representa la ecuación de una recta, con una pendiente (aceleración) constante por ello a este movimiento se le conoce como movimiento rectilíneo uniformemente variado (MRUV). Además existe una relación entre la velocidad y la posición del cuerpo el cual esta descrita por la ecuación [2]:

$$v^2 = v_0^2 + 2ax \quad (2.4)$$

2.1.1 Materiales y equipos

Los materiales y equipos necesarios para el desarrollo del experimento de velocidad y aceleración se muestran en la Figura N° 2.1, esto es:

**FIGURA N° 2.1
MATERIALES PARA VELOCIDAD Y ACELERACIÓN**



Fuente: Foto en laboratorio de Física FIQ

Estos equipos y materiales son:

- Xplorer GLX y su cargador
- Una fotopuerta con adaptador digital
- Lamina obturadora

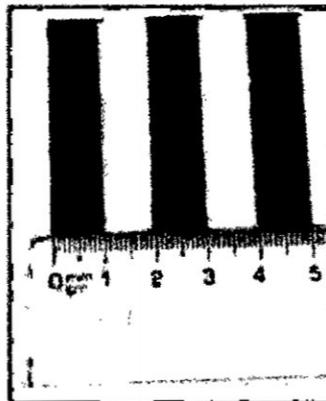
- Un carrito motorizado y carrito de madera
- Un plano inclinado
- Un soporte universal y nuez

2.1.2 Parte experimental

Actividad 1: Movimiento rectilíneo uniforme

El experimento de velocidad y aceleración empieza midiendo el ancho de banda de la lámina obturadora[8] usando una regla graduada,resultandoun valor de 2.0cm ó0.02m tal como se muestra en la Figura N° 2.2, esto es:

FIGURA N° 2.2
ANCHO DE BANDA



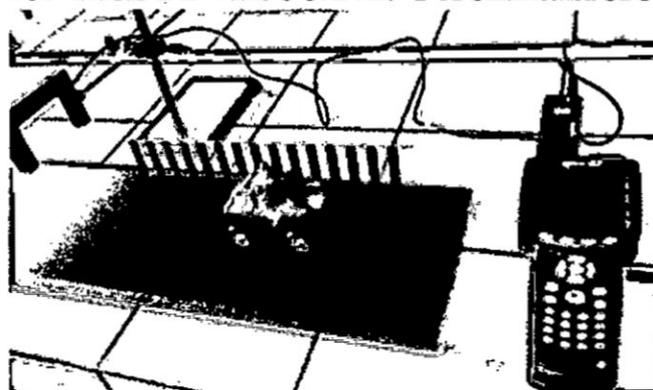
Fuente:Medición propia.

Encendemos el Xplorer GLX y conectamos en uno de sus puertos seriales el adaptador digital conectado a la fotopuerta [8], en seguida notamos que se activa en la pantalla una lista de sensores y seleccionamos la fotopuerta y lámina obturadora.En la ventana que se activa ingresamos el valor medido de 0.02 m y luego presionamos la tecla casa.

En la ventana siguiente presionamos fl, notamos que se abre una gráficade posición vs tiempo.

Después de esto se monta el arreglo experimental para iniciar la toma de datos, como se muestra en la Figura N° 2.3, esto es:

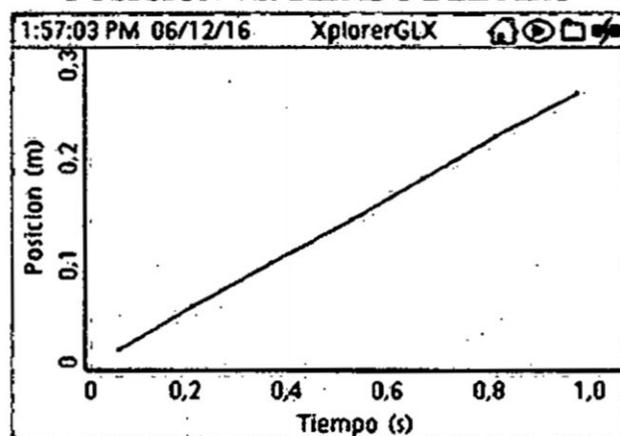
**FIGURA N° 2.3
MONTAJE DE VELOCIDAD Y ACELERACIÓN**



Fuente: Foto en Laboratorio de Física FIQ

Iniciamos la toma de datos, presionando la tecla play, luego encendemos el carrito motorizado el que al pasar por la fotopuerta activará el sensor y el Xplorer iniciará las mediciones de posición y tiempo que observamos en la Gráfica N° 2.1, esto es:

**GRÁFICA N° 2.1
POSICIÓN VS. TIEMPO DEL MRU**



Fuente: Pantalla del Xplorer GLX

Los datos medidos por el Xplorer GLX [4] se muestran en la Tabla N° 2.1

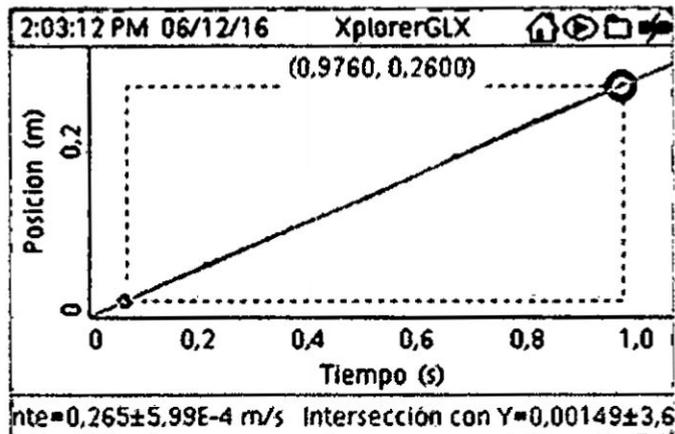
**TABLA N° 2.1
DATOS DE POSICIÓN Y TIEMPO**

2:08:11 PM 06/12/16		XplorerGLX	
	✍️	✍️	
	Tiempo (s)		Posición (m)
1	0,0713		0,0200
2	0,2140		0,0600
3	0,3730		0,1000
4	0,5300		0,1400
5	0,6730		0,1800
6	0,8170		0,2200
7	0,9760		0,2600

Fuente: Resultados de las mediciones

La pendiente de la recta en la Gráfica N° 2.1 representa la velocidad del carrito motorizado que es de 0.265 m/s cuyo valor es obtenido a partir de un ajuste lineal que se muestra en la Gráfica N° 2.2, esto es:

**GRÁFICA N° 2.2
AJUSTE LINEAL DE LA POSICIÓN**



Fuente: Pantalla del Xplorer GLX

La Gráfica N° 2.2 muestra el ajuste lineal de la posición vs tiempo, y usando los datos del ajuste por mínimos cuadrados la ecuación que relaciona la posición vs el tiempo es:

$$x = 0.00149m + 0.265 \frac{m}{s}t$$

Si generamos una gráfica de velocidad vs tiempo en el Xplorer GLX, en la pantalla del equipo se observa datos medidos, estos datos experimentales se muestran en la Tabla N° 2.2

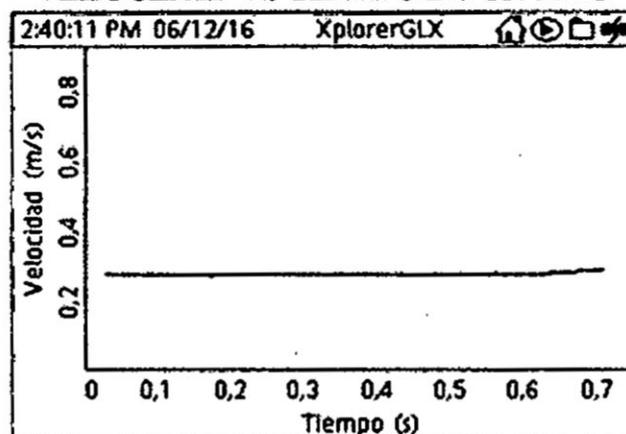
**TABLA N° 2.2
DATOS DE VELOCIDAD Y TIEMPO**

2:22:13 PM 06/12/16 XplorerGLX		
	✎ 🔒 Tiempo (s)	✎ 🔒 Velocidad (m/s)
1	0,0360	0,2800
2	0,1770	0,2700
3	0,5650	0,2800
4	0,6370	0,2800
5	0,7070	0,2900

Fuente: Resultados de las mediciones

En la Gráfica N° 2.3 mostramos la velocidad vs el tiempo, para los datos de la Tabla N° 2.2 del cual se observa que el móvil tiene movimiento uniforme.

**GRÁFICA N° 2.3
VELOCIDAD VS TIEMPO DE UN MRU**



Fuente: Resultados de las mediciones

Actividad 2: Movimiento rectilíneo uniformemente variado

En esta parte del experimento, en el arreglo experimental el carril del móvil debe estar inclinado [8], tal como se muestra en la Figura N° 2.4, esto es:

47

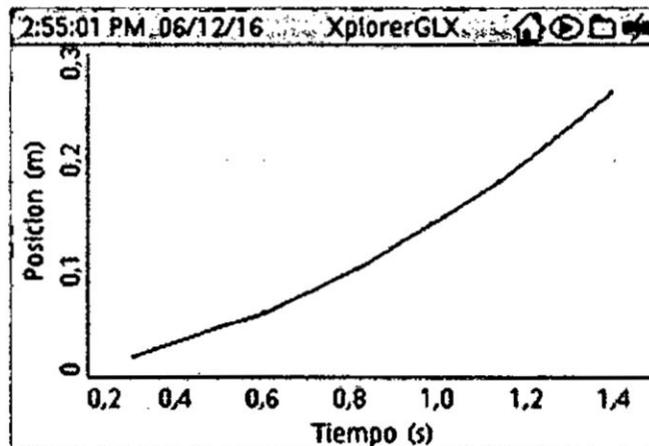
**TABLA N° 2.4
DATOS DE VELOCIDAD Y TIEMPO MRUV**

3:00:44 PM 06/12/16 XplorerGLX			
	✍️	✍️	
	Tiempo (s)	Velocidad (m/s)	
1	0,1540	0,0600	
2	0,3920	0,1200	
3	0,5400	0,1600	
4	0,6590	0,1800	
5	0,9470	0,2500	
6	1,2400	0,3100	
7	1,4240	0,3500	

Fuente: Resultados de la medición

La Gráfica N° 2.4 muestra la posición en función del tiempo para un móvil con MRUV, esto es con aceleración constante.

**GRÁFICA N° 2.4
POSICIÓN VS TIEMPO PARA UN MRUV**



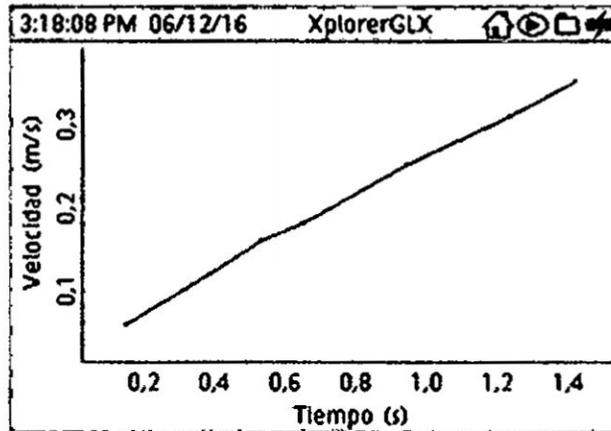
Fuente: Resultados de las mediciones

Por otro lado en la Gráfica N° 2.5 se muestra la velocidad en función del tiempo, lo que nos revela que efectivamente, el móvil realiza un movimiento rectilíneo con aceleración constante.

[Firma]

44

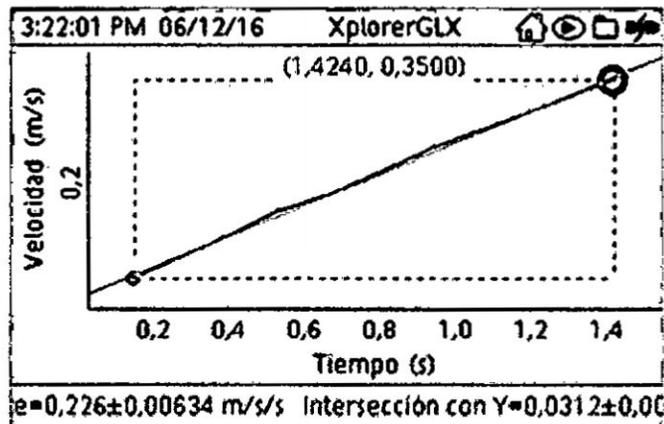
GRÁFICA N° 2.5
VELOCIDAD VS TIEMPO EN UN MRUV



Fuente: Resultados de las mediciones

Con el propósito de encontrar la aceleración del móvil realizamos un ajuste lineal a la recta que se muestra en la Gráfica N° 2.6, la pendiente resulta ser de 0.226 m/s^2 y viene a ser la aceleración del carrito móvil.

GRÁFICA N° 2.6
AJUSTE LINEAL DE VELOCIDAD



Fuente: Pantalla del Xplorer GLX

De la gráfica, la aceleración es 0.226 m/s^2 y el valor de la velocidad en $t = 0.0 \text{ s}$ es 0.031 m/s , por lo tanto, la ecuación de la velocidad en función del tiempo para este móvil es de la forma:

$$v = 0.031 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 0.226 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} t$$

[Handwritten signature]

2.2 Movimiento vertical (Caída libre)

El objetivo de este experimento es verificar que el movimiento vertical de un cuerpo en caída libre cerca de la superficie terrestre se pueda considerar como un movimiento rectilíneo uniformemente variado (MRUV), en la que el cuerpo se mueve con una aceleración de magnitud $g = 9.8m/s^2$ que se debe a la gravedad terrestre [3]. En general para un cuerpo que se libera a la altura H de una superficie de referencia (como la mesa de trabajo)este cuerpoque parte del reposo ($v_i = 0$) recorre hacia abajo una distancia “y” en un instante del tiempo “t” la que se describe por medio de la ecuación:

$$y = \frac{1}{2}gt^2 \quad (2.5)$$

Con una gráficaen función del tiempo $y = y(t)$ de tipo parabólica y cóncava hacia arriba. Por otro lado la ecuación de la velocidad en función del tiempo $v = v(t)$ para la caída de este cuerpo se describe por medio de la ecuación:

$$v = gt \quad (2.6)$$

Cuya gráfica $v = v(t)$ es de tipo lineal y con una aceleración de magnitud constante para cualquier instante del tiempo durante la caída.

Por otro lado la ecuación que relaciona la velocidad, la posición y la aceleración se describe por medio de una ecuación cuadrática [3] que tiene la forma siguiente:

$$v^2 = v_o^2 + 2gy \quad (2.7)$$

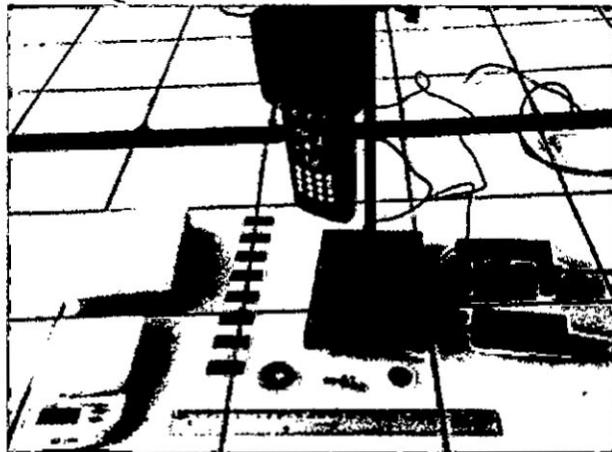
2.2.1 Materiales y equipos

Para el desarrollo de la experiencia de movimiento vertical o de caída libre de un cuerpo se requieren los siguientes materiales y equipos que se detallan en la lista de abajo, estos materiales se muestran en la Figura N ° 2.5

- El Xplorer GLX y su adaptador de corriente DC (cargador)
- Fotopuerta con adaptador digital

- Regla obturadora
- Soporte universal con nuez
- Seis (06) arandelas (huachas) de 15g c/u.
- Balanza digital de 0.1g de precisión
- Esponja de seguridad y Calculadora científica

**FIGURA N° 2.5
EQUIPOS PARA CAÍDA LIBRE**



Fuente: Foto en el Laboratorio de Física FIQ

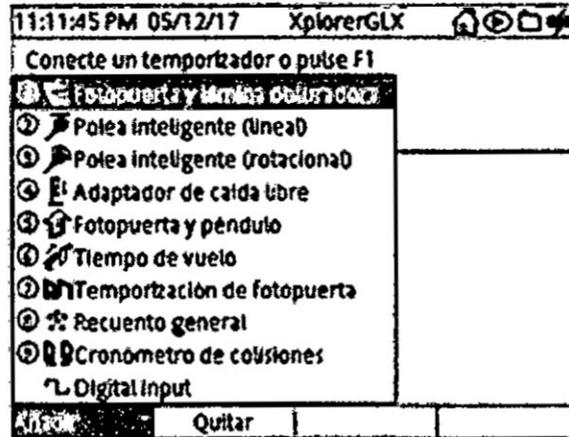
2.2.2 Procedimiento experimental

Actividad 1: Caída libre

Para desarrollar el experimento de caída libre usaremos el modelo experimental de la guía de experimentos de PASCO [8]. Luego se debe preparar el Xplorer y sus accesorios como el sensor de fotopuerta.

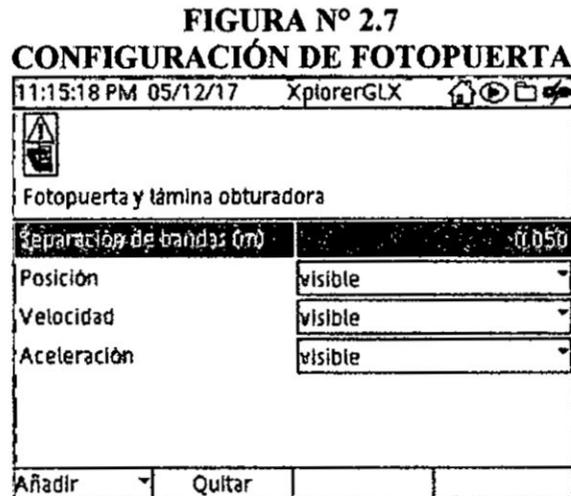
Para esto encendemos el Xplorer GLX, luego el adaptador digital de la fotopuerta se conecta al puerto serial N° 2 del Xplorer, después de hacer esto automáticamente en la pantalla del Xplorer GLX se activará una ventana que muestra ocho alternativas, tal como se muestra en la Figura N° 2.6

**FIGURA N° 2.6
VENTANA DESENADORES**



Fuente: Pantalla del Xplorer GLX

Usando una de las teclas direccionales se elige el sub campo que corresponde a foto-puerta y lámina obturadora, a continuación se presiona otra vez el botón chek que esta al centro de las teclas direccionales del Xplorer [4]. Seguidamente en la pantalla del Xplorer, se activa una nueva vantana con una seire de sub-campos. Como se muestra en la Figura N° 2.7 a continuacion:

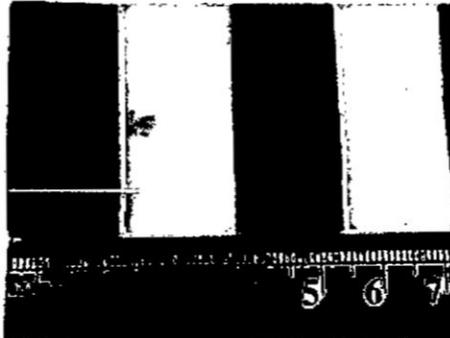


Fuente: Pantalla del Xplorer GLX

Enel sub-campo que corresponde a separacion de bandas se presiona el boton chek y se escribe en metros el valor de la separacion de bandas de la lámina obturadora que se usara con la fotopuerta [4].

41

**FIGURA N° 2.8
MEDIDA DEL ANCHO DE BANDAS**

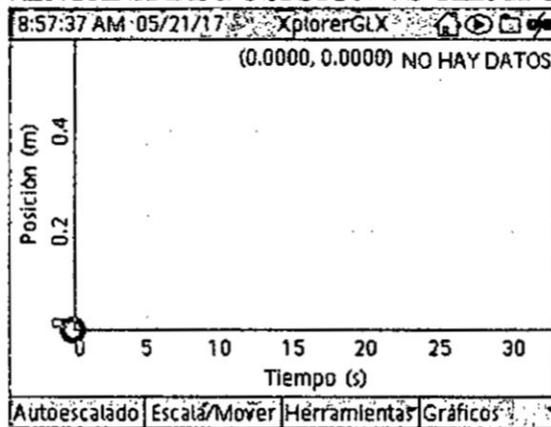


Fuente: Foto en Laboratorio de Fisica FIQ

La separación de bandas se puede medir directamente con una regla de 20cm, en la Figura N° 2.8 se muestra el valor de 3.6cm para la separación de las bandas de la lámina obturadora que usaremos en este experimento de caída libre. Después de haber ingresado el valor de 0.036m en el sub-campo de separación de bandas en la ventana de configuración de fotopuerta, se tiene que presionar la tecla del Xplorer con el símbolo de casa para regresar al menú principal del Xplorer [4].

Cuando la pantalla del Xplorer nos muestre el menú principal, se tiene que presionar la tecla con el símbolo f1 que se halla en la parte baja de la pantalla, esta acción hará que en la pantalla del Xplorer automáticamente se active una gráfica de posición vs tiempo, tal como se muestra en la Figura N° 2.9

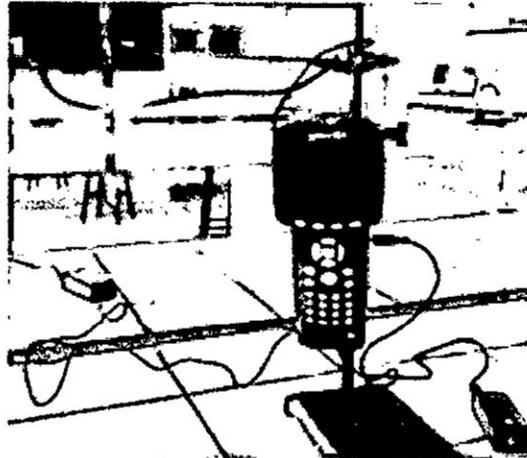
**FIGURA N° 2.9
VENTANA DE POSICIÓN VS TIEMPO**



Fuente: Pantalla del Xplorer GLX

A continuación realizamos el montaje experimental de la caída libre de un cuerpo [8], tal como se muestra en la Figura N° 2.10. Después de esto estaremos listos para iniciar la toma de datos de la experiencia.

**FIGURA N° 2.10
MONTAJE DE CAÍDA LIBRE**



Fuente: Foto en Laboratorio de Física FIQ

El próximo paso es medir la masa del cuerpo que experimentará la caída libre, para este caso es la masa de la regla obturadora. La masa se puede medir con la balanza digital de 0.1g de precisión, tal como se muestra en la Figura N° 2.11, luego se anotamos el valor de la masa en la Tabla N° 2.5

**FIGURA N° 2.11
MASA DE REGLA OBTURADORA**



Fuente: Foto en Laboratorio de Física FIQ

HP
[Handwritten signature]

La toma de datos se inicia presionando el botón "Play" del Xplorer esta es una tecla cuyo símbolo es (\triangleright), luego soltamos la lamina obturadora justo encima de la fotopuerta, ver la Figura N° 2.12

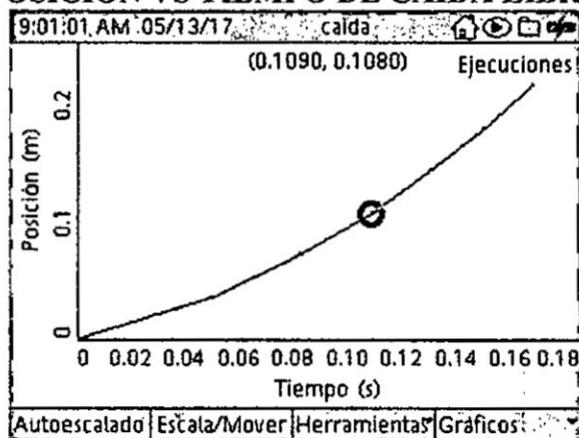
FIGURA N° 2.12
INICIO DE TOMA DE DATOS



Fuente: Foto en Laboratorio de Física FIQ

Cuando toda la regla obturadora pase la fotopuerta en la caída detenemos la toma de datos presionando el botón Play otra vez. Presionando la tecla F1, que se halla debajo de la pantalla se observa que en la pantalla del Xplorer, se activa la gráfica de posición versus tiempo para la caída de la regla obturadora, la cual se ha medido en tiempo real, como se observa en la Gráfica N° 2.7

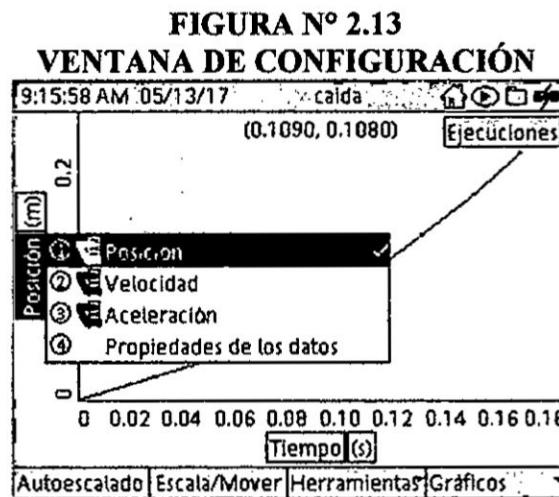
GRÁFICA N° 2.7
POSICIÓN VS TIEMPO DE CAÍDA LIBRE



Fuente: Resultados de las mediciones

Handwritten signature

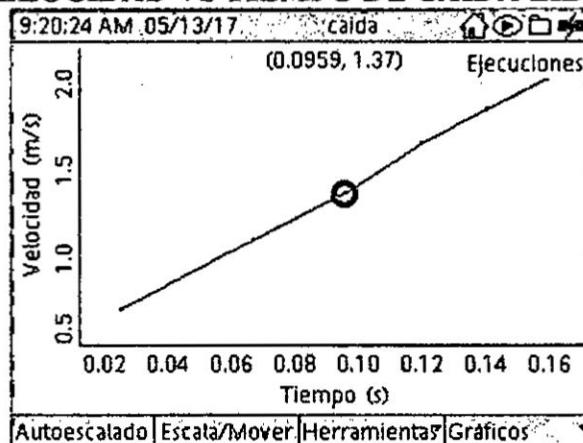
Como vemos es la típica curva de la posición versus tiempo para un móvil con aceleración constante. Para ver la gráfica de la velocidad en función del tiempo de este móvil, presionamos el botón chek dos veces, después de lo cual aparece una sub ventana con las opciones del eje vertical, como se muestra en la Figura N° 2.13 esto es:



Fuente: Pantalla del Xplorer GLX

Con las teclas direccionales elegimos el campo que corresponde a velocidad, después presionamos la tecla chek y la pantalla muestra la velocidad en función del tiempo, como se muestra en la Gráfica N° 2.8

GRÁFICA N° 2.8
VELOCIDAD VS TIEMPO DE CAÍDA LIBRE

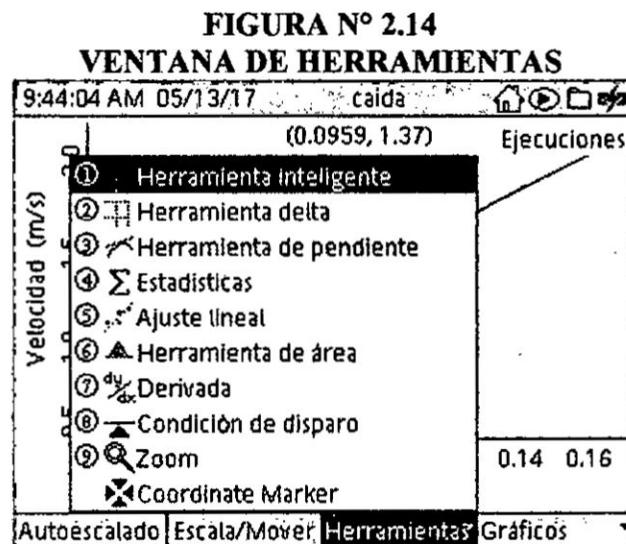


Fuente: Pantalla del Xplorer GLX

Handwritten signature

Como se puede apreciar la típica gráfica lineal de la velocidad en función del tiempo de un móvil que tiene movimiento con aceleración constante.

Para determinar la magnitud de la aceleración de este móvil, hacemos un ajuste de mínimos cuadrados a la gráfica lineal, para lo cual se presiona la tecla con el símbolo f_3 en la parte baja de la pantalla del Xplorer GLX [4], esto activa una sub ventana con las opciones de las herramientas gráficas del Xplorer, tal como se muestra en la Figura N° 2.14, esto es:



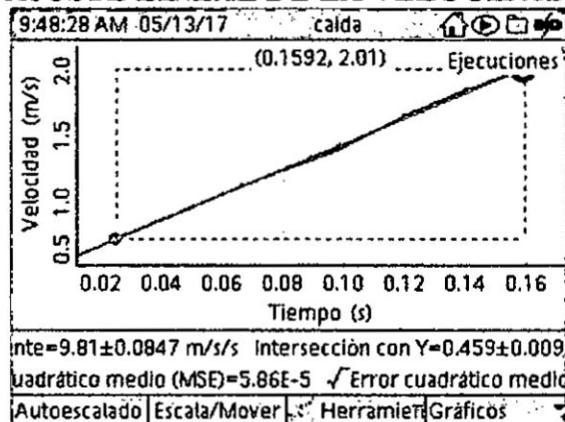
Fuente: Pantalla del Xplorer GLX

En seguida elegimos el campo con el número 5 que corresponde a "Ajuste lineal", luego presionamos la tecla f_3 [4] y automáticamente el Xplorer efectuará el ajuste lineal de la velocidad en función del tiempo.

En la parte baja de la pantalla del Xplorer se muestra el valor de la pendiente, que es la aceleración del móvil en caída libre y el valor del intercepto, como se muestra en la Gráfica N° 2.9, esto es




GRAFICA N° 2.9
AJUSTE LINEAL DE LA VELOCIDAD



Fuente: Pantalla del Xplorer GLX

Como se puede ver en la gráfica, la pendiente de la recta tiene el valor de 9.81 m/s² es el valor de la aceleración con la que cae la regla obturadora, justamente su valor es bien cercana a la magnitud de la aceleración de la gravedad en la ciudad de Lima.

2.3 Movimiento del proyectil

El movimiento del proyectil es el caso más sencillo al discutir el movimiento de un cuerpo en dos dimensiones, porque este se puede considerar como la combinación de un movimiento rectilíneo uniforme (MRU) en el eje horizontal y de un movimiento rectilíneo uniformemente variado (MRUV) en el eje vertical. Las ecuaciones para este movimiento se conocen y para el eje horizontal es [2]:

$$x = v_0 \cos(\theta) t \tag{2.8}$$

Para el eje vertical [2] son:

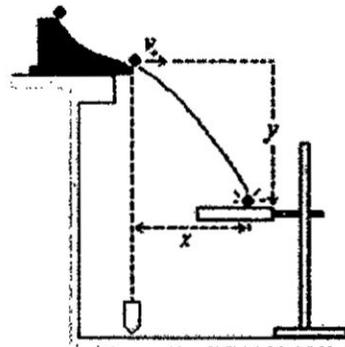
$$v_y = v_0 \sin(\theta) - gt \tag{2.9}$$

$$y = y_0 + v_0 \sin(\theta) t - \frac{1}{2} gt^2 \tag{2.10}$$

(Handwritten signature and scribbles)

Para el caso de un proyectil que se dispara horizontalmente con rapidez v_0 y que parte desde el origen de coordenadas, que se halla en el borde de la mesa de trabajo como se muestra en la Figura N° 2.15

**FIGURA N° 2.15
ARREGLO DE MOV. DEL PROYECTIL**



Fuente: Elaboración propia

Como el origen de coordenadas se halla en el borde de la mesa de trabajo se cumplen las siguientes condiciones $\theta = 0^\circ$ y $y_0 = 0.0\text{m}$, por lo que las ecuaciones del movimiento [2] para el eje horizontal es:

$$x = v_0 t \quad (2.11)$$

Para el eje vertical son:

$$v_y = -gt \quad (2.12)$$

$$y = -\frac{1}{2}gt^2 \quad (2.13)$$

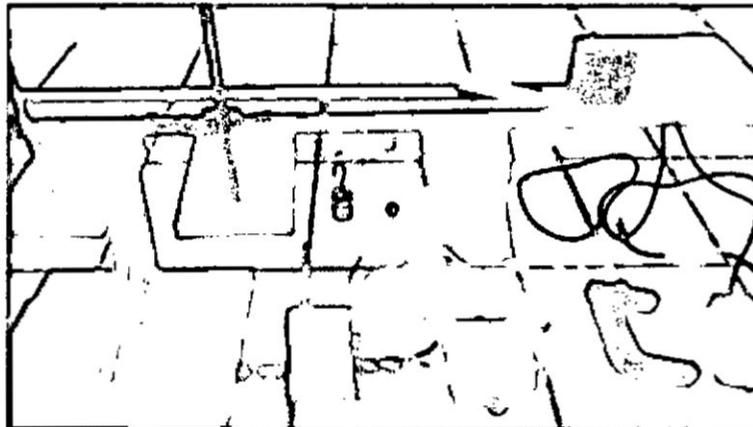
2.3.1 Materiales y equipos

Para el desarrollo de esta experiencia del movimiento del proyectil se requieren los materiales y equipos que se muestran en la Figura N° 2.16 y se detallan a continuación:

- El Xplorer GLX y su cargador de corriente DC

- Fotopuerta consu adaptador digital
- Sensor de fuerza con adaptador de golpe
- Calibrador de Vernier
- Regla metálica de 1.0m
- Soporte universal con pinza y nuez
- Placa de madera de 30cm x 20cm
- Papel bond
- papel calca (negro o azul)
- Plomada con hilo de 1.5m de largo
- Rampa de madera con canaleta
- Esfera pequeña de metal

**FIGURA N° 2.16
EQUIPOS PARA MOVIMIENTO DE PROYECTIL**



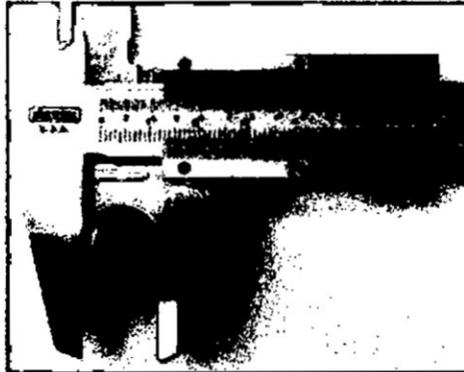
Fuente: Foto en Laboratorio de Física FIQ

2.3.2 Parte experimental

Este experimento comienza con la medida del diámetro de la esfera, la cual nos servirá de proyectil, para esto tomamos el calibrador de vernier y sujetamos la esfera de los brazos del calibrador de vernier, para luego tomar la lectura del valor del diámetro, tal como se muestra en la Figura N° 2.17, esto es:

Handwritten signatures and initials.

FIGURA N° 2.17
DIÁMETRO DEL PROYECTIL

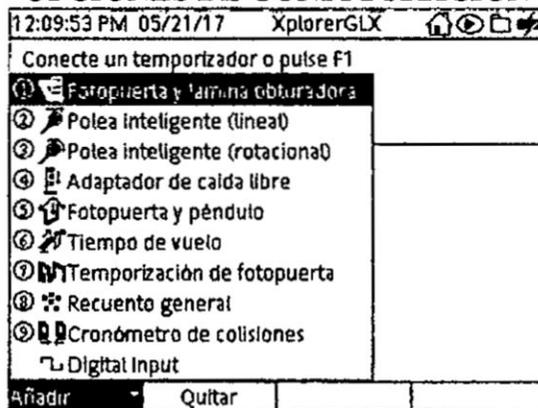


Fuente: Foto en Laboratorio de Física FIQ

Como vemos en la Figura N° 2.26 la lectura del diámetro de la esferita resulta ser $d = 1.56\text{cm}$ que en metros resulta ser $d = 0.0156\text{m}$.

Luego encendemos el Xplorer GLX [4], después que haya cargado conectamos la fopuerta al puerto serial #1 del Xplorer, en seguida se activa en la pantalla del Xplorer una ventana como se muestra en la Figura N° 2.18

FIGURA N° 2.18
OPCIONES DE CONFIGURACIÓN



Fuente: Pantalla del Xplorer GLX

Con las teclas direccionales del Xplorer elegimos el campo Temporización de fopuerta, después presionamos el botón chek y se activa una nueva ventana en la pantalla del Xplorer como se muestra en la Figura N° 2.19

Handwritten initials or signature in the bottom right corner of the page.

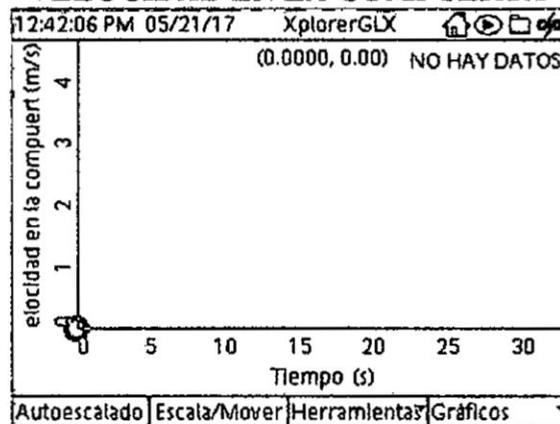
**FIGURA N° 2.19
CONFIGURACIÓN DE FOTOPUERTA**

12:13:26 PM 05/21/17 XplorerGLX	
	
Temporización de fotopuerta	
Longitud del objeto (m)	0.0250
Separación de fotopuerta (m)	0.2000
Tiempo en la compuerta	visible
Velocidad en la compuerta	Invisible
Tiempo entre compuertas	visible
Velocidad entre compuertas	Invisible
Añadir	Quitar

Fuente: Pantalla del Xplorer GLX

Presionando el botón check elegimos el campo de longitud de objeto e ingresamos el valor del diámetro $d = 0.0156\text{m}$, después presionamos otra vez la tecla check. Con las teclas direccionales bajamos al campo de Tiempo en la compuerta y presionamos el botón check para cambiar la condición de visible a invisible, después bajamos al campo de velocidad en la compuerta y presionamos la tecla check otra vez y cambiamos la condición de invisible a visible [4].

**GRÁFICA N° 2.10
VELOCIDAD EN LA COMPUERTA**



Fuente: Pantalla del Xplorer GLX

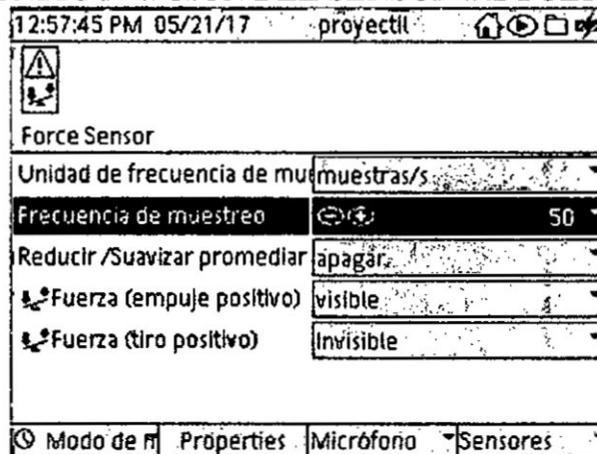
Después de esto presionamos la tecla con símbolo de casa, esto nos permite volver al menú principal del Xplorer. Luego presionamos la tecla con símbolo fl en la

41


parte baja de la pantalla del Xplorer, esto activa en la pantalla del Xplorer la Gráfica N° 2.10 de la velocidad en la compuerta en función del tiempo, técnicamente esta será la rapidez del disparo o rapidez inicial del proyectil.

Enseguida conectamos el sensor de fuerza al puerto serial #2 del Xplorer y seguida presionamos la tecla casa del Xplorer para mostrar en la pantalla el menú principal. Luego presionamos la tecla f4 que se halla debajo de la pantalla del Xplorer y nos muestra una ventana para configurar el sensor de fuerza, con la tecla direccional elegimos la opción frecuencia de muestreo, presionando la tecla chek activamos este campo y cambiamos el valor de la frecuencia de muestreo de 10 a 50 datos por segundo como se muestra en la Figura N° 2.20, esto es:

**FIGURA N° 2.20
CONFIGURACIÓN DEL SENSOR DE FUERZA**



Fuente: Pantalla del Xplorer GLX

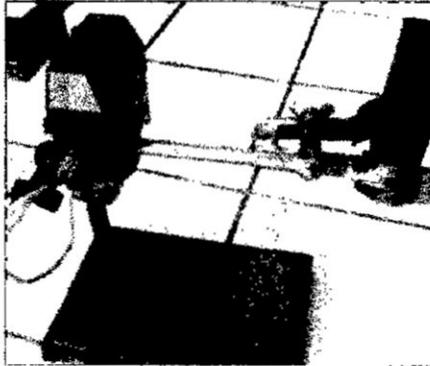
Presionando la tecla chek nuevamente, el cambio de la frecuencia se graba en la memoria del Xplorer. A continuación presionamos la tecla del Xplorer con el símbolo de casa para volver al menú principal, en seguida presionamos el botón fl que está debajo de la pantalla del Xplorer y volvemos a la gráfica de velocidad en función de tiempo que ya se mostró en la Gráfica N° 2.9 de la página 84.

HH

[Handwritten signature]

Después preparamos el soporte universal con el sensor de fuerza y el bloque de madera sujeto a la pinza como se muestra en la Figura N° 2.21 esto es:

**FIGURA N° 2.21
MONTAJE DE SENSOR DE FUERZA**



Fuente: Foto en Laboratorio de Física FIQ

En seguida colocamos la placa de madera con el papel bon fija en la cara superior y encima de este colocamos el papel carbón, para luego montar el experimento tal como se muestra en la Figura N° 2.22, esto es:

**FIGURA N° 2.22
MONTAJE DEL PROYECTIL**

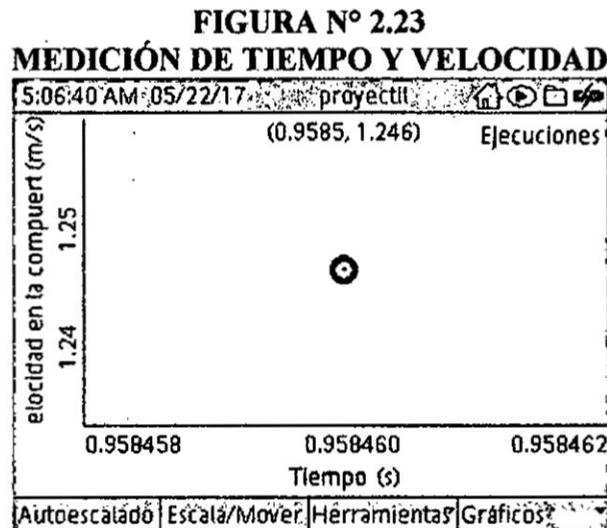


Fuente: Foto en Laboratorio de Física FIQ

A partir de aquí estamos listos para la toma de datos de tiempo t_i , de posición horizontal x_i y de posición vertical y_i , para lo cual presionamos la tecla play del

Xplorer [4], luego soltamos la esfera en lo alto de la rampa de madera como se muestra en la Figura 2.31, después que la esfera proyectil golpea la tabla apoyada en el sensor de fuerza otra vez presionamos la tecla play para detener la toma datos.

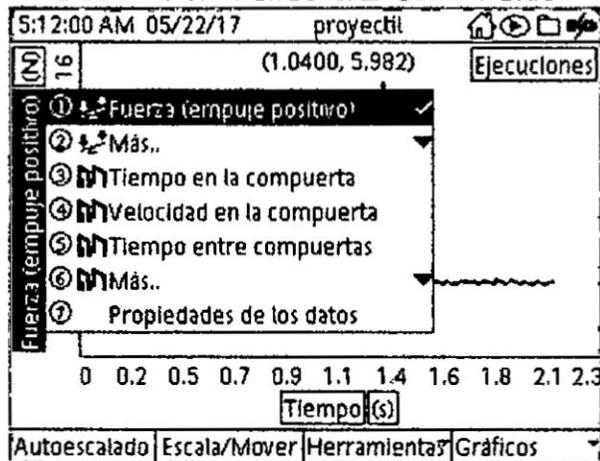
Directamente de la pantalla del Xplorer tomamos lectura del tiempo $t_1 = 0.9585s$ y de la velocidad $v_1 = 1.246m/s$ cuando pasa justo por la fotopuerta, tal como vemos en la Figura N° 2.23, esta es la rapidez del proyectil al ser disparado horizontalmente.



Fuente: Pantalla del Xplorer

Para conocer el valor del tiempo de impacto t_2 en la placa, la pantalla del xplorer debe mostrar la gráfica de fuerza en función del tiempo, para esto presionamos la tecla chek dos veces y en la pantalla se activará una nueva ventana con opciones que permiten cambiar la gráfica de la pantalla del Xplorer, para lo cual usamos las teclas direccionales del Xplorer, luego elegimos el campo de Fuerza (empuje positivo) [4] y el eje vertical de la gráfica en la pantalla cambia al de Fuerza, tal como se muestra en la Figura N° 2.24, esto es:

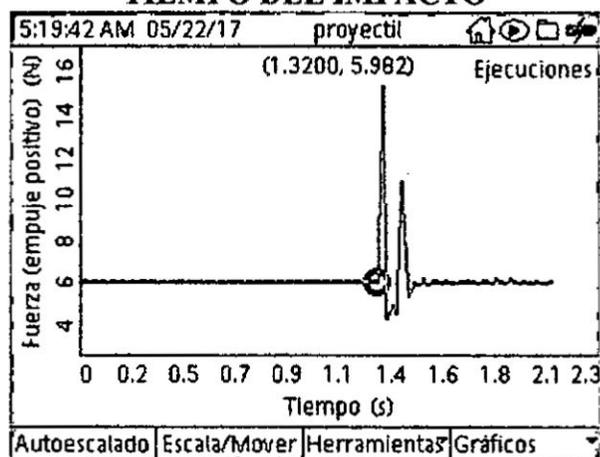
**FIGURA N° 2.24
CONFIGURACIÓN DE GRÁFICAS**



Fuente: Pantalla del Xplorer GLX

Luego presionamos la tecla chek y la pantalla nos muestra la Gráfica N° 2.10 de la fuerza en función del tiempo, medida por el sensor de fuerza. De esta gráfica tomamos lectura del tiempo el impacto, el valor resulta ser $t_2 = 1.343s$ como se observa en la Gráfica N° 2.11, esto es:

**GRÁFICA N° 2.11
TIEMPO DEL IMPACTO**



Fuente: Pantalla del Xplorer GLX

El siguiente paso es medir la posición horizontal x_1 que le corresponde al tiempo de impacto y que es la distancia del punto de impacto (en la placa) al hilo vertical de la plomada, como vemos la Figura N° 2.25

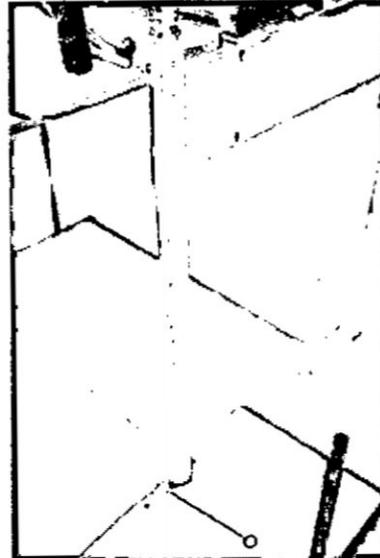
**FIGURA N° 2.25
MEDIDA DE LA POSICIÓN x_1**



Fuente: Foto en Laboratorio de Física FIQ

El valor de la medida de la posición horizontal es: $x_1 = 0.423\text{m}$. También medimos el valor de la posición vertical y_1 que es la distancia del borde la rampa al punto de impacto en la placa de madera, como se muestra en la Figura N° 2.26, esto es:

**FIGURA N° 2.26
MEDIDA DE LA POSICIÓN y_1**



Fuente: Foto en Laboratorio de Física FIQ

Handwritten signature and initials.

El valor de la medida es $y_1 = 0.680\text{m}$, este valor de y_1 junto a los valores medidos de x_1 , t_1 y t_2 se anotan en la Tabla N° 2.5; del mismo modo para las otras mediciones de tiempo t , posición horizontal x , posición vertical y .

**TABLA N° 2.5
MEDICIONES DEL TIEMPO Y POSICIÓN**

Medición	t_1 (s)	t_2 (s)	$t = \Delta t$ (s)	x (m)	y (m)
1	1.534	1.680	0.146	0.151	0.100
2	1.037	1.290	0.253	0.280	0.311
3	0.234	0.550	0.316	0.355	0.490
4	2.958	3.274	0.346	0.398	0.589
5	0.958	1.343	0.375	0.429	0.680

Fuente: Resultados de las mediciones

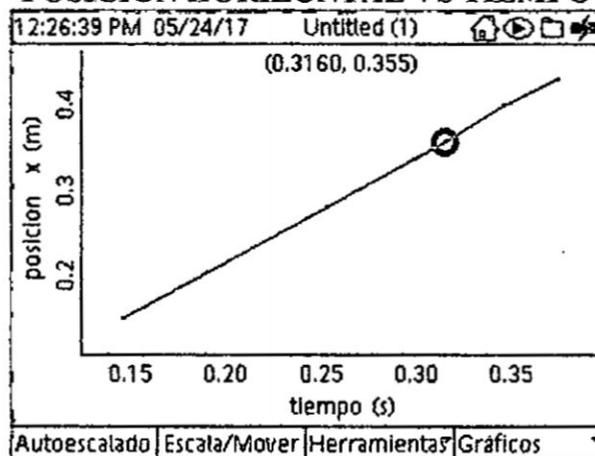
De los resultados medidos que se muestran en la Tabla N° 2.5, la diferencia del tiempo t_1 y t_2 , denotado por: $t = \Delta t$, es la magnitud del tiempo que tarda el proyectil en llegar desde el borde de la rampa (punto de partida) al punto de impacto en la placa de madera, es decir, el tiempo que le corresponde a cada posición medida de la trayectoria del proyectil.

Siguiendo los pasos del análisis gráfico de los datos experimentales con el Xplorer, este nos permite construir una tabla de datos de la posición horizontal “ x ” versus el tiempo t , usando los datos de la Tabla N° 2.5.

A partir de esta tabla el Xplorer nos permite construir la gráfica de la posición horizontal en función del tiempo, para el movimiento del proyectil, tal como se puede apreciar en la Gráfica N° 2.12 que se muestra a continuación:

49


GRÁFICA N° 2.12
POSICIÓN HORIZONTAL VS TIEMPO

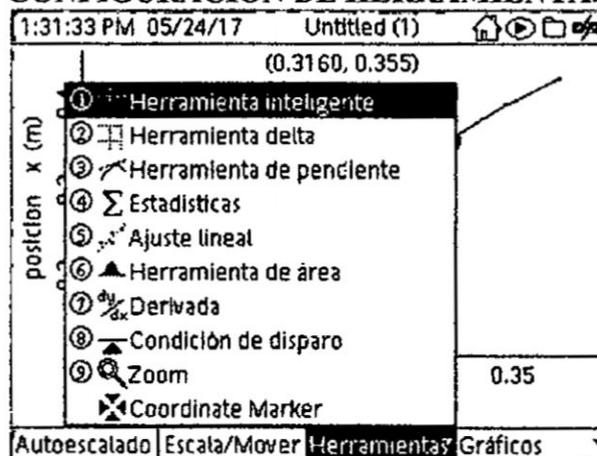


Fuente: Resultados de las mediciones

De la gráfica se deduce que: la componente horizontal del movimiento del proyectil es uniforme, la pendiente de la recta que muestra la gráfica, es la rapidez del disparo del proyectil.

Esta rapidez se puede determinar usando el campo de Herramientas del Xplorer, esto se hace presionando la tecla f3, en seguida se activa una ventana con un grupo de campos, ver la Figura N° 2.27

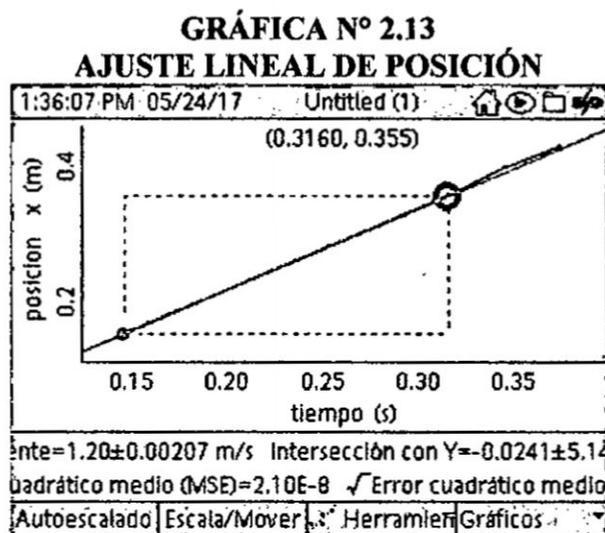
FIGURA N° 2.27
CONFIGURACIÓN DE HERRAMIENTAS



Fuente: Pantalla del Xplorer GLX

HP
[Signature]

Con las teclas direccionales del Xplorer, elegimos el campo: Ajuste lineal, después de presionar el botón chek, en la pantalla del Xplorer se aprecia el ajuste de mínimos cuadrados, que hace el sistema a la relación lineal de la posición vs tiempo, tal como se muestra en la Gráfica N° 2.13, esto es



Fuente: Resultados de las mediciones

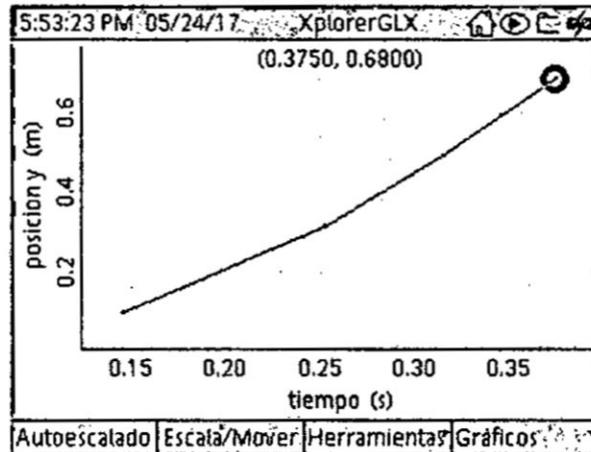
Como se puede ver en la pantalla del Xplorer, del ajuste lineal de la posición horizontal versus tiempo, el valor de la pendiente es de 1.20m/s. Este valor es justamente la rapidez de disparo del proyectil, es decir la velocidad que tiene el proyectil cuando abandona la rampa. El valor del intercepto es 0.024m, por lo que la ecuación de la posición en el eje horizontal es:

$$x = 1.2 \frac{m}{s} t - 0.024m$$

Por otro lado, también hacemos una tabla de datos para la posición vertical versus el tiempo y a partir de ella, generamos en la pantalla del Xplorer una gráfica de posición vertical vs el tiempo como muestra la Gráfica N° 2.14. En la gráfica se aprecia unos valores de la posición vertical típica para el movimiento rectilíneo uniformemente variado, es decir un movimiento con aceleración constante.

HP

GRÁFICA N° 2.14
POSICIÓN VERTICAL vs TIEMPO



Fuente: Resultados de las mediciones

Este resultado está de acuerdo con lo que predice la teoría formal para el movimiento del proyectil cuando se ha despreciado el rozamiento del aire.

HY
de

CAPÍTULO III

FUERZAS

3.1 Fuerzas de Fricción

La fuerza que se opone al movimiento de un cuerpo que se desliza por una superficie se conoce como fuerza de fricción por deslizamiento, esta fuerza es igual al producto del coeficiente de fricción μ multiplicado por la fuerza de reacción normal [2] que ejerce la superficie sobre el cuerpo, esto es:

$$\vec{f} = -\mu R_N \hat{v} \quad (3.1)$$

En esta ecuación (3.1) la cantidad \hat{v} es un vector unitario en la dirección de la velocidad. Por otro lado, el valor del coeficiente de fricción μ depende de la rugosidad y de lo heterogéneo que puede ser la superficie sobre la que se desliza el cuerpo. La Tabla N° 3.1 muestra los valores del coeficiente de fricción cinético y estático para algunas superficies de materiales representativos.

TABLA N° 3.1
COEFICIENTES DE FRICCIÓN CONOCIDOS

	Latón /acero	Aluminio /acero	Cobre /acero	Vidrio /vidrio	Cobre /vidrio
μ_k	0.44	0.47	0.36	0.40	0.53
μ_s	0.51	0.61	0.53	0.94	0.68

Fuente: F. Sears y M. Zemansky, Física Universitaria, 2012

Para el caso de un cuerpo móvil de masa M , que se mueve con aceleración de magnitud constante " a " sobre una superficie rugosa de coeficiente de fricción μ , debido a la acción que ejerce el peso mg , de un cuerpo que cuelga de una polea por medio de un hilo unido al cuerpo móvil, como se muestra en la Figura N° 3.1, la segunda ley de Newton exige:

HP

[Signature]

$$Ma = T - \mu_k Mg \quad (3.2)$$

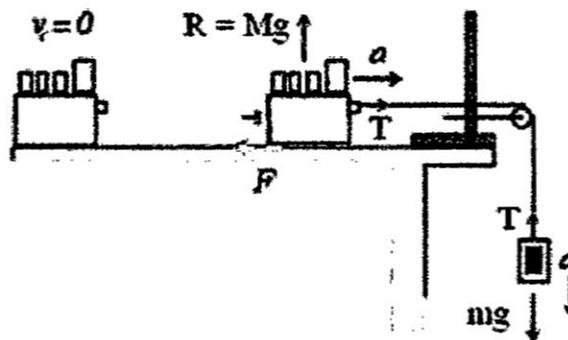
$$ma = mg - T$$

Que después de una serie de operaciones y despejes se puede escribir como:

$$a = \frac{(1 + \mu_k)}{M + m} mg - \mu_k g \quad (3.3)$$

Esta ecuación predice que la aceleración es directamente proporcional al peso mg del cuerpo que cuelga de la polea por medio del hilo unido al móvil, que ciertamente es la fuerza que mueve al sistema.

FIGURA N° 3.1
MOVIMIENTO CON ROZAMIENTO



Fuente: Elaboración propia

3.1.1 Materiales y equipos

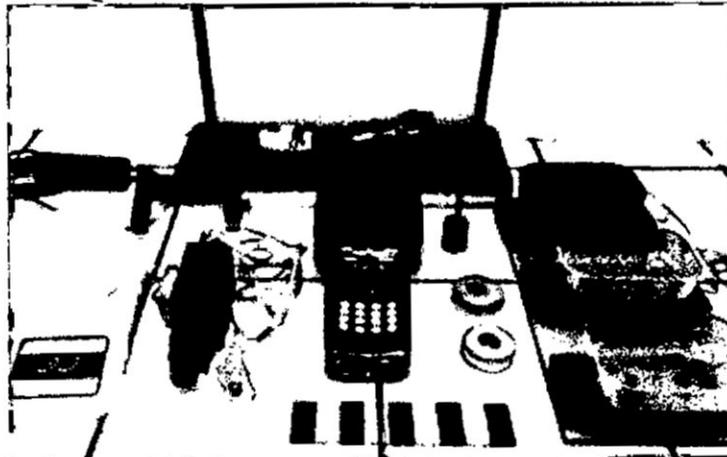
Los materiales y equipos que necesitamos para desarrollar esta experiencia se muestran en la Figura N° 3.2 y son los que se detallan a continuación:

- Xplorer GLX y su cargador
- Fotopuerta y adaptador digital
- Sensor de rotación y lamina obturadora
- Superficie metálica de aluminio
- Móvil con base rugosa de hierro

Handwritten signature and initials.

- Móvil con base rugosa de aluminio
- Ocho huachas de metal (arandelas)
- Una pesa de metal
- Hilo resistente de 1.2m de largo
- Balanza de 0.1g de precisión
- Dos juegos de soporte universal con nuez cada uno.

**FIGURA N° 3.2
EQUIPOS PARA FUERZAS DE FRICCIÓN**



Fuente: Foto en Laboratorio de Física FIQ

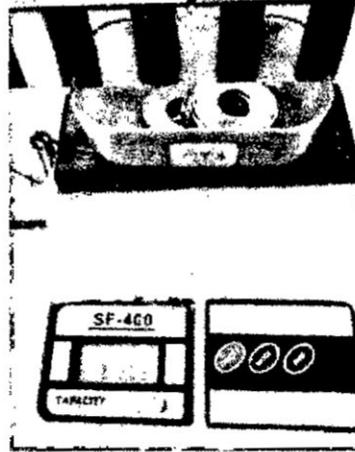
3.1.2 Parte experimental

Actividad 1: Fricción de hierro sobre aluminio

Este experimento comienza con la medida de la masa del cuerpo móvil, que es la suma de la masa del móvil con lámina de hierro, más la masa de las arandelas, más la masa de la lámina obturadora. Para medir esta masa usamos la balanza electrónica, el valor que se obtiene es $M = 292.6g$, tal como se muestra en la Figura N° 3.3, esto es:

HP

**FIGURA N° 3.3
MASA DEL MOVIL**



Fuente: Foto en Laboratorio de Física FIQ

Igualmente medimos la masa del cuerpo (pesa) que deberá colgar de la polea para accionar el movimiento del sistema, después de colocar la pesa encima de la balanza electrónica tomamos lectura, el valor obtenido es $m = 128.8\text{g}$, por lo que la masa total del sistema móvil $M + m$, resulta ser de: 421.4g .

A continuación se debe limpiar con alcohol las superficies que estarán en contacto durante el deslizamiento del móvil, estas superficies se muestran en la Figura N° 3.4, esto es:

**FIGURA N° 3.4
SUPERFICIES DESLIZANTES**

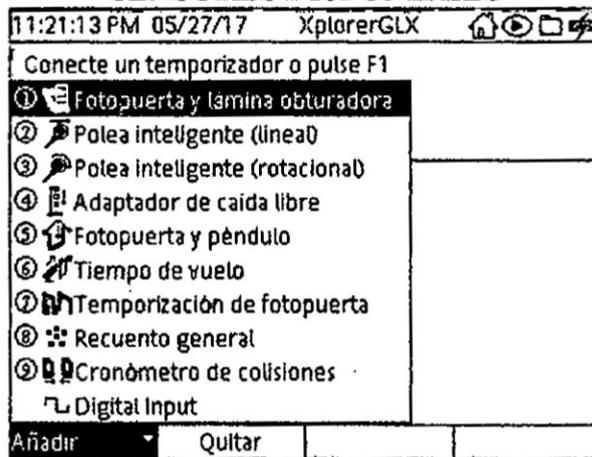


Fuente: Foto en Laboratorio de Física FIQ

[Handwritten signature]

El siguiente paso es encender el Xplorer, esperar a que cargue el sistema y luego conectar el cable con el adaptador digital de la fopuerta al puerto serial #1 del Xplorer, después de esto se activa una ventana [4] como se muestra en la Figura N° 3.5, esto es:

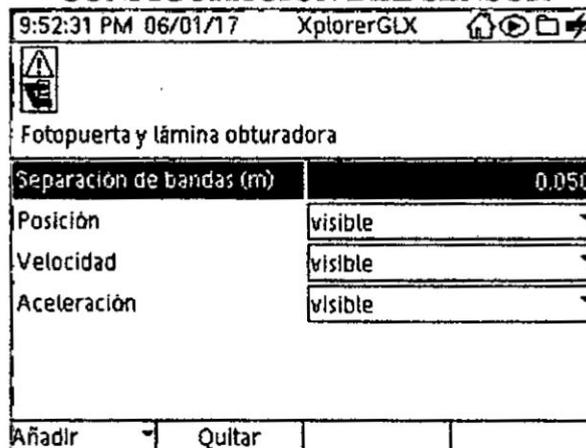
**FIGURA N° 3.5
SENSORES DISPONIBLES**



Fuente: Pantalla del Xplorer GLX

Presionando la tecla chek activamos el campo de fopuerta y lámina obturadora, lo que activa la ventana de configuración de la fopuerta como se muestra en la Figura N° 3.6, esto es:

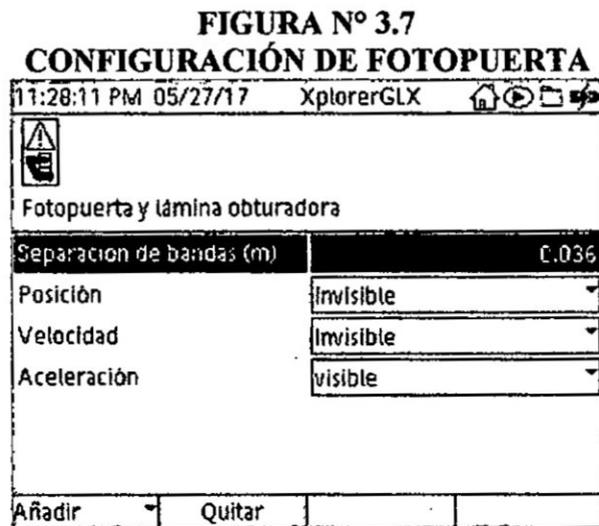
**FIGURA N° 3.6
CONFIGURACIÓN DEL SENSOR**



Fuente: Pantalla del Xplorer GLX

Handwritten signature and initials.

Presionando la tecla chek en el campo de separación de bandas y usando las teclas numeradas (alfa numérica) podemos escribir el valor 0.036m que es la separación de las bandas a usar en esta experiencia, como se muestra en la Figura N° 3.7, esto es:



Presionando la tecla chek regresamos a la ventana de configuración, luego con las teclas direccionales elegimos el campo de posición y con la tecla chek cambiamos de visible a invisible, hacemos lo mismo con el campo de velocidad y regresamos a la ventana del menú principal presionando la tecla con símbolo de casa.

FIGURA N° 3.8
MONTAJE PARA FRICCIÓN

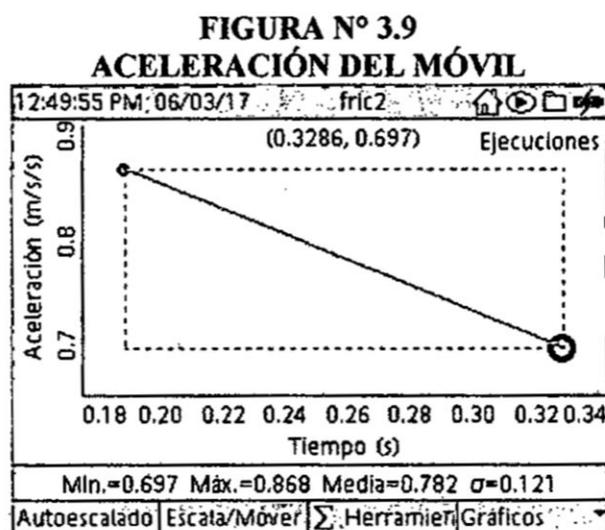


Fuente: Foto en Laboratorio de Física FIQ

Presionando la tecla f1 en la pantalla del Xplorer se activa una ventana con la gráfica de aceleración en función del tiempo, de esta manera el Xplorer está listo para medir las aceleraciones del carrito.

A continuación montamos la experiencia como se muestra en la Figura N° 3.8 de la página anterior. Con el montaje experimental listo, iniciamos la toma de datos presionando la tecla play del Xplorer, luego liberamos el carrito móvil del reposo y cuando la lámina obturadora haya rebasado la fotopuerta, detenemos la toma de datos presionando la tecla play otra vez.

En la Figura 3.9 la pantalla del Xplorer muestra la aceleración del móvil en función del tiempo durante su desplazamiento sobre la superficie rugosa.

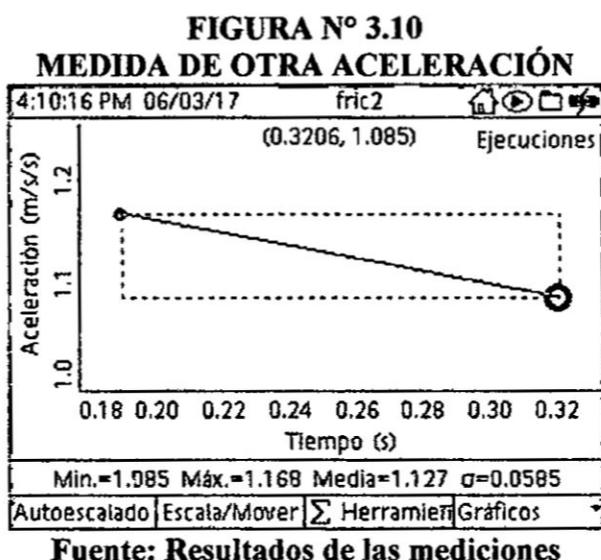


Fuente: Resultados de las mediciones

De la gráfica vemos que el valor de la aceleración media para la pesa de 128.8g de masa resulta ser $a_1 = 0.782 \text{ m/s}^2$, valor que anotaremos en la Tabla N° 3.2 más adelante.

Ahora cogiendo una arandela (huacha) que está dentro del móvil y agregándola a la pesa que cuelga verticalmente sujeta del hilo que se apoya de la polea, aumentamos a 143.5g la masa de esta pesa que acciona el movimiento del móvil.

A continuación sujetamos el móvil de manera que la lámina obturadora quede cerca de la fotopuerta y presionando la tecla play iniciamos la toma de datos, luego el móvil se libera desde el reposo y el Xplorer vuelve a medir la aceleración del móvil cuando se desliza nuevamente sobre la superficie rugosa, la Figura N° 3.10 muestra la nueva aceleración, esto es:



De la gráfica vemos que el valor de la aceleración media es $a_2 = 1.127 \text{ m/s}^2$, valor que volveremos a anotar en la Tabla N° 3.2 y los resultados para la medición de la aceleración con otros valores diferentes de la masa de la pesa que acciona el movimiento del sistema móvil, también se muestran en la Tabla N°3.2, esto es:

TABLA N° 3.2
MEDICIONES DE ACELERACIÓN

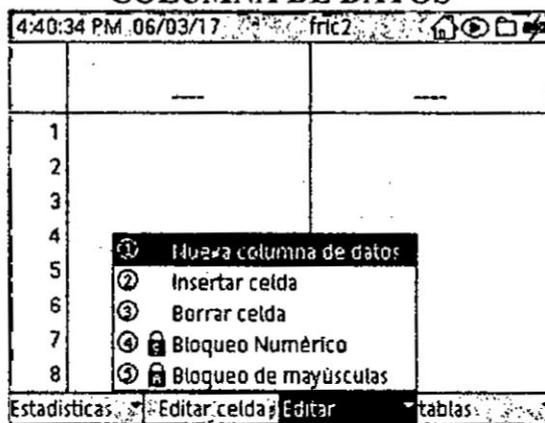
Medición	1	2	3	4	5	6
m (g)	128.8	143.5	156.0	171.3	184.3	198.6
a (m/s ²)	0.782	1.127	1.620	2.01	2.465	3.04
mg(N)	1.26	1.406	1.528	1.678	1.806	1.946

Fuente: Resultados de las mediciones

Handwritten signature and initials

Para crear en el Xplorer, una tabla con los datos de aceleración y con los datos de la fuerza, presionamos la tecla con símbolo casa, lo que nos lleva al menú principal y después presionamos la tecla f2, esto hace que la pantalla [4] muestre dos columnas para crear una tabla de datos, en seguida presione la tecla f3 para editar la tabla y la pantalla muestra la ventana de la Figura N° 3.11, esto es:

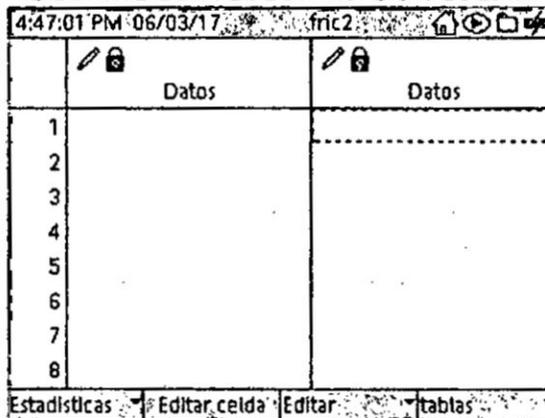
**FIGURA N° 3.11
COLUMNA DE DATOS**



Fuente: Pantalla del Xplorer

En seguida presionamos el botón check y se activa la primera columna, después volvemos a presionar la tecla f3 y después presionamos nuevamente la tecla check y se activa la otra columna de datos a crear [4], vea la Figura N° 3.12 esto es:

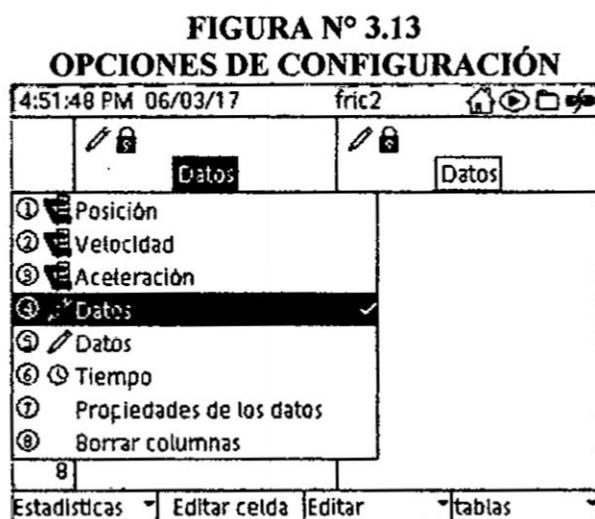
**FIGURA N° 3.12
CONFIGURACIÓN DE COLUMNA**



Fuente: Pantalla del Xplorer

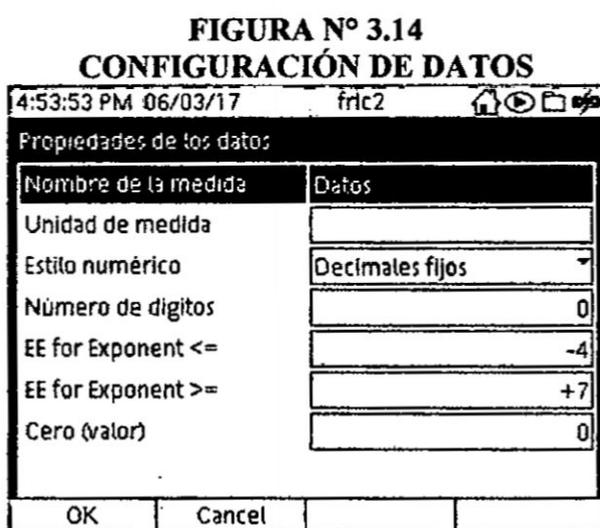
HY

Con la tecla direccional muévase a la primera columna, después presione dos veces la tecla chek y la pantalla del Xplorer muestra una ventana para configurar la columna, como se muestra en la Figura N° 3.13 esto es:



Fuente: Pantalla del Xplorer

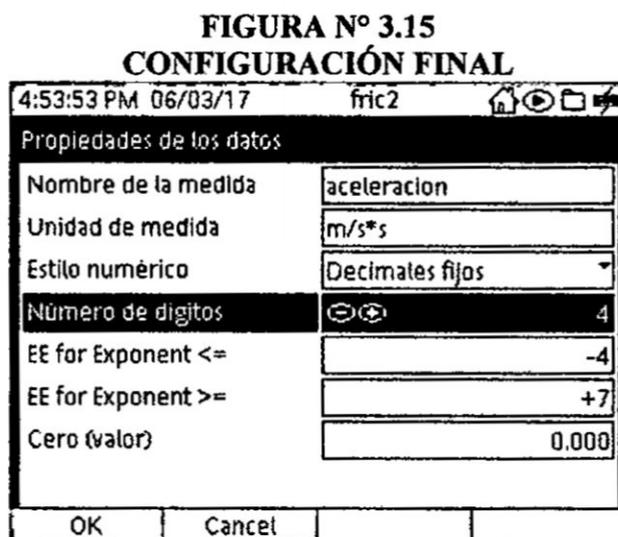
Con las teclas direccionales elegimos el campo: propiedades de los datos, luego presionamos la tecla chek y se activa una nueva ventana, como se muestra en la Figura N° 3.14, esto es:



Fuente: Pantalla del Xplorer

En seguida presione la tecla chek y escribimos aceleración que será el nombre de la columna y después presionamos chek nuevamente. Después de esto con las teclas direccionales baje a unidad de medida y presionamos la tecla chek, en seguida escribimos m/s/s y después la tecla chek.

A continuación con las teclas direccionales bajamos al campo de numero de dígitos y luego presionamos la tecla chek, en seguida presionando la tecla con símbolo de suma (+) aumentados a tres el número de decimales, de manera que la ventana quede configurada como se muestra en la Figura N° 3.15, esto es:



Fuente: Pantalla del Xplorer

Después presionamos la tecla fl para activar el campo con la palabra OK y en seguida la pantalla del Xplorer muestra la ventana con la primera columna ya configurada.

Después de todos los pasos hechos para configurar la primera columna, hacemos los mismos pasos para configurar la segunda columna de datos, pero escribiendo el nombre de fuerza, con la medida en Newton (N) como esta ha configurada la tabla de datos para la aceleración y la fuerza, como se muestra en la Figura N° 3.16, esto es:

HP
[Handwritten signature]

**FIGURA N° 3.16
CONFIGURACIÓN DE COLUMNA 2**

5:25:30 PM 06/03/17		fric2	
	✎ 🔒 aceleracion (m/s*s)	✎ 🔒 fuerza (N)	
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

Estadísticas | Editar celda | Editar | tablas

Fuente: Pantalla del Xplorer

Con la tecla direccional elegimos la columna de aceleración y empezamos a escribir los valores de aceleración y de fuerza, de la Tabla N° 3.2, hasta llenar las columnas de la pantalla del Xplorer, como se muestra en la Figura N° 3.17, esto es:

**FIGURA N° 3.17
DATOS PARA GRÁFICA**

5:34:16 PM 06/03/17		fric2	
	✎ 🔒 ace.eracion (m/s*s)	✎ 🔒 fuerza (N)	
1	0.7820	1.2620	
2	1.1270	1.4060	
3	1.6200	1.5280	
4	2.0100	1.6780	
5	2.4650	1.8060	
6	3.0400	1.9460	
7			
8			

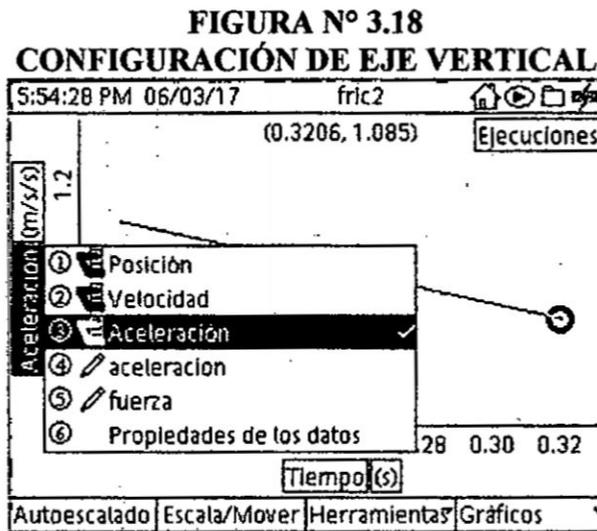
Estadísticas | Editar celda | Editar | tablas

Fuente: Pantalla del Xplorer

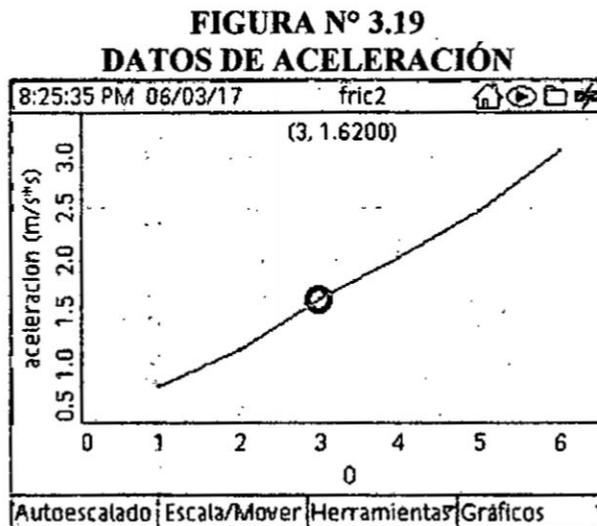
A continuación presionamos la tecla con símbolo de casa y la pantalla del Xplorer muestra el menú principal, en seguida presionamos la tecla f1 y volvemos a la gráfica de aceleración inicial, en seguida presionamos dos veces la tecla check y se

HP

activa una nueva ventana con la alternativas que se muestra en la siguiente Figura N° 3.18, esto es:

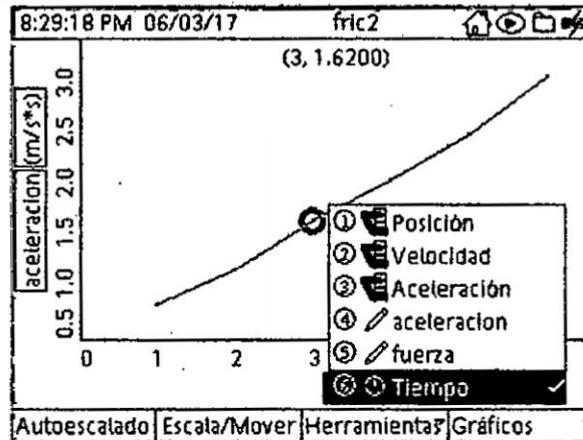


Con la tecla direccional elegimos el otro campo de aceleración al lado del lápiz y presionamos la tecla chek, lo que activa en el eje vertical los datos de la aceleración de la tabla creada, como se aprecia en la Figura N° 3.19, esto es:



A continuación presionamos la tecla chek y después la tecla direccional izquierda, lo que sombrea el campo del eje horizontal, en seguida presionamos la tecla chek y aparece una ventana con las alternativas para elegir, como se muestra en la Figura N° 3.20, esto es:

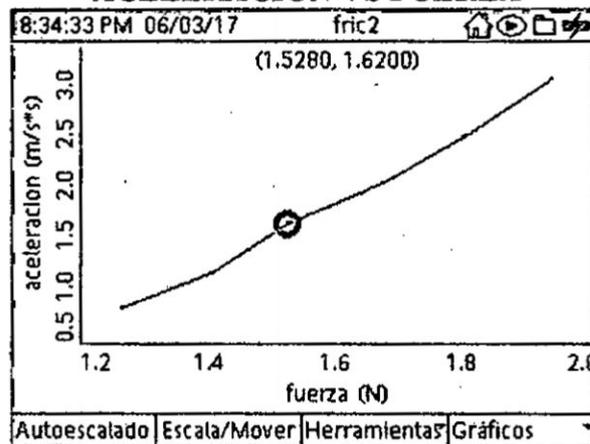
**FIGURA N° 3.20
CONFIGURACIÓN DE EJE HORIZONTAL**



Fuente: Pantalla del Xplorer

En seguida con la tecla direccional elegimos el campo con nombre Fuerza al lado del lápiz, luego presionamos la tecla chek y en seguida la pantalla muestra la Gráfica N° 3.1 de la aceleración vs fuerza, esto es:

**GRÁFICA N° 3.1
ACELERACIÓN VS FUERZA**



Fuente: Resultados de las mediciones

Por otro lado también igualamos el valor del intercepto $3.43 \frac{m}{s^2}$ con el segundo término de la ecuación (3.3), esto es:

$$\mu_k g = \mu_k 9.8 \frac{m}{s^2} = 3.43 \frac{m}{s^2}$$

Despejando el valor del coeficiente de fricción resulta:

$$\mu_k = 0.35$$

Determinando el valor promedio para el coeficiente cinético de fricción se tiene:

$$\mu_k = \frac{0.386 + 0.35}{2} = 0.368$$

3.2 Leyes de Newton

Conocer las causas que originan el movimiento de los cuerpos fue un problema muy complicado de resolver hasta finales del siglo XV. Después de la primera mitad del siglo XVI, Sir Isaac Newton establece tres principios fundamentales que permiten reconocer las causas que originan el movimiento de los cuerpos, estos principios fundamentales son conocidos como las leyes de Newton para la dinámica de los cuerpos.

En esta parte del capítulo II se trata de comprobar en forma experimental la veracidad de la segunda ley de Newton y la tercera ley de Newton [2].

Primera ley de Newton: También conocida como ley de la inercia [2], establece:

“Si la fuerza neta sobre un cuerpo es cero, el cuerpo está en equilibrio es decir en reposo o en movimiento con velocidad constante”.

En términos matemáticos:

$$\sum \vec{F} = \vec{0} \quad (3.4)$$

Segunda ley de Newton: También conocida como la ley de la Causa y Efecto [2], o segunda ley de la dinámica, establece lo siguiente:

“Cuando una fuerza neta actúa sobre un cuerpo, éste adquiere aceleración, en la misma dirección de la fuerza neta. La magnitud de la aceleración es directamente proporcional a la fuerza neta y es inversamente proporcional a la masa del cuerpo que experimenta la fuerza neta”.

En términos matemáticos es:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} = \frac{1}{m} \sum_i \vec{f}_i \quad (3.5)$$

De la cual podemos escribir la conocida ecuación de la dinámica, conocida como ecuación de movimiento de un cuerpo esto es:

$$m\vec{a} = \sum_i \vec{f}_i \quad (3.6)$$

3.2.1 Materiales y equipos

Los materiales y equipos que se necesitan para el desarrollo del experimento de la segunda ley de Newton se muestran en la Figura N° 3.21 y se detallan de la siguiente manera:

- Un Xplorer GLX y su cargador
- Una fotopuerta, adaptador digital
- Lámina obturadora
- Un sensor de movimiento circular



- Un calibrador de Vernier
- Una regla metálica de 1 m
- Una balanza digital de 1 kg
- Una rampa de madera horizontal
- Un carrito de madera
- Dos soportes universales, pinzas y nueces
- Pesas y pabilo

FIGURA N° 3.21
EQUIPOS PARA 2^{da} LEY DE NEWTON



Fuente: Foto en el Laboratorio de Física FIQ

3.2.2 Parte experimental

Actividad 1: Relación aceleración vs fuerza

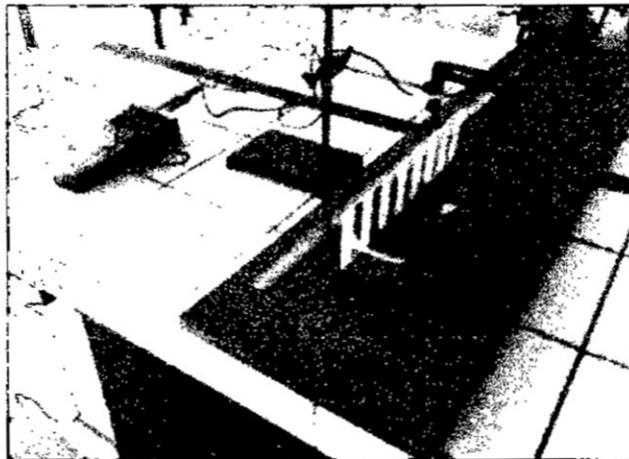
En esta primera parte del experimento se trata de comprobar en forma experimental la segunda ley de Newton, para esto haremos variar la fuerza neta F junto con la aceleración a manteniendo constante la masa del sistema.

El experimento de la segunda ley de Newton empieza con la medición de la masa del sistema que consiste (la masa del carrito de madera + la masa de la lámina

obturadora + la masa de las pesitas) para esto se utiliza una balanza electrónica y la medida fue $M = 651.3 \text{ g}$.

A continuación se realiza el arreglo experimental como se muestra en la Figura N° 3.22, previamente conectamos el cargador a la red doméstica 220 V, luego el extremo libre de este cargador se conecta al Xplorer GLX y automáticamente el Xplorer GLX se enciende.

**FIGURA N° 3.22
ARREGLO EXPERIMENTAL**



Fuente: Foto en el Laboratorio de Física FIQ

Luego conectamos en uno de los puertos del Xplorer GLX el adaptador digital de la fotopuerta y automáticamente el equipo muestra una ventana de una serie de sensores en nuestro caso seleccionamos fotopuerta y lámina obturadora, luego el equipo nos muestra otra ventana donde debemos de introducir el valor de la medida de la separación de las bandas.

Para medir la separación de bandas utilizamos el calibrador de Vernier, le lectura del valor de dicha separación fue de 2 cm , que metros resulta ser de 0.02m , también en esta ventana cambiamos la condición de la velocidad a visible mientras las otras cantidades como posición y aceleración lo fijamos como invisible tal como se muestra en la Figura N° 3.23

**FIGURA N° 3.23
CONFIGURACIÓN DE FOTOPUERTA**

 Fotopuerta y lámina obturadora	
Separación de bandas (m)	0.020
Posición	Invisible
Velocidad	visible
Aceleración	Invisible
Añadir	Quitar

Fuente: Pantalla del Xplorer GLX

Luego presionamos la tecla casita y automáticamente regresamos a la ventana principal del equipo y seleccionamos la opción gráfico y el equipo nos muestra una gráfica entre la velocidad y tiempo.

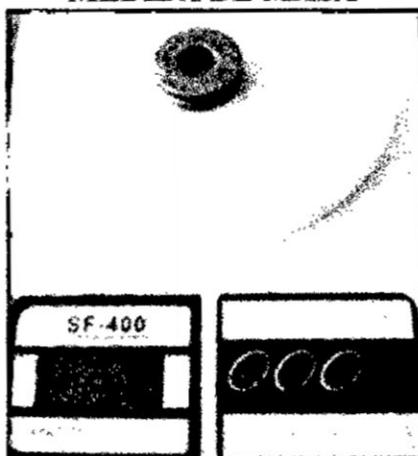
Además por uno de los extremos de la rampa se fija el sensor de movimiento circular por medio de una pinza y nuez de un soporte universal, que esta vez el sensor solo hace la función de una polea. Y ya estamos casi listos para iniciar las mediciones.

Antes de realizar la primera medida de la velocidad, debemos de tener en cuenta una masa $m = 57.8 \text{ g}$, esta masa es quitado de la masa del sistema y que es colocado en el extremo libre del hilo, este peso es la fuerza neta F que acciona el movimiento del sistema tal como se muestra en la Figura N° 3.22.

La medida de la masa de la pesa que acciona el movimiento, se efectúa con la ayuda de una balanza digital, tal como se muestra en la Figura N° 3.24 esto es:




**FIGURA N° 3.24
MEDIDA DE MASA**



Fuente: Foto en Laboratorio de Física de la FIQ

A continuación colocamos el carrito de madera cerca de la fotopuerta y luego lo soltamos, cuando el carrito de madera atraviesa la fotopuerta, el equipo mide la velocidad, como la gráfica es lineal haciendo un ajuste lineal a esa gráfica se consigue el valor de la pendiente que es la aceleración, en esta primera medida la aceleración es $a = 0.369 \text{ m/s}^2$.

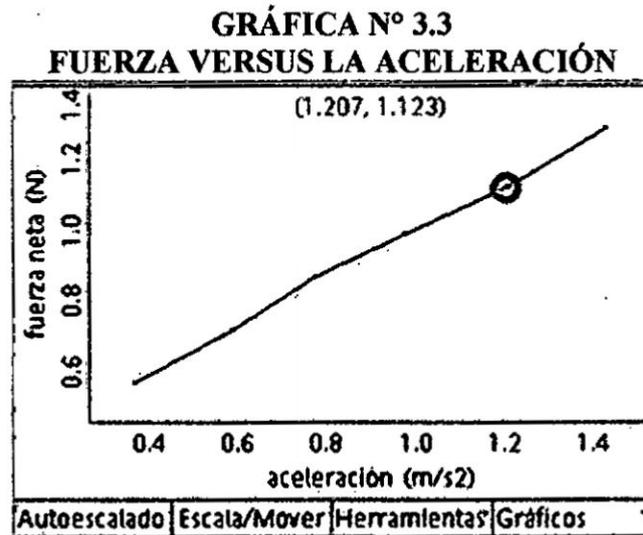
Repetimos el experimento para esto sin hacer variar la masa del sistema vamos a quitar unas pesitas que se encuentran en el carrito de madera y lo colocamos en el extremo libre del hilo, este nuevo peso otra vez acciona el sistema, por consiguiente se consigue otra aceleración, repetimos el experimento con otras pesitas y en la tabla N° 3.3, se indican las mediciones de la masa, fuerza neta y aceleración del sistema.

**TABLA N° 3.3
DATOS DE MASA, FUERZA NETA Y ACELERACIÓN**

$m \text{ (g)}$	57.8	72.9	88.1	100.7	114.6	131.4
$mg \text{ (N)}$	0.566	0.714	0.863	0.986	1.123	1.287
$a \text{ (m/s}^2\text{)}$	0.369	0.592	0.776	0.98	1.207	1.43

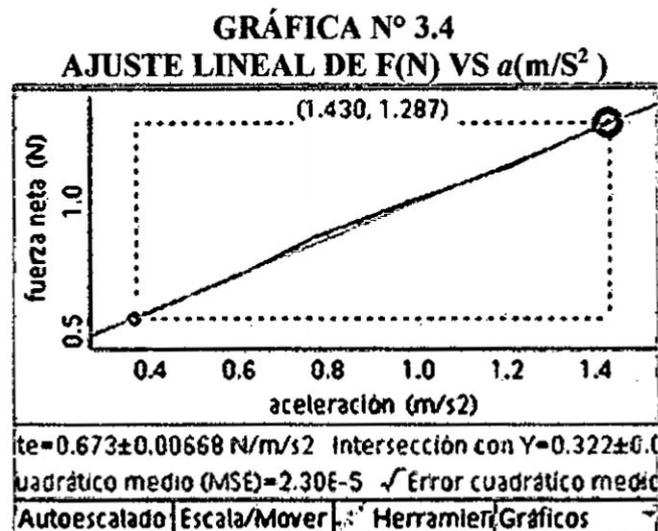
Fuente: Resultados de las mediciones

Para comprobar experimentalmente la segunda ley de Newton, con los datos de la Tabla N° 3.3, realizamos en el Xplorer una gráfica de la fuerza neta versus la aceleración [4], tal como se muestra en la Gráfica N° 3.3, esto es:



Fuente: Resultados de las mediciones

Haciendo un ajuste lineal a los datos de la fuerza neta versus aceleración, se puede encontrar la pendiente de la recta y el intercepto con el eje vertical, tal como se muestra en la Gráfica N° 3.4, esto es:



Fuente: Resultados de las mediciones

Entonces la relación matemática entre la fuerza neta y la aceleración queda determinada por medio de la ecuación:

$$F = (0.673\text{kg}) a + 0.322\text{ N}$$

Donde la pendiente de la recta en esta ecuación, físicamente representa la masa del sistema. En nuestro experimento la masa del sistema está dada como (la masa del carrito de madera + la masa de la lámina obturadora + la masa de las pesitas) cuyo valor fue 0.6513 kg . De acuerdo al resultado obtenido de la masa del sistema podemos concluir que se comprueba la segunda ley de Newton.

Actividad 2: Relación aceleración vs masa

En esta segunda parte del experimento se trata nuevamente de comprobar en forma experimental la segunda ley de Newton, para esto haremos variar la aceleración junto con la masa del sistema manteniendo constante la fuerza neta F .

El experimento de la segunda ley de Newton empieza ahora con la medición de la masa de las pesitas que será colocado en el extremo libre del hilo, para esto se utiliza una balanza electrónica y la medida fue $m = 152.5\text{ g}$, por lo que la fuerza neta constante que acciona el sistema será de magnitud $F = 1.4945\text{ N}$. A continuación teniendo en cuenta el arreglo experimental de la primera actividad en donde ahora la masa del sistema está dada como $M = M_0 + m$, donde la masa $M_0 = 421.3\text{ g}$, por consiguiente la masa total es $M = 0.5738\text{ kg}$.

Para iniciar la toma de datos se tendrá que colocar nuevamente el carrito de madera cerca de la fotopuerta y luego lo soltamos, el equipo Xplorer mide la velocidad y haciendo un ajuste lineal a la gráfica de velocidad versus tiempo se obtiene inmediatamente el valor de pendiente que es la aceleración, para esta masa la aceleración fue $a = 1.82\text{ m/s}^2$.



Con el propósito de realizar varias mediciones de velocidad, se agrega unas pesitas encima del carrito de madera por lo que la masa del sistema cambió por consiguiente también la aceleración, esta medición más otras que se repiten agregando pesitas al carrito de madera, con lleva a tener varias mediciones de masa del sistema, fuerza neta constante y aceleración tal como se muestra en la Tabla N° 3.4.

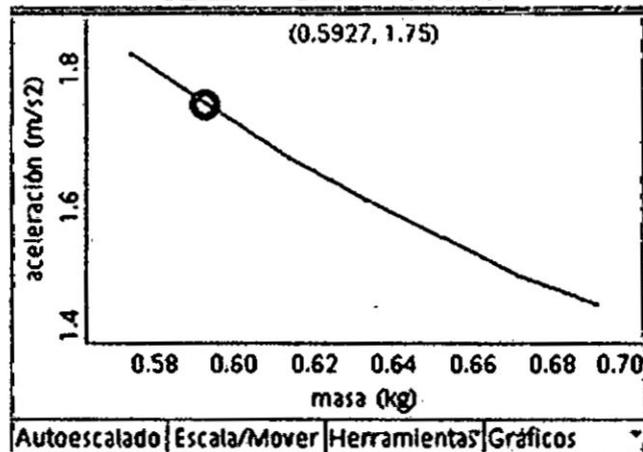
**TABLA N° 3.4
DATOS DE MASA, FUERZA NETA Y ACELERACIÓN**

$M(kg)$	0.5738	0.5927	0.6138	0.6332	0.672	0.6911
$mg(N)$	1.4945	1.4945	1.4945	1.4945	1.4945	1.4945
$a (m/s^2)$	1.82	1.75	1.67	1.61	1.50	1.46

Fuente: Resultados de las mediciones

La relación inversa entre la aceleración y masa en la segunda ley de Newton se comprueba usando los datos de la Tabla N° 3.4, creamos una tabla de datos en el Xplorer [4], la Gráfica N° 3.5 nos muestra la relación inversa entre la aceleración y la masa del sistema M , esto es:

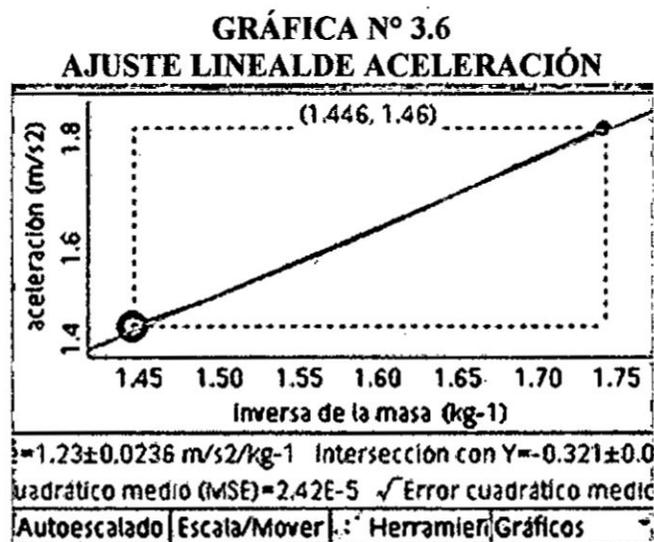
**GRÁFICA N° 3.5
ACELERACIÓN Vs MASA**



Fuente: Resultados de las mediciones

Con los datos de la Tabla N° 3.4, calculamos la inversa de la masa y creamos una gráfica de la aceleración en función de la inversa de la masa.

La Gráfica N° 3.6 muestra la relación lineal de la aceleración vs el inverso de la masa del sistema, por consiguiente es natural que se efectuemos un ajuste lineal para determinar la pendiente de la recta, que es igual al recíproco de la masa del sistema, esto es:



Fuente: Resultados de las mediciones

Entonces la relación matemática entre la aceleración y la inversa de la masa del sistema queda determinada por medio de la ecuación:

$$a = (1.23 \text{ N}) \frac{1}{M} - 0.321 \frac{m}{s^2}$$

Donde la pendiente de la recta en esta ecuación, físicamente representa la fuerza neta. En nuestro experimento la fuerza neta es 1.4945 N. De acuerdo al resultado obtenido de la fuerza neta podemos concluir que se comprueba la segunda ley de Newton.

47

3.2.3 Tercera ley de Newton

También es conocida como la ley de la Acción y Reacción, establece lo siguiente:

“Cuando dos cuerpos interactúan, se ejercen fuerzas uno sobre el otro, que en todo instante son de igual magnitud y de dirección opuesta”.

En términos matemáticos:

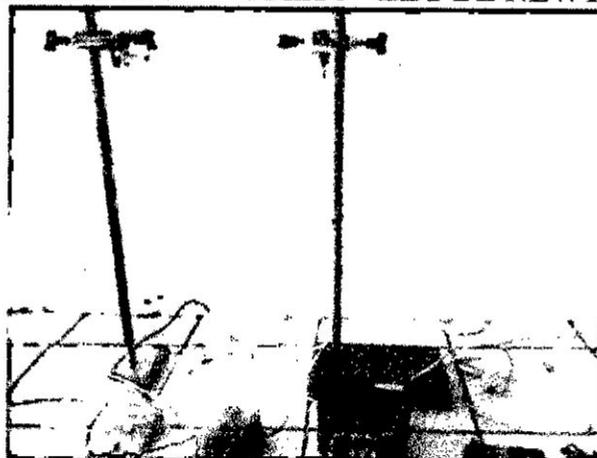
$$\vec{F}_{A \text{ sobre } B} = -\vec{F}_{B \text{ sobre } A} \quad (3.7)$$

3.2.4 Materiales y equipos

Los materiales y equipos para el desarrollo del experimento de la tercera ley de Newton se indican de la siguiente manera:

- Un Xplorer GLX y su cargador
- Dos sensores de fuerza
- Un calibrador de Vernier
- Dos soportes universales con pinzas y nueces
- Una liga

**FIGURA N° 3.25
MATERIALES PARA LA 3ª LEY DE NEWTON**



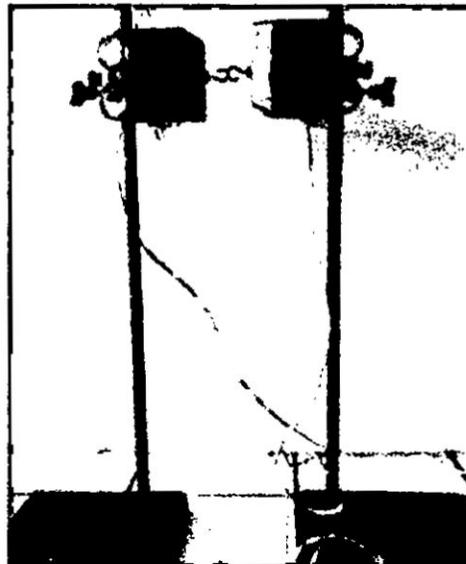
Fuente: Foto en el Laboratorio de Física FIQ

3.2.5 Parte experimental

Actividad 3: Fuerzas de acción y reacción

En esta tercera parte del experimento se trata de comprobar en forma experimental la tercera ley de Newton. El experimento de la tercera ley de Newton empieza con el arreglo experimental [8] tal como se muestra en la Figura N° 3.26, previamente conectamos el cargador a la red doméstica 220 V, luego el extremo libre de este cargador se conecta al Xplorer GLX y automáticamente el Xplorer GLX se enciende.

**FIGURA N° 3.26
ARREGLO EXPERIMENTAL**



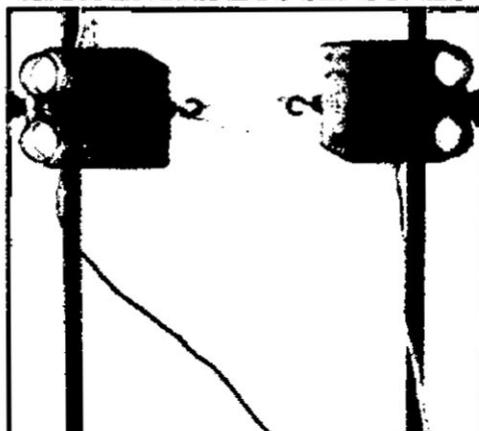
Fuente: Foto en el Laboratorio de Física FIQ

Después conectamos en uno de los puertos del Xplorer GLX el extremo libre del sensor de Fuerza 1 inmediatamente el equipo reconoce el sensor y se genera una gráfica de fuerza (empuje positivo) versus tiempo, luego presionamos en dos tiempos en la tecla check del equipo y automáticamente se genera una ventana y en esa ventana seleccionamos fuerza (tiro positivo) y la gráfica inicial se cambia por otra es decir una gráfica de fuerza (tiro positivo) versus tiempo. Respecto al sensor de Fuerza 2 se repite lo mismo.

47

A continuación se realiza la calibración de los sensores de fuerza, para esto en cada sensor se presiona una sola vez el botón cero, y luego se coloca la liga entre los sensores de fuerza tal como se muestra en la Figura N° 3.27. Y ya estamos listos para realizar las mediciones respectivas.

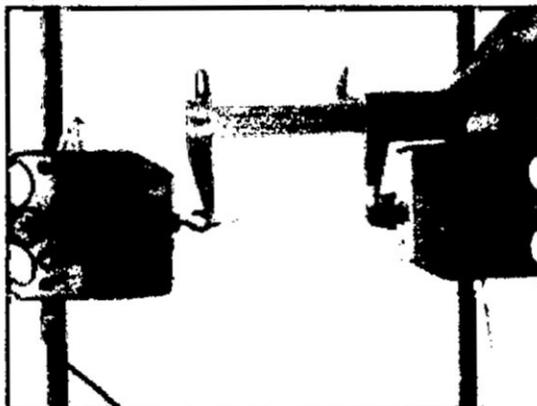
FIGURA N° 3.27
LIGA ENTRE LOS SENSORES



Fuente: Foto en el Laboratorio de Física FIQ

Con el propósito de medir las fuerzas en cada sensor, fijamos una distancia de separación entre los sensores por medio de la liga. En la Figura N° 3.28, se muestra la primera distancia de separación $d = 8 \text{ cm}$, por consiguiente el Xplorer indica las mediciones de las fuerzas en este caso $F_1 = 0.506 \text{ N}$ y $F_2 = 0.497 \text{ N}$.

FIGURA N° 3.28
FUERZAS DE ACCIÓN Y REACCIÓN



Fuente: Foto en el Laboratorio de Física FIQ

Handwritten signatures and initials are present in the bottom right corner of the page.

Con la finalidad de realizar varias mediciones se repite el experimento con otras distancias de separación, tal como se muestra en la Tabla N° 3.5.

**TABLA N° 3.5
MEDIDAS DE DISTANCIAS Y FUERZAS**

$d \text{ (cm)}$	8	9	10	11	12	13	14
$F_1 \text{ (N)}$	0.506	0.685	0.863	0.982	1.07	1.22	1.28
$F_2 \text{ (N)}$	0.497	0.702	0.877	0.994	1.08	1.199	1.287

Fuente: Resultados de las mediciones

De acuerdo a los resultados obtenidos de las fuerzas podemos concluir que se comprueba la tercera ley de Newton.

3.3 Fuerza viscosa

Siempre que un cuerpo se mueve dentro de un medio fluido experimenta una fuerza opuesta al movimiento debido al rozamiento del cuerpo y principalmente a la viscosidad del medio. Esta fuerza de fricción se conoce como fuerza viscosa y es directamente proporcional a la rapidez del cuerpo y de dirección opuesta a la velocidad [3], esto es:

$$\vec{f}_v = -b\vec{v} \quad (3.8)$$

Aquí la cantidad b es la constante de la fuerza viscosa y su valor depende de la geometría del cuerpo en movimiento y de la viscosidad del medio fluido. En el sistema internacional de unidades la constante b se mide en kg/s ó en g/s .

Para un cuerpo de masa " m ", que partiendo del reposo, cae dentro de un medio fluido debido a su peso, la segunda ley de Newton exige que se cumpla:

$$ma = mg - E - bv \quad (3.9)$$

HP

[Handwritten signature]

Siendo $E = \rho_L V g$ el empuje de Arquímedes, que depende de: la densidad ρ_L del fluido; del volumen desalojado V equivalente al volumen del cuerpo que se mueve dentro del medio fluido y depende de la aceleración de la gravedad g . Esta ecuación (3.9) es una ecuación diferencial no homogénea de primer orden para la velocidad del cuerpo.

Después de realizar un laborioso despeje, de operaciones matemáticas y de realizar los cálculos de integración respectiva, resolvemos la ecuación diferencial (3.9) y obtenemos la ecuación final de la velocidad en función del tiempo, que tiene la forma:

$$v = \left(1 - \frac{\rho_L}{\rho_c}\right) \frac{mg}{b} \left[1 - e^{-\frac{b}{m}t}\right] \quad (3.10)$$

Ecuación que, para un tiempo suficientemente grande $t \rightarrow \infty$, nos predice que el cuerpo alcanzará su máxima velocidad durante la caída, conocida como velocidad terminal v_T , esto es:

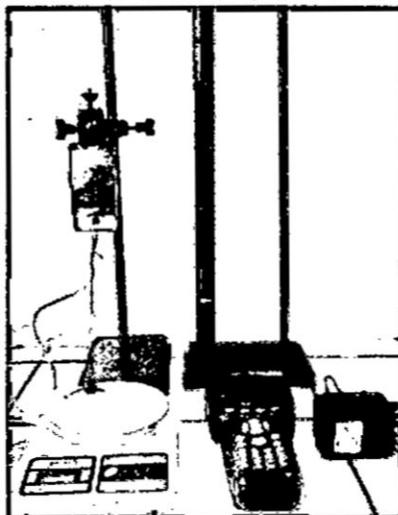
$$v_T = \left(1 - \frac{\rho_L}{\rho_c}\right) \frac{mg}{b} \quad (3.11)$$

3.3.1 Materiales y equipos

Este experimento de fuerza viscosa se realizará con los siguientes materiales que se muestran en la Figura N° 3.29 y se detallan a continuación:

- Xplorer GLX con cargador
- sensor de movimiento circular
- Tubo de vidrio de 1.2m de largo y 2.5cm de diámetro
- 1 litro de Aceite (liquido viscoso)
- Dos juegos de soporte universal con pinza y nuez
- Esfera pequeña de metal sujeto con 1.2m de hilo
- Balanza electrónica de 0.1g de precisión

FIGURA N° 3.29
MATERIALES PARA FUERZA VISCOSA

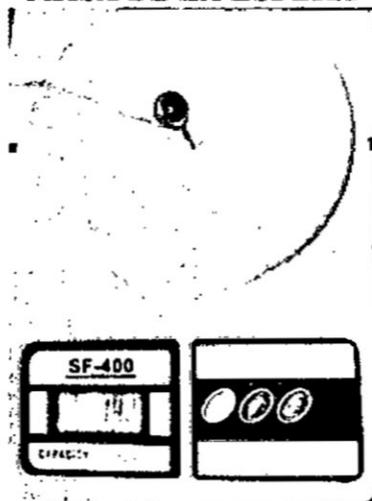


Fuente: Foto en Laboratorio de Física FIQ

3.3.2 Parte experimental

El experimento empieza midiendo la masa M y el diámetro d del cuerpo esférico que se moverá en el medio viscoso. La Figura N° 3.30 muestra el valor de la masa medida con la balanza electrónica, resultando $M = 14.2\text{g}$ y el diámetro de la esfera, medido con el calibrador de vernier resultado ser: $d = 1.8\text{cm}$.

FIGURA N° 3.30
MASA DE LA ESFERA



Fuente: Foto en Laboratorio de Física FIQ

HP

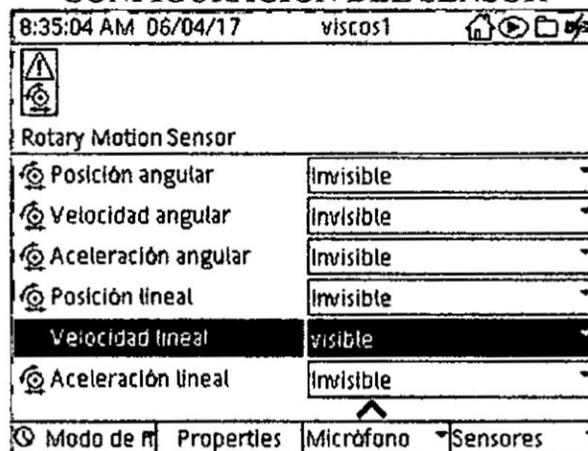
FIGURA N° 3.32
VENTANA DE CONFIGURACIÓN



Fuente: Pantalla del Xplorer

Con las teclas direccionales bajamos hasta posición angular y presionando la tecla chek cambiamos la condición de visible a invisible, con las teclas direccionales seguimos bajando hasta ubicar el campo de velocidad lineal y con la tecla chek cambiamos de invisible a visible, como muestra la Figura N° 3.33, esto es:

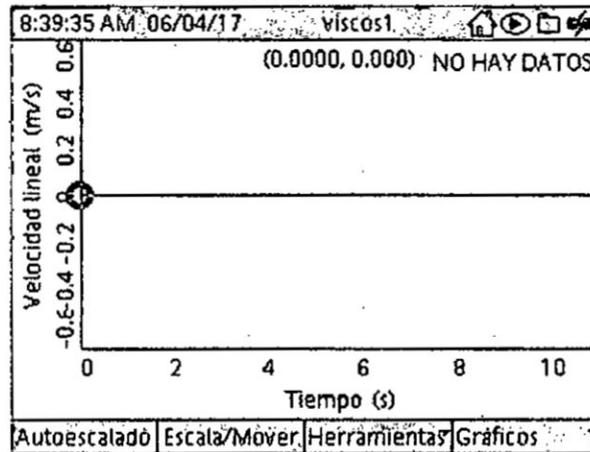
FIGURA N° 3.33
CONFIGURACIÓN DEL SENSOR



Fuente: Pantalla del Xplorer

Después de esto presionamos la tecla con símbolo de casa y la pantalla del Xplorer nos muestra el menú principal, en seguida presionamos la tecla f1 y la pantalla del Xplorer está lista para medir de la velocidad en función del tiempo, como se muestra en la Gráfica N° 3.7, esto es:

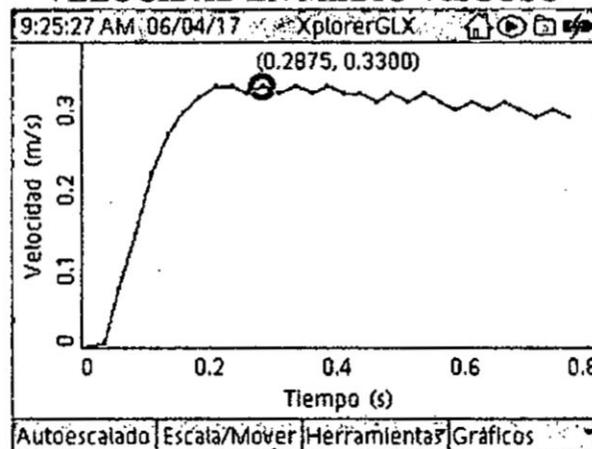
GRÁFICA N° 3.7
VELOCIDAD VS TIEMPO



Fuente: Pantalla del Xplorer

En esta etapa estamos listos para iniciar la toma de datos, para lo cual presionamos la tecla play, en seguida liberamos la esfera de metal en la superficie libre del líquido viscoso en el tubo. Casi al instante la pantalla del Xplorer muestra la velocidad de la esfera, la Gráfica N° 3.8 muestra los resultados de la medición, esto es:

GRÁFICA N° 3.8
VELOCIDAD EN MEDIO VISCOSO



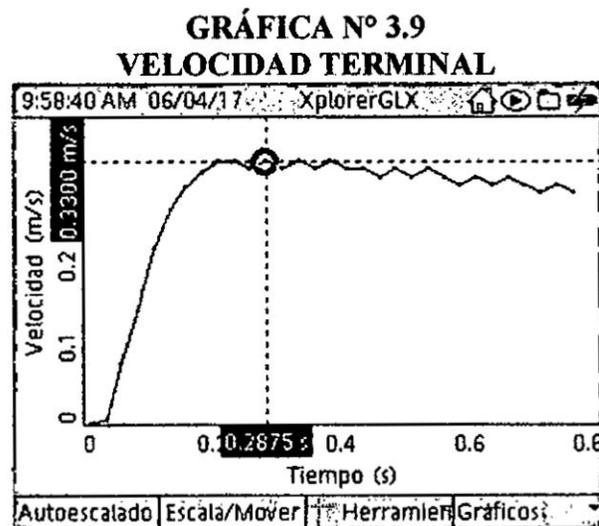
Fuente: Pantalla del Xplorer

Esta gráfica muestra el típico comportamiento de los valores de la velocidad predicha por la ecuación (3.11). De la gráfica se aprecia que inicialmente la

47

velocidad aumenta linealmente y después el cambio o aumento de velocidad se reduce progresivamente hasta ser nulo y la velocidad alcanza su máximo valor, que es conocida como la velocidad terminal del cuerpo.

La magnitud de la velocidad terminal tiene un valor $v_{max} = 0.33 \frac{m}{s}$, esta magnitud se puede determinar directamente de la pantalla usando la herramienta gráfica lo que nos permite apreciar la convergencia de la velocidad, para esto presionamos la tecla f3 y en la pantalla se activa una ventana con las herramientas gráficas, elegimos el campo Herramienta inteligente [4] presionando la tecla chek, lo que activa esta herramienta, como se ve en la Gráfica N° 3.9, esto es:



Fuente: Pantalla del Xplorer

Esta velocidad terminal es la que se describe en la ecuación (3.3.4) esto es:

$$v_T = 0.330 \frac{m}{s} = \left(1 - \frac{\rho_L}{\rho_C}\right) \frac{Mg}{b}$$

Siendo la densidad del líquido viscoso $\rho_L = 0.87 \frac{g}{cm^3}$ y la densidad del cuerpo esférico $\rho_C = 7.98 \frac{g}{cm^3}$. Como el valor de la aceleración de la gravedad es conocida $g = 9.8m/s^2$ y conociendo que la masa de la esfera que se mueve dentro

[Handwritten signature]

del líquido viscoso es $M = 0.0142\text{kg}$, podemos reemplazar los valores en la ecuación, esto es:

$$v_T = 0.330 \frac{m}{s} = \left(1 - \frac{0.87}{7.98}\right) \frac{0.0142 \times 9.8N}{b}$$

Despejando, se tiene el valor de la constante b de la fuerza de fricción que ejerce el líquido viscoso sobre el cuerpo esférico, esto es:

$$b = \left(1 - \frac{0.87}{7.98}\right) \frac{0.0142 \times 9.8N}{0.330 \frac{m}{s}} = 0.376 \frac{N \cdot s}{m}$$

Por tanto la fuerza de fricción viscosa se determina multiplicando los valores de la velocidad con el valor de la constante b ya determinada.

La Tabla N° 3.6 hecha en el Xplorer muestra los datos de velocidad y los datos de la fuerza de fricción viscosa para cada valor de la velocidad de la esfera cuando se mueve dentro del líquido viscoso, esto es:

**TABLA N° 3.6
DATOS DE FUERZA VISCOSA**

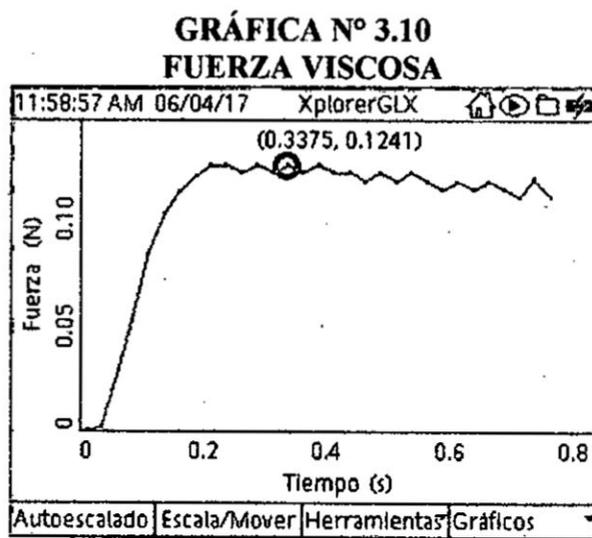
11:43:36 AM 06/04/17 XplorerGLX			
	✎	✎	✎
	Tiempo (s)	Velocidad (m/s)	Fuerza (N)
3	0.0375	0.0060	0.0022
4	0.0625	0.0760	0.0289
5	0.0875	0.1440	0.0540
6	0.1125	0.2200	0.0827
7	0.1375	0.2700	0.1015
8	0.1625	0.2980	0.1120
9	0.1875	0.3160	0.1188
10	0.2125	0.3300	0.1241
Estadísticas Editar celda Editar tablas			

Fuente: Pantalla del Xplorer

A continuación en la Gráfica N° 3.10 mostramos la fuerza de fricción viscosa, que ejerce el líquido sobre la esfera que se mueve en el líquido viscoso, note que esta

HP

fuerza aumenta a su máximo valor $f_{max} = 0.1241N$ que corresponde exactamente al peso de la esfera.



Fuente: Pantalla del Xplorer

41

CAPÍTULO IV TRABAJO Y ENERGÍA

El objetivo de este experimento es verificar experimentalmente o en forma cuantitativa la veracidad del teorema del trabajo y la energía cinética para un cuerpo en movimiento.

4.1 Trabajo y energía cinética

En general para un cuerpo de masa “m” que viaja con movimiento rectilíneo uniformemente variado (MRUV), el teorema del trabajo y la energía cinética [3] a lo largo del camino recorrido por un móvil establece lo siguiente:

“El trabajo efectuado por la fuerza resultante entre dos puntos cualquiera del camino recorrido por un móvil es igual al cambio que experimenta la energía cinética del móvil entre los dos puntos del camino recorrido”

En términos matemáticos esto equivale a escribir:

$$W_{neto} = \frac{1}{2} m(v_f)^2 - \frac{1}{2} m(v_i)^2 \tag{4.1}$$

Por otro lado para un movimiento rectilíneo uniformemente variado el trabajo de la fuerza resultante se puede escribir en términos de la masa “m” del cuerpo móvil, la distancia “d” recorrida por el móvil entre los dos puntos y la aceleración media a_m del móvil, la cual se puede determinar, puesto que se conocen los valores de velocidad en los instantes t_i y t_f del camino recorrido por el cuerpo, esto es:

$$W_{neto} = ma_m d = m \left(\frac{v_f - v_i}{t_f - t_i} \right) d \tag{4.2}$$

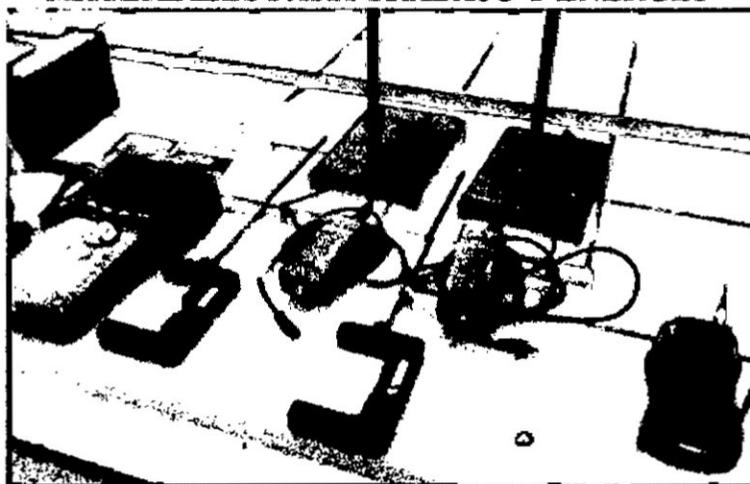
HY

4.1.1 Materiales y equipos

Para el desarrollo de esta experiencia del trabajo y la energía cinética se requieren los materiales y equipos que se muestran en la Figura N° 4.1 y que se detallan a continuación:

- El Xplorer GLX y su adaptador de corriente DC (cargador)
- Dos Fotopuertas y su adaptador digital c/u.
- Dos soportes universales, ambos con nuez
- Carrito o móvil de 150g (aprox.)
- Regla obturadora
- Balanza de 0.1g de precisión
- Bloque de madera
- Tabla de 120cm de largo (rampa)
- Regla metálica de 1m
- Calculadora científica

FIGURA N° 4.1
MATERIALES PARA TRABAJO Y ENERGÍA



Fuente: Foto en laboratorio de Física FIQ

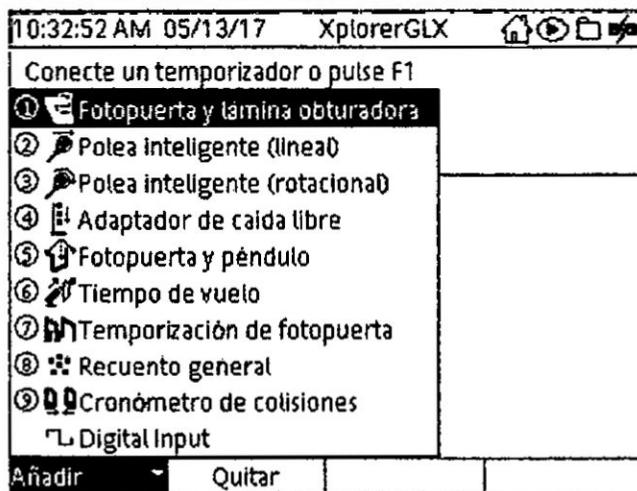
HF

4.1.2 Procedimiento experimental

Para desarrollar el experimento de trabajo y energía cinética se debe preparar el equipo Xplorer y sus accesorios a usar (los sensores electrónicos), tal como la fotopuerta y la lámina obturadora [4].

Se enciende el Xplorer GLX, espere al menos un minuto (1 min) para que el sistema del Xplorer GLX cargue y quede listo. Luego tomamos el adaptador digital lo colocamos al cable de la primera fotopuerta y se conecta al puerto serial N° 1 del Xplorer, después de hacer esto automáticamente en la pantalla del Xplorer GLX se activará una ventana que muestra ocho campos o alternativas para el uso de los sensores, tal como se muestra en la Figura N° 4.2

FIGURA N° 4.2
VENTANA DE SENSORES DEL XPLOER

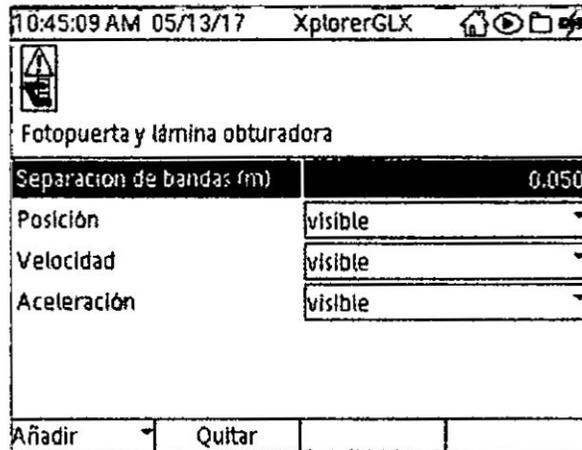


Fuente: Pantalla del Xplorer GLX

Usando la tecla direccional del Xplorer con el símbolo (v), se elige el sub campo con el nombre de fotopuerta y lámina obturadora. A continuación se presiona otra vez el botón chek, botón con el símbolo ✓ que se encuentra justo en el centro de las teclas direccionales del Xplorer.

Seguidamente en la pantalla del Xplorer, se activa una vantana de configuracion de la fotopuerta y lamina obturadora, como se muestra en la Figura N° 4.3, esto es:

FIGURA N° 4.3
CONFIGURACIÓN DE FOTOPUERTA



Fuente: Pantalla del xplorer GLX

La separacion o ancho de bandas se puede medir directamente con una regla de 20cm, en la Figura N° 4.4 se muestra el valor de 3.6cm para el ancho de la separación de las bandas de la lámina obturadora que usaremos en este experimento de trabajo y energía cinética.

Luego ingresamos este valor, en el campo de separacion de bandas, para lo cual se presionamos el boton chek y luego escribimos (en metros) el ancho de la separacion de las bandas de la lamina obturadora que se usara con la foto-puerta.

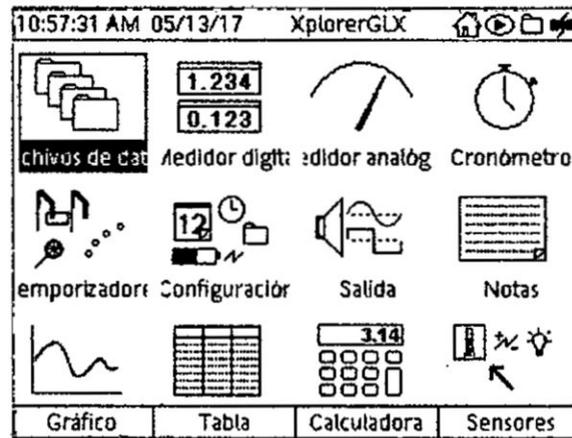
FIGURA N° 4.4
ANCHO DE BANDAS DE LÁMINA



Fuente: Foto en Laboratorio de Fisica FIQ

Una vez que se haya ingresado el valor de 0.036m en el sub-campo de separación de bandas en la pantalla del Xplorer, se presiona la tecla con el símbolo de casa para ir al menú principal del Xplorer, como se muestra en la Figura N° 4.5

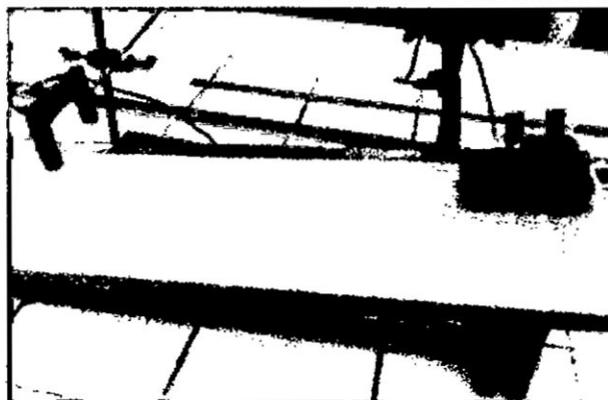
**FIGURA N° 4.5
MENÚ PRINCIPAL DEL XPLORER**



Fuente: Pantalla del Xplorer GLX

Cuando la pantalla del Xplorer muestre el menú principal se presiona la tecla con el símbolo f1 debajo de la pantalla, esta acción hará que en la pantalla del Xplorer, se active una gráfica de posición vs tiempo. A continuación se monta el experimento de trabajo y energía cinética para la toma de datos, tal como se muestra en la Figura N° 4.6

**FIGURA N° 4.6
MONTAJE PARA TRABAJO Y ENERGÍA**



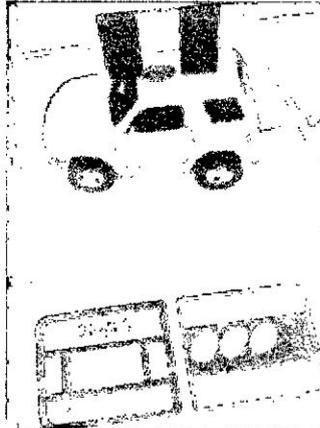
Fuente: Foto en Laboratorio de Física FIQ

HY

[Handwritten signature]

Como próximo paso medimos la masa total “M” del móvil, esto se puede hacer con la balanza electrónica de 0.1g de precisión cuya lectura es $M = 145.5 \text{ g}$, como se muestra en la Figura N° 4.7 esto es:

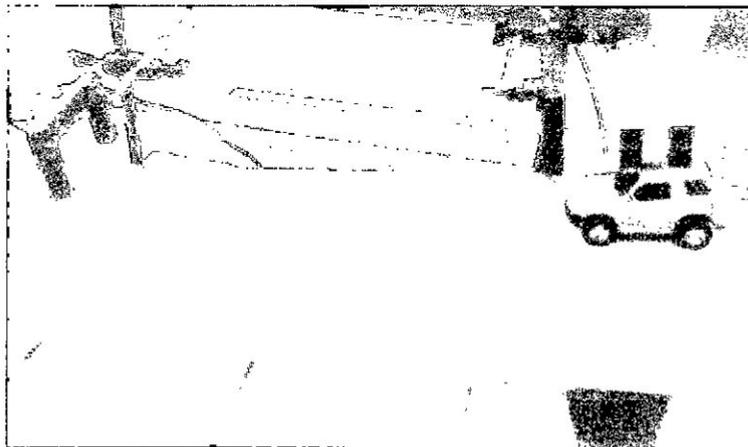
**FIGURA N° 4.7
MASA DEL MÓVIL**



Fuente: Foto en Laboratorio de Física FIQ

La toma de los datos del tiempo y de velocidad, para este experimento, se iniciará presionando la tecla “Play” del Xplorer, esta es una tecla cuyo símbolo es (\triangleright), después se libera el carrito cerca de la primera fotopuerta, como muestra la Figura N° 4.8 esto es:

**FIGURA N° 4.8
INICIO DE TOMA DE DATOS**



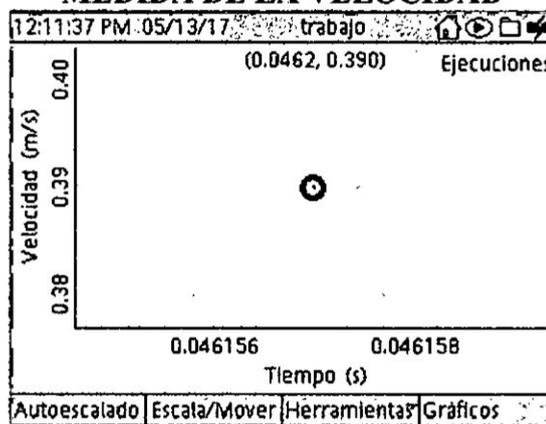
Fuente: Foto en Laboratorio de Física FIQ

HP



Después de que el carrito cruce la segunda fotopuerta se detiene la toma de datos del Xplorer, presionando el botón Play, tecla con símbolo (▶). A continuación se presiona la tecla F1 debajo de la pantalla del Xplorer y se activa la gráfica de velocidad en función del tiempo para la primera fotopuerta. La lectura del tiempo es de $t_1 = 0.0462\text{s}$ y de la correspondiente velocidad es de $v_1 = 0.390\text{m/s}$.

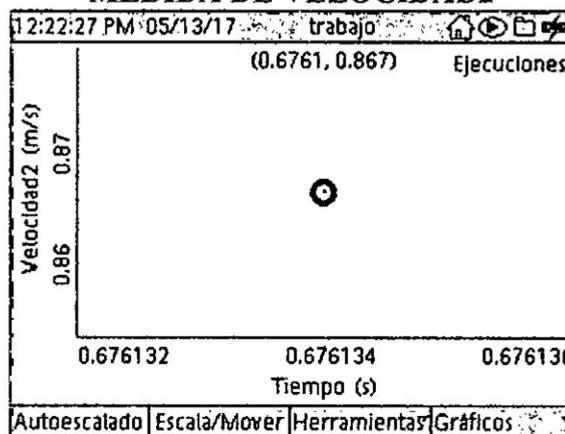
**FIGURA N° 4.9
MEDIDA DE LA VELOCIDAD**



Fuente: Resultados de la medición

Presionando dos veces la tecla check del Xplorer, se activa una ventana y se elige el campo de velocidad2, lo que se activa la gráfica de velocidad2 en función del tiempo del móvil, como se muestra en la Figura N° 4.10

**FIGURA N° 4.10
MEDIDA DE VELOCIDAD2**



Fuente: Resultados de la medición

HP

De esta grafica se toma lectura del tiempo $t_2 = 0.676s$ y la lectura de la velocidad en la segunda fotopuerta $v_2 = 0.867m/s$, este y los demás valores medidos para diferentes valores de la distancia d , se anotan en la Tabla N° 4.1 esto es:

**TABLA N° 4.1
MEDIDAS DE VELOCIDAD Y TIEMPO**

$t_1(s)$	$v_1(m/s)$	$t_2(s)$	$v_2(m/s)$	$d(m)$
0.0476	0.378	0.270	0.538	0.10
0.0487	0.369	0.356	0.596	0.15
0.0476	0.378	0.431	0.653	0.20
0.054	0.334	0.624	0.563	0.25
0.0484	0.372	0.574	0.759	0.30
0.0547	0.329	0.812	0.578	0.35

Fuente: Resultados de las mediciones

Con los datos medidos con el Xplorer GLX podemos calcular la energía cinética del móvil al pasar por la primera fotopuerta, esto es:

$$\frac{1}{2}m(v_i)^2 = \frac{1}{2} \times 0.1455kg \left(0.378 \frac{m}{s}\right)^2 = 0.0104 J$$

Para la energía cinética del móvil al pasar por la segunda fotopuerta, esto es:

$$\frac{1}{2}m(v_f)^2 = \frac{1}{2} \times 0.1455kg \left(0.538 \frac{m}{s}\right)^2 = 0.0210 J$$

La variación de la energía cinética para las primeras mediciones se determina por la ecuación (4.1), esto es:

$$\Delta E_1 = 0.0210 - 0.0104 J$$

$$\Delta E_1 = 0.0106 J$$

HP



Usando la ecuación (4.2) el trabajo de la fuerza resultante se puede determinar por:

$$W_1 = m \left(\frac{v_f - v_i}{t_f - t_i} \right) d = 0.1455 \text{kg} \left(\frac{0.538 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0.378 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0.270 \text{s} - 0.0476 \text{s}} \right) 0.1 \text{m}$$

$$W_1 = 0.0105 \text{ J}$$

Con los valores medidos con el Xplorer GLX podemos calcular la energía cinética del móvil al pasar por la primera fotopuerta, esto es:

$$\frac{1}{2} m (v_i)^2 = \frac{1}{2} \times 0.1455 \text{kg} \left(0.369 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 = 0.0099 \text{ J}$$

Para la energía cinética del móvil al pasar por la segunda fotopuerta, esto es:

$$\frac{1}{2} m (v_f)^2 = \frac{1}{2} \times 0.1455 \text{kg} \left(0.596 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 = 0.0259 \text{ J}$$

La variación de la energía cinética para la segunda medición se determina por la ecuación (4.1), esto es:

$$\Delta E_2 = 0.0259 \text{ J} - 0.0099 \text{ J}$$

$$\Delta E_2 = 0.016 \text{ J}$$

Usando la ecuación (4.2) el trabajo de la fuerza resultante se puede determinar por:

$$W_2 = m \left(\frac{v_f - v_i}{t_f - t_i} \right) d = 0.1455 \text{kg} \left(\frac{0.596 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0.369 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0.3564 \text{s} - 0.0487 \text{s}} \right) 0.15 \text{m}$$

$$W_2 = 0.0161 \text{ J}$$

Con los siguientes valores medidos con el Xplorer GLX podemos calcular la energía cinética del móvil al pasar por la primera fotopuerta, esto es:

$$\frac{1}{2} m (v_i)^2 = \frac{1}{2} \times 0.1455 \text{kg} \left(0.378 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 = 0.0104 \text{ J}$$

HP



Usando la ecuación (4.2) el trabajo de la fuerza resultante se puede determinar por:

$$W_4 = m \left(\frac{v_f - v_i}{t_f - t_i} \right) d = 0.1455 \text{kg} \left(\frac{0.563 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0.334 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0.624 \text{s} - 0.054 \text{s}} \right) 0.25 \text{m}$$
$$W_4 = 0.0146 \text{ J}$$

Con los valores medidos con el Xplorer GLX podemos calcular la energía cinética del móvil al pasar por la primera fotopuerta, esto es:

$$\frac{1}{2} m (v_i)^2 = \frac{1}{2} \times 0.1455 \text{kg} \left(0.372 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 = 0.010 \text{ J}$$

Para la energía cinética del móvil al pasar por la segunda fotopuerta, esto es:

$$\frac{1}{2} m (v_f)^2 = \frac{1}{2} \times 0.1455 \text{kg} \left(0.759 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 = 0.0419 \text{ J}$$

La variación de la energía cinética para los datos de la quinta medición se determina por la ecuación (4.1), esto es:

$$\Delta E_5 = 0.0419 \text{ J} - 0.010 \text{ J}$$
$$\Delta E_5 = 0.0319 \text{ J}$$

Usando la ecuación (4.2) el trabajo de la fuerza resultante se puede determinar por:

$$W_5 = m \left(\frac{v_f - v_i}{t_f - t_i} \right) d = 0.1455 \text{kg} \left(\frac{0.759 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0.372 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0.574 \text{s} - 0.0484 \text{s}} \right) 0.30 \text{m}$$
$$W_5 = 0.0321 \text{ J}$$

Con los valores medidos con el Xplorer GLX podemos calcular la energía cinética del móvil al pasar por la primera fotopuerta, esto es:

$$\frac{1}{2} m (v_i)^2 = \frac{1}{2} \times 0.1455 \text{kg} \left(0.329 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 = 0.0079 \text{ J}$$



Para la energía cinética del móvil al pasar por la segunda fotopuerta, esto es:

$$\frac{1}{2}m(v_f)^2 = \frac{1}{2} \times 0.1455kg \left(0.578 \frac{m}{s}\right)^2 = 0.0243 J$$

La variación de la energía cinética para los datos de la sexta medición se determina por la ecuación (4.1), esto es:

$$\Delta E_6 = 0.0243 J - 0.0078 J$$

$$\Delta E_6 = 0.0165 J$$

Usando la ecuación (4.2) podemos calcular el trabajo de la fuerza resultante, esto es resulta ser:

$$W_6 = m \left(\frac{v_f - v_i}{t_f - t_i} \right) d = 0.1455kg \left(\frac{0.578 \frac{m}{s} - 0.329 \frac{m}{s}}{0.812s - 0.0547s} \right) 0.35m$$

$$W_6 = 0.0167 J$$

En la siguiente Tabla N° 4.2 se muestra los resultados de las mediciones del experimento, como se puede apreciar, la diferencia entre el cambio de la energía cinética y el trabajo de la fuerza resultante, es de valor bien pequeño o despreciable, lo que prácticamente nos confirma la validez del teorema del trabajo y la energía cinética.

TABLA N° 4.2
CAMBIOS DE ENERGÍA CINÉTICA Y TRABAJO

Medida	1	2	3	4	5	6
$\Delta E_k (J)$	0.0104	0.0160	0.0206	0.0149	0.0319	0.0165
$W (J)$	0.0106	0.0161	0.0209	0.0146	0.0321	0.0167
$W - \Delta E_k$	0.0002	0.0001	0.0003	-0.0003	0.0002	0.0002

Fuente: Resultados de las mediciones

4.2 Cambios de energía potencial

Consideremos un resorte de constante elástica " k ", el resorte se encuentra suspendido verticalmente de un punto fijo y por el otro extremo libre del resorte se cuelga un cuerpo de masa " m " el cuerpo adquiere una energía potencial gravitacional $U_g = mgy_0$ debido a su interacción con el campo gravitacional de la tierra [6] donde y_0 es la distancia vertical medida desde la base del soporte universal hasta la ubicación del extremo libre del resorte sin deformar y cuando desciende hasta la distancia vertical y y medida desde la base del soporte universal, experimenta un cambio de energía potencial gravitacional ΔU_g .

Como el resorte se estira una longitud " x " para equilibrar el peso del cuerpo, este resorte almacena energía potencial elástica U_e . El cambio de la energía potencial gravitacional y el cambio de la energía potencial elástica se describen por medio de las siguientes ecuaciones:

$$\Delta U_g = mgy - mgy_0 \quad (1)$$

$$\Delta U_e = \frac{1}{2}kx^2 \quad (2)$$

Este sistema alcanza el equilibrio cuando la fuerza elástica del resorte es igual a la magnitud del peso del cuerpo suspendido, esto es:

$$F = mg = kx \quad (3)$$

De manera que el peso del cuerpo que deforma el resorte es directamente proporcional al estiramiento " x " como se indica en la ecuación (3). En esta parte del capítulo de trabajo y energía se trata de determinar la constante elástica " k " del resorte y los cambios de energía potencial.

4.2.1 Materiales y equipos

La Figura N° 4.1 muestran los materiales y equipos para el desarrollo del experimento de cambios de energía potencial, los que detallan más abajo:

- Un Xplorer GLX y su cargador
- Un sensor de fuerza
- Una regla metálica de 1 m
- Una balanza digital de 1 kg
- Un resorte y un juego de pesas
- Un soporte universal, pinza y nuez

**FIGURA N° 4.11
EQUIPOS DE ENERGÍA POTENCIAL**



Fuente: Foto en el Laboratorio de Física FIQ

4.2.2 Parte experimental

Actividad 1: Determinación de la constante elástica " k "

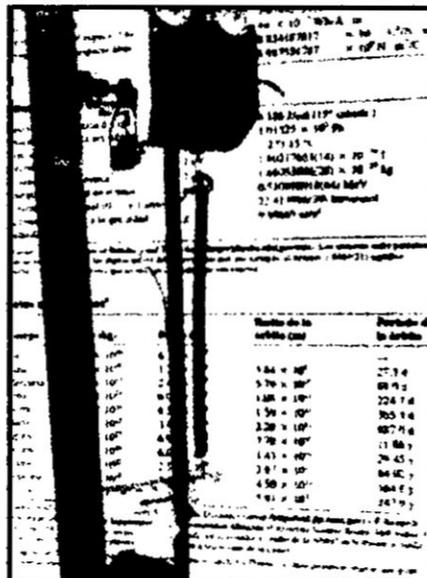
El experimento de cambios de energía potencial empieza con el arreglo experimental tal como se muestra en la Figura N° 4.2, previamente conectamos el cargador a la red doméstica 220 V, luego el extremo libre de este cargador se conecta al Xplorer GLX y automáticamente el Xplorer GLX se enciende.

Luego conectamos en uno de los puertos del Xplorer GLX el extremo libre del sensor de fuerza y automáticamente el equipo muestra una gráfica de fuerza

(empuje positivo) versus tiempo, presionando en dos tiempos la tecla check del equipo se muestra a continuación una ventana donde debemos de seleccionar la opción de fuerza (tiro positivo) e inmediatamente el equipo muestra ahora una gráfica de fuerza (tiro positivo) versus tiempo.

Luego se realiza la calibración del sensor de fuerza, para esto en el sensor se presiona una sola vez el botón zero. Y ya estamos listos para realizar las mediciones respectivas.

**FIGURA N° 4.12
ARREGLO EXPERIMENTAL**



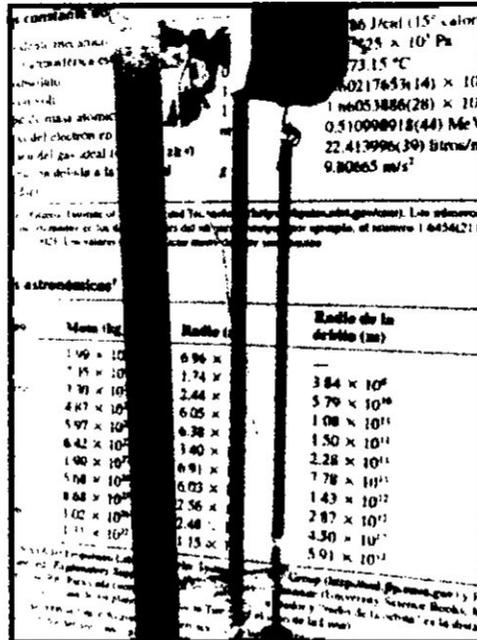
Fuente: Foto en el laboratorio de Física FIQ

Con la ayuda de una regla metálica se mide la distancia vertical inicial " y_0 " tal como se muestra en la Figura N° 4.12, la medida fue $y_0 = 0.38 \text{ m}$.

A continuación se suspende del extremo libre del resorte una pesa y nuevamente con la regla metálica se mide la distancia vertical " y " la medida fue $y = 0.293 \text{ m}$, como se muestra en la Figura N° 4.13 esto es:

HP

**FIGURA N° 4.13
MIDIENDO EL PESO Y DEFORMACIÓN**



Fuente: Foto en el laboratorio de Física FIQ

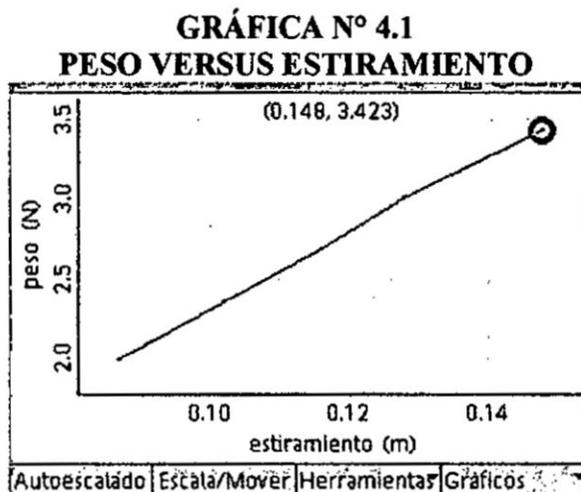
Por consiguiente el estiramiento del resorte es $x = 0.087\text{ m}$ luego presionamos una sola vez la tecla play del equipo y de acuerdo a la gráfica de fuerza (tiro positivo) versus tiempo la medida del peso fue $F = 1.994\text{ N}$. Con la idea de tener varias mediciones se repite el experimento con otras pesas de diferentes masas y en la Tabla N° 4.3 se indican estas mediciones de distancias, estiramientos y pesos respectivamente.

**TABLA N° 4.3
DISTANCIAS, ESTIRAMIENTOS Y PESOS**

$y_0\text{ (m)}$	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
$y\text{ (m)}$	0.293	0.278	0.264	0.252	0.232
$x\text{ (m)}$	0.087	0.102	0.116	0.128	0.148
$F\text{ (N)}$	1.994	2.351	2.679	3.006	3.423

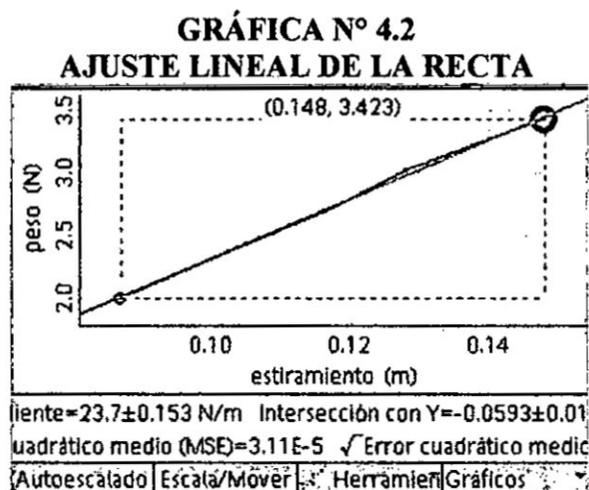
Fuente: Resultados de las mediciones

Para conocer la constante elástica "k" del resorte, con los datos del peso F y deformación x de la Tabla N° 4.3, creamos una tabla con dos columnas de datos en el Xplorer [4] y luego graficamos la fuerza F versus el estiramiento x , tal como se muestra en la Gráfica N° 4.1, esto es:



Fuente: Resultados de las mediciones

Con la ventana de Herramientas en la parte baja de la pantalla del Xplorer hacemos un ajuste lineal a la gráfica del peso versus estiramiento, como muestra la Gráfica N° 4.2 en la página posterior. Este ajuste permite conocer el valor de la pendiente y del intercepto de la recta.



Fuente: Pantalla del Xplorer GLX




Entonces la relación matemática entre el peso y el estiramiento queda determinada por medio de la ecuación:

$$F = (23.7 \text{ N/m}) x - 0.0593 \text{ N}$$

Donde la pendiente de la recta en esta ecuación, físicamente representa la constante elástica "k" del resorte. Entonces de acuerdo al resultado obtenido la constante elástica $k = 23.7 \text{ N/m}$.

Actividad 2: Cambios de energía potencial

En esta segunda parte del experimento se trata de calcular los cambios de energía potencial. El experimento de cambios de energía potencial empieza ahora con la medición de la masa de una pesa, para esto se utiliza una balanza electrónica y la medida fue $m = 306 \text{ g}$.

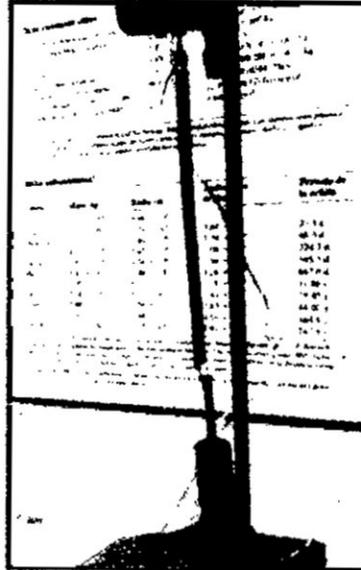
A continuación se realiza el arreglo experimental tal como se muestra en la Figura N° 4.4, previamente conectamos el cargador a la red doméstica 220 V, luego el extremo libre de este cargador se conecta al Xplorer GLX y automáticamente el Xplorer GLX se enciende.

Luego conectamos en uno de los puertos del Xplorer GLX el extremo libre del sensor de fuerza y automáticamente el equipo muestra una gráfica de fuerza (empuje positivo) versus tiempo, presionando en dos tiempos la tecla check del equipo se muestra a continuación una ventana donde debemos de seleccionar la opción de fuerza (tiro positivo) e inmediatamente el equipo muestra ahora una gráfica de fuerza (tiro positivo) versus tiempo.

Luego se realiza la calibración del sensor de fuerza, para esto en el sensor se presiona una sola vez el botón zero. Ya estamos listos para realizar las mediciones respectivas.



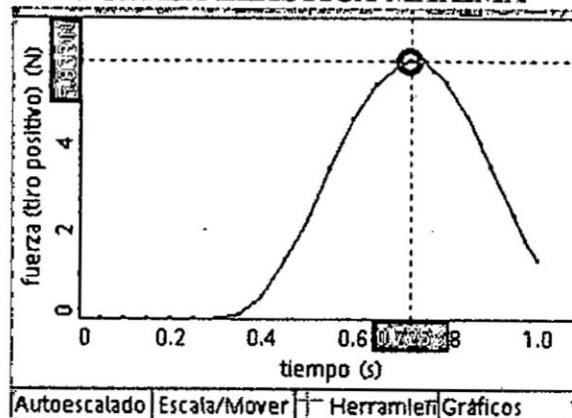
**FIGURA N° 4.14
ARREGLO EXPERIMENTAL**



Fuente: Foto en el laboratorio de Física FIQ

Con el propósito de medir estiramiento máximo del resorte $x_{máx.}$ de acuerdo a la ecuación (3), se sostiene la pesa sin estirar el resorte es decir $x = 0$. Luego se libera la pesa y el equipo muestra en la pantalla la fuerza (tiro positivo) versus tiempo tal como se muestra en la Gráfica N° 4.3. Donde la fuerza elástica máxima es $F_{máx.} = 5.833 \text{ N}$ por consiguiente el estiramiento máximo del resorte resulta $x_{máx.} = 0.246 \text{ m}$ correspondiente para la masa de 306 g

**GRÁFICA N° 4.3
FUERZA ELÁSTICA MÁXIMA**



Fuente: Pantalla del Xplorer GLX

Handwritten signature and initials.

Con la idea de realizar varios cálculos de cambios de energía potencial se repite el experimento con otras pesas de diferentes masas y en la Tabla N° 4.4 se indican las mediciones de masas, fuerzas elásticas máximas y los estiramientos máximos del resorte.

**TABLA N° 4.4
DATOS DE MASA, FUERZA Y ESTIRAMIENTO**

m (g)	235.5	273.5	306	342	406.5
$F_{m\acute{a}x.}$ (N)	4.494	5.298	5.833	6.607	8.125
$x_{m\acute{a}x.}$ (m)	0.189	0.223	0.246	0.278	0.342

Fuente: Resultados de las mediciones

A continuación calcularemos los cambios de energía potencial, para esto haremos uso de las mediciones de la Tabla N° 4.4, es decir para la masa $m = 235.5$ g, los cambios de energía potencial están dados por:

$$\Delta U_g = -mgx_{m\acute{a}x.}$$

$$\Delta U_g = -(0.2355 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2)(0.189 \text{ m}) = -0.436 \text{ J}$$

$$\Delta U_e = \frac{1}{2}kx_{m\acute{a}x.}^2$$

$$\Delta U_e = \frac{1}{2}(23.7 \text{ N/m})(0.189 \text{ m})^2 = 0.423 \text{ J}$$

Para la masa $m = 273.5$ g, los cambios de energía potencial están dados por:

$$\Delta U_g = -mgx_{m\acute{a}x.}$$

$$\Delta U_g = -(0.2735 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2)(0.223 \text{ m}) = -0.597 \text{ J}$$

$$\Delta U_e = \frac{1}{2}kx_{m\acute{a}x.}^2$$

$$\Delta U_e = \frac{1}{2}(23.7 \text{ N/m})(0.223 \text{ m})^2 = 0.589 \text{ J}$$

Handwritten marks and signature at the bottom right of the page.

Para la masa $m = 306 \text{ g}$, los cambios de energía potencial están dados por:

$$\Delta U_g = -mgx_{\text{máx.}}$$

$$\Delta U_g = -(0.306 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2)(0.246 \text{ m}) = -0.737 \text{ J}$$

$$\Delta U_e = \frac{1}{2}kx_{\text{máx.}}^2$$

$$\Delta U_e = \frac{1}{2}(23.7 \text{ N/m})(0.246 \text{ m})^2 = 0.717 \text{ J}$$

Para la masa $m = 342 \text{ g}$, los cambios de energía potencial están dados por:

$$\Delta U_g = -mgx_{\text{máx.}}$$

$$\Delta U_g = -(0.342 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2)(0.278 \text{ m}) = -0.931 \text{ J}$$

$$\Delta U_e = \frac{1}{2}kx_{\text{máx.}}^2$$

$$\Delta U_e = \frac{1}{2}(23.7 \text{ N/m})(0.278 \text{ m})^2 = 0.915 \text{ J}$$

Para la masa $m = 406.5 \text{ g}$, los cambios de energía potencial están dados por:

$$\Delta U_g = -mgx_{\text{máx.}}$$

$$\Delta U_g = -(0.4065 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2)(0.342 \text{ m}) = -1.362 \text{ J}$$

$$\Delta U_e = \frac{1}{2}kx_{\text{máx.}}^2$$

$$\Delta U_e = \frac{1}{2}(23.7 \text{ N/m})(0.342 \text{ m})^2 = 1.386 \text{ J}$$



CAPÍTULO V EQUILIBRIO

En este capítulo se tiene en cuenta el estudio de las fuerzas sin considerar el movimiento que estas producen. También se estudia las condiciones de equilibrio de los sistemas de fuerzas en la que se consideran fuerzas aplicadas solamente a cuerpos de determinada masa. En la primera parte del experimento de equilibrio se encarga de comprobar experimentalmente la primera condición de equilibrio para fuerzas coplanarias y concurrentes. Y en la segunda parte del experimento se encarga de comprobar experimentalmente la segunda condición de equilibrio para fuerzas coplanarias y no concurrentes.

5.1 Primera condición de equilibrio:

“Diremos que un cuerpo se encuentra en equilibrio de traslación cuando la suma vectorial de todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo es cero” [2], es decir

$$\sum \vec{F}_i = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots + \vec{F}_n = 0 \quad (5.1)$$

En términos de sus componentes sería:

$$\sum F_x = 0; \quad \sum F_y = 0; \quad \sum F_z = 0 \quad (5.2)$$

5.1.1 Materiales y equipos

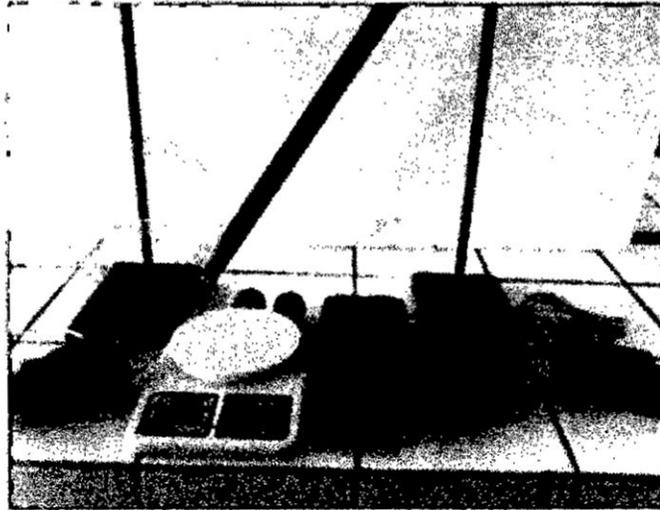
Los materiales y equipos a utilizar para el desarrollo del experimento de equilibrio se indican de la siguiente manera:

- Un Xplorer GLX y su cargador
- Dos sensores de movimiento circular
- Un sensor de fuerza
- Una balanza electrónica
- Tres soportes universales, pinzas y nueces
- Una regla metálica y un transportador



- Pesas y pabilo

FIGURA N° 5.1
EQUIPOS PARA 1ª LEY DEL EQUILIBRIO



Fuente: Foto en el Laboratorio de Física FIQ

5.1.2 Parte experimental

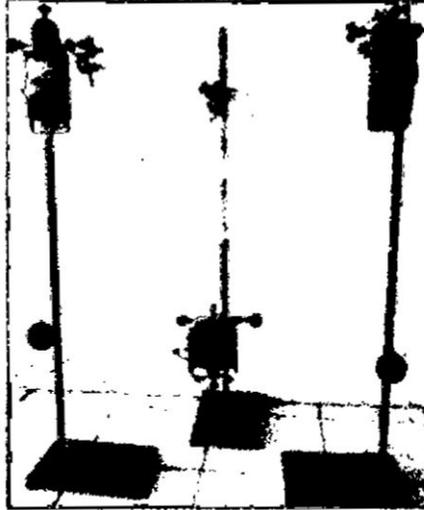
Actividad 1: Equilibrio de traslación

El experimento de equilibrio de traslación empieza con la medición de las masas de los cuerpos para ello se utiliza una balanza electrónica, la medida es $m_1 = 286.5 \text{ g}$ y $m_2 = 286.5 \text{ g}$.

Luego se realiza el arreglo experimental como se muestra en la Figura N° 5.2, previamente conectamos el cargador a la red doméstica 220 V, luego el extremo libre de este cargador se conecta al Xplorer GLX y automáticamente el Xplorer GLX se enciende.

Luego conectamos en uno de los puertos del Xplorer GLX el extremo libre del sensor de fuerza.

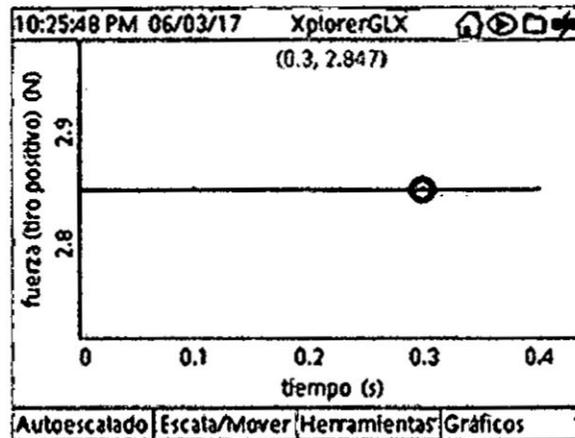
FIGURA N° 5.2
ARREGLO EXPERIMENTAL N° 1



Fuente: Foto en el Laboratorio de Física FIQ

A continuación se inicia la toma de datos de fuerza y el resultado de la medida de la fuerza es $F_3 = 2.847 \text{ N}$, como se muestra en la Figura N° 5.3, esto es:

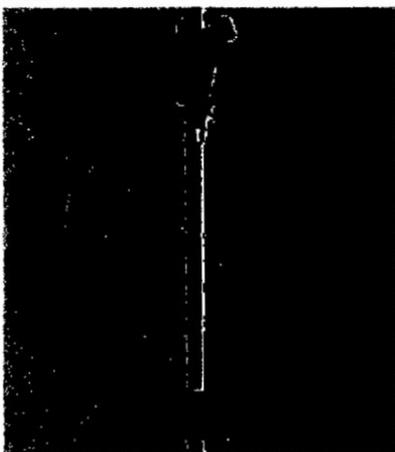
FIGURA N° 5.3
MEDICIÓN DE LAS TENSIONES



Fuente: Pantalla del Xplorer GLX

También se inicia la toma de la medida de los ángulos con la ayuda de un transportador los ángulos son $\alpha = 120^\circ$, $\beta = 120^\circ$ y $\gamma = 120^\circ$ como se muestra en la Figura N° 5.4, esto es:

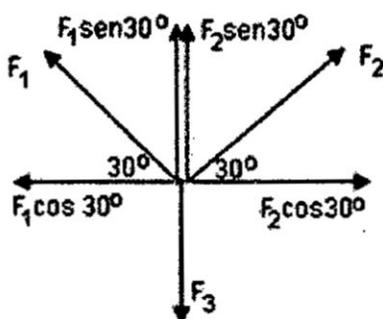
**FIGURA N° 5.4
MEDICIÓN DE ÁNGULOS**



Fuente: Foto en el Laboratorio de Física FIQ

Con el propósito de comprobar experimentalmente la primera condición de equilibrio para fuerzas coplanarias y concurrentes, se tendrá en cuenta la Figura N° 5.2 esto es:

**FIGURA N° 5.5
DESCOMPOSICIÓN DE FUERZAS**



En la Figura N° 5.5, se muestra la descomposición rectangular del conjunto de fuerzas para el arreglo experimental de esta primera actividad, en la que tenemos las fuerzas $F_1 = m_1g = 2.8077 \text{ N}$ y $F_2 = m_2g = 2.8077 \text{ N}$. Aplicando la primera condición de equilibrio:

$$\sum F_x = 0$$

$$F_1 \cos 30^\circ = F_2 \cos 30^\circ;$$

$$\sum F_y = 0$$

$$F_3 = F_1 \sin 30^\circ + F_2 \sin 30^\circ$$

Handwritten signature

$$F_1 = F_2;$$

$$F_3 = 2F_1 \sin 30^\circ = 2(2.8077 \text{ N})0.5 \\ = 2.8077 \text{ N}$$

Por el cual se puede concluir que el resultado obtenido es decir la fuerza F_3 es muy aproximado al valor obtenido por el sensor de fuerza que es de 2.847 N. Por otro lado también podemos aplicar el método del paralelogramo para verificar el valor de F_3 esto es:

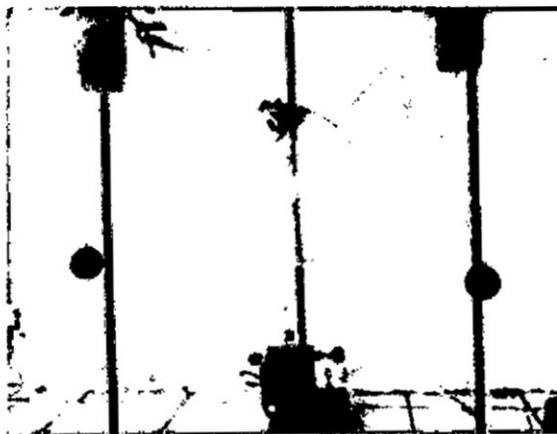
$$F_3 = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\theta}$$

$$F_3 = \sqrt{(2.8077 \text{ N})^2 + (2.8077 \text{ N})^2 + 2(2.8077 \text{ N})(2.8077 \text{ N})\cos 120^\circ}$$

$$F_3 = 2.8077 \text{ N}$$

A continuación se repite el experimento de esta actividad tomando en cuenta las mismas masas es decir $m_1 = 286.5 \text{ g}$ y $m_2 = 286.5 \text{ g}$ pero con ángulos distintos medidos con un transportador esto es $\alpha = 90^\circ$, $\beta = 135^\circ$ y $\gamma = 135^\circ$.

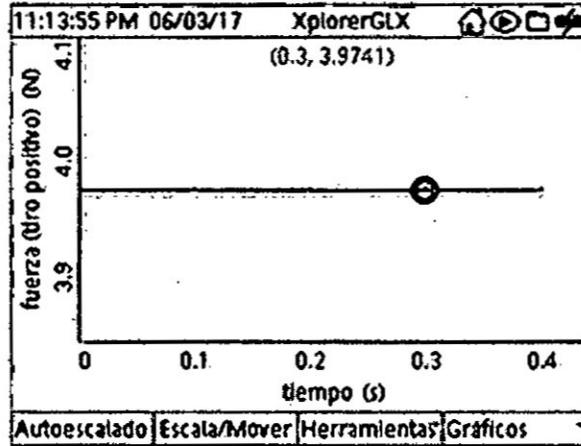
FIGURA N° 5.6
ARREGLO EXPERIMENTAL N° 2



Fuente: Foto en el Laboratorio de Física FIQ

El arreglo final de esta parte del experimento se muestra en la Figura N° 5.6, además la medida de la fuerza por el Xplorer es $F_3 = 3.9741 \text{ N}$, como se muestra en la Figura N° 5.7.

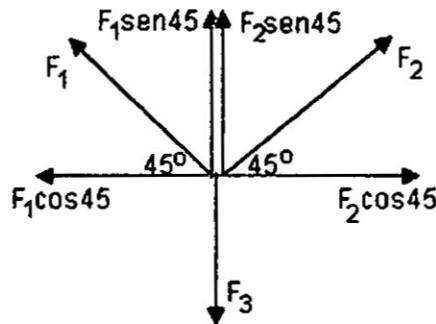
**FIGURA N° 5.7
MEDICIÓN DE LAS TENSIONES**



Fuente: Resultados de las mediciones

Con el propósito de comprobar nuevamente la primera condición de equilibrio para fuerzas coplanarias y concurrentes, se tendrá en cuenta la Figura N° 5.8 esto es:

**FIGURA N° 5.8
DESCOMPOSICIÓN DE FUERZAS**



En la Figura N° 5.8, se muestra la descomposición rectangular del conjunto de fuerzas para el arreglo experimental de esta actividad, en la que se tienen las fuerzas $F_1 = m_1g = 2.8077 \text{ N}$ y $F_2 = m_2g = 2.8077 \text{ N}$. Aplicando la primera condición de equilibrio:

$$\sum F_x = 0;$$

$$\sum F_y = 0$$

Handwritten signature and the number 160.

$$F_1 \cos 45^\circ = F_2 \cos 45^\circ; \quad F_3 = F_1 \sin 45^\circ + F_2 \sin 45^\circ$$

$$F_1 = F_2; \quad F_3 = 2F_1 \sin 45^\circ = 2(2.8077 \text{ N}) \sin 45^\circ$$

$$= 3.9706 \text{ N}$$

Este resultado para la fuerza F_3 es cercano al valor obtenido por el sensor de fuerza que es: 3.9741 N . Con el método del paralelogramo podemos verificar el valor de F_3 esto es:

$$F_3 = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \theta}$$

$$F_3 = \sqrt{(2.8077 \text{ N})^2 + (2.8077 \text{ N})^2 + 2(2.8077 \text{ N})(2.8077 \text{ N}) \cos 90^\circ}$$

$$F_3 = 3.9706 \text{ N}$$

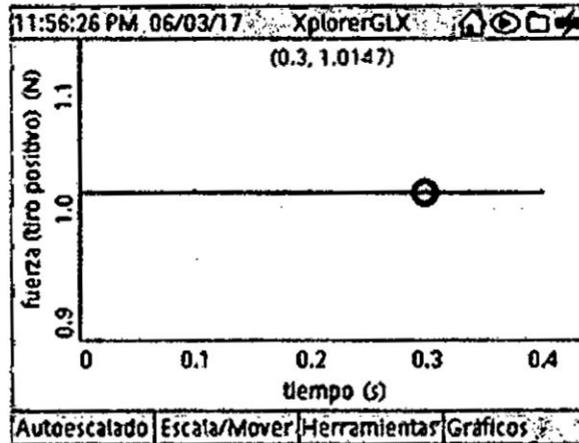
FIGURA N° 5.9
ARREGLO EXPERIMENTAL N° 3



Fuente: Foto en el Laboratorio de Física FIQ

Repetimos nuevamente el experimento y efectuamos las mediciones pero tomando en cuenta otras masas distintas, es decir $m_1 = 63.0 \text{ g}$ y $m_2 = 84.3 \text{ g}$ y para ángulos medidos con un transportador, los cuales son $\alpha = 90^\circ$, $\beta = 127^\circ$ y $\gamma = 143^\circ$. El arreglo final de esta parte del experimento se muestra en la Figura N° 5.9, además la medida de la fuerza por el Xplorer GLX es $F_3 = 1.0147 \text{ N}$, como se muestra en la Figura N° 5.10.

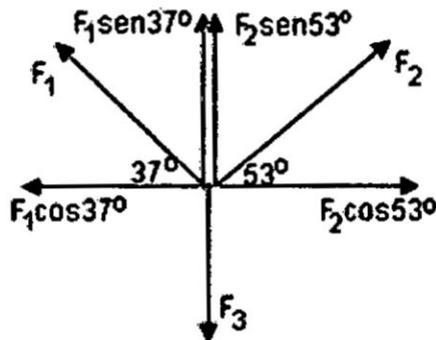
**FIGURA N° 5.10
MEDICIÓN DE LA FUERZA 2**



Fuente: Resultados de las mediciones

Con el propósito de comprobar nuevamente la primera condición de equilibrio para fuerzas coplanarias y concurrentes, se tendrá en cuenta la Figura N° 5.11 esto es:

**FIGURA N° 5.11
DESCOMPOSICIÓN DE FUERZAS**



En la Figura N° 5.11, se muestra la descomposición rectangular para las fuerzas de esta actividad, cuyas magnitudes son: $F_1 = m_1 g = 0.617 N$ y $F_2 = m_2 g = 0.826 N$, y aplicando la primera condición de equilibrio de forma independiente a los ejes horizontal y vertical del sistema de coordenadas se tiene:

$$\sum F_x = 0;$$

$$\sum F_y = 0$$

$$F_1 \cos 37^\circ = F_2 \cos 53^\circ;$$

$$F_3 = F_1 \sin 37^\circ + F_2 \sin 53^\circ$$

$$F_3 = (0.6174) \sin 37^\circ + (0.82614) \sin 53^\circ$$

$$F_3 = 1.031 \text{ N}$$

Del resultado obtenido podemos concluir que la fuerza F_3 es de magnitud muy aproximado al valor obtenido por el sensor de fuerza que es de 1.015N. Por otro lado con el método del paralelogramo podemos verificar el valor de F_3 esto es:

$$F_3 = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \theta}$$

$$F_3 = \sqrt{(0.6174 \text{ N})^2 + (0.82614 \text{ N})^2 + 2(0.6174 \text{ N})(0.82614 \text{ N}) \cos 90^\circ}$$

$$F_3 = 1.031 \text{ N}$$

5.1.3 Segunda condición de equilibrio:

También conocida es como la condición del equilibrio de rotación [2], se enuncia como sigue:

“Un cuerpo estará en equilibrio de rotación cuando la suma algebraica de los torques o momento de las fuerzas aplicadas con respecto a cualquier punto de dicho cuerpo es igual al vector nulo o cero”

En términos matemáticos es:

$$\sum \vec{\tau} = \vec{\tau}_0^{F_1} + \vec{\tau}_0^{F_2} + \vec{\tau}_0^{F_3} + \dots + \vec{\tau}_0^{F_n} = 0$$

(5.3)

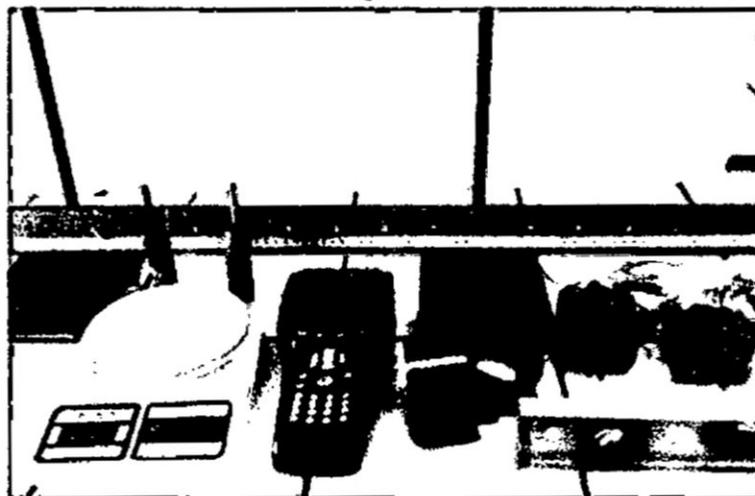
5.1.4 Materiales y equipos

Los materiales y equipos a utilizar para el desarrollo del experimento de equilibrio de rotación se muestran en la Figura N° 5.12 y detallan a continuación:



- Un Xplorer GLX y su cargador
- Dos sensores de fuerza
- Una balanza electrónica
- Dos soportes universales, pinzas y nueces
- Una regla metálica
- Una barra de madera
- Un juego de pesas
- Un trozo de pabilo

FIGURA N° 5.12
MATERIALES PARA EQUILIBRIO DE ROTACIÓN



Fuente: Foto en el Laboratorio de Física FIQ

5.1.5 Parte experimental

Actividad 2: Equilibrio de rotación

El experimento de equilibrio de rotación empieza con la medida de la masa de la barra de madera, para ello usamos una balanza electrónica, el valor de la medida fue de 335.8 g tal como se muestra en la Figura N° 5.13 esto es:

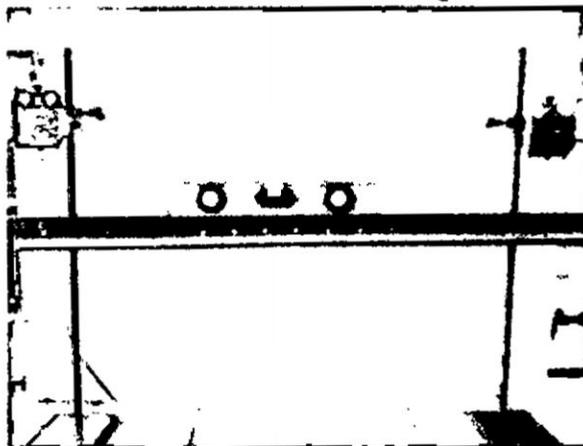
**FIGURA N° 5.13
MASA DE LA BARRA**



Fuente: Foto en el Laboratorio de Física FIQ

Luego se realiza el arreglo experimental como se muestra en la Figura N° 5.14, previamente conectamos el cargador a la red doméstica 220 V, luego el extremo libre de este cargador se conecta al Xplorer GLX y automáticamente el Xplorer GLX se enciende.

**FIGURA N° 5.14
ARREGLO DE 2^{da} LEY DEL EQUILIBRIO**



Fuente: Foto en el Laboratorio de Física de la FIQ

Por otro lado se realiza la conexión del extremo libre del sensor de fuerza 1 a uno de los puertos del Xplorer GLX y automáticamente se muestra una gráfica entre fuerza versus tiempo, la misma operación realizada con el sensor de fuerza 1 se

Handwritten signature

hace con el sensor de fuerza 2. Antes de iniciar la toma de las medidas de fuerzas registrados por el Xplorer GLX por medio de los sensores de fuerza, se hace una calibración previa de estos sensores como se muestra en la Figura N° 5.15. Y ya estamos listos para realizar la toma de datos de estas fuerzas.

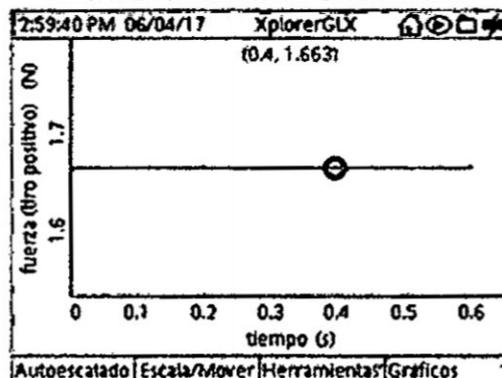
**FIGURA N° 5.15
CALIBRACIÓN DEL SENSOR**



Fuente: Foto en el Laboratorio de Física FIQ

En la Figura N° 5.16 y Figura N° 5.17 se muestra el momento de la toma de datos de las fuerzas en este caso las medidas fueron $F_1 = 1.663 \text{ N}$ (medida en el sensor de fuerza 1) y $F_2 = 1.632 \text{ N}$ (medida en el sensor de fuerza 2) respectivamente.

**FIGURA N° 5.16
MEDIDA DE LA FUERZA F1**

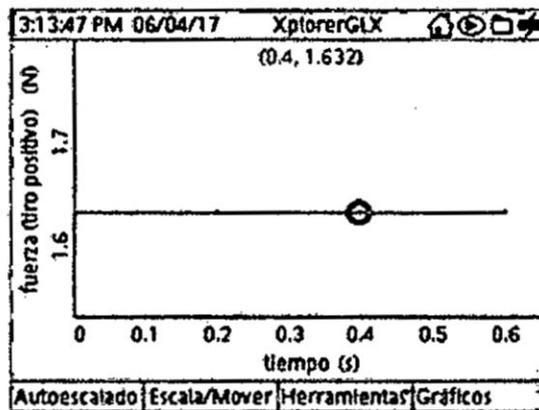


Fuente: Resultados de las mediciones

Handwritten signatures and initials.

Con el propósito de comprobar experimentalmente la segunda condición de equilibrio para fuerzas coplanarias y no concurrentes, se tendrá en cuenta la Figura N° 5.14, para esto el sensor de fuerza 1 situado a una distancia $d_1 = 10 \text{ cm}$ del extremo izquierdo de la barra mide la fuerza F_1 y el sensor de fuerza 2 situado a una distancia $d_2 = 90 \text{ cm}$ del extremo izquierdo de la barra mide la fuerza F_2 .

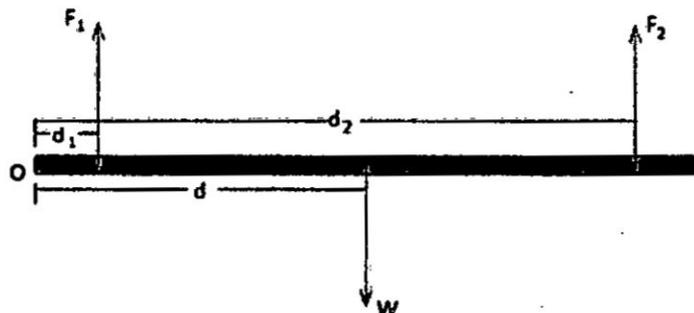
**FIGURA N° 5.17
MEDIDA DE LA FUERZA F2**



Fuente: Resultados de las mediciones

Además $W = 3.29084 \text{ N}$ es el peso de la barra uniforme de 1.00 m de longitud. Por ello en la Figura N° 5.18 se muestra un diagrama de cuerpo libre para la barra en el cual se indican todas las fuerzas presentes en la barra uniforme.

**FIGURA N° 5.18
DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE N° 1**



Fuente: Elaboración propia

Handwritten signatures and initials, including 'HP' and a signature.

Aplicando la segunda condición de equilibrio:

$$\begin{aligned}\sum \tau_o &= F_1 d_1 + F_2 d_2 - W d = 0 \\ &= (1.663)(0.1) + (1.632)(0.9) - (3.29084)(0.5) \\ \sum \tau_o &= -0.01032 \text{ Nm}\end{aligned}$$

Podríamos también comprobar el valor de la fuerza F_2 dado por el Xplorer GLX, para esto se toma momentos de fuerzas respecto a la ubicación del sensor de fuerza 1 por lo que esta fuerza no produce momento de fuerza, así haciendo uso de la segunda condición de equilibrio tendríamos:

$$\sum \tau = F_2(0.8) - (3.29084)(0.4) = 0$$

Después de algunas operaciones sencillas, despejamos el valor de la fuerza F_2 resultando:

$$F_2 = 1.64542 \text{ N}$$

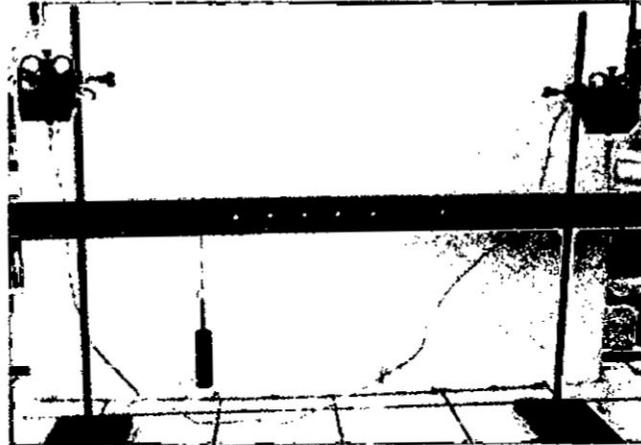
De acuerdo a los resultados obtenidos en la verificación de la segunda condición de equilibrio y el valor de la fuerza F_2 se puede concluir que estos resultados son muy aproximados tanto a la segunda condición de equilibrio y al valor medido por el sensor de fuerza 2.

A continuación se repite nuevamente el experimento de esta actividad tomando en cuenta ahora una porta pesa su masa es medida con ayuda de una balanza electrónica el cual nos indica un valor de 302 g.

Por tanto el peso de la porta pesa es $F_3 = 2.9596 \text{ N}$. Luego tomando en cuenta el arreglo experimental del caso anterior de esta actividad, vamos a colgar esta porta pesa en la barra de madera, como se muestra en la Figura N° 5.19.



FIGURA N° 5.19
ARREGLO EXPERIMENTAL 2



Fuente: Foto en Laboratorio de Física FIQ

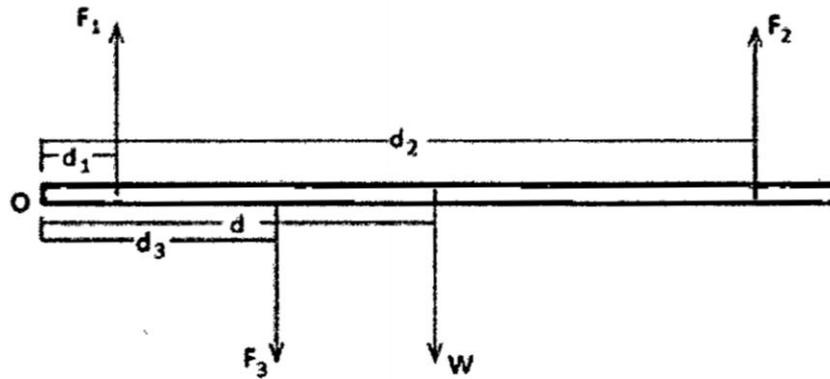
Antes de iniciar la toma de las nuevas medidas de fuerzas registrados por el Xplorer GLX por medio de los sensores de fuerza, se hace una calibración previa de estos sensores como se indicó en el caso anterior de esta actividad. Y ya estamos listos para realizar la toma de datos de estas fuerzas. En este caso las medidas fueron $F_1 = 3.861 \text{ N}$ (medida en el sensor de fuerza 1) y $F_2 = 2.374 \text{ N}$ (medida en el sensor de fuerza 2) respectivamente.

Con el propósito de comprobar experimentalmente la segunda condición de equilibrio para fuerzas coplanarias y no concurrentes, se tendrá en cuenta la Figura N° 5.19, para esto el sensor de fuerza 1 situado a una distancia $d_1 = 10 \text{ cm}$ del extremo izquierdo de la barra mide la fuerza F_1 y el sensor de fuerza 2 situado a una distancia $d_2 = 90 \text{ cm}$ del extremo izquierdo de la barra mide la fuerza F_2 .

Además el peso de la porta pesa F_3 se ubica a una distancia $d_3 = 30 \text{ cm}$ del extremo izquierdo de la barra y $W = 3.29084 \text{ N}$ es el peso de la barra uniforme de 1.00 m de longitud. Por ello en la Figura N° 5.20 se muestra un diagrama de cuerpo libre para la barra en el cual se indican todas las fuerzas presentes en la barra uniforme.

Handwritten signatures and initials.

FIGURA N° 5.20
DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE N° 2



Fuente: Elaboración propia

Aplicando la segunda condición de equilibrio:

$$\begin{aligned} \sum \tau_o &= F_1 d_1 + F_2 d_2 - W d - F_3 d_3 = 0 \\ &= (3.861)(0.1) + (2.374)(0.9) - (3.29084)(0.5) - (2.9596)(0.3) \\ \sum \tau_o &= -0.0106 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Podríamos también comprobar el valor de la fuerza \$F_2\$ dado por el Xplorer GLX, para esto se toma momentos de fuerzas respecto a la ubicación del sensor de fuerza 1 por lo que esta fuerza no produce momento de fuerza, así haciendo uso de la segunda condición de equilibrio tendríamos:

$$\begin{aligned} \sum \tau &= 0 \\ F_2(0.8) - (3.29084)(0.4) - (2.9596)(0.2) &= 0 \\ F_2 &= 2.38532 \text{ N} \end{aligned}$$

De acuerdo a los resultados obtenidos en la verificación de la segunda condición de equilibrio y el valor de la fuerza \$F_2\$ se puede concluir que estos resultados son muy aproximados tanto a la segunda condición de equilibrio y al valor medido por el sensor de fuerza 2.

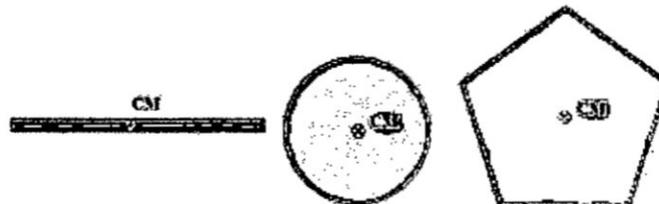
5.2 Centro de masa

Para cualquier distribución de masa existe un punto en el que se concentra toda la acción de la fuerza de gravedad, dicho punto se conoce como el centro de gravedad (cg) que generalmente coincide con el centro de masa (CM), su ubicación depende de cómo se distribuye la masa respecto del sistema de referencia. Para un conjunto de N cuerpos de simetría puntual distribuidos respecto del origen de un sistema de referencia XYZ, el punto de ubicación del centro de masa, que generalmente denotamos por \vec{R}_{CM} , se puede determinar usando la ecuación [2]:

$$\vec{R}_{CM} = \frac{m_1\vec{r}_1 + \dots + m_N\vec{r}_N}{m_1 + \dots + m_N} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^N m_i\vec{r}_i \quad (5.4)$$

Siendo "M", la suma de las masas individuales del conjunto de las N partículas. Para cuerpos con una distribución de masa simétrica, uniforme y homogénea, el centro de masa se ubica en un punto que coincide justamente con el centro geométrico del cuerpo, como lo es para una barra, un disco y un pentágono, tal como se muestra en la Figura N° 5.21

FIGURA N° 5.21
CENTRO DE MASA DE PLACAS SIMETRICAS

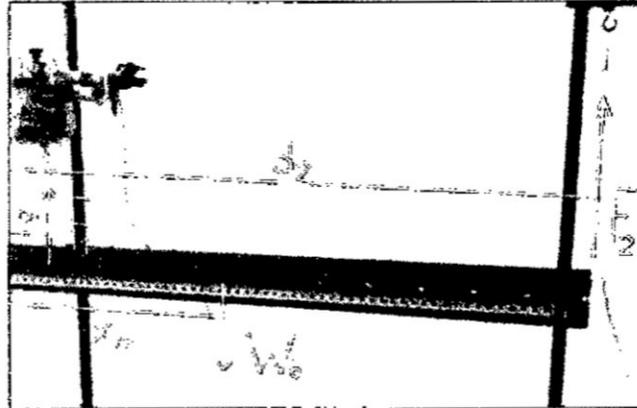


Fuente: Elaboración propia

Para el caso de una barra sólida uniforme y homogénea de peso W_b que descansa horizontalmente en equilibrio sostenido por dos fuerzas verticales \vec{F}_1 y \vec{F}_2 dirigidas hacia arriba y ubicadas a las distancias d_1 y d_2 respecto del origen O que se encuentra en el extremo izquierdo de la barra, ver la Figura N° 5.22



FIGURA N° 5.22
BARRA EN EQUILIBRIO DE ROTACIÓN



Fuente: Elaboración propia

Como esta barra debe satisfacer la segunda ley del equilibrio, la suma de los torques de cada una de las fuerzas que actúan sobre la barra debe ser igual al vector nulo, lo que corresponde a:

$$\sum_{i=1}^N \vec{x}_i \times \vec{F}_i = (d_1 F_1 - x_{cm} W_b + d_2 F_2) \hat{k} = 0 \hat{k} \quad (5.5)$$

Despejando de esta ecuación la distancia x_{cm} , que representa la posición donde se concentra toda la acción de la fuerza gravitatoria sobre la barra, de esta manera se tiene una ecuación para determinar experimentalmente la posición del centro de masa de la barra y resulta ser la forma siguiente:

$$x_{cm} = \frac{d_1 F_1 + d_2 F_2}{W_b} \quad (5.6)$$

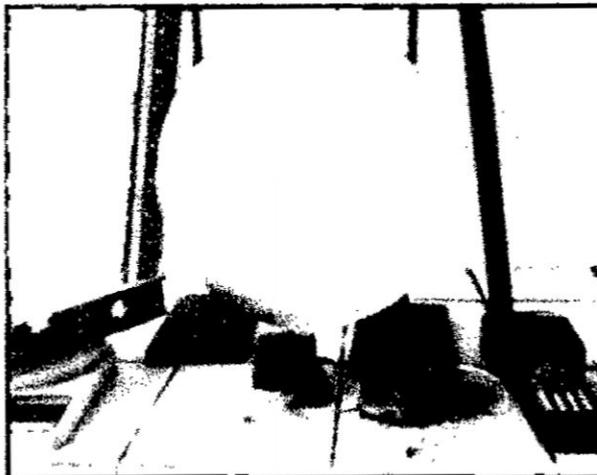
5.2.1 Materiales y equipos

Los materiales y equipos para el desarrollo de este experimento de centro de masa de cuerpos uniformes y homogéneos se muestran en la Figura N° 5.23 y se detallan a continuación:

[Handwritten signature and initials]

- Un Xplorer GLX y su cargador
- Dos sensores de fuerza de 50N de capacidad
- Dos soportes universales con nuez y pinzas
- Regla metálica de 1.0m
- Nivel de aluminio
- Barra de madera
- Disco circular de metal
- Balanza digital de 0.1g de mínima lectura

**FIGURA N°5.23
MATERIALES PARA CENTRO DE MASA**



Fuente: Foto en Laboratorio de Física FIQ

5.2.2 Parte experimental

Actividad 1: Centro de masa de la barra

El experimento comienza midiendo la masa de la barra uniforme y homogénea hecha de madera, el resultado de la medida resulta ser de 335.7g, tal como se aprecia en la Figura N° 5.24, esto es:

**FIGURA N° 5.24
MASA DE LA BARRA**



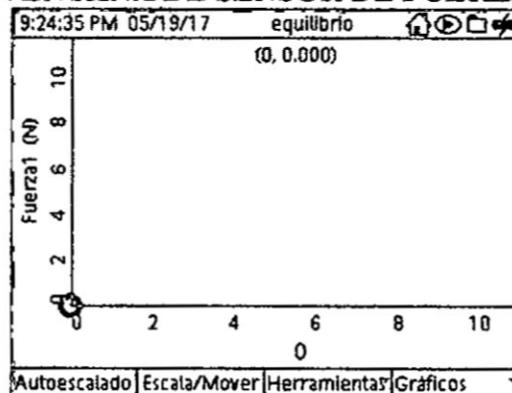
Fuente: Foto en Laboratorio de Física FIQ

Esta masa corresponde a 0.3357kg, por lo que el peso W_b de la barra, se determina multiplicando la masa con el valor de la aceleración de la gravedad, esto es:

$$W_b = m \times g = 0.3357kg \times 9.8 \frac{m}{s^2} = 3.29N$$

A continuación se enciende el Xplorer GLX y dejamos que el sistema cargue, después conectamos uno de los sensores de fuerza al puerto serial N°1 del Xplorer, note que se activa la ventana para medir la fuerza \vec{F}_1 en función del tiempo tal como se muestra en la Figura N° 5.25, este sensor medirá la fuerza F_1 . Después conectamos el otro sensor de fuerza al puerto serial N° 2 del Xplorer.

**FIGURA N° 5.25
VENTANA DE SENSOR DE FUERZA**

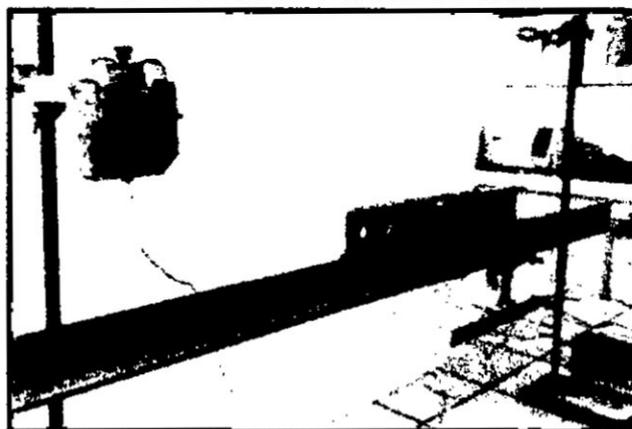


Fuente: Pantalla del Xplorer GLX

El siguiente paso es hacer el montaje experimental, tomando en cuenta que la barra deberá descansar horizontalmente en equilibrio sujeto del primer orificio con el sensor de fuerza que mide \vec{F}_1 .

Usando el nivel sobre la regla horizontal podemos lograr que la regla descansa en forma horizontal, como se aprecia en la Figura N° 5.26

**FIGURA N° 5.26
NIVELACIÓN HORIZONTAL**

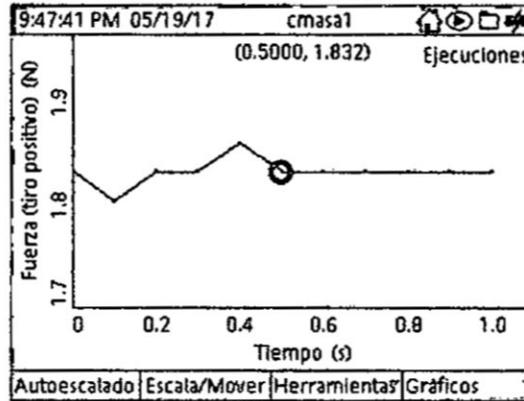


Fuente: Foto en Laboratorio de Física FIQ

Una vez hecho el montaje experimental de la Figura N° 5.26, medimos la distancia d_1 del origen O al primer orificio punto donde se aplica la fuerza \vec{F}_1 , el valor obtenido es $d_1 = 10.0\text{cm}$ y luego medimos la distancia d_2 del origen O al punto de aplicación de la fuerza \vec{F}_2 , el valor obtenido es $d_2 = 100.0\text{cm}$.

Los dos valores de las distancias se escriben en la Tabla N° 5.1, luego se inicia la toma de datos, para lo cual presionamos el botón play del Xplorer después de medir unos tres o cuatro valores de la fuerza, tal como se muestra en la Figura N° 5.27, se detiene la toma de datos presionando la tecla play nuevamente.

FIGURA N° 5.27
MEDICIÓN DE LA FUERZA F1

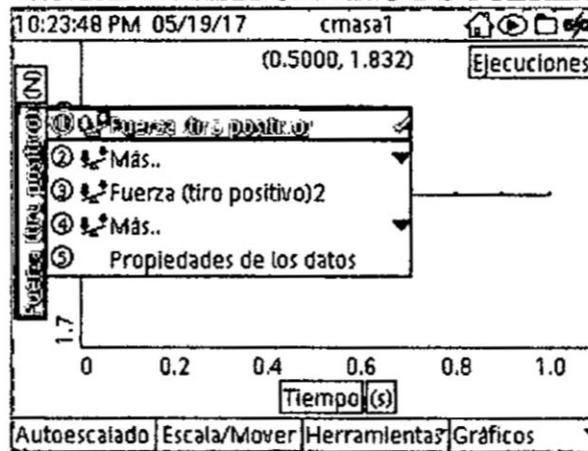


Fuente: Resultados de las mediciones

De esta gráfica, en la pantalla del Xplorer GLX, podemos ver que la magnitud de la fuerza \vec{F}_1 medida por el primer sensor de fuerza es: $F_1 = 1.832\text{N}$.

Para conocer la magnitud de la fuerza \vec{F}_2 , que es medido por el segundo sensor de fuerza, presionamos la tecla chek dos veces, esto activa en la pantalla del Xplorer [4], una nueva ventana con las opciones de la pantalla gráfica, tal como se pueden ver la Figura N° 5.28 esto es:

FIGURA N° 5.28
VENTANA PARA CAMBIO DE FUERZA

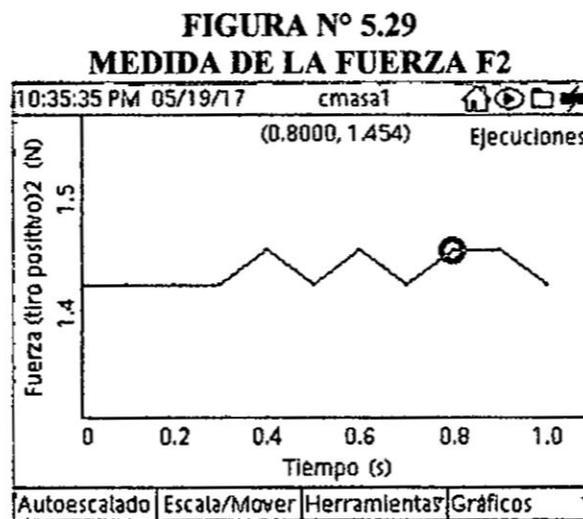


Fuente: Pantalla del Xplorer GLX

47

[Handwritten signature]

Después de esto, con las teclas direccionales del Xplorer, elegimos la opción Fuerza (tiro positivo)2, que corresponde a la magnitud F_2 de la segunda fuerza. Luego en seguida nuevamente presionamos la tecla chek y en la pantalla del Xplorer se activará una nueva grafica de fuerza en función del tiempo [4]. De esta nueva grafica tomamos lectura de la magnitud de segunda fuerza que resulta $F_2 = 1.454\text{N}$, como se puede apreciar en la Figura N° 5.29



Fuente: Resultados de las mediciones

La toma datos se efectúa para otros valores de la distancia d_1 para la fuerza \vec{F}_1 manteniendo fija la distancia d_2 que le corresponde al punto de acción de la fuerza \vec{F}_2 , los resultados de las nuevas mediciones se presentan en la Tabla N° 5.1

TABLA N° 5.1
MEDICIONES DE LA FUERZA PARA LA BARRA

Medición	d_1 (m)	F_1 (N)	d_2 (m)	F_2 (N)
1	0.100	1.832	1.00	1.454
2	0.200	2.057	1.00	1.217
3	0.302	2.368	1.00	0.920
4	0.406	2.734	1.00	0.564
5	0.447	2.988	1.00	0.297

Fuente: Resultados de las mediciones




Los datos de la medición número 1, evaluamos en la ecuación (4) de la que obtenemos el valor el valor que le corresponde a x_{cm} , que respecto del origen O, es el punto de acción de la fuerza gravitatoria W_b en la barra de madera. Realizando las operaciones de cálculo se tiene:

$$x_{cm} = \frac{0.1m \times 1.832N + 1.0m \times 1.454N}{3.29N} = 0.498m$$

Usando los datos de la segunda medición en la ecuación (4) y realizando las operaciones de cálculo se tiene:

$$x_{cm} = \frac{0.2m \times 2.057N + 1.0m \times 1.217N}{3.29N} = 0.495m$$

Usando los datos de la tercera medición en la ecuación (4) y realizando las operaciones de cálculo se tiene:

$$x_{cm} = \frac{0.302m \times 2.368N + 1.0m \times 0.920N}{3.29N} = 0.497m$$

Usando los datos de la cuarta medición en la ecuación (4) y realizando las operaciones de cálculo se tiene:

$$x_{cm} = \frac{0.406m \times 2.734N + 1.0m \times 0.564N}{3.29N} = 0.509m$$

Usando los datos de la quinta medición en la ecuación (4) y realizando las operaciones de cálculo se tiene:

$$x_{cm} = \frac{0.447m \times 2.99N + 1.0m \times 0.297N}{3.29N} = 0.497m$$

En la Tabla N° 5.2 que se muestra a continuación, damos los cinco resultados obtenidos para la posición del centro de gravedad de la barra, como podemos ver el valor promedio para la posición del centro de masa de la barra es $\bar{x}_{cm} = 0.499m$ que prácticamente coincide con el centro de la barra.

Handwritten signatures and initials in the bottom right corner of the page.

**TABLA N° 5.2
CENTRO DE MASA DE LA BARRA**

X_{cm1} (m)	X_{cm2} (m)	X_{cm3} (m)	X_{cm4} (m)	X_{cm5} (m)	\bar{X}_{cm} (m)
0.498	0.495	0.497	0.509	0.497	0.499

Fuente: Resultados de las mediciones

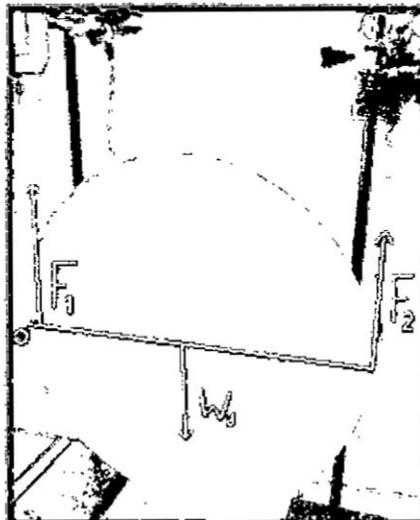
Actividad 2: Centro de masa del disco

Esta actividad comienza midiendo la masa del disco de metal de aluminio uniforme y homogéneo, para lo cual usamos la balanza digital, el valor es de 683.7g, lo que nos permite conocer el valor de la fuerza que ejerce la gravedad sobre el disco, esto es:

$$W_D = 0.6837kg \times 9.8 \frac{m}{s^2} = 6.700N$$

En seguida usando los materiales y el disco metálico se monta el experimento como se muestra en la Figura N° 5.30

**FIGURA N° 5.30
ARREGLO DEL CENTRO DE MASA**



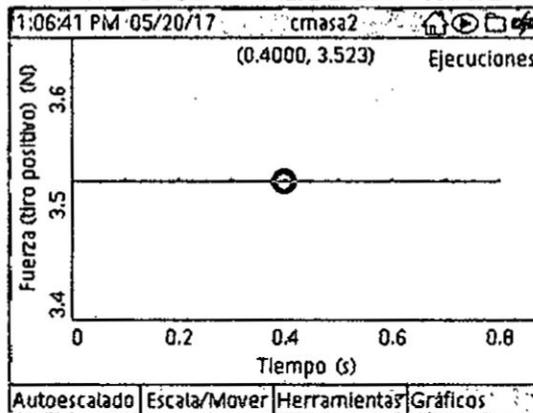
Fuente: Foto en Laboratorio de Física FIQ

[Handwritten signature]

[Handwritten initials]

A continuación medimos la distancia d_1 del punto de aplicación de la fuerza \vec{F}_1 y la distancia d_2 del punto de aplicación de la fuerza \vec{F}_2 , los resultados tiene los siguientes valores de $d_1 = 0.02\text{m}$ y $d = 0.402\text{m}$, estos se anotan en la Tabla N° 5.3.

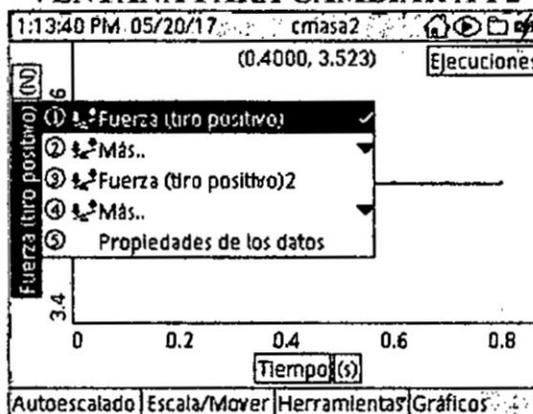
**FIGURA N° 5.31
MEDICIÓN DE LA FUERZA F1**



Fuente: Pantalla del Xplorer GLX

La toma de datos presionando el botón play del Xplorer y en la pantalla se muestra las mediciones de la fuerza F_1 , después de algunas medidas de fuerza, como se muestra en la Figura N° 5.31, se detiene la toma de datos presionando la tecla play nuevamente. El valor es $F_1 = 3.523\text{N}$.

**FIGURA N° 5.32
VENTANA PARA CAMBIAR A F2**

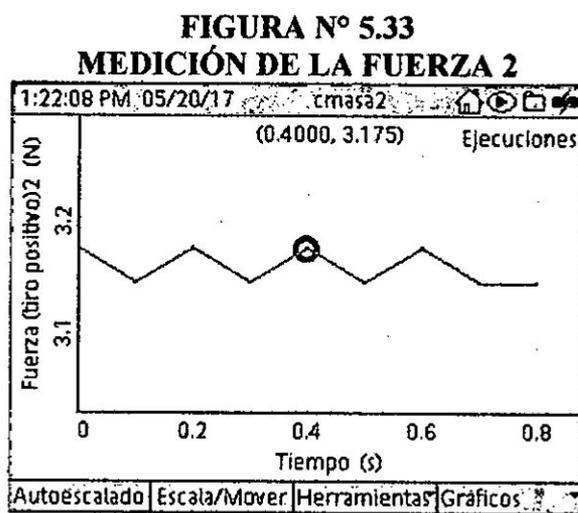


Fuente: Pantalla del Xplorer GLX

Handwritten signatures and initials are present in the bottom right corner of the page.

Para tomar lectura de la fuerza F_2 presionamos la tecla check dos veces y, en la pantalla del Xplorer se activa una nueva ventana, con las opciones de la pantalla gráfica, tal como se muestra en la Figura N° 5.32 de la página anterior.

Por otro lado con las teclas direccionales del Xplorer, elegimos el campo que correspondiente a Fuerza (tiro positivo) 2, esta le corresponde al segundo sensor de fuerza, después de presionar la tecla check en la pantalla del Xplorer [4] se activa la gráfica de la fuerza F_2 en función del tiempo mostrando los datos de fuerza medidos por el segundo sensor de fuerza, tal como se aprecia en la Figura N° 5.33 esto es:



Fuente: Resultados de las mediciones

De la gráfica vemos que el valor de la segunda fuerza medido por el segundo sensor de fuerza es $F_2 = 3.175\text{N}$. Estos valores de las dos fuerzas y de las distancias se anotan en la Tabla N° 5.3.

Efectuamos la toma datos para otros valores de la distancia d_1 y para la fuerza \vec{F}_1 que mide el primer sensor de fuerza, manteniendo fija la distancia d_2 que le corresponde al punto de acción de la fuerza \vec{F}_2 que es medida por el segundo

sensor de fuerza, los resultados de todas las nuevas mediciones se muestran en la Tabla N° 5.3

**TABLA N° 5.3
MEDICIONES DE FUERZA PARA EL DISCO**

Medición	d_1 (m)	F_1 (N)	d_2 (m)	F_2 (N)
1	0.020	3.523	0.402	3.175
2	0.052	3.861	0.402	2.878
3	0.082	4.228	0.402	2.493
4	0.112	4.651	0.402	2.077
5	0.142	5.186	0.402	1.543

Fuente: Resultados de las mediciones

Evaluando los datos de la primera medición, en la ecuación (4) obtenemos x_{cm} que es el punto de acción de la fuerza gravitatoria de magnitud W_d sobre el disco metálico, realizando las operaciones de cálculo respectivas se tiene:

$$x_{cm} = \frac{0.020m \times 3.523N + 0.402m \times 3.175N}{6.700N} = 0.201m$$

Usando los datos de la segunda medición en la ecuación (4) se tiene:

$$x_{cm} = \frac{0.052m \times 3.861N + 0.402m \times 2.878N}{6.700N} = 0.202m$$

Usando los datos de la tercera medición en la ecuación (4) se tiene:

$$x_{cm} = \frac{0.082m \times 4.228N + 0.402m \times 2.493N}{6.700N} = 0.201m$$

Usando los datos de la cuarta medición en la ecuación (4) se tiene:

$$x_{cm} = \frac{0.112m \times 4.651N + 0.402m \times 2.077N}{6.700N} = 0.202m$$

Usando los datos de la quinta medición en la ecuación (4) se tiene:

$$x_{cm} = \frac{0.142m \times 5.186N + 0.402m \times 1.543N}{6.700N} = 0.202m$$

La tabla N° 5.4 a continuación muestra los cinco resultados obtenidos, así como el valor promedio para la posición del centro de masa del disco metálico.

TABLA N° 5.4
CENTRO DE MASA DEL DISCO

X_{cm1} (m)	X_{cm2} (m)	X_{cm3} (m)	X_{cm4} (m)	X_{cm5} (m)	\bar{X}_{cm} (m)
0.201	0.202	0.201	0.202	0.202	0.202

Fuente: Resultados de las mediciones

El valor promedio nos dice que la posición del centro de masa de la barra queda a 0.202m del origen O (extremo izquierdo del disco) esto coincide prácticamente con el centro geométrico del disco.

CAPÍTULO VI

COLISIONES

En este capítulo se considera la colisión de un arreglo experimental sencillo que consta de dos péndulos simples, en la que consideraremos la conservación del momento lineal total y la energía total [9]. En la primera parte del experimento de colisiones se encarga de comprobar experimentalmente si la colisión es elástica, para ello medimos el momento lineal total antes y después de la colisión así como también la energía cinética total antes y después de la colisión, para luego calcular el factor Q. Y en la segunda parte del experimento se encarga de comprobar experimentalmente si la colisión es inelástica para ello medimos el momento lineal total antes y después de la colisión así como también la energía cinética total antes y después de la colisión, para luego calcular el factor Q.

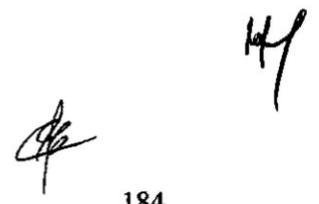
6.1 Colisión elástica

En todo tipo de colisiones, el momento lineal total del sistema tiene el mismo valor antes y después de la colisión. En una colisión elástica de dos cuerpos, la energía cinética total del sistema permanece constante, es decir tiene el mismo valor antes y después del choque. La velocidad relativa de los cuerpos antes y después de la colisión tiene igual magnitud y el factor Q de esta colisión elástica es igual a cero.

6.1.1 Momento lineal de una partícula

El momento lineal \vec{p} , también conocido como cantidad de movimiento, caracteriza el estado dinámico de una partícula y es una cantidad vectorial que se define como el producto de la masa m de una partícula por su velocidad \vec{v} , [9] En el sistema internacional de pesos y medidas su unidad es $1\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s} = 1\text{N}\cdot\text{s}$

$$\vec{p} = m\vec{v} \tag{6.1}$$



6.1.2 Conservación del momento lineal

En la colisión elástica de dos cuerpos solo actúan las fuerzas de acción y reacción entre los cuerpos, conocidas como fuerzas internas del sistema, por lo que el momento lineal total \vec{P}_T del sistema se conserva, es decir tiene el mismo valor antes y después de la colisión, esto quiere decir que la suma vectorial de los momentos lineales de las partículas individuales que constituyen el sistema es una constante [2].

$$\vec{P}_T = \vec{p}_{1i} + \vec{p}_{2i} = \vec{p}_{1f} + \vec{p}_{2f} = \sum_i \vec{p}_i \quad (6.2)$$

$$\vec{P}_T = m_1 \vec{v}_{1i} + m_2 \vec{v}_{2i} = m_1 \vec{v}_{1f} + m_2 \vec{v}_{2f} \quad (6.3)$$

En este caso, cada una de las componentes del momento lineal total, se conserva independientemente de las otras componentes.

6.1.3 Materiales y equipos

Los materiales y equipos a utilizar para el desarrollo del experimento de colisión elástica se indican de la siguiente manera:

- Un Xplorer GLX y su cargador
- Dos sensores de fotopuerta
- Una balanza electrónica
- Un soporte universal, pinzas y nueces
- Un calibrador de vernier
- Una regla transportador
- Bolas de billar y de acero
- Pabilo y bloques de madera

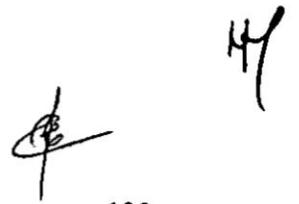


FIGURA N° 6.1
MATERIALES Y EQUIPOS



Fuente: Foto en el Laboratorio de Física FIQ

6.1.4 Parte experimental

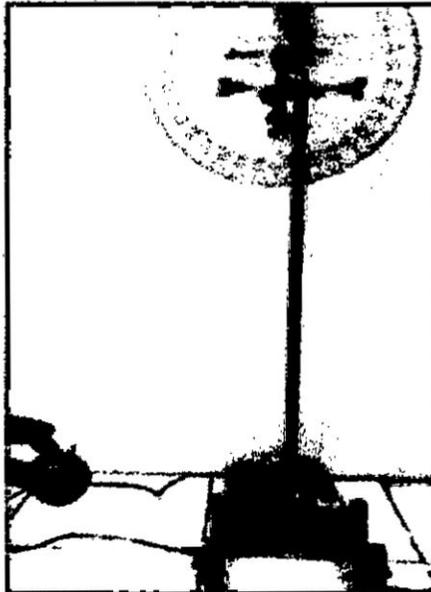
Actividad 1: Colisión de esferas livianas

El experimento de colisión elástica empieza con la medición de las masas de las bolas de billar para ello se utiliza una balanza electrónica, la medida es $m_1 = 183 \text{ g}$ y $m_2 = 182.6 \text{ g}$.

También haciendo uso de un calibrador de vernier para medir el diámetro de la bola de billar la medida fue de 5.7 cm . Luego se realiza el arreglo experimental como se muestra en la Figura N° 6.2, previamente conectamos el cargador a la red doméstica 220 V , luego el extremo libre de este cargador se conecta al Xplorer GLX y automáticamente el Xplorer GLX se enciende.

[Handwritten signatures]

FIGURA N° 6.2
MONTAJE DE CHOQUE ELÁSTICO 1



Fuente: Foto en Laboratorio de Física FIQ

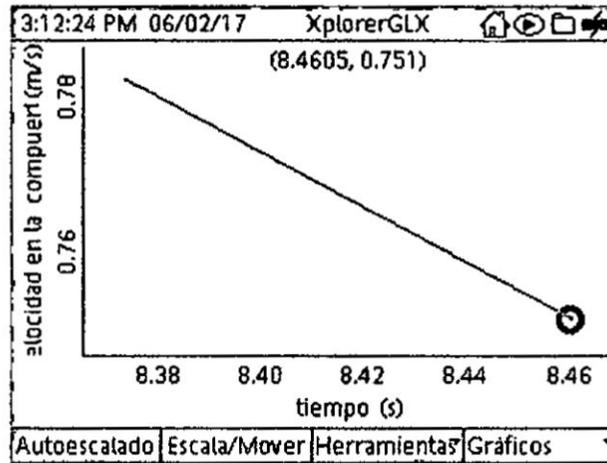
Luego conectamos en uno de los puertos del Xplorer GLX el adaptador del sensor de fotopuerta y automáticamente se muestra una lista de sensores el cual seleccionamos temporización de fotopuerta, luego realizamos la configuración el cual consiste en introducir la longitud de separación entre fotopuertas el cual es medido con una regla y la medida es de 12 cm.

Además se activa solamente el campo para la velocidad en la fotopuerta. Repetimos el paso anterior con el otro adaptador del sensor de fotopuerta y ya estamos listos para la toma de datos del Xplorer GLX.

Una medición para las velocidades antes y después de la colisión de acuerdo a la Figura N° 6.2, es decir para un ángulo $\theta = 25^\circ$ medido con ayuda de un transportador se muestra en la Figura N° 6.3, esto es:

[Handwritten signature]

FIGURA N° 6.3
RAPIDEZ ANTES Y DESPUÉS DEL CHOQUE



Fuente: Resultados de la medición

A continuación en la Tabla N° 6.1 mostramos la magnitud de las velocidades antes y después choque medido con el Xplorer y su sensor, para cuatro ángulos diferentes. Como se puede ver la rapidez después del choque es similar a la rapidez antes del choque, esto es:

TABLA N° 6.1
VELOCIDADES EN EL CHOQUE ELÁSTICO

θ (°S)	10	15	20	25
v_{1a} (m/s)	0.290	0.485	0.653	0.782
v_{2d} (m/s)	0.286	0.459	0.648	0.751

Fuente: Resultados de las mediciones

Con las rapidezces ya conocidas a continuación procedemos a calcular el momento lineal total, la energía cinética total antes y después de la colisión de los péndulos. Con los resultados calcularemos el factor Q para demostrar si el tipo de colisión es elástica, ($Q \approx 0$).

Para $\theta = 10^\circ$: El momento lineal total antes de la colisión es:

$$p_{a.c} = m_1 v_{1a} + m_2 v_{2a} = m_1 v_{1a}$$

Handwritten signatures and initials.

$$p_{a.c} = (183 \times 10^{-3} \text{ kg})(0.290 \text{ m/s})$$

$$= 0.053 \text{ kg.m/s}$$

El momento lineal total después de la colisión es:

$$p_{d.c} = m_1 v_{1d} + m_2 v_{2d} = m_2 v_{2d}$$

$$p_{d.c} = (182.6 \times 10^{-3} \text{ kg})(0.286 \text{ m/s})$$

$$= 0.052 \text{ kg.m/s}$$

La energía cinética total antes de la colisión es:

$$K_{a.c} = \frac{1}{2} m_1 v_{1a}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2a}^2 = \frac{1}{2} m_1 v_{1a}^2$$

$$K_{a.c} = \frac{1}{2} (183 \times 10^{-3} \text{ kg})(0.290 \text{ m/s})^2$$

$$= 7.695 \text{ mJ}$$

La energía cinética total después de la colisión es:

$$K_{d.c} = \frac{1}{2} m_1 v_{1d}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2d}^2 = \frac{1}{2} m_2 v_{2d}^2$$

$$K_{d.c} = \frac{1}{2} (182.6 \times 10^{-3} \text{ kg})(0.286 \text{ m/s})^2$$

$$= 7.467 \text{ mJ}$$

El factor Q para esta colisión con ángulo de 10° se determina calculando la energía cinética total antes del choque con la energía cinética total después del choque, esto es:

$$Q = K_{a.c} - K_{d.c} = 7.695 \times 10^{-3} \text{ J} - 7.467 \times 10^{-3} \text{ J}$$

$$-Q = 0.000228 \text{ J}$$

Para $\theta = 15^\circ$: El momento lineal total antes de la colisión es:

$$p_{a.c} = m_1 v_{1a} + m_2 v_{2a} = m_1 v_{1a}$$

$$p_{a.c} = (183 \times 10^{-3} \text{ kg})(0.485 \text{ m/s})$$

$$= 0.088 \text{ kg.m/s}$$




El momento lineal total después de la colisión es:

$$\begin{aligned} p_{d.c} &= m_1 v_{1d} + m_2 v_{2d} = m_2 v_{2d} \\ p_{d.c} &= (182.6 \times 10^{-3} \text{ kg})(0.459 \text{ m/s}) \\ &= 0.083 \text{ kg. m/s} \end{aligned}$$

La energía cinética total antes de la colisión es:

$$\begin{aligned} K_{a.c} &= \frac{1}{2} m_1 v_{1a}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2a}^2 = \frac{1}{2} m_1 v_{1a}^2 \\ K_{a.c} &= \frac{1}{2} (183 \times 10^{-3} \text{ kg})(0.485 \text{ m/s})^2 \\ &= 21.523 \text{ mJ} \end{aligned}$$

La energía cinética total después de la colisión es:

$$\begin{aligned} K_{d.c} &= \frac{1}{2} m_1 v_{1d}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2d}^2 = \frac{1}{2} m_2 v_{2d}^2 \\ K_{d.c} &= \frac{1}{2} (182.6 \times 10^{-3} \text{ kg})(0.459 \text{ m/s})^2 \\ &= 19.235 \text{ mJ} \end{aligned}$$

Al igual que en la prueba anterior, para esta colisión correspondiente al ángulo de 15° , el factor Q se determina por diferencia de la energía cinética total antes y después del choque, de la que resulta el valor:

$$\begin{aligned} -Q &= K_{a.c} - K_{d.c} = 21.523 \times 10^{-3} \text{ J} - 19.235 \times 10^{-3} \text{ J} \\ -Q &= 0.002288 \text{ J} \end{aligned}$$

Para $\theta = 20^\circ$: El momento lineal total antes de la colisión es:

$$\begin{aligned} p_{a.c} &= m_1 v_{1a} + m_2 v_{2a} = m_1 v_{1a} \\ p_{a.c} &= (183 \times 10^{-3} \text{ kg})(0.653 \text{ m/s}) \\ &= 0.119 \text{ kg. m/s} \end{aligned}$$

El momento lineal total después de la colisión es:

$$p_{d.c} = m_1 v_{1d} + m_2 v_{2d} = 0 + m_2 v_{2d}$$

$$p_{d.c} = (182.6 \times 10^{-3} \text{ kg})(0.648 \text{ m/s})$$

$$= 0.118 \text{ kg. m/s}$$

La energía cinética total antes de la colisión es:

$$K_{a.c} = \frac{1}{2} m_1 v_{1a}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2a}^2 = \frac{1}{2} m_1 v_{1a}^2$$

$$K_{a.c} = \frac{1}{2} (183 \times 10^{-3} \text{ kg})(0.653 \text{ m/s})^2$$

$$= 39.016 \text{ mJ}$$

La energía cinética total después de la colisión es:

$$K_{d.c} = \frac{1}{2} m_1 v_{1d}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2d}^2 = \frac{1}{2} m_2 v_{2d}^2$$

$$K_{d.c} = \frac{1}{2} (182.6 \times 10^{-3} \text{ kg})(0.648 \text{ m/s})^2$$

$$= 38.337 \text{ mJ}$$

Al igual que en la prueba anterior, para esta colisión correspondiente al ángulo de 20° , el factor Q se determina por diferencia de la energía cinética total antes y después del choque, de la que resulta el valor:

$$-Q = K_{a.c} - K_{d.c} = 39.016 \times 10^{-3} \text{ J} - 38.337 \times 10^{-3} \text{ J}$$

$$-Q = 0.000679 \text{ J}$$

Para $\theta = 25^\circ$: El momento lineal total antes de la colisión es:

$$p_{a.c} = m_1 v_{1a} + m_2 v_{2a} = m_1 v_{1a}$$

$$p_{a.c} = (183 \times 10^{-3} \text{ kg})(0.782 \text{ m/s})$$

$$= 0.143 \text{ kg. m/s}$$

El momento lineal total después de la colisión es:

$$p_{d.c} = m_1 v_{1d} + m_2 v_{2d} = m_2 v_{2d}$$

$$p_{d.c} = (182.6 \times 10^{-3} \text{ kg})(0.751 \text{ m/s})$$

$$= 0.137 \text{ kg. m/s}$$

[Handwritten signatures]

La energía cinética total antes de la colisión es:

$$K_{a.c} = \frac{1}{2}m_1v_{1a}^2 + \frac{1}{2}m_2v_{2a}^2 = \frac{1}{2}m_1v_{1a}^2$$
$$K_{a.c} = \frac{1}{2}(183 \times 10^{-3} \text{ kg})(0.782 \text{ m/s})^2$$
$$= 55.954 \text{ mJ}$$

La energía cinética total después de la colisión es:

$$K_{d.c} = \frac{1}{2}m_1v_{1d}^2 + \frac{1}{2}m_2v_{2d}^2 = \frac{1}{2}m_2v_{2d}^2$$
$$K_{d.c} = \frac{1}{2}(182.6 \times 10^{-3} \text{ kg})(0.751 \text{ m/s})^2$$
$$= 51.493 \text{ mJ}$$

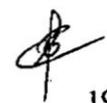
Al igual que en la prueba anterior, para esta colisión correspondiente al ángulo de 25° , el factor Q se determina por diferencia de la energía cinética total antes y después del choque, de la que resulta el valor:

$$-Q = K_{a.c} - K_{d.c} = 55.954 \times 10^{-3} \text{ J} - 51.493 \times 10^{-3} \text{ J}$$
$$-Q = 0.004461 \text{ J}$$

De acuerdo con los resultados obtenidos tanto para los momentos lineales totales, las energías cinéticas totales antes y después de la colisión que tienen valores muy cercanos, así como también que el factor Q tenga valores muy pequeños cercanos a cero, podemos decir que la colisión es prácticamente elástica.

Actividad 2: Colisión de esferas pesadas

Repetimos la actividad ahora haciendo uso de dos bolas de acero cuyas masas fueron determinadas con la ayuda de una balanza electrónica, la medida fue $m_1 = 287 \text{ g}$ y $m_2 = 287 \text{ g}$. También haciendo uso de un calibrador de vernier para medir el diámetro de la bola de acero la medida fue de 4.1 cm . Luego se realiza el arreglo experimental como se muestra en la Figura N° 6.4, previamente



conectamos el cargador a la red doméstica 220 V, luego el extremo libre de este cargador se conecta al Xplorer GLX y automáticamente el Xplorer GLX se enciende.

FIGURA N° 6.4
MONTAJE DE CHOQUE ELÁSTICO 2



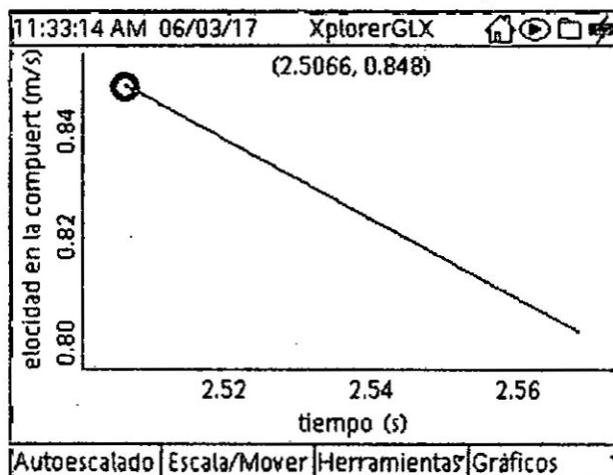
Fuente: Foto en Laboratorio de Física FIQ

Luego conectamos en uno de los puertos del Xplorer GLX el adaptador del sensor de fotopuerta y automáticamente se muestra una lista de sensores el cual seleccionamos temporización de fotopuerta, luego realizamos la configuración el cual consiste en introducir la longitud de separación entre fotopuertas el cual es medido con una regla y la medida es de 9 cm.

Además se activa solamente el campo para la velocidad en la fotopuerta. Repetimos el paso anterior con el otro adaptador del sensor de fotopuerta y ya estamos listos para la toma de datos del Xplorer GLX.

Una prueba de medición para la velocidad antes del choque y la velocidad después del choque para las esferas pesadas con el montaje de la Figura N° 6.4 y para un ángulo $\theta = 25^\circ$, medido con la ayuda de un transportador de 360° arrojan los resultados que se muestran en la Figura N° 6.5.

FIGURA N° 6.5
VELOCIDADES EN EL CHOQUE



Fuente: Resultados de las mediciones

En la tabla N° 6.2 se muestra las velocidades antes y después de la colisión medidos por el sensor, para diferentes ángulos.

TABLA N° 6.2
VELOCIDADES EN LA COLISIÓN ELÁSTICA

θ (°S)	10°	15°	20°	25°
v_{1a} (m/s)	0.366	0.468	0.679	0.848
v_{2d} (m/s)	0.318	0.453	0.617	0.812

Fuente: Resultados de las mediciones

A continuación calculamos el momento lineal total, la energía cinética total antes y después de la colisión. Luego calculamos también el factor Q para demostrar si la colisión es elástica, ($Q \approx 0$). Así para un ángulo $\theta = 10^\circ$: El momento lineal total antes de la colisión es:

$$\begin{aligned}
 p_{a.c} &= m_1 v_{1a} + m_2 v_{2a} = m_1 v_{1a} \\
 p_{a.c} &= (287 \times 10^{-3} \text{kg})(0.366 \text{ m/s}) \\
 &= 0.105 \text{ kg} \cdot \text{m/s}
 \end{aligned}$$

El momento lineal total después de la colisión es:

$$\begin{aligned}
 p_{d.c} &= m_1 v_{1d} + m_2 v_{2d} = m_2 v_{2d} \\
 p_{d.c} &= (287 \times 10^{-3} \text{ kg})(0.318 \text{ m/s}) \\
 &= 0.091 \text{ kg.m/s}
 \end{aligned}$$

La energía cinética total antes de la colisión es:

$$\begin{aligned}
 K_{a.c} &= \frac{1}{2} m_1 v_{1a}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2a}^2 = \frac{1}{2} m_1 v_{1a}^2 \\
 K_{a.c} &= \frac{1}{2} (287 \times 10^{-3} \text{ kg})(0.366 \text{ m/s})^2 \\
 &= 0.0192 \text{ J}
 \end{aligned}$$

La energía cinética total después de la colisión es:

$$\begin{aligned}
 K_{d.c} &= \frac{1}{2} m_1 v_{1d}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2d}^2 = \frac{1}{2} m_2 v_{2d}^2 \\
 K_{d.c} &= \frac{1}{2} (287 \times 10^{-3} \text{ kg})(0.318 \text{ m/s})^2 \\
 &= 0.0145 \text{ J}
 \end{aligned}$$

Para esta colisión correspondiente al ángulo de 10° , el factor Q se determina por diferencia de la energía cinética total antes y después del choque, de la que resulta el valor:

$$\begin{aligned}
 -Q &= K_{a.c} - K_{d.c} \\
 -Q &= 19.222 \times 10^{-3} \text{ J} - 14.511 \times 10^{-3} \text{ J} \\
 -Q &= 0.004711 \text{ J}
 \end{aligned}$$

Para $\theta = 15^\circ$: El momento lineal total antes de la colisión es:

$$\begin{aligned}
 p_{a.c} &= m_1 v_{1a} + m_2 v_{2a} = m_1 v_{1a} \\
 p_{a.c} &= (287 \times 10^{-3} \text{ kg})(0.468 \text{ m/s}) \\
 &= 0.134 \text{ kg.m/s}
 \end{aligned}$$

El momento lineal total después de la colisión es:

$$\begin{aligned}
 p_{d.c} &= m_1 v_{1d} + m_2 v_{2d} = m_2 v_{2d} \\
 p_{d.c} &= (287 \times 10^{-3} \text{ kg})(0.453 \text{ m/s})
 \end{aligned}$$

$$= 0.130 \text{ kg. m/s}$$

La energía cinética total antes de la colisión es:

$$K_{a.c} = \frac{1}{2}m_1v_{1a}^2 + \frac{1}{2}m_2v_{2a}^2 = \frac{1}{2}m_1v_{1a}^2$$

$$K_{a.c} = \frac{1}{2}(287 \times 10^{-3} \text{ kg})(0.468 \text{ m/s})^2 \\ = 0.0314 \text{ J}$$

La energía cinética total después de la colisión es:

$$K_{d.c} = \frac{1}{2}m_1v_{1d}^2 + \frac{1}{2}m_2v_{2d}^2 = \frac{1}{2}m_2v_{2d}^2$$

$$K_{d.c} = \frac{1}{2}(287 \times 10^{-3} \text{ kg})(0.453 \text{ m/s})^2 \\ = 0.0294 \text{ J}$$

Al igual que en la prueba anterior, para esta colisión correspondiente al ángulo de 15° , el factor Q se determina por diferencia de la energía cinética total antes y después del choque, de la que resulta el valor:

$$-Q = K_{a.c} - K_{d.c}$$

$$-Q = 0.0314 \text{ J} - 0.0294 \text{ J}$$

$$-Q = 0.001982 \text{ J}$$

Para $\theta = 20^\circ$: El momento lineal total antes de la colisión es:

$$p_{a.c} = m_1v_{1a} + m_2v_{2a} = m_1v_{1a}$$

$$p_{a.c} = (287 \times 10^{-3} \text{ kg})(0.679 \text{ m/s}) \\ = 0.194 \text{ kg. m/s}$$

El momento lineal total después de la colisión es:

$$p_{d.c} = m_1v_{1d} + m_2v_{2d} = m_2v_{2d}$$

$$p_{d.c} = (287 \times 10^{-3} \text{ kg})(0.617 \text{ m/s}) \\ = 0.177 \text{ kg. m/s}$$



La energía cinética total antes de la colisión es:

$$K_{a.c} = \frac{1}{2}m_1v_{1a}^2 + \frac{1}{2}m_2v_{2a}^2 = \frac{1}{2}m_1v_{1a}^2$$
$$K_{a.c} = \frac{1}{2}(287 \times 10^{-3} \text{ kg})(0.679 \text{ m/s})^2$$
$$= 0.0661 \text{ J}$$

La energía cinética total después de la colisión es:

$$K_{d.c} = \frac{1}{2}m_1v_{1d}^2 + \frac{1}{2}m_2v_{2d}^2 = \frac{1}{2}m_2v_{2d}^2$$
$$K_{d.c} = \frac{1}{2}(287 \times 10^{-3} \text{ kg})(0.617 \text{ m/s})^2$$
$$= 0.0546 \text{ J}$$

Al igual que en la prueba anterior, para esta colisión correspondiente al ángulo de 20° , el factor Q se determina por diferencia de la energía cinética total antes y después del choque, de la que resulta el valor:

$$-Q = K_{a.c} - K_{d.c}$$
$$-Q = 0.0661 \text{ J} - 0.0546 \text{ J}$$
$$-Q = 0.0115 \text{ J}$$

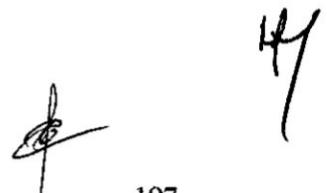
Para $\theta = 25^\circ$: El momento lineal total antes de la colisión es:

$$p_{a.c} = m_1v_{1a} + m_2v_{2a} = m_1v_{1a}$$
$$p_{a.c} = (287 \times 10^{-3} \text{ kg})(0.848 \text{ m/s})$$
$$= 0.243 \text{ kg.m/s}$$

El momento lineal total después de la colisión es:

$$p_{d.c} = m_1v_{1d} + m_2v_{2d} = m_2v_{2d}$$
$$p_{d.c} = (287 \times 10^{-3} \text{ kg})(0.802 \text{ m/s})$$
$$= 0.230 \text{ kg.m/s}$$

La energía cinética total antes de la colisión es:



$$K_{a.c} = \frac{1}{2}m_1v_{1a}^2 + \frac{1}{2}m_2v_{2a}^2 = \frac{1}{2}m_1v_{1a}^2$$

$$K_{a.c} = \frac{1}{2}(287 \times 10^{-3} \text{ kg})(0.848 \text{ m/s})^2$$

$$= 0.1032 \text{ J}$$

La energía cinética total después de la colisión es:

$$K_{d.c} = \frac{1}{2}m_1v_{1d}^2 + \frac{1}{2}m_2v_{2d}^2 = \frac{1}{2}m_2v_{2d}^2$$

$$K_{d.c} = \frac{1}{2}(287 \times 10^{-3} \text{ kg})(0.812 \text{ m/s})^2$$

$$= 0.0946 \text{ J}$$

Al igual que en la prueba anterior, para esta colisión correspondiente al ángulo de 25°, el factor Q se determina por diferencia de la energía cinética total antes y después del choque, de la que resulta el valor:

$$-Q = K_{a.c} - K_{d.c}$$

$$-Q = 0.1032 \text{ J} - 0.0946 \text{ J}$$

$$-Q = 0.0086 \text{ J}$$

Nuevamente de acuerdo a los resultados obtenidos tanto para los momentos lineales totales, como para las energías cinéticas totales antes y después de la colisión, así como también del factor Q cuyos valores otra vez son del orden de una centésima de Joule, podemos decir con seguridad que la colisión de las esferas pesadas también es de tipo elástica.

6.2 Colisión inelástica

Aunque en el choque inelástico de dos partículas la cantidad de movimiento lineal (momentum lineal) del sistema permanece constante (se conserva), la energía cinética del sistema ya no se conserva, lo que implica que la energía cinética del sistema E_i antes del choque es de diferente valor a la energía cinética del sistema E_f después del choque inelástico.



Esta diferencia de energías cinéticas antes y después de la colisión de los dos cuerpos da lugar a una cantidad conocida con el nombre del factor Q de la colisión [10], la cual está definida como:

$$Q = E_f - E_i = U_i - U_f \quad (6.4)$$

Siendo la cantidad E_f la energía cinética del sistema después del choque inelástico:

$$E_f = \frac{1}{2} m_2 (v_{2f})^2 + \frac{1}{2} m_1 (v_{1f})^2 \quad (6.5)$$

Y la cantidad E_i es la energía cinética del sistema antes del choque inelástico:

$$E_i = \frac{1}{2} m_2 (v_{2i})^2 + \frac{1}{2} m_1 (v_{1i})^2 \quad (6.6)$$

Cuando el valor del factor Q de la colisión es de signo negativo ($Q < 0$) hay una disminución de la energía cinética del sistema con un correspondiente aumento del valor de la energía potencial interna del sistema y se dice que hay una colisión inelástica de primera clase (o endoergica) [11].

Cuando el valor de Q es de signo positivo ($Q > 0$), hay un aumento de energía cinética del sistema a expensas o disminución de la energía potencial interna y se tiene una colisión inelástica de segunda clase (o exoergica). En cualquier tipo de colisión o de choque la cantidad de momentum lineal del sistema permanece constante. De modo que la ley de la conservación de la cantidad de movimiento lineal del sistema, exige que se cumpla la igualdad vectorial:

$$\vec{P}_{sf} = \vec{P}_{si} \quad (6.7)$$

Siendo la cantidad \vec{P}_{sf} la cantidad movimiento lineal del sistema después del choque:

$$\vec{P}_{sf} = m_1 \vec{v}_{1f} + m_2 \vec{v}_{2f} \quad (6.8)$$



Y la cantidad \vec{P}_{si} es la cantidad de movimiento lineal del sistema antes del choque:

$$\vec{P}_{si} = m_1 \vec{v}_{1i} + m_2 \vec{v}_{2i} \quad (6.9)$$

Para el caso del choque de dos péndulos simples, con el segundo péndulo inicialmente en reposo $v_{2i} = 0$, supondremos que el mismo plano vertical contiene a la velocidad de los cuerpos justo antes y después del choque, además de que si $m_1 < m_2$, el cuerpo de masa m_1 rebota después de la colisión, lo que nos permite escribir las ecuaciones (6.8) y (6.9) de la forma siguiente:

$$\vec{P}_{sf} = (m_2 v_{2f} - m_1 v_{1f}) \hat{x} \quad (6.10)$$

y

$$\vec{P}_{si} = m_1 v_{1i} \hat{x} + m_2 0 \hat{x} \quad (6.11)$$

6.2.1 Materiales y equipos

Para el desarrollo del experimento de colisión inelástica, se requiere de los equipos y materiales que se detallan y se muestran en la Figura N°6.6

- Un Xplorer GLX y su adaptador de corriente (cargador)
- Dos fotopuertas con sus cables
- Dos adaptadores digitales
- Balanza digital de 1000g de máxima capacidad de medida.
- Regla metálica, de 1.00 m (SI) y de 40ft (SB).
- Un calibrador de vernier
- Un soporte universal con dos pinzas y dos nueces.
- Un juego de 4 cuerpos esféricos con gancho.
- Una regla transportador de 360°.
- Pabilo delgado para colgar las esferas.



41

FIGURA N° 6.6
MATERIALES PARA CHOQUE INELÁSTICO



Fuente: Foto en Laboratorio de Física FIQ

6.2.2 Parte experimental

Actividad 1: Colisión inelástica de 1^{ra} clase

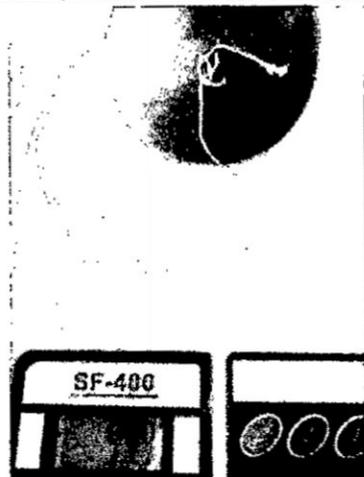
Este experimento empieza midiendo las masas m_1 y m_2 de las dos pequeñas esferas usando la balanza digital. Luego midiendo el radio de las esferas, de aproximadamente igual radio, usando el calibrador de vernier.

Las masas de los cuerpos deben estar en una relación de 1 a 4 aproximadamente, como se muestra en la Figura N° 6.7, esto es:

HP

HP

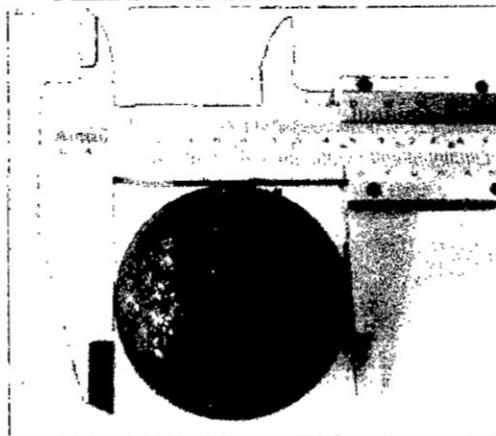
**FIGURA N° 6.7
MASA DE LAS ESFERAS**



Fuente: Foto en Laboratorio de Física FIQ

A continuación usando el calibrador de Vernier se mide el diámetro d_1 y d_2 de las dos esferas para comprobar que sean de igual diámetro en buena aproximación, tal como se puede apreciar en la Figura N° 6.8 que se muestra a continuación.

**FIGURA N° 6.8
MEDIDA DEL DIÁMETRO**



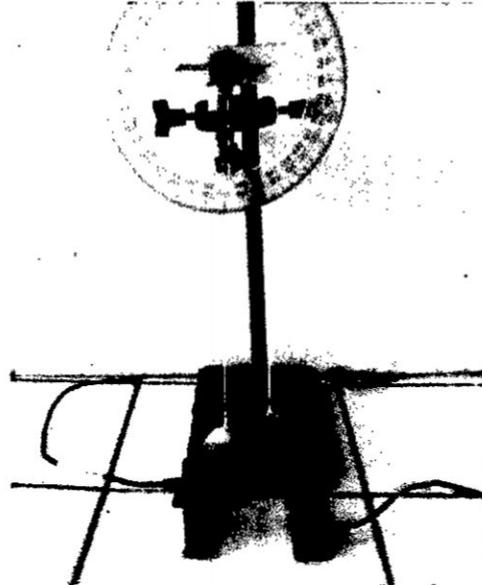
Fuente: Foto en Laboratorio de Física FIQ

El valor obtenido para los diámetros de las dos esferas se da en la Tabla N° 6.1. A continuación se amarra al gancho de cada esfera unos 80 cm de hilo resistente simple que colisionarán, tome el soporte universal, las dos pinzas, las dos nueces,

HY

las dos fotopuertas, la regla transportador de 360° y monte el experimento que se ilustra en la siguiente Figura N° 6.9

**FIGURA N° 6.9
ARREGLO EXPERIMENTAL**

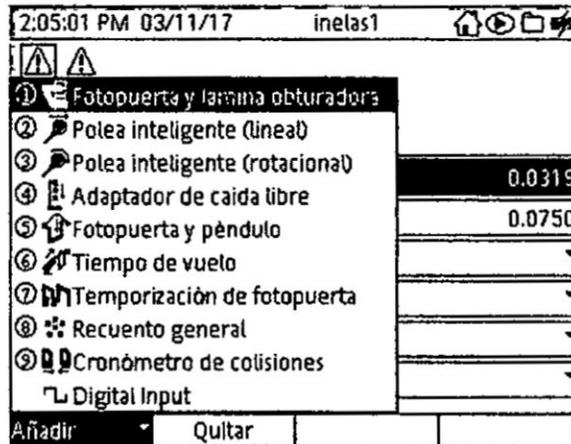


Fuente: Foto en Laboratorio de Física FIQ

A continuación se enciende el Xplorer GLX, después de esperar unos 30s para que el sistema se cargue, quede listo y operativo.

Después se conecta el adaptador digital de la primera fotopuerta al puerto serial 1 del Xplorer y en seguida en la pantalla se activa una nueva ventana mostrando todos los diferentes sensores electrónicos que admite este equipo Xplorer GLX [4], tal como se puede apreciar en la Figura N° 6.10a continuación:

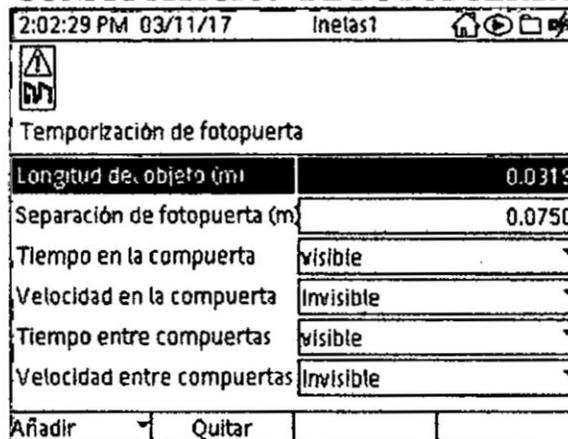
**FIGURA N° 6.10
SENSORES DEL XPLORES**



Fuente: Tomada del Xplorer GLX

A continuación usando los botones direccionales del Xplorer se elige el círculo con numeral 7 que corresponde a Temporización de fotopuerta. Luego se presiona el botón chek que se ubica al centro de los botones direccionales, esto activará una nueva ventana mostrando todos los campos necesarios que nos permite configurar el funcionamiento en modo Temporización de fotopuerta de cada sensor de fotopuerta conectado al Xplorer, como se muestra en la Figura N° 6.11

**FIGURA N° 6.11
CONFIGURACIÓN DE FOTOPUERTA**



Fuente: Tomada del Xplorer GLX

44

En seguida se conecta el adaptador digital de la segunda fotopuerta al puerto serial 2 del Xplorer GLX, lo que completará el Temporizador de fotopuertas para la medición de las velocidades antes y después del choque. A continuación el diámetro promedio $d = 0.0319\text{m}$ de las dos esferas que colisionaran se deberá de ingresar en el campo que corresponde a Longitud del objeto (m), para esto presionamos el botón chek que se ubica al centro de los botones direccionales. Luego para escribir el valor presionamos los botones numerados del Xplorer, al terminar presione el botón chek nuevamente.

**FIGURA N° 6.12
CONFIGURACIÓN FINAL**

2:58:49 PM 03/11/17 inelas1	
 	
Temporización de fotopuerta	
Longitud del objeto (m)	0.0319
Separación de fotopuerta (m)	0.0750
Tiempo en la compuerta	Invisible
Velocidad en la compuerta	visible
Tiempo entre compuertas	Invisible
Velocidad entre compuertas	Invisible
Añadir	Quitar

Fuente: Tomada del Xplorer GLX

Con los botones direccionales vamos al siguiente campo que corresponde a Separación de fotopuerta (m). En este campo se debe de ingresar la distancia de 0.075m entre la primera y la segunda fotopuerta, para esto se presiona nuevamente el botón chek y presionando los botones numerados del Xplorer se escribe el valor a ingresar. A continuación con el botón direccional vamos al campo que corresponde a Tiempo en la compuerta, luego presionando el botón chek el campo cambia de visible a invisible. Igualmente en el siguiente campo que corresponde a Velocidad en la compuerta, después de presionar el botón chek se cambia de invisible a visible. Luego repitiendo lo anterior en todos los siguientes campos que quedan hacemos los cambios a invisible, de manera que la ventana quede finalmente como se muestra en la Figura N° 6.12.

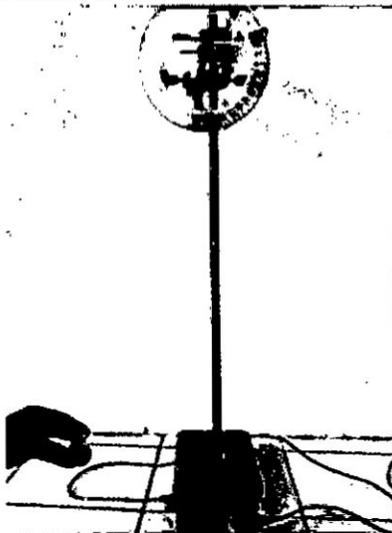
HP



A continuación se presiona el botón con símbolo de casa del Xplorer, este botón se ubica debajo de los botones direccionales. Esta acción nos llevara a la pantalla inicial.

Después se presiona el botón con el símbolo fl que está debajo de la pantalla del Xplorer, lo que activa una gráfica de velocidad (m/s) versus tiempo (s) y nos deja listos para iniciar las mediciones de velocidad antes y después del choque de las dos esferas. A continuación la esfera liviana de masa m_1 se aleja 15° de la vertical y después de activar el botón play se libera esta esfera, tal como se muestra la Figura N° 6.13

**FIGURA N° 6.13
INICIO DE TOMA DE DATOS**

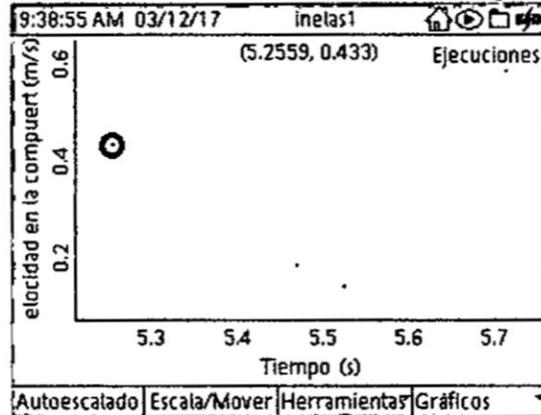


Fuente: Foto en Laboratorio de Física FIQ

Justo después de que la esfera pesada de masa m_2 pase por la segunda fotopuerta, presione nuevamente el botón play para detener las mediciones del Xplorer. A continuación la Figura N° 6.14 muestra la pantalla del Xplorer con las velocidades antes y después del choque de las esferas.

HP

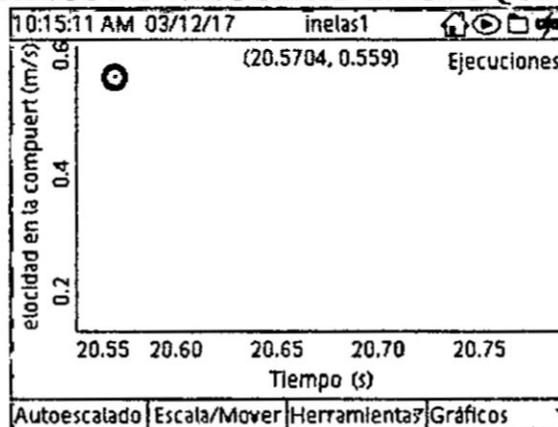
FIGURA N° 6.14
DATOS DE VELOCIDAD EN CHOQUE 1



Fuente: Resultados de la medición

Repetimos las mediciones de velocidad antes y después del choque, pero alejando la cuerda que sostiene la esfera liviana de masa m_1 unos 20° de la línea vertical, tal como la que se mostró en la Figura N° 6.2.8. Los nuevos resultados de la medición de las velocidades se aprecian en la siguiente Figura N° 6.15

FIGURA N° 6.15
DATOS DE VELOCIDAD EN CHOQUE 2



Fuente: Resultados de la medición

Continuando, volvemos a repetir las mediciones de velocidad antes y después del choque de las esferas pendulares pero, para otros valores del ángulo que forma la cuerda con la línea vertical, tales como: $\theta = 25^\circ$; 30° ; 40° y 50° grados

Handwritten signature

sexagesimales. Los resultados para las siguientes mediciones de velocidad antes y después del choque de los péndulos, se muestran en la tabla N° 6.3

TABLA N° 6.3
VELOCIDADES EN EL CHOQUE INELÁSTICO

Masa1 (g)	33.8	Masa2 (g)	131.1	Diámetro(m)	0.0319
$\theta(^{\circ}S)$	20	25	30	40	50
$v_{1i}(\frac{m}{s})$	0.559	0.722	0.835	1.155	1.496
$v_{1f}(\frac{m}{s})$	0.258	0.297	0.414	0.503	0.725
$v_{2f}(\frac{m}{s})$	0.190	0.252	0.300	0.415	0.539

Fuente: Resultados de las mediciones

Para el ángulo de 20° de alejamiento de la vertical, la cantidad de movimiento del sistema antes del choque, usando la ecuación 6.2.8 es:

$$\vec{P}_{si} = 0.0338 \times 0.559 \frac{kg - m}{s} \hat{x}$$

$$\vec{P}_{si} = 0.0189 \frac{kg - m}{s} \hat{x}$$

La cantidad de movimiento del sistema después del choque resulta.

$$\vec{P}_{sf} = \left(0.1311 \times 0.190 \frac{kg - m}{s} - 0.0338 \times 0.258 \frac{kg - m}{s} \right) \hat{x}$$

$$\vec{P}_{sf} = (0.0250 - 0.0087) \frac{kg - m}{s} \hat{x}$$

$$\vec{P}_{sf} = 0.0163 \frac{kg - m}{s} \hat{x}$$

La energía cinética del sistema antes de la colisión, usando la ecuación 6.2.7 es:

$$E_{si} = \frac{1}{2} \times 0.0338 \times (0.559)^2 J + \frac{1}{2} \times 0.1311 \times (0)^2 J$$

$$E_{si} = 0.00528 J$$

La energía cinética del sistema después de la colisión es:

$$E_{sf} = \frac{1}{2} \times 0.0338 \times (0.258)^2 J + \frac{1}{2} \times 0.1311 \times (0.190)^2 J$$

$$E_{sf} = 1.125 \text{ mJ} + 2.366 \text{ mJ}$$

$$E_{sf} = 0.0035 \text{ J}$$

Tomando la diferencia de la energía cinética total después del choque menos la energía cinética total antes del choque, para el ángulo $\theta = 20^\circ$ el factor Q de la colisión es:

$$Q = 0.0035 \text{ J} - 0.00528 \text{ J}$$

$$Q = -0.00179 \text{ J}$$

Para el ángulo de alejamiento de 25° la cantidad de movimiento del sistema antes del choque es:

$$\vec{p}_{si} = 0.0338 \times 0.722 \frac{\text{kg} - \text{m}}{\text{s}} \hat{x} = 0.0244 \frac{\text{kg} - \text{m}}{\text{s}} \hat{x}$$

La cantidad de movimiento del sistema después del choque resulta.

$$\vec{p}_{sf} = \left(0.1311 \times 0.252 \frac{\text{kg} - \text{m}}{\text{s}} - 0.0338 \times 0.297 \frac{\text{kg} - \text{m}}{\text{s}} \right) \hat{x}$$

$$\vec{p}_{sf} = (0.0330 - 0.010) \frac{\text{kg} - \text{m}}{\text{s}} \hat{x} =$$

$$\vec{p}_{sf} = 0.0230 \frac{\text{kg} - \text{m}}{\text{s}} \hat{x}$$

La energía cinética del sistema antes de la colisión es:

$$E_{si} = \frac{1}{2} \times 0.0338 \times (0.722)^2 J + \frac{1}{2} \times 0.1311 \times (0)^2 J$$

$$E_{si} = 0.0088 \text{ J}$$

La energía cinética del sistema después de la colisión es:

$$E_{sf} = \frac{1}{2} \times 0.0338 \times (0.297)^2 J + \frac{1}{2} \times 0.1311 \times (0.252)^2 J$$

$$E_{sf} = 1.490 \text{ mJ} + 4.163 \text{ mJ}$$




$$E_{sf} = 0.0056J$$

Tomando la diferencia de la energía cinética total después del choque menos la energía cinética total antes del choque, para el ángulo $\theta = 25^\circ$ el factor Q de la colisión es:

$$Q = 0.0056J - 0.0088J = -0.0031J$$

Para el ángulo de alejamiento de 30° la cantidad de movimiento del sistema antes del choque es:

$$\vec{P}_{si} = 0.0338 \times 0.835 \frac{kg - m}{s} \hat{x} = 0.0282 \frac{kg - m}{s} \hat{x}$$

La cantidad de movimiento del sistema después del choque resulta.

$$\vec{P}_{sf} = \left(0.1311 \times 0.300 \frac{kg - m}{s} - 0.0338 \times 0.414 \frac{kg - m}{s} \right) \hat{x}$$

$$\vec{P}_{sf} = (0.0394 - 0.0139) \frac{kg - m}{s} \hat{x}$$

$$\vec{P}_{sf} = 0.0260 \frac{kg - m}{s} \hat{x}$$

La energía cinética del sistema antes de la colisión es:

$$E_{si} = \frac{1}{2} \times 0.0338 \times (0.835)^2 J + \frac{1}{2} \times 0.1311 \times (0)^2 J$$

$$E_{si} = 0.0118 J$$

La energía cinética del sistema después de la colisión es:

$$E_{sf} = \frac{1}{2} \times 0.0338 \times (0.414)^2 J + \frac{1}{2} \times 0.1311 \times (0.300)^2 J$$

$$E_{sf} = 2.896 mJ + 5.899 mJ$$

$$E_{sf} = 0.0088 J$$

44



Tomando la diferencia de la energía cinética total después del choque menos la energía cinética total antes del choque, para el ángulo $\theta = 30^\circ$ el factor Q de la colisión es:

$$Q = 0.0088 J - 0.0118 J$$

$$Q = -0.003 J$$

Para el ángulo de alejamiento de 40° la cantidad de movimiento del sistema antes del choque es:

$$\vec{P}_{si} = 0.0338 \times 1.155 \frac{kg - m}{s} \hat{x} = 0.039 \frac{kg - m}{s} \hat{x}$$

La cantidad de movimiento del sistema después del choque resulta.

$$\vec{P}_{sf} = \left(0.1311 \times 0.415 \frac{kg - m}{s} - 0.0338 \times 0.503 \frac{kg - m}{s} \right) \hat{x}$$

$$\vec{P}_{sf} = (0.0544 - 0.0170) \frac{kg - m}{s} \hat{x}$$

$$\vec{P}_{sf} = 0.037 \frac{kg - m}{s} \hat{x}$$

La energía cinética del sistema antes de la colisión es:

$$E_{si} = \frac{1}{2} \times 0.0338 \times (1.155)^2 J + \frac{1}{2} \times 0.1311 \times (0)^2 J$$

$$E_{si} = 0.02254 J$$

La energía cinética del sistema después de la colisión es:

$$E_{sf} = \frac{1}{2} \times 0.0338 \times (0.503)^2 J + \frac{1}{2} \times 0.1311 \times (0.415)^2 J$$

$$E_{sf} = 4.276 mJ + 11.289 mJ$$

$$E_{sf} = 0.01556 J$$

Tomando la diferencia de la energía cinética total después del choque menos la energía cinética total antes del choque, para el ángulo $\theta = 40^\circ$ el factor Q de la colisión es:




$$Q = 0.01556J - 0.02254J$$

$$Q = -0.007 J$$

Para el ángulo de alejamiento de 50° la cantidad de movimiento del sistema antes del choque es:

$$\vec{P}_{si} = 0.0338 \times 1.496 \frac{kg - m}{s} \hat{x} = 0.050 \frac{kg - m}{s} \hat{x}$$

La cantidad de movimiento del sistema después del choque resulta.

$$\vec{P}_{sf} = \left(0.1311 \times 0.540 \frac{kg - m}{s} - 0.0338 \times 0.720 \frac{kg - m}{s} \right) \hat{x}$$

$$\vec{P}_{sf} = (0.0708 - 0.0243) \frac{kg - m}{s} \hat{x} =$$

$$\vec{P}_{sf} = 0.047 \frac{kg - m}{s} \hat{x}$$

La energía cinética del sistema antes de la colisión es:

$$E_{si} = \frac{1}{2} \times 0.0338 \times (1.496)^2 J + \frac{1}{2} \times 0.1311 \times (0)^2 J$$

$$E_{si} = 0.0378 J$$

La energía cinética del sistema después de la colisión es:

$$E_{sf} = \frac{1}{2} \times 0.0338 \times (0.720)^2 J + \frac{1}{2} \times 0.1311 \times (0.540)^2 J$$

$$E_{sf} = 8.883 mJ + 19.114 mJ$$

$$E_{sf} = 0.028 J$$

Tomando la diferencia de la energía cinética total después del choque menos la energía cinética total antes del choque, para el ángulo $\theta = 50^\circ$ el factor Q de la colisión es:

$$Q = 0.028 J - 0.0378 J$$

$$Q = -0.0098 J$$

44

CAPÍTULO VII

MOMENTO ANGULAR

En este capítulo se estudia el movimiento rotacional de un cuerpo rígido. La rotación se da en todos los niveles, desde el movimiento de los electrones en los átomos hasta los movimientos de las galaxias enteras. Necesitamos de métodos generales para analizar el movimiento de un cuerpo en rotación. En este capítulo consideraremos los cuerpos con tamaño y forma definida que en general pueden tener movimiento rotacional además del traslacional, así como también la dinámica de rotación, el concepto de momento angular y la conservación del momento angular [2].

En la primera parte del experimento de momento angular se encarga de medir el momento angular en forma indirecta, además la verificación de la conservación del momento angular. Y en la segunda parte del experimento se encarga de medir el momento de inercia de algunos cuerpos en forma indirecta.

7.1 Momento angular

El momento angular de una partícula respecto de cualquier punto O, es el producto vectorial del vector de posición \vec{r} de la partícula respecto a O y su momento lineal \vec{p} [2], esto es:

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = \vec{r} \times (m\vec{v}) \quad (7.1)$$

Si un cuerpo simétrico gira alrededor de un eje de simetría estacionario, su momento angular es su momento de inercia I multiplicado por la velocidad angular $\vec{\omega}$ de rotación, esto es:

$$\vec{L} = I\vec{\omega} \quad (7.2)$$

Ecuación válida si el cuerpo rígido gira en torno a un eje de simetría. La unidad de medida del momento angular en el SI es en $kg \cdot m^2/s$.

7.1.1 Conservación del momento angular

El momento angular puede servir para expresar de otro modo el principio dinámico del movimiento de rotación de los cuerpos rígidos. También es la base del principio de conservación del momento angular [3].

Al igual que la conservación de la energía y del momento lineal este principio es una ley de conservación universal válida en todas las escalas desde los sistemas atómicos y nucleares hasta los movimientos de las galaxias.

Este principio es consecuencia directa de la ecuación:

$$\sum \vec{\tau} = \frac{d\vec{L}}{dt} \quad (7.3)$$

Si $\sum \vec{\tau} = 0$, entonces $d\vec{L}/dt = 0$ y \vec{L} es constante. Esto quiere decir [2]:

“Si la torca externa neta que actúa sobre un sistema es cero, el momento angular total del sistema es constante (se conserva).”

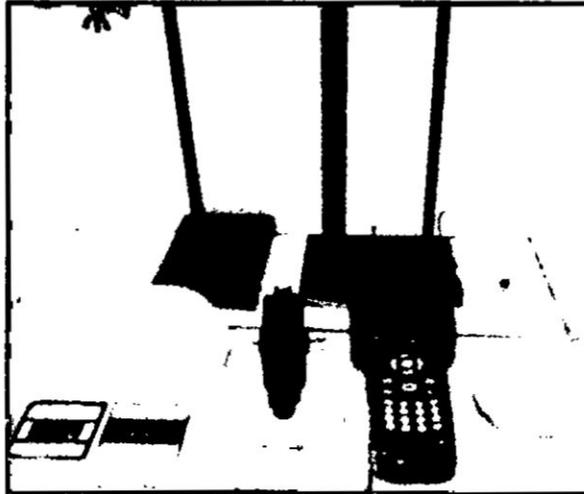
7.1.2 Materiales y equipos

Los materiales y equipos a utilizar para el desarrollo del experimento de momento angular se indican de la siguiente manera:

- Un Xplorer GLX y su cargador
- Un sensor de movimiento circular
- Una balanza electrónica
- Dos soportes universales con pinza y nuez
- Una regla metálica
- Cuatro discos de metal



FIGURA N° 7.1
MATERIALES PARA MOMENTO ANGULAR



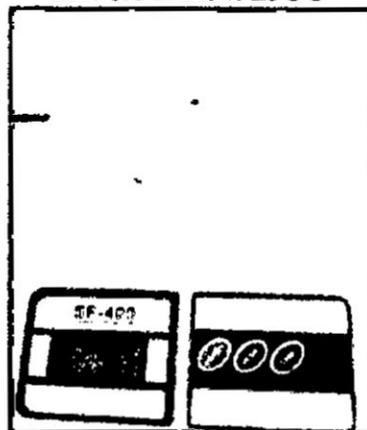
Fuente: Foto en el Laboratorio de Física FIQ

7.1.3 Parte experimental

Actividad 1: Midiendo el momento angular

El experimento de momento angular empieza con la medida de la masa de un disco de metal para esto usamos una balanza electrónica, luego repetimos esta medida para otros tres discos, como se muestra en la Figura N° 7.2.

FIGURA N° 7.2
MASA DEL DISCO



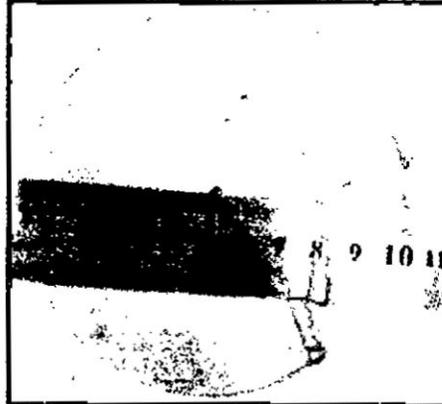
Fuente: Foto en el Laboratorio de Física FIQ

[Handwritten signature]

[Handwritten initials]

También se realiza la medida del diámetro de un disco de metal para esto usamos una regla metálica, luego repetimos esta medida para otros tres discos, como se muestra en la Figura N° 7.3, esto es:

**FIGURA N° 7.3
MEDIDA DEL DIÁMETRO DEL DISCO**



Fuente: Foto en el Laboratorio de Física FIQ

Y en la tabla N° 7.1, se indican las medidas de la masa y el diámetro de cada disco de metal denominado como D_1 , D_2 , D_3 y D_4 .

**TABLA N° 7.1
MASA Y DIÁMETRO DE LOS DISCOS**

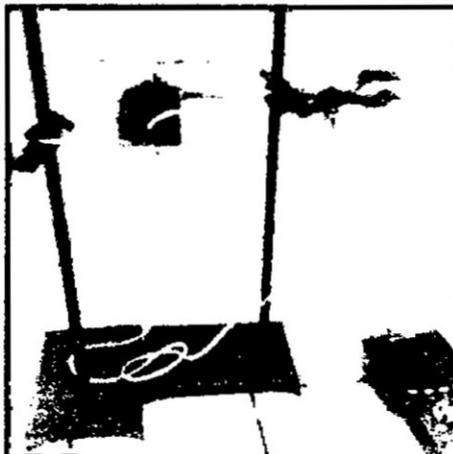
Disco	D_1	D_2	D_3	D_4
Masa (g)	48.4	48.1	48	48
Diámetro (cm)	10	10	10	10

Fuente: Resultados de la investigación

Luego se realiza el arreglo experimental como se muestra en la Figura N° 7.4, previamente conectamos el cargador a la red doméstica 220 V, luego el extremo libre de este cargador se conecta al Xplorer GLX y automáticamente el Xplorer GLX se enciende. Luego conectamos en uno de los puertos del Xplorer GLX el extremo libre del sensor de movimiento circular.

47

FIGURA N° 7.4
ARREGLO PARA EL MOMENTO ANGULAR



Fuente: Foto en el Laboratorio de Física FIQ

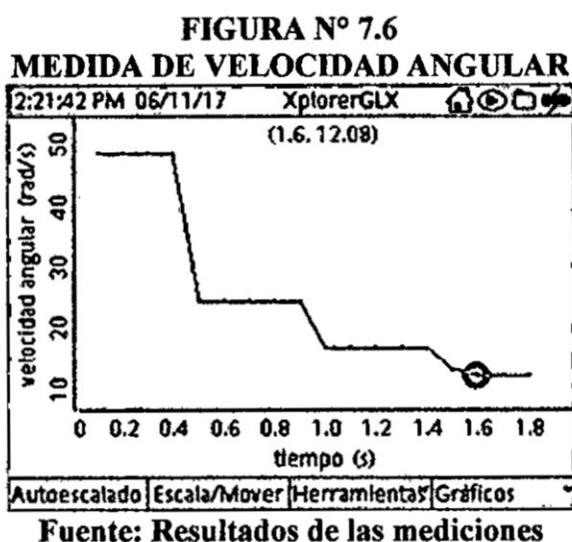
En seguida en el Xplorer GLX, se muestra una gráfica de posición angular versus tiempo, presionando la tecla check en dos tiempos, se activa una nueva ventana en el cual podemos seleccionar la opción de velocidad angular versus tiempo y automáticamente se muestra una nueva grafica entre velocidad angular versus tiempo, y estamos listos para la toma de datos.

FIGURA N° 7.5
AGREGANDO DISCOS AL SISTEMA



Fuente: Foto en el Laboratorio de Física FIQ

La toma de datos empieza cuando hacemos girar al sistema por medio de su eje de rotación luego presionamos la tecla play del Xplorer GLX, a continuación se van introduciendo cada disco de metal al sistema como se muestra en la Figura N° 7.5, y luego detenemos la medida presionando nuevamente la tecla play del equipo. En el Xplorer GLX, se muestra una gráfica entre la velocidad angular versus tiempo en el cual se observa a medida que se va introduciendo los discos de metal al sistema la velocidad angular va disminuyendo, como muestra en la Figura N° 7.6



De acuerdo a la Figura N° 7.6 se toma la medida de la velocidad angular de los discos, por el cual en la Tabla N° 7.2 se indican estas velocidades angulares ω :

TABLA N° 7.2
DATOS DE VELOCIDAD ANGULAR Y MASA

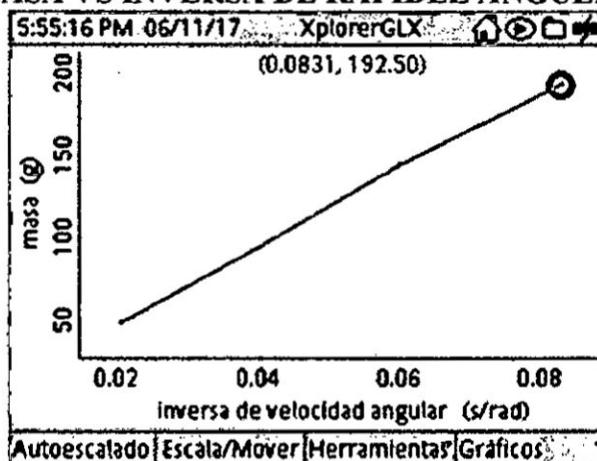
ω (rad/s)	48.24	24.20	16.60	12.03
M (g)	48.4	96.5	144.5	192.5

Fuente: Resultados de la investigación

Con el propósito de encontrar el momento angular de manera indirecta con los datos de la Tabla n° 7.2 creamos en el Xplorer una tabla con dos columna de datos

y graficamos la masa versus la inversa de velocidad angular, como se muestra en la Gráfica N° 7.1 esto es:

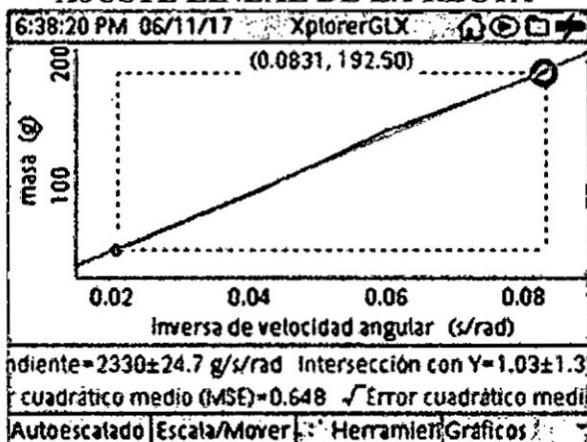
**GRÁFICA N° 7.1
MASA VS INVERSA DE RAPIDEZ ANGULAR**



Fuente: Resultados de las investigaciones

Con la idea de hallar la pendiente de la recta que muestra la Gráfica N° 7.1, usamos la ventana de Herramientas del Xplorer y se hacemos un ajuste lineal, resultando un valor de 2330 g/s para la pendiente, tal como se aprecia en la Gráfica N° 7.2, esto es:

**GRÁFICA N° 7.2
AJUSTE LINEAL DE LA RECTA**



Fuente: Pantalla del Xplorer

[Handwritten signatures and marks]

De acuerdo a la ecuación (7.2) el momento angular se define como:

$$L = I\omega$$
$$L = \frac{1}{2}mR^2\omega$$

Donde

$$m = \frac{2L}{R^2} \left(\frac{1}{\omega} \right)$$

Por lo que en esta ecuación lineal, la pendiente será $2L/R^2$. Entonces:

$$2330 \frac{g}{s} = \frac{2L}{(5 \text{ cm})^2}$$
$$L = 29125 \frac{g \cdot \text{cm}^2}{s}$$

En el SI el momento angular sería

$$L = 2.9125 \times 10^{-3} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{s}$$

Actividad 2: Conservación del momento angular

Para verificar la conservación del momento angular de este experimento se tendrá en cuenta los momentos de inercia de los discos, donde el momento de inercia de un disco está definido como:

$$I = \frac{1}{2}mR^2$$

Entonces

$$I_1 = \frac{1}{2}m_1R_1^2 = \frac{1}{2}(48.4g)(5\text{cm})^2 = 605g \cdot \text{cm}^2$$
$$I_2 = \frac{1}{2}m_2R_1^2 = \frac{1}{2}(96.5g)(5\text{cm})^2 = 1206.25g \cdot \text{cm}^2$$
$$I_3 = \frac{1}{2}m_3R_1^2 = \frac{1}{2}(144.5g)(5\text{cm})^2 = 1806.25g \cdot \text{cm}^2$$
$$I_4 = \frac{1}{2}m_4R_1^2 = \frac{1}{2}(192.5g)(5\text{cm})^2 = 2406.25g \cdot \text{cm}^2$$

Como

$$L = I_1\omega_1 = I_2\omega_2$$



Entonces

$$w_2 = \frac{I_1}{I_2} w_1 = \frac{605 \text{ g} \cdot \text{cm}^2}{1206.25 \text{ g} \cdot \text{cm}^2} \left(48.24 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)$$

$$w_2 = 24.194 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$L = I_1 w_1 = I_3 w_3$$

$$w_3 = \frac{I_1}{I_3} w_1$$

$$\omega_3 = \frac{605 \text{ g} \cdot \text{cm}^2}{1806.25 \text{ g} \cdot \text{cm}^2} \left(48.24 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)$$

$$w_3 = 16.157 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$L = I_1 w_1 = I_4 w_4$$

$$w_4 = \frac{I_1}{I_4} w_1 = \frac{605 \text{ g} \cdot \text{cm}^2}{2406.25 \text{ g} \cdot \text{cm}^2} \left(48.24 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)$$

$$w_4 = 12.128 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

De acuerdo a los resultados obtenidos para las velocidades angulares del sistema cuando se le agrega los discos podemos concluir que se cumple la conservación del momento angular.

7.2 Momento de inercia

Cuando un sistema formado por un gran número de partículas o un cuerpo rígido gira alrededor de un eje, la distribución de la masa respecto del eje de rotación desempeña un papel importante en la dinámica de rotación. Cuanto mayor es el valor de I , más difícil es cambiar el estado de rotación del cuerpo. El momento de inercia se puede expresar como una sumatoria para las partículas m_i que constituyen el cuerpo, cada una de las cuales está a una distancia perpendicular r_i del eje [10].

$$I = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + \dots = \sum m_i r_i^2 \tag{7.4}$$

HP



Para sistemas sólidos y homogéneos que giran alrededor de un eje de simetría que pasa por el centro de masa, como los cuerpos rígidos homogéneos de alta simetría: un disco sólido de masa M y radio R , o de un cilindro sólido de masa M , de longitud L y radio R , el momento de inercia para un disco sólido [10]:

$$I = \frac{1}{2}MR^2 \quad (7.5)$$

Para una barra cilíndrica sólida:

$$I = \frac{1}{12}ML^2 + \frac{1}{4}MR^2 \quad (7.6)$$

Para nuestro experimento de momento de inercia usaremos el modelo de C. Cabrera Arista usado en 2007 para determinar el momento de inercia I_x de forma indirecta [6] está dada por:

$$I_x = \frac{I_s - I_p}{2} \quad (7.7)$$

Donde I_x es el momento de inercia de los cuerpos sujetos al sensor de movimiento circular además I_s es el momento de inercia del sistema y I_p es el momento de inercia de la polea del sensor de movimiento circular. Como el Xplorer GLX, permite medir la aceleración lineal, entonces es posible determinar en forma indirecta el momento de inercia del sistema teniendo en cuenta la ecuación:

$$I_s = mr^2 \left(\frac{g}{a} - 1 \right) \quad (7.8)$$

Además la ecuación (7.8) también permite medir indirectamente el momento de inercia de la polea del sensor de movimiento circular I_p , en estos dos casos de los momentos de inercia m es la masa de una pesa que cuelga por medio de un hilo enrollado a la polea de radio r del sensor de movimiento circular conectado al Xplorer GLX, g es la aceleración de la gravedad y a es la aceleración lineal medida por el Xplorer GLX, en cada caso de este experimento.



7.2.1 Materiales y equipos

Los materiales y equipos a utilizar para el desarrollo del experimento de momento de inercia se indican de la siguiente manera:

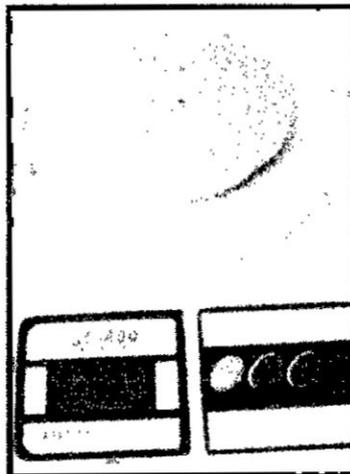
- Un Xplorer GLX y su cargador
- Un sensor de movimiento circular
- Una balanza electrónica y calibrador de vernier
- Un soporte universal, pinza y nuez
- Dos discos y dos cilindros de metal
- Hilo de coser y arandelas

7.2.2 Parte experimental

Actividad 3: Determinar el momento de inercia

El experimento de momento de inercia de un disco sólido empieza con la medida de la masa de cada uno de los discos a usar, para ello usamos una balanza electrónica de 0.1g de precisión, el resultado de la medida fue 95.1g tal como se muestra en la Figura N° 7.7, esto es

**FIGURA N° 7.7
MASA DE LOS DISCOS**



Fuente: Foto en el Laboratorio de Física FIQ

HP

[Handwritten signature]

Por lo que la masa de un disco sólido será de 47.55g. También haciendo uso del calibrador de Vernier se midió el diámetro de este disco la medida fue de 10.12cm, por lo que el radio del disco será de 5.06cm, tal como se indica en la Figura N° 7.8, esto es:

**FIGURA N° 7.8
MEDIDA DEL DIÁMETRO DEL DISCO**



Fuente: Foto en el Laboratorio de Física FIQ

Además haciendo uso nuevamente del calibrador de Vernier para medir el diámetro de la polea del sensor de movimiento circular la medida fue de 4.8cm, por lo que el radio de la polea será de 2.4cm, como se muestra en la Figura N° 7.9, respectivamente.

**FIGURA N° 7.9
DIÁMETRO DE LA POLEA**



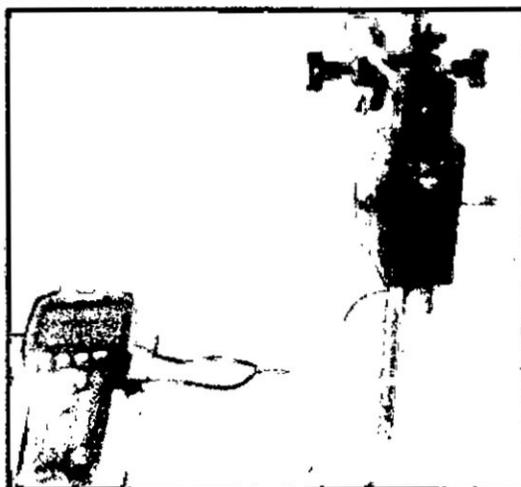
Fuente: Foto en el Laboratorio de Física FIQ

HP

A continuación se toma los dos discos de metal para entornillarlos en el sensor de movimiento circular para luego realizar el arreglo experimental como se muestra en la Figura N° 7.10, previamente conectamos el cargador a la red doméstica 220 V, luego el extremo libre de este cargador se conecta al Xplorer GLX y automáticamente el Xplorer GLX se enciende.

Por otro lado se realiza la conexión del extremo libre del sensor de movimiento circular a uno de los puertos del Xplorer GLX y automáticamente se muestra una gráfica entre posición angular versus tiempo, a continuación se hace una configuración previa en el equipo es decir presionamos la tecla check del equipo en dos tiempos y se abre rápidamente una nueva ventana mostrando las otras cantidades físicas que mide el sensor en este caso seleccionamos la velocidad lineal y automáticamente se muestra una nueva gráfica entre la velocidad lineal versus tiempo.

**FIGURA N° 7.10
ARREGLO PARA LA 3^{ra} ACTIVIDAD**



Fuente: Foto en el Laboratorio de Física FIQ

Antes de iniciar la toma de datos de la aceleración lineal obtenido por medio de un ajuste lineal a la gráfica de velocidad lineal versus tiempo en el Xplorer GLX. El hilo debe sostener una pesa de masa m que previamente se enrolla en la polea

del sensor de movimiento circular y ya estamos listos para iniciar la toma de datos.

Liberando la pesa (arandela) desde una cierta altura y a la vez presionando el botón play del Xplorer GLX para determinar la aceleración lineal por medio de la gráfica velocidad lineal versus tiempo y luego detener la toma presionando otra vez la tecla play del equipo se consigue una aceleración lineal de 1.21 m/s^2 , esta aceleración lineal corresponde para una masa de 30.6 g y de acuerdo a la ecuación (8) se puede calcular el momento de inercia del sistema esto es $I_s = 1251.271 \text{ g.cm}^2$.

Cambiando la pesa por otro de mayor masa repetimos el experimento para encontrar otra aceleración lineal y haciendo uso otra vez de la ecuación (8) encontramos el momento de inercia del sistema, todas estas medidas y cálculos se dan en la Tabla N° 7.3.

TABLA N° 7.3
MOMENTO DE INERCIA EXPERIMENTAL

$m(\text{g})$	30.6	36.5	38.5	42.4	47.1
$a(\text{m/s}^2)$	1.21	1.40	1.47	1.59	1.73
$I_s(\text{g.cm}^2)$	1251.271	1261.44	1256.64	1261.056	1265.525

Fuente: Resultados de las mediciones

A continuación se procede a retirar los discos de metal que se encuentran entornillados en el sensor de movimiento circular, para determinar así solo el momento de inercia de la polea claro está por medio de la ecuación (8) para esto se repite el experimento tomando en cuenta ahora otras pesas.

Por lo que la medida de las masas, aceleración y el momento de inercia de la polea del sensor de movimiento circular I_p se dan en la Tabla N° 7.4.

TABLA N° 7.4
MOMENTO DE INERCIA DE LA POLEA

$m(g)$	5.1	11.6	18.1	24.1	30
$a(m/s^2)$	4.88	6.71	7.57	8.03	8.35
$I_p(g.cm^2)$	29.616	30.769	30.712	30.598	30.007

Fuente: Resultados de las mediciones

Teniendo en cuenta la ecuación (7) que determina el momento de inercia de un cuerpo, en este caso de un disco sólido, se procede primero a calcular el momento de inercia promedio tanto para el sistema y la polea, esto es:

$$I_s = 1259.1864 \text{ g.cm}^2$$

$$I_p = 30.3404 \text{ g.cm}^2$$

Entonces de acuerdo a la ecuación (7.7), el momento de inercia del disco sólido será:

$$I_x = \frac{I_s - I_p}{2} = \frac{1259.1864 \text{ g.cm}^2 - 30.3404 \text{ g.cm}^2}{2}$$

$$I_x = 614.423 \text{ g.cm}^2$$

Ahora si hacemos uso de la ecuación (5) para determinar el momento de inercia del disco de manera teórica, esto es:

$$I = \frac{1}{2} MR^2 = \frac{1}{2} (47.55 \text{ g})(5.06 \text{ cm})^2$$

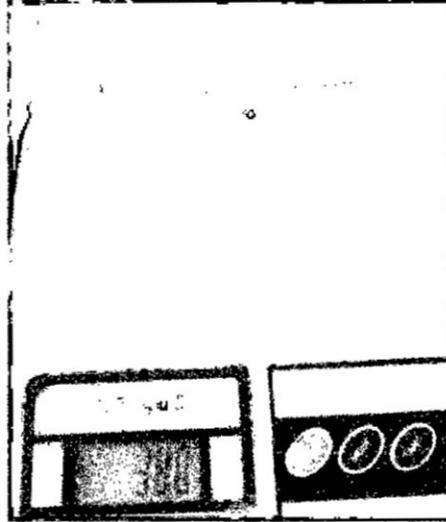
$$I = 608.725 \text{ g.cm}^2$$

Con la idea de volver a medir indirectamente el momento de inercia de un cuerpo esta vez de un cilindro sólido, empezamos primero con la medida de la masa de los cilindros para ello usamos nuevamente una balanza electrónica la medida fue de 38.0 g por lo que la masa de un cilindro es de 19.0g tal como se indica en la Figura N° 7.11.

 227

41

**FIGURA N° 7.11
MASA DE LOS CILINDROS**



Fuente: Foto en el Laboratorio de Física FIQ

También usamos el calibrador de Vernier para medir las dimensiones de este cilindro por ejemplo la longitud del cilindro fue de 10.12 cm , tal como se muestra en la Figura N° 7.12.

**FIGURA N° 7.12
LONGITUD DE LOS CILINDROS**



Fuente: Foto en el Laboratorio de Física FIQ

También medimos el diámetro de la sección circular del cilindro con el calibrador de Vernier, el valor de la medida fue de 0.94 cm , tal como se muestra en la Figura N° 7.13.

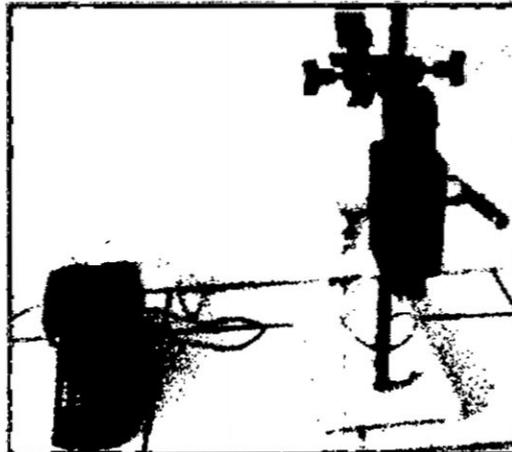
**FIGURA N° 7.13
DIÁMETRO DEL CILINDRO**



Fuente: Foto en el Laboratorio de Física FIQ

A continuación procedemos a entornillar los cilindros en el sensor de movimiento circular y luego realizamos el arreglo experimental tal como se indica en la Figura N° 7.14, esto es

**FIGURA N° 7.14
ARREGLO DE ACTIVIDAD 3**



Fuente: Foto en el Laboratorio de Física FIQ

Para medir indirectamente el momento de inercia de un cilindro, repetimos el procedimiento anterior lo que se hizo con el disco. Las medidas de la masa, aceleración y el momento de inercia del sistema se dan en la Tabla N° 7.5.

TABLA N° 7.5
MOMENTO DE INERCIA DEL CILINDRO

$m(g)$	5	11.6	18.1	24.1	30
$a(m/s^2)$	0.747	1.52	2.16	2.7	3.13
$I_s(g \cdot cm^2)$	349.031	363.971	368.757	365.034	368.235

Fuente: Resultados de las mediciones

Teniendo en cuenta la ecuación (7) que determina el momento de inercia de un cuerpo, en este caso de un cilindro, se procede primero a calcular el momento de inercia del sistema promedio esto es

$$I_s = 363.0 \text{ g} \cdot \text{cm}^2$$

Entonces de acuerdo a la ecuación (7), el momento de inercia del cilindro sólido será:

$$I_x = \frac{I_s - I_p}{2} = \frac{363.0 \text{ g} \cdot \text{cm}^2 - 30.3 \text{ g} \cdot \text{cm}^2}{2}$$

$$I_x = 166.3 \text{ g} \cdot \text{cm}^2$$

Ahora si hacemos uso de la ecuación (6) para determinar el momento de inercia del cilindro de manera teórica, esto es:

$$I = \frac{1}{12} ML^2 + \frac{1}{4} MR^2$$

$$I = \frac{1}{12} (19 \text{ g})(10.12 \text{ cm})^2 + \frac{1}{4} (19 \text{ g})(0.47 \text{ cm})^2$$

$$I = 163.205 \text{ g} \cdot \text{cm}^2$$

De acuerdo a los resultados obtenidos podemos concluir que los momentos de inercia del disco y cilindro determinados de manera indirecta son muy idénticos a los resultados que se obtienen teóricamente.




V REFERENCIALES

- [1] GIANCOLI D. C., “**Physics, principles with applications**”, Boston USA, Edition N° 7, Editorial Pearson Prentice Hall, 2014.
- [2] SEARS F., ZEMANSKY M. “**Física Universitaria**”, México, Edición N° 13, Vol. 1, Editorial Pearson Educación, 2012.
- [3] TIPLER P. A., MOSCA G., “**Física para la Ciencia y la Tecnología**”, Barcelona, España, Edición N° 6, Vol. 1, Editorial Reverte S. A. 2010.
- [4] PASCO SCIENTIFIC “**Guía de usuario Xplorer GLX**”, Manual de PASCO N° 012-08950B, USA 2006.
- [5] GUTIERREZ ARANZETA Carlos. **Introducción a la metodología experimental**. México, Editorial: LIMUSA, 2da edición, 2007.
- [6] CABRERA ARISTA César. “**Guía de laboratorio de Física I**”, FIQ-UNAC, Callao, Perú. 2003.
- [7] HIDALGO Miguel A. y MEDINA José. “**Laboratorio de Física**”. Madrid, España. Editorial: PEARSON EDUCACIÓN S.A. 1ra Edición, 2008.
- [8] PASCO SCIENTIFIC “**Physics Catalog and Experiment Guide**” N° 916.786.3800, USA 2004.



- [9] HEWITH P. G. "**Física conceptual**". 10ª Edición. Editorial: PEARSON EDUCACIÓN S.A., México 2007.
- [10] SERWAY R. A. "**Física: para ciencias e ingeniería**". Editorial: Internacional Thomson Editores, México 2005.
- [11] ALONSO Marcelo, FINN Edward. "**Física: mecánica y ondas**". Vol. I, Edición N° 2. Delaware, USA. Editorial Addison Wesley 1986.

41



VI APENDICE

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

Facultad de Ingeniería Química

Escuela Profesional de Ingeniería Química



SILABO

I. DATOS ADMINISTRATIVOS

1.1	Escuela Profesional	: Ingeniería Química.
1.2	Semestre Académico	: 2015B
1.3	Asignatura	: Física I
1.4	Código	: BFM09.
1.5	Créditos	: 04
1.6	Ciclo Académico	: II
1.7	Horas Semanales	: T 2h, P 3h, L 2h.
1.8	Duración	: 17 semanas.
1.9	Requisito	: Matemática Básica (BFM02).
1.10	Profesor	: Lic. César Cabrera Arista (01Q) Lic. Richard Bellido Quispe (02Q)

II. SUMILLA

Naturaleza.- Asignatura Teórico, Práctico y Experimental, perteneciente al área de ciencias básicas.

Contenido.- Sistema de unidades. Cinemática: velocidad, aceleración, movimiento del proyectil. Dinámica: Fuerzas, leyes de Newton. Trabajo y Energía, ley de la conservación de la energía. Colisiones. Estática: Leyes del equilibrio. Elasticidad. Dinámica de rotación: cantidad de movimiento angular, leyes de Kepler.

III. OBJETIVO

3.1. General.

Al terminar la asignatura lograr que el estudiante adquiera el conocimiento conceptual de los principios fundamentales de trabajo y la energía, de las leyes de equilibrio, de las leyes de rotación y su aplicación práctica en ingeniería.

3.2. Específicos.

3.2.1. Que adquiera la habilidad de plantear y de resolver problemas de ingeniería usando las leyes físicas: del movimiento, de la energía, el equilibrio y de la rotación.

3.2.2. Que maneje los equipos e instrumentos básicos para comprobar las leyes físicas del movimiento, del equilibrio y de la rotación.

3.3 **Eje Transversal.-** Puntualidad, respeto mutuo, compromiso, identificación con la facultad y la región callao.

IV.- PROGRAMA DE CONTENIDO.

Semana 1: SISTEMAS DE UNIDADES

Magnitudes Físicas, Sistema internacional de unidades, Sistema Británico de unidades. Cifras significativas. Notación científica: Prefijos. Análisis dimensional. Ejercicios. Bibliografía [1], [2], [3], [4].

Laboratorio N° 1. Introducción y forma de elaborar un informe.

Semana 2: CINEMATICA

Movimiento rectilíneo: desplazamiento, tiempo y velocidad media, velocidad instantánea. Aceleración media y aceleración instantánea.

Movimiento vertical: caída libre. Ejercicios. Bibliografía [1], [2], [3], [4].

Laboratorio N° 02. Errores en la medición.

Semana 3: CINEMATICA

Movimiento en dos y en tres dimensiones. Vector de posición, vector velocidad y vector aceleración. Movimiento del proyectil: alcance, altura máxima, ecuación de la trayectoria. Ejercicios. Bibliografía [1], [2], [3], [4].

Laboratorio N° 03. Análisis Grafico de los Datos.



Semana 4: CINEMATICA

Movimiento circular: velocidad angular y velocidad tangencial, aceleración radial o centrípeta. Aceleración tangencial. Movimiento relativo: velocidad relativa. Ejercicios. Bibliografía [1], [2], [3], [4].

Laboratorio N° 4. Movimiento vertical: caída libre.

EVALUACIÓN N° 1

Semana 5: DINAMICA

Concepto y clases de fuerza. Masa y Peso. Leyes de Newton: Ley de la Inercia, Segunda ley de Newton (Causa y Efecto): ecuación de movimiento. Tercera ley de Newton (Acción y Reacción). Ejercicios. Bibliografía [1], [2], [3], [4].

Laboratorio N° 5. Movimiento del proyectil.

Semana 6: DINÁMICA

Fuerzas de fricción: estática y cinética. Fuerza viscosa: ley de Stokes. Movimiento con fuerzas viscosas: velocidad límite, aceleración y tiempo de relajamiento. Ejercicios. Bibliografía [1], [2], [3], [4].

Laboratorio N° 06. Segunda Ley de Newton

Semana 7: DINÁMICA

Dinámica del movimiento circular uniforme: fuerza centrípeta, segunda ley de Newton aplicada al MCU. Movimiento circular variado: Fuerza tangencial y radial. Ejercicios. Bibliografía [1], [2], [3], [4].

Laboratorio N° 07. Fuerzas de Fricción.

Semana 8: EXAMEN PARCIAL

Semana 9: TRABAJO Y ENERGÍA

Concepto. Trabajo: de una fuerza constante, de una fuerza variable. Trabajo neto. Potencia. Trabajo y Energía cinética. Fuerzas conservativas: Energía potencial gravitatoria y elástica. Ejercicios. Bibliografía [1], [2], [3], [4].

Laboratorio N° 8. Movimiento Circular y Fuerza centrípeta

Semana 10: CONSERVACION DE LA ENERGÍA

Trabajo y Energía potencial. Energía mecánica: Ley de conservación de la energía. Trabajo de Fuerzas no conservativas. Trabajo no conservativo y la energía mecánica. Ejercicios. Bibliografía [1], [2], [3], [4].

Laboratorio N° 9. Trabajo y Energía cinética.

Semana 11: COLISIONES

Centro de masa. Momento Lineal: Conservación del momento lineal. Leyes de conservación en la Colisión: Coeficiente de restitución; Choque elástico, Choque inelástico: de 1ra clase y de 2da Clase. Ejercicios. Bibliografía [1], [2], [3], [4].

Laboratorio N° 10. Momento de inercia del cuerpo rígido.

Semana 12: ESTÁTICA

Fuerza y Torque de una fuerza. Torque resultante: Centro de fuerzas paralelas. Leyes del Equilibrio: Equilibrio de traslación y de rotación. Elasticidad: Esfuerzo, Deformación, Módulos de elasticidad. Ejercicios. Bibliografía [1], [2], [3], [4].

Laboratorio N° 11. Equilibrio.

EVALUACIÓN N° 3

Semana 13: ENERGÍA DE ROTACIÓN

Velocidad y aceleración angular. Energía Cinética de rotación: Momento de inercia del cuerpo rígido, Teorema de Steiner. Energía mecánica del cuerpo rígido: Aplicaciones. Ejercicios. Bibliografía [1], [2], [3], [4].

Laboratorio N° 11. Clase de Recuperación: Colisiones

Semana 14: DINÁMICA DE LA ROTACION

El Momento Angular del cuerpo rígido: Conservación del momento angular. 1ra Ley de la Rotación. Segunda ley de la rotación: torque y aceleración angular. Trabajo y potencia de Rotación. Ejercicios. Bibliografía [1], [2], [3], [4].

Laboratorio N° 12. Examen de laboratorio



Semana 15: GRAVITACION

Ley de Newton de la Gravitación: peso y aceleración gravitacional, aplicaciones. Primera y segunda ley de Kepler del movimiento planetario: Ley de las orbitas, Ley de las aéreas. Ejercicios. Bibliografía [1], [2], [3].

Semana 16: EXAMEN FINAL

Semana 17: EXÁMEN DE SUSTITUCIÓN

V.- METODOLOGÍA

Exposiciones de clase magistral y de videos dentro de la concepción moderna del proceso de la enseñanza-aprendizaje por objetivos.

Métodos: clase magistral, Experiencia de laboratorio, dinámica de grupos.

VI.- EQUIPOS Y MATERIALES.

Pizarra, tizas de colores, separatas, transparencias, resúmenes, videos, instrumentos y equipos de laboratorio.

VII.- EVALUACIÓN.

- 7.1 Examen Parcial EP, Examen Final EF. Un examen de sustitución (ES) que reemplaza al examen de menor calificación o al no rendido.
- 7.2 Un promedio de dos exámenes de prácticas calificadas (P1, P2) y de un trabajo (T) de investigación, PPT.
- 7.3 Una nota de experiencias de laboratorio de Física (NL)
- 7.4 La nota final (NF) se obtiene del promedio siguiente:

$$NF = \frac{EP + EF + PPT + NL}{4}$$

VIII.- REFERENCIAS

BÁSICA

- [1] F. SEARS, M. ZEMANSKY, "Física Universitaria", Edición N° 13, Vol. 1, Editorial Pearson Educación, México. 2012

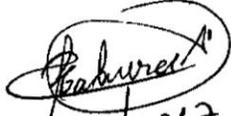
- [2] P. A. TIPLER, G. MOSCA, "Física para la Ciencia y la Tecnología", Edición N° 6, Vol. 2, Editorial Reverte S. A. Barcelona, España. 2010.

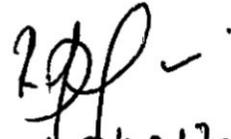
COMPLEMENTARIA

- [3] F. SEARS, M. ZEMANSKY, "Física Universitaria", Edición N° 12, Vol. 2, Editorial Pearson Educación, México. 2009
- [4] J.P. MC KEIVEY H. GROTCHE, "Física Para Ciencias e Ingeniería", Volumen I, Editorial Harla, México 1981
- [5] M. ALONSO, E. FINN," Física", Vol. I, Editorial Addison Wesley, Delaware U.S.A. 1986.
- [6] P. G. HEWITTH, "Física Conceptual", Editoria Addison Wesley, USA 1999.
- [7] R. FEYNMAN, "Física", Vol. I. Editorial Addison Wesley, USA 1987.
- [8] R. SERWAY, "Física para ciencia e ingeniería", Vol. I. Edición N° 6. Editorial Thompson. México 2005.

VII ANEXOS

\hat{u}	Vector unitario
\vec{r}	Vector de posición
\vec{v}	Vector velocidad
\vec{a}	Vector aceleración
$\vec{\omega}$	Vector velocidad angular
$\vec{\alpha}$	Vector aceleración angular
\vec{p}	Vector momentum lineal
\vec{F}	Vector Fuerza
\vec{L}	Vector momentum angular
$\vec{\tau}$	Vector torque
I	Momento de inercia
W	Trabajo
K	Energía cinética
U	Energía Potencial
E	Energía mecánica
μ	Coefficiente de fricción
η	Coefficiente de viscosidad


04/08/2017.


04/08/2017.



