

DCB.134.2015

10 de febrero de 2015

**Dr. Luis E. Noreña Franco**  
**Presidente del Consejo Divisional**  
**de Ciencias Básicas e Ingeniería**

P R E S E N T E

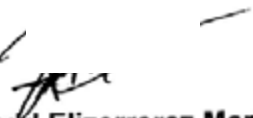
Por medio del presente le envío la propuesta del siguiente proyecto de investigación:

1. Fundamentos de Mecánica Clásica: Sistemas No Lineales y sus Aplicaciones.

El proyecto cuenta con la viabilidad técnica y presupuestaria. Asimismo, se revisó que el grupo proponente diera cumplimiento del apartado 1.2, numerales 1 a 3, de los *Criterios y Lineamientos para la presentación, aprobación y evaluación de Proyectos de Investigación* vigentes en la División de Ciencias Básicas e Ingeniería de la Unidad Azcapotzalco.

Sin más por el momento, me despido de usted enviándole un cordial saludo.

**Atentamente**  
**"CASA ABIERTA AL TIEMPO"**

  
**Dr. David Elizarraraz Martínez**  
**Jefe del Departamento de Ciencias Básicas**

c.c.p. Dra. Lourdes Delgado Núñez.- Secretaria Académica de la DCBI-A.



06 de febrero de 2015

**Dr. David Elizarraraz Martínez**  
**Jefe del Departamento de Ciencias Básicas.**

Por este conducto presento para su aprobación la propuesta del proyecto de investigación del Área de Física Atómica Molecular Aplicada titulado:

**Fundamentos de Mecánica Clásica: Sistemas No Lineales y sus Aplicaciones**

Las razones para apoyar dicha propuesta se basan en la claridad de objetivos y el sólido respaldo académico para lograrlos, así como la trayectoria y experiencia de los participantes en la temática del proyecto.

Cabe destacar que la propuesta cumple con los requerimientos referidos en el apartado 1.2, numerales dos y tres, de los *Criterios y lineamientos para la presentación, aprobación y evaluación de proyectos de investigación* vigentes en la División de Ciencias Básicas e Ingeniería de la Unidad Azcapotzalco.

Atentamente

"CASA ABIERTA AL TIEMPO"



**Dr. Héctor Martín Luna García**  
**Jefe del Área de Física Atómica Molecular Aplicada**



Departamento de Ciencias Básicas

Área de Física Atómica Molecular Aplicada  
Edificio HP Planta Baja, HP-010

Nombre del proyecto:

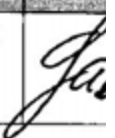
**Análisis de los Fundamentos de Mecánica Clásica:  
Estudios Teóricos, Experimentales y Numéricos de  
Sistemas No Lineales y sus Aplicaciones.**

Duración prevista: 24 meses (prorrogable a 36 meses)





Líneas de investigación divisional:  
**Investigaciones teóricas y experimentales**

Programa de investigación del área:  
**Física Aplicada**

Datos del responsable:

Nombre	Adscripción	No. Eco.	Cat/Niv	Último Grado Acad.	Correo electrónico	Firma
Luisa Gabriela Del Valle Díaz Muñoz	Ciencias Básicas	11651	Titular C	Licenciatura	ddg@azc.uam.mx	

Datos de los participantes:

Nombre	Adscripción	No. Eco.	Cat/Niv	Último Grado Acad.	Correo electrónico	F
María Guadalupe Hernández Morales	Ciencias Básicas	13030	Asociado D	Maestría	gpe@azc.uam.mx	
Rodolfo Espíndola Heredia	Ciencias Básicas	26426	Asociado D	Doctorado	roeshe@correo.azc.uam.mx	
José Antonio Eduardo Roa Neri	Ciencias Básicas	19560	Titular C	Doctorado	rnjae@azc.uam.mx	-
Victor Hugo Uc Rosas	Ciencias Básicas	27610	Titular C	Doctorado	vhur@correo.azc.uam.mx	
José Luis Jiménez Ramírez	UAMI Física	13326	Titular C	Maestría	jlj@xanum.uam.mx	
Ignacio Campos Flores	UNAM Fac. de Ciencias		Titular A	Maestría	iecampos@prodigy.net.mx	

## **2. Propuesta de Investigación**

**Departamento:** Ciencias Básicas

**Área de investigación:** Física Atómica Molecular Aplicada

**Responsable:** Luisa Gabriela Del Valle Díaz Muñoz

**Nombre del proyecto:** Análisis de los Fundamentos de Mecánica Clásica: Estudios Teóricos, Experimentales y Numéricos de Sistemas No Lineales y sus Aplicaciones.

### **Objetivos Generales**

Realizar estudios teóricos, experimentales y numéricos de interés en la física e ingeniería como lo es el estudio de los fundamentos de mecánica clásica y dinámica rotacional cuyas ecuaciones de movimiento sean no lineales. Obtener las soluciones de las ecuaciones de movimiento mediante la implementación de técnicas numéricas y analizar la no-linealidad de sus soluciones a través del estudio de la estabilidad, así como la caracterización del caos. Obtener por métodos analíticos tal como la teoría Lagrangiana, la teoría de Hamilton-Jacobi y los paréntesis de Poisson, las soluciones de distintos sistemas y analizar y caracterizar los tipos y formas de las soluciones de las ecuaciones de movimiento.

### **Objetivos Específicos**

1. Analizar sistemas no lineales en Mecánica clásica, mediante métodos analíticos, numéricos y experimentales.
2. Analizar y caracterizar la no linealidad de la solución de sistemas canónicos no autónomos, sistemas de masa variable, sistemas dinámicos clásicos por medio de: equilibrios múltiples, ciclos límite, bifurcaciones, corrimiento de frecuencias y caos como aplicación de diversos sistemas de la mecánica clásica, toda vez que la evolución o cambios de estado de variables en el tiempo en sistemas más generales, en conformidad a reglas deterministas dan lugar a problemas de índole físico, químico, biológicos, sociales, económicos, que es posible estudiarlos por medio de herramientas y análisis a partir de una formulación canónica [13].
3. Modelar sistemas físicos en mecánica clásica que permitan ayudar en el entendimiento y caracterización de parámetros útiles para la ingeniería.
4. Trabajar sistemas Canónicos usando la función principal de Hamilton como generadores de un mapeo.

## Antecedentes

La Mecánica clásica actualmente está lejos de ser un tema cerrado. Aun hoy en día, en distintas universidades a nivel global, existen grupos de investigación, interesados en el desarrollo y estudio de la mecánica clásica y sus derivados que ha tenido a lo largo de la historia, atendiendo nuevos desarrollos en Mecánica clásica, abordando nuevos problemas y desde luego la aplicación de las técnicas de la Mecánica clásica a cuestiones de largo alcance de la Física y la Ingeniería.

La Mecánica Clásica consiste en el estudio del movimiento, o de la evolución de la posición de partículas o sistemas de ellas en el tiempo. Hoy por hoy la Mecánica Clásica es enmarcada en un campo más general al cual se le ha llamado Sistemas Dinámicos, el cual tiene como objeto de estudio: la evolución o cambios de estado de variables en el tiempo en sistemas más generales, en conformidad a reglas deterministas: estos sistemas pueden ser físicos, químicos, biológicos, sociales, económicos, etc.

La Mecánica Clásica suministra descripciones validas de fenómenos en una amplia escala espacial que va desde el orden de 100 nm [1] hasta distancias cosmológicas.

Durante el desarrollo de la física en el siglo XX, la Mecánica clásica se encontró con distintos problemas para explicar la existencia de nuevos fenómenos que iban emergiendo. Las soluciones a estos conflictos fueron parte del descubrimiento de nuevos campos de estudio de la Mecánica, y como consecuencia de ello es que provocaron tres grandes revoluciones intelectuales del paradigma científico:

- Explicar fenómenos a altas velocidades o a altas energías, condujo a la Teoría de Relatividad (Especial y General).
- Explicar fenómenos a escala atómica o microscópica, dio origen a la Mecánica Cuántica.
- Limitación del concepto de predicción en sistemas dinámicos deterministas no lineales, que condujo al desarrollo del Caos y al estudio actual de Sistemas Complejos.

La mecánica clásica ha tomado un nuevo ritmo en el nuevo cauce de conocimiento, entonces sin abandonar aquellos problemas que son clásicos y que merecen ser tratados por un grupo de investigación enfocado en los fundamentos de la mecánica clásica y sus aplicaciones, es que se propone continuar con estos estudios.

Todo sistema mecánico puede ser caracterizado desde la formulación newtoniana, donde son válidas las leyes de movimiento de Newton, en general debe cumplirse la segunda ley del movimiento  $\frac{d\vec{P}}{dt} = \vec{F}_T$ , donde  $\vec{P}$  es el momento de la partícula o sistema de partículas y  $\vec{F}_T$  es la fuerza total externa sobre el sistema, fuerza resultante que normalmente va a depender de la posición y a veces de la velocidad. Lo que ocurre con esta formulación es que sólo tiene la forma descrita en un sistema de coordenadas cartesiano.

## Sistemas Newtonianos

Nuestro interés se centra en la descripción tanto de la cinemática como de la dinámica de partículas, rotación de cuerpo rígido, y todo sistema mecánico que puedan ser tratados desde la formulación newtoniana. Asimismo queremos describir condiciones óptimas para modelos de carros pesados, ya que los resultados de esta formulación pueden ser utilizados por ingenieros en distintos cálculos como por ejemplo, en la estimación de contaminantes en el medio ambiente, los resultados de nuestros estudios pueden ser utilizados en la elaboración de normas para reducir los índices de contaminación [2]. Proponemos realizar estudios teóricos [3-9], experimentales [2] y numéricos [10].

Si el problema físico a tratar tiene, por ejemplo, simetría esférica, o cilíndrica, lo cual es común, hay que cambiar la forma de la ecuación de la segunda Ley de Newton. Esto se hace introduciendo las llamadas fuerzas ficticias, tales como la fuerza centrífuga por ejemplo.

Sería entonces deseable tener ecuaciones equivalentes a las de Newton y que no cambiaran si usamos distintos sistemas de coordenadas. En esta dirección es que se desarrolla el cálculo de variaciones atribuido a Euler y Lagrange del cual hacemos una presentación breve y somera de sus principales ideas:

La idea es tener una función, o correctamente un funcional, que llamaremos, Lagrangiano que quedará denotado por:

$$L(q, \frac{dq}{dt}, t), \quad (1)$$

Donde  $q$  son las coordenadas generalizadas que indican la posición de la partícula.  $dq/dt$  son las coordenadas de velocidades. Es un funcional y no una función ya que tanto  $q$  como  $dq/dt$  son funciones dependientes del tiempo, es decir  $q(t)$  denota la posición en la coordenada generalizada  $q$  de la partícula al tiempo  $t$ . La palabra generalizada quiere decir que no suponemos a priori que estemos en un sistema cartesiano y nos vale cualquier tipo de coordenada (radio, ángulo, o lo que sea).

Lo que se quisiera obtener son las trayectorias, es decir, saber cómo es la  $q(t)$  que realmente sigue la partícula. Entonces lo que se propuso fue aplicar el principio de mínima acción. A partir del Lagrangiano tenemos una operación que nos proporcionará una magnitud física conocida como la acción.

$$S = \int_{t_1}^{t_2} L(q, \frac{dq}{dt}, t) dt, \quad (2)$$

El principio de mínima acción indica que una partícula clásica va a seguir de entre todas las posibles trayectorias para  $q(t)$  entre los tiempos  $t_1$  y  $t_2$  justo aquella para la que esa integral sea un extremo (es decir ya sea un mínimo o un máximo). Entonces debemos encontrar esa trayectoria extrema. Consideramos entonces cuanto varía la integral cuando variamos una trayectoria:

$$q(t) \rightarrow q(t) + \delta q(t), \quad (3)$$

y nos interesan las variaciones que cumplen que  $\delta q(t_1) = \delta q(t_2) = 0$ , es decir, que sólo variamos la trayectoria en los puntos intermedios y no en los puntos inicial y final pues es en los puntos intermedios donde queremos saber cuál es la trayectoria extrema. Hay que comparar lo que vale  $L$  en  $q(t)$  y en  $q(t) + \delta q(t)$ . Para ello se realiza un desarrollo en serie de potencias, y se obtiene la variación de la acción  $\delta S$  la cual debe ser cero. En cualquier libro de mecánica analítica es posible ver los detalles de la obtención del extremo y la deducción de las ecuaciones de Euler-Lagrange:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial L}{\partial q} = 0, \quad (4)$$

Pese a que en (4) hay derivadas parciales, en realidad lo que tenemos es una ecuación diferencial. Al resolver (4) básicamente lo que se obtiene es la ecuación de movimiento del sistema a tratar, la formulación Lagrangiana en esencia dice: que propuesta una Lagrangiana, la ecuación (4) conduce a la ecuación de movimiento del sistema. En esta formulación no nos restringimos al espacio físico. Se definen:  $\partial L / \partial \dot{q}_i$  es el momento generalizado y  $\partial L / \partial q_i$  es la fuerza generalizada.

A partir de aquí es que es posible direccionar las distintas posibilidades del trabajo que realizaremos el cual se comentara en breve.

### **Lagrangianos S-equivalentes**

La formulación Lagrangiana de la mecánica clásica, resulta elegante y cómoda para obtener la ecuación de movimiento. Normalmente utilizamos como Lagrangiano  $L = T - V$ , donde  $T$  es la energía cinética y  $V$  es la energía potencial del sistema en cuestión, pero se pierde de vista que en muchos problemas, incluso muy simples, la ecuación de movimiento no está asociada con un Lagrangiano. Es aquí donde surge el problema inverso del cálculo variacional, comienza primeramente con las ecuaciones de movimiento y luego a partir de ellas busca construir un Lagrangiano que sea conforme con el principio variacional. El problema inverso fue estudiado por Helmholtz hacia finales del siglo XIX, quien demostró bajo qué condiciones puede obtenerse una ecuación de movimiento a partir de un Lagrangiano. En su estudio él encontró que no siempre es posible. Sin embargo, si es posible encontrar funciones Lagrangianas que conduzcan a ecuaciones diferenciales que compartan soluciones con la ecuación de movimiento de interés, a dichos Lagrangianos se les llama Lagrangianos S-equivalentes [10, 11], pues conducen a ecuaciones diferenciales que comparten soluciones con la ecuación de movimiento de interés.

Nuestro grupo de investigación ha trabajado teóricamente en el desarrollo de Lagrangianos S-equivalentes, resolviendo distintos problemas tales como sistemas de masa variable [3, 4, 5, 6, 10]. Sistemas no autónomos [6], con fuerzas disipativas [6, 7, 8, 9, 10], nuestro interés es continuar el estudio de estos sistemas e iniciar el estudio de estabilidad y caos con estas herramientas.



### Hamiltonianos S-equivalentes.

A partir del Lagrangiano es posible construir por medio de la transformada de Legendre, un Hamiltoniano:

$$H(q_i, p_i, t) = \dot{q}_i p_i - L(q_i, \dot{q}_i, t) \quad (5)$$

De la cual se obtienen las ecuaciones canónicas

$$\frac{\partial H}{\partial q_i} = -\dot{p}_i, \quad \frac{\partial H}{\partial p_i} = \dot{q}_i \quad (6)$$

Un Hamiltoniano que se deduce de un Lagrangiano S-equivalente, por medio de la transformada de Legendre, es llamado Hamiltoniano S-equivalente.

También nuestro grupo ha trabajado teóricamente con sistemas Hamiltonianos S-equivalentes, resolviendo distintos problemas tales como sistemas de masa variable [3, 4, 6]. Sistemas no autónomos [6,7], sistemas no lineales [4,7], de igual manera proponemos continuar el estudio de estos sistemas así como el estudio de estabilidad y caos con esta herramienta.

### Ecuación de Hamilton-Jacobi.

En un sistema mecánico de N grados de libertad, representado por el Hamiltoniano  $H(q_i, p_i, t)$  la ecuación de Hamilton-Jacobi es:

$$\frac{\partial S(q_i, \alpha_i, t)}{\partial t} + H\left(q_i, \frac{\partial S(q_i, \alpha_i, t)}{\partial q_i}, t\right) = 0 \quad (7)$$

donde,  $S(q_i, \alpha_i, t)$  se le denomina función principal de Hamilton, o acción, y las  $\alpha_i$  son N constantes de movimiento. A partir de esta ecuación se pueden encontrar las trayectorias mediante las ecuaciones:

$$p_i = \left(\frac{\partial S}{\partial q_i}\right) \text{ y } \beta_i = \left(\frac{\partial S}{\partial \alpha_i}\right) \quad (8)$$

Para sistemas en los cuales el Hamiltoniano es una constante de movimiento (sistemas que no dependen del tiempo), es común que esta constante sea la energía, si  $\alpha_1=E$ , entonces es posible proponer

$$S(q_i, \alpha_i, t) = W(q_i, \alpha_i) - \alpha_1 t \quad (9)$$

donde  $W(q_i, \alpha_i)$  se conoce como función característica de Hamilton, entonces la ecuación de HJ toma la forma:

$$H\left(q_i, \frac{\partial W}{\partial q_i}\right) = \alpha_1 = E \quad (10)$$

Además el grupo de investigación ha dirigido estudios teóricos para un conjunto de sistemas, que se resuelve la ecuación de movimiento por medio de la teoría de Hamilton Jacobi, como sistemas de masa variable [3, 4]. Sistemas no autónomos [7, 8], sistemas de masa variable con fuerzas disipativas [11].

### Paréntesis de Poisson

Los paréntesis de Poisson de dos funciones de las coordenadas y momentos generalizados, se definen por:

$$[F, G] = \frac{\partial F}{\partial q_i} \frac{\partial G}{\partial p_i} - \frac{\partial G}{\partial q_i} \frac{\partial F}{\partial p_i} \quad (11)$$

Con esta definición, entonces podemos escribir las ecuaciones de Hamilton:

$$\dot{q} = [q, H], \quad \dot{p} = [p, H] \quad (12)$$

se puede usar esta formulación con Hamiltonianos S-equivalentes que no dependen explícitamente del tiempo. Con el Hamiltoniano además, puede verificarse que para cualquier función de los momentos y de las coordenadas,  $F(q, p, t)$ , se tiene:

$$\frac{dF}{dt} = [F, H] + \frac{\partial F}{\partial t} \quad (13)$$

Igualmente el grupo de investigación ha presentado estudios teóricos para un conjunto de sistemas, que se resuelve por medio de la teoría de Poisson, como sistemas de masa variable [4, 5, 6]. Sistemas no autónomos [6], sistemas de masa variable con fuerzas disipativas [7, 8, 9].

### Simulaciones Simpléticas

El conjunto de ecuaciones de movimiento de la formulación Hamiltoniana (6) para un sistema físico dado, constituye un sistema de ecuaciones diferenciales de primer orden el cual está sujeto a ciertas condiciones iniciales, se tiene en general:

$$\dot{\eta} = f(\eta, t) \quad (14)$$

$$\eta(t_0) = \eta \quad (15)$$

Las ecuaciones (14 y 15) definen un problema de valor inicial para un sistema de ecuaciones diferenciales. En la práctica, la solución exacta de este tipo de problemas con valores iniciales sólo puede ser determinada para un número reducido de casos. Es decir, sólo para ciertas elecciones muy particulares de la función  $f(\eta; t)$  la solución del problema puede ser expresada en forma cerrada haciendo uso de funciones trascendentes elementales. Entonces es por ello, que para la mayoría de los problemas se debe considerar soluciones aproximadas mediante métodos numéricos. Como es sabido, la solución numérica a un problema de valor inicial no se obtiene como una aproximación continua de la solución exacta, sino como un conjunto de aproximaciones de los valores exactos sobre ciertos valores discretos de la variable independiente, en nuestro caso el tiempo  $t$ . En el

planteamiento más simple, la solución numérica es construida a partir de la condición inicial sobre un conjunto de intervalos temporales igualmente espaciados de tamaño de paso  $\Delta h$ .

En la literatura existen gran cantidad de métodos numéricos para resolver un problema de valor inicial. Donde podemos mencionar: método de Taylor, los métodos de Runge-Kutta [10] y sus derivados, métodos de extrapolación como el de Bulirsch-Stoer y métodos multipasos como los de Adams-Bashforth o Adams-Moulton. Tales métodos, si bien son precisos y apropiados en muchas circunstancias, no respetan la naturaleza física del sistema que originó el conjunto de ecuaciones diferenciales. Por ejemplo, estos métodos introducen una componente falsificada al computar la energía del sistema, de manera tal que la misma no se mantiene constante, como es de esperarse en un sistema conservativo.

Para estudiar el comportamiento dinámico de un sistema físico sobre un rango considerable de tiempo, se vuelve entonces indispensable disponer de integradores numéricos que respeten la física del problema. Tales métodos son los integradores simplécticos.

Un método de integración de las ecuaciones de movimiento de Hamilton (6) de un sistema dado se dice que es simpléctico si las aproximaciones obtenidas de las variables canónicas en un instante de tiempo y las correspondientes a un instante posterior están relacionadas por una transformación canónica. De este modo, la transformación canónica que es solución exacta del problema es aproximada por otra transformación canónica próxima en un sentido a precisar. El hecho de que las soluciones numéricas estén relacionadas por una transformación canónica permiten asegurar que:

- Un integrador simpléctico preserva la estructura del espacio de fases.
- La acumulación de los errores de truncamiento no introduce una componente secular en el cómputo de la energía del sistema, sino que, por el contrario, los errores se mantienen acotados.

Sin embargo, que la deseable propiedad de conservación de la energía es satisfecha en tanto el paso de integración se mantiene constante. Si el paso de integración es variado durante la integración, no es posible asegurar que el error en la energía se mantenga acotado.

## Caos

Se pueden analizar algunos aspectos de sistemas con dos grados de libertad, por ejemplo (dos posiciones y dos momentos). La herramienta principal son las secciones de Poincaré. La filosofía de las secciones de Poincaré es estudiar la intersección de las trayectorias (en el caso hamiltoniano serán órbitas en el espacio de fases) de un sistema con una superficie fija que las intersecta. De ese modo podemos analizar algunos aspectos de una dinámica continua mediante un sistema discreto, el mapa de Poincaré. En concreto la definición del mapa de Poincaré es la siguiente:

$$z = P(z) = \varphi_{\tau(z)}(z) \quad (16)$$

dónde  $\tau(z)$  es el primer tiempo para el que la órbita de  $z$  retorna a  $S$ . Cuando  $S$  es una superficie bidimensional la dinámica de  $P$  es fácil de visualizar numéricamente. Sin embargo para el caso de un Hamiltoniano la construcción de una sección se complica por el hecho de que la superficie tridimensional de energía, es típicamente no euclídea (un plano/hiperplano), y es, por contra, una variedad. Por ejemplo, para el oscilador armónico  $n$ dimensional es el conjunto:

$$\sum_{j=1}^n \omega_j (p_j^2 + q_j^2) = 2E \quad (17)$$

que cuando  $\omega_j > 0$  es topológicamente, la esfera  $S^{2n-1}$

Lo que nos proponemos hacer en este proyecto es seguir con la misma línea de trabajo que se ha presentado, continuar con estudios teóricos de sistemas dinámicos de mecánica clásica y moderna, así como estudios de sistemas no lineales que sean caóticos, toda vez que la evolución o cambios de estado de variables en el tiempo en sistemas más generales, en conformidad a reglas deterministas dan lugar a problemas de índole físico, químico, biológicos, sociales, económicos, que es posible estudiarlos por medio de herramientas y análisis a partir de una formulación canónica [13].

### **Metodología**

1. Se harán experimentos de sistemas rotacionales y dinámicos para modelar los transportes de carga, realizar análisis de equilibrios en condiciones controladas de bloques unidos por muelles, barras sobre una rueda efectiva moviéndose en planos inclinados, curvas con peralte y rectas.
2. Se resolverán las ecuaciones de movimiento de sistemas canónicos usando la función principal de Hamilton como generadores de mapeo.
3. Realizaremos simulaciones de sistemas Hamiltoniano por medio de métodos numéricos para resolver ecuaciones diferenciales en el espacio fase, es decir utilizaremos simulación simpléctica.
4. Analizaremos la estabilidad de sistemas no lineales, por medio de equilibrios múltiples, ciclos límite, bifurcaciones, corrimiento de frecuencias y caos.
5. Se resolverán las ecuaciones de Navier-Stokes, por métodos numéricos, y se analizará la teoría Hamiltoniana para un fluido.

### **Recursos disponibles y necesarios**

#### **Simulación**

Para llevar a cabo el estudio propuesto, se requiere de infraestructura de cómputo para llevar a cabo simulaciones de sistemas no lineales y el análisis tanto de la estabilidad como del caos. En el área se cuenta con una computadora con las características que a continuación se detallan y la cual es adecuada para la realización de los cálculos propuestos.

Computadora con procesador Intel Core I 7 a 3.06 GHZ, 8GB de memoria en RAM y disco duro con 1 TB. Este equipo se encuentra ubicado en el cubículo HP-009 de la UAM-Azc.

## **Experimental**

Contamos con el laboratorio de investigación en dinámica rotacional, en el edificio G-103.

Donde contamos entre otras cosas con:

Colector de datos vernier CBR2/PWD/1L1/A marca Texas Instrument

Force Plate Vernier FP-BTA marca Pasco Scientific

Rotational Inertia Acc ME-8960 marca Pasco Scientific

Kit Optica K01-K07 marca Pasco Scientific.

Accesory Photogate Me-9204B marca Pasco Scientific

Rotatory Motion Sensor PS-2120 marca Pasco Scientific

3 Axes Accel-Altimer PS-2136 marca Pasco Scientific

Angle Sensor PS-2139 marca Pasco Scientific

Smart Timer ME-8930 marca Pasco Scientific

Physical Pendulum, Roller Coaster, ME-9858 marca Pasco Scientific

Parallel Spring Bracket ME-6844 marca Pasco Scientific.

## **Programas de cómputo**

1. Se desarrollaran los programas en C# que serán de utilidad para el análisis de las soluciones de los sistemas propuestos.
2. El programa Mathematica, la Universidad cuenta con una licencia y podemos utilizarlo para hacer cálculo.
3. El programa MatLab, la Universidad cuenta con una licencia y podemos utilizarlo para hacer cálculo.
4. Existe un software libre en Lynux llamada GNU OCTAVE el cual es un programa libre para realizar cálculos numéricos. Como lo indica su nombre es parte de proyecto GNU. Es considerado el equivalente libre de MATLAB. Entre varias características que comparten se puede destacar que ambos ofrecen un intérprete permitiendo ejecutar órdenes en modo interactivo.

5. El programa de acceso libre Tracker así como Div YX, son software de análisis cinemático de acceso libre y que nos permitirán desarrollar el análisis de videos de los experimentos realizados.

**Metas al primer año:**

- Experimentos, estudio teórico y numérico sobre discos ascendentes cuando es cambiado el CM.
- Experimentos, estudios teóricos y numéricos sobre carros de carga en una curva con peralte controlado.
- Estudio teórico de la hipótesis ergódica para una partícula en un campo gravitacional.

**Metas al segundo año:**

- Experimentos, estudio teórico y numérico sobre el alcance máximo de una partícula en una oscilación con restricciones.
- Experimentos, estudios teóricos y numéricos sobre carros de carga de dos remolques.
- Estudio teórico de Navier-Stokes, mediante la formulación Canónica y estudio de la estabilidad y caos por métodos numéricos.

**Producción Esperada**

**Primer Año**

- Presentar los resultados obtenidos en un Congreso Nacional.
- Presentar los resultados obtenidos en un Congreso Internacional.
- Publicar un artículo en revista indizada con los resultados obtenidos
- Dirigir dos servicio social (en Ingeniería Química, Física, Electrónica, Mecánica, Computación, Metalúrgica, Ambiental )
- Dirigir dos proyectos terminales (en Ingeniería Química, Física, Electrónica, Mecánica, Computación, Metalúrgica, Ambiental)
- Iniciar la dirección de una tesis de maestría
- Coordinación de eventos internacionales

## Segundo Año

- Presentar los resultados obtenidos en un Congreso Nacional.
- Presentar los resultados obtenidos en un Congreso Internacional.
- Publicar un artículo en revista indizada con los resultados obtenidos
- Dirigir dos servicios sociales (en Ingeniería Física, Química, Electrónica, Mecánica, Computación, Metalúrgica, Ambiental )
- Dirigir dos proyectos terminales (en Ingeniería Química, Física, Electrónica, Mecánica, Computación, Metalúrgica, Ambiental)
- Conclusión de una tesis de maestría.

## Cronograma de actividades del primer año

Actividad	Meses											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Experimentos, estudio teórico y numérico sobre discos ascendentes												
Experimentos, estudios teóricos y numéricos sobre carros de carga												
Estudio teórico de la hipótesis ergódica para una partícula en un campo gravitacional.												
Coordinación de eventos internacionales												
Presentar los resultados obtenidos en un Congreso Nacional												
Presentar los resultados obtenidos en un Congreso Internacional.												
Preparar un artículo en revista indizada												
Elaboración y presentación de los informes finales de los servicios sociales.												
Elaboración y presentación de los informes final de los proyectos terminales.												
Presentar los avances en una tesis de maestría												

## Cronograma de actividades del segundo año

Actividad	Meses											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Estudio sobre el alcance máximo de una partícula.												
Experimentos, estudios teóricos y numéricos sobre carros de carga.												
Estudio teórico de Navier-Stokes												
Presentar los resultados obtenidos en un Congreso Nacional												
Presentar los resultados obtenidos en un Congreso Internacional												
Preparar un artículo en revista indizada												
Elaboración y presentación del informe final de los servicios sociales.												
Elaboración y presentación del informe final de los Proyectos Terminales.												
Presentar examen de grado de una tesis de maestría.												

## Referencias

- [1] R. S. Decca, D.López, H. B. Chan, E. Fischbach, D. E. Krause and C. R. Jamell, Constraining New Forces in the Casimir Regime Using the Isoelectronic Technique , 2005, Phys. Rev. Lett. 94, 240401
- [2] Dennis Assanis, Zoran Filipi, Steve Gravante, Dan Grohnke, Xinqun Gui, Loucas Louca, Geoff Rideout, Jeffrey Stein and Yongsheng Wang, Validation and Use of SIMULINK Integrated, High Fidelity, Engine-In-Vehicle Simulation of the International Class VI Truck, 2000, SAE 2000 World Congress, Detroit, Michigan, March 6-9, 2000
- [3] G. Del Valle, I. Campos and J. L. Jiménez, A Hamilton-Jacobi Approach to the rocket problem, 1996, Eur. J. Phys 17, 253-257
- [4] G. Hernández, G. Del Valle, I. Campos and J. L. Jiménez, Motion of a falling drop with acretion using canonical methods, 2009, Revista Mexicana de Física E 55(1), 48-56
- [5] J. L. Jiménez, G. Hernández, I. Campos and G Del Valle, Newtonian and canonical analysis of the motion of a rope falling from a table. 2005 Eur. J. Phys, 26, 1127-1137
- [6] J. L. Jiménez, I. Campos and G. Del Valle, A canonical treatment of no autonomous systems of type  $v=f(t)+c$ , 1997, Foundations of Physics Letters, Vol 10, No 5



- [7] I. Campos, J. L. Jiménez and G. Del Valle, Canonical treatment of the rocket with friction linear in the velocity, 2003, Eur. J. Phys., 24, 469-479
- [8] J. L. Jiménez, G. Del Valle, and I. Campos, A canonical treatment of some systems with friction, 2005, Eur. J. Phys, 26, 711-725
- [9] Gonzalo Ares-de-Parga, Marco A. Rosales, J. L. Jiménez, A further canonical study of the damped linear oscillator, 1989, Am. J. Phys., 57(10), 941-943
- [10] R. Espíndola-Heredia, G. Del Valle, and G. Hernández, Numerical study of pendulums: From the simple pendulum approximation to the damped physical pendulum with variable mass, 2012, Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol. 6, No. 2, 201-207
- [11] Sergio Hojman and L. C. Shepley, Lagrangianos Equivalentes, 1982, Revista Mexicana de Física 28, No 2, 149, 205
- [12] W. N. Polyzou, Equivalent Hamiltonians, 2010, Physical Review C, 82, 014002(10)
- [13] F. M. S. Lima, Analytical study of the Critical behavior of the nonlinear pendulum, 2010, Am. J. Phys. 78(11), 1146-1150
- [14] J. L Jiménez, I. Campos, G. Del Valle, G. Hernández, Computer Assisted Symbolic Calculation in University Physics Courses, 2014, Proceedings of selected papers of the GIREP-ICPE-MPTL International Conference. ISBN:978-8897311-32-4, pp 242-248
- [15] J. L Jiménez, I. Campos, G. Del Valle, G. Hernández, Computer Assisted Symbolic Calculation in University Physics Courses, 2014, Proceedings of selected papers of the GIREP-ICPE-MPTL International Conference. ISBN:978-8897311-32-4, pp 242-248
- [16] R. Espíndola, G. Del Valle, Using conservation theorem to introduce the ergodic hypothesis for a single particle, 2013, No. 7, Suppl. 2 Latin American Journal of Physics Education, Aceptado para su publicación.
- [17] R. Espíndola, G. Del Valle, G. Hernández, Otra Presentación de las Ecuaciones de la Cinemática, 2015, Libro Científico Vol. 1 Congreso Internacional Avance de las Mujeres en las Ciencias las Humanidades y todas las Disciplinas, Aceptado para su publicación.
- [18] F. D Landau and E. M Lifshitz, Mecánica Vol I, Curso de Física Teórica, 1994, Editorial Reverte, ISBN: 84-291-4081-6.
- [19] Stephen Wiggins, Introduction to applied nonlinear dynamical systems and chaos, 2003, Editorial Springer, ISBN 0-387-00177-8.