
REVISTA BOLIVIANA DE FÍSICA

Ésta es una revista de la Unión Iberoamericana de Sociedades de Física

COMITÉ EDITORIAL

Sociedad Boliviana de Física

Dr. Diego Sanjinés Castedo
Email: sanjines@fiumsa.edu.bo

Instituto de Investigaciones Físicas

Lic. Alfonso Velarde Chávez
Email: avelarde@fiumsa.edu.bo
Dr. Eduardo Palenque Vidaurre
Email: edyruy@yahoo.es

Carrera de Física

Dr. Armando R. Ticona Bustillos
Email: aticona@fiumsa.edu.bo

Casilla 8635, La Paz – Bolivia. Tel.: (591-2) 2792999, Fax: (591-2) 2792622

CONSEJO EDITORIAL

Dr. Oscar Antonio Rondón

Institute of Nuclear and Particle Physics
University of Virginia
McCormick Road, Charlottesville, VA 22901
804 924-6787, USA
Email: or@virginia.edu

Dr. Carlos Navia

Instituto de Física
Universidade Federal Fluminense
Av. Gen. Milton Tavares de Souza
24210-340, Niterói, RJ-Brasil
Email: gfcnoj@if.uff.br

Dra. Carina Isabel Moreno

Laboratoire de Glaciologie
Université Joseph Fourier
Grenoble - Francia
Email: caisa@gmail.com

Dr. Juan C. Muzzio

Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas
Universidad Nacional de La Plata
La Plata-Argentina
Email: jmuzzio@fcaglp.fcaglp.unlp.edu.ar

Dr. Oscar Saavedra

Dipartimento di Fisica Generale
Università di Torino, Italia
Email: saavedra@to.infn.it

Dr. Jason Gallas

Instituto de Física
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil
Email: jgallas@if.ufrgs.br

Dr. Carlos Eduardo Fellows

Laboratorio de Espectroscopia LASER
Universidade Federal Fluminense
Av. Gen. Milton Tavares de Souza
24210-340, Niterói, RJ-Brasil
Email: fellows@if.uff.br

ISSN 1562-3823



Revista Boliviana de Física

PUBLICACIÓN DE
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FÍSICAS
CARRERA DE FÍSICA
UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
Y
SOCIEDAD BOLIVIANA DE FÍSICA

NÚMERO 21
JUNIO DE 2012

Revista Boliviana de Física

ISSN 1562-3823

Indexada en: SciELO, Latindex, Periódica

<http://www.scielo.org.bo>

<http://www.latindex.unam.mx>

Publicación del Instituto de Investigaciones Físicas, la Carrera de Física de la Universidad Mayor de San Andrés y de la Sociedad Boliviana de Física.
Casilla 8635, La Paz, Bolivia.

Diseño: A. Ticona

Dirección: Carrera de Física, Campus Universitario, Calle 27, Cota Cota, La Paz.
Tel: (591 2) 2792999; FAX: (591 2) 2792622.

Portada: 100 años del descubrimiento de los Rayos Cósmicos. 60 años del Laboratorio de Física Cósmica de Chacaltaya (5200 *msnm*). *La Paz - Bolivia*

Formato $\text{\LaTeX}2_{\epsilon}$. *Tipo de fuente utilizada:* newcentury

IMPRESO EN BOLIVIA — PRINTED IN BOLIVIA

A CIEN AÑOS DEL DESCUBRIMIENTO DE LOS RAYOS CÓSMICOS

Se cumplen cien años del descubrimiento por el físico austriaco Victor Hess de una fuente de radiación procedente del espacio exterior: los rayos cósmicos.

Son partículas altamente energéticas que llegan a la Tierra procedentes del espacio exterior. La llamada radiación cósmica primaria que llega al tope de nuestra atmósfera está constituida en un 93 % por protones (núcleos de H) y corresponde a la abundancia del H en el universo (91 %), luego núcleos de Helio (partículas *alfa*) con un 6 % y el resto núcleos más pesados. Además de estas partículas tenemos rayos gamma, neutrones y neutrinos.

El espectro de energía de los rayos cósmicos primarios va desde 1010 hasta 1022 eV . Todavía es un problema abierto la explicación de los mecanismos capaces de acelerar estas partículas hasta esas energías.

En 1912, Víctor Hess, de la Universidad de Graz, estudiaba las causas de la ionización de la atmósfera. Para entonces se consideraba que la principal fuente de la ionización del aire eran las radiaciones alfa, beta y la gamma provenientes de los elementos radiactivos del suelo.

Victor Hess diseñó un experimento que montó en un globo aerostático consistente en un electroscopio para medir cómo cambiaba la ionización del aire conforme se alejaba de la tierra. Esperaba que esta fuera disminuyendo a medida en que el globo subiera.

Sin embargo, contra lo que se esperaba encontró que a partir de los 4 a 5 *kilómetros* de altura la ionización aumentaba considerablemente.

Así se descubrió que había una nueva y desconocida fuente de radiación de origen extraterrestre que Victor Hess llamó "radiación de altura" y que más tarde, en 1926, el científico norteamericano Robert Millikan llamó "rayos cósmicos".

En 1936, Victor Hess se hizo merecedor al Premio Nobel de Física por el descubrimiento de los rayos cósmicos.

En septiembre de 1942 se instaló en la montaña de Chacaltaya de La Paz, Bolivia, una de las estaciones de la red meteorológica, por el Dr. Ismael Escobar que posteriormente fue designado catedrático de la UMSA.

Al finalizar la Segunda Guerra Mundial, el físico brasileño Cesar Lattes se unió al grupo de investigación en Bristol (Gran Bretaña) dirigido por Cecil Powell, del que formaba parte también Giuseppe Occhialini, y fueron de la idea de llevar las emulsiones nucleares a sitios elevados.

Cesar Lattes ubicó la existencia de esta estación meteorológica de fácil acceso por su proximidad a la ciudad de La Paz y en 1947 llega a Bolivia trayendo consigo las emulsiones nucleares para exponerlas en Chacaltaya, las placas al revelarse muestran trazos de mesones dobles, dando lugar a la confirmación fehaciente de la existencia del mesón Pi predicho teóricamente por Yukawa en los años 30, responsable de la fuerza de interacción nuclear. El descubrimiento hace al profesor Hideki Yukawa del Japón acreedor al Premio Nobel de Física en 1949 y al Profesor Cecil Powell acreedor al mismo premio en 1950. Los trabajos científicos publicados en la prestigiosa revista Nature, bajo la autoría de Lattes, Occhialini y Powell hacen conocer Chacaltaya a todo el mundo.

Chacaltaya ocupa una situación geográfica ventajosa, por su altitud de 5200 *msnm*, en la que se encuentran las instalaciones del laboratorio y su posición justo al frente del centro de la Galaxia, asimismo Chacaltaya está situado sobre el ecuador geomagnético, lugar ideal para estudiar las variaciones temporales de la radiación cósmica y observar fuentes puntuales de rayos cósmicos en ambos hemisferios.

En 1951 el Rector de la UMSA y el Consejo Universitario aprobaron oficialmente la creación del Laboratorio de Física Cósmica de Chacaltaya, que comenzó a funcionar en 19 de agosto de 1952, su primer director fue el Dr. Ismael Escobar.

Entre 1952 y 1954 llegan a Bolivia expediciones científicas de todas partes del mundo: EE.UU., Brasil, Gran Bretaña, Japón, India, Italia, Francia, Argentina, URSS, etc.

Entre 1960 y 1962 se inician en Chacaltaya los Proyectos BASJE y la colaboración Brasil-Japón, el grupo inicial estaba compuesto por los destacados científicos Hasegawa, Koshiba, Nishimura, Niu, Oda, Suga y Fujimoto.

Entre 1970 y 1973 la UMSA decidió convertir el Laboratorio en Instituto de Investigaciones Físicas, al mismo tiempo se agregan dos nuevos grupos de Investigación, el primero de la Universidad de Saitama encabezado por el Profesor Tsuneo Matano, el segundo de la Universidad de Torino dirigido por el Profesor Gianni Navarra.

Durante los años 80 y hasta la fecha, los grupos de investigación BASJE y SYS estuvieron dedicados al estudio de los rayos cósmicos y rayos gamma de energías mayores a los 10^{14} eV y a la estructura de cascadas de los chubascos atmosféricos extensos con un equipo combinado de emulsiones nucleares y detector de chubascos.

Tanto desde la perspectiva de la astrofísica como de la física nuclear, queda aún un importante potencial de investigación en la materia de rayos cósmicos, en este marco Chacaltaya puede aún contribuir de manera sustanciosa.

CONTENIDO

A. ARTÍCULOS

MEDIDAS DE RADIACIÓN ULTRA VIOLETA SOLAR EN EL MUNICIPIO DE SICA SICA <i>L. Fanola, D. Guzmán, M. Peñaloza & F. Zaratti</i>	1
ANÁLISIS DEL BALANCE DE MASA MENSUAL Y ANUAL DEL GLACIAR TROPICAL ZONGO (BOLIVIA) <i>Leonardini G. et al.</i>	6
MODELO GEOMÉTRICO Y CARACTERIZACIÓN ESPECTRAL DE TUBOS FLUORESCENTES DE LUZ ULTRAVIOLETA <i>E. Juaniquina, F. Zaratti, F. Ghezzi, F. Velarde & A. R. Ticona Bustillos</i>	12

B. CONTRIBUCIONES Y REVISIONES

CORRELACIÓN DE LA ACTIVIDAD SOLAR CON LOS EXPERIMENTOS NM64 Y LAGO <i>Vladimir Miranda</i>	19
---	----

I. PRESENTACIONES: VI WLMLA

THE PUYEHUE-CORDÓN CAULLE VOLCANIC ERUPTION, JUNE 2011: WATER VAPOR, ATMOSPHERIC BOUNDARY LAYER AND AEROSOL TEMPORAL EVOLUTION IN BUENOS AIRES, ARGENTINA <i>Otero L. A. et al.</i>	27
BIOMASS BURNING AND VOLCANIC ASH CHARACTERIZATION AT CENTRO DE INVESTIGACIONES EN LÁSERES Y APLICACIONES, BUENOS AIRES, ARGENTINA <i>Ristori P. R. et al.</i>	30

C. MEMORIAS DE LA REUNIÓN ANUAL DE LA SOBOFI U OTRAS REUNIONES DE FÍSICA

XXIII REUNIÓN NACIONAL DE LA SOCIEDAD BOLIVIANA DE FÍSICA <i>Sociedad Boliviana de Física</i>	33
--	----

D. ENSEÑANZA DE LA FÍSICA

16 ^{va} OLIMPIADA BOLIVIANA DE FÍSICA, 6 ^{ta} OLIMPIADA BOLIVIANA DE ASTRONOMÍA Y ASTROFÍSICA <i>Bustos R. et al.</i>	37
--	----

MEDIDAS DE RADIACIÓN ULTRA VIOLETA SOLAR EN EL MUNICIPIO DE SICA SICA

SOLAR ULTRA VIOLET RADIATION MEASUREMENTS IN THE MUNICIPIO DE SICA SICA

LESLIE K. FANOLA G.[†], DECKER GUZMÁN Z., MARCELO PEÑALOZA M., & FRANCESCO ZARATTI.

Laboratorio de Física de la Atmósfera
Instituto de Investigaciones Físicas, Carrera de Física
Universidad Mayor de San Andrés
c. 27 Cota-Cota, Campus Universitario, Casilla de Correos 8639
La Paz – Bolivia

(Recibido 7 de Marzo de 2012; aceptado 17 de Junio de 2012)

RESUMEN

Se determinó el incremento de la radiación ultravioleta (RUV) en el altiplano paceño de la provincia Aroma en comparación con la ciudad de La Paz. Para este fin se realizaron medidas simultáneas en el municipio de Sica Sica (3917msnm) ubicado al sur del departamento de La Paz y en las instalaciones del Laboratorio de Física de la Atmósfera (3430msnm) ubicado en la ciudad de La Paz. Debido a este incremento de radiación ultravioleta, se llevó a cabo campañas de concientización y se entregó 2900 gorras a los escolares de la población de Sica Sica con información de fotoprotección y entrega de banners sobre los riesgos de la RUV en cada escuela. Asimismo, se dictaron talleres a la población y se proporcionó información, a través de radios locales y nacionales, sobre la radiación ultravioleta, sus efectos y cuidados pertinentes.

Descriptores: Efectos de la radiación (ultravioleta) — Emisión electromagnética solar

Código(s) PACS: 61.80.Ba, 96.60.Tf

ABSTRACT

We determined an increase in ultraviolet radiation (UVR) in the Aroma province found in the Bolivian Altiplano (or Bolivian high plateau) near La Paz and compared to UVR levels in La Paz city. Simultaneous measurements were taken at Sica Sica (southern La Paz department; 3917m asl) and at the Laboratorio de Física de la Atmósfera (La Paz city; 3430m asl). Due to this increase in radiation we carried out workshops and alert campaigns using local and national radio stations; we also distributed 2900 caps to school children at Sica Sica, as well as banners to schools explaining the hazards of UVR.

Subject headings: Radiation effects (ultraviolet) — Solar electromagnetic emission

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

A comienzo del siglo XIX, Johannes Ritter descubrió que el Sol, además de luz visible, emite una radiación invisible de longitud de onda más corta que el azul y el violeta. Esa banda recibió el nombre convencional de “ultravioleta”, dividida en tres subregiones: UV-A de 400 nm a 320 nm, UV-B de 320 nm a 280 nm y UV-C de 280 nm a 100 nm. La UV-A, es la continuación de la radiación visible y es responsable del bronceado de la piel. La UV-B, llamada también UV biológica, llega a la Tierra muy atenuada por la capa de ozono y es muy peligrosa por los efectos que produce en la piel y en los ojos de los humanos. En caso de exposiciones prolongadas puede producir cáncer de piel, melanoma, catarata y debilitamiento del sistema inmunológico entre otros. A nivel del mar, representa solo el 5% de la UV y el

0.25% de toda la radiación solar que llega a la superficie terrestre. La UV-C, en teoría la más peligrosa para el hombre, es afortunadamente absorbida totalmente por la atmósfera.

La radiación ultravioleta que llega a la Tierra depende de muchos factores, unos más relevantes que otros. Entre los importantes están: hora, día y época del año (factores que determinan la altura del Sol y, por ende, la inclinación de los rayos solares); la latitud (la RUV es más intensa entre el Ecuador y los trópicos), la elevación sobre la superficie (la RUV se reduce a medida que el aire se hace más denso), el espesor de la capa de ozono (a mayor concentración de O_3 menor RUV), la nubosidad (en un día nublado se recibe en general menos radiación que en un día soleado). Entre los factores que influyen en menor medida están: la contaminación atmosférica (a mayor contaminación menor radiación); la actividad solar y el albedo (capacidad reflectiva de la su-

[†]faguleska@gmail.com

perficie).

La radiación ultravioleta que llega a la superficie terrestre de la región andina de Bolivia es particularmente intensa, debido a que ésta se encuentra a más de 3000 msnm y está ubicada en la franja tropical. En La Paz, los valores promedio mensual de las dosis eritémicas de UVB, medidos a lo largo de 6 años, varían en verano entre 5500 J/m^2 y 9000 J/m^2 y en días soleados la irradiancia supera los 500 mW/m^2 . La población boliviana que vive en el altiplano a más de 3000 msnm representa alrededor del 40% de la población total boliviana. En el área metropolitana altiplánica viven casi dos millones de personas y en el área rural altiplánica aproximadamente un millón y medio. Dentro de este 40%, muchas personas desarrollan sus actividades expuestas directamente o indirectamente al sol. Entre ellos, policías, agricultores, profesores de educación física y escolares que recorren largas distancias para llegar a sus unidades educativas (Zaratti & Forno 2003). Por estos hechos, se ha realizado varias campañas educativas sobre la radiación ultravioleta en diferentes localidades del Altiplano, entre ellas Sica Sica. Esta campaña fue financiada por el proyecto IDH: "Mitigación de los Efectos de la Radiación Ultravioleta en Niños Indígenas en el Municipio de Sica Sica" de la Universidad Mayor de San Andrés.

Como antecedentes, en 2009 se realizó una campaña similar en las poblaciones de Mecapaca y Pucarani, gracias al apoyo de una fundación norteamericana (PAHEF), con el propósito de cuantificar la cantidad de radiación ultravioleta que llegaba a esos municipios para luego informar, educar y prevenir a la población local acerca de los riesgos de exponerse excesivamente a la RUV.

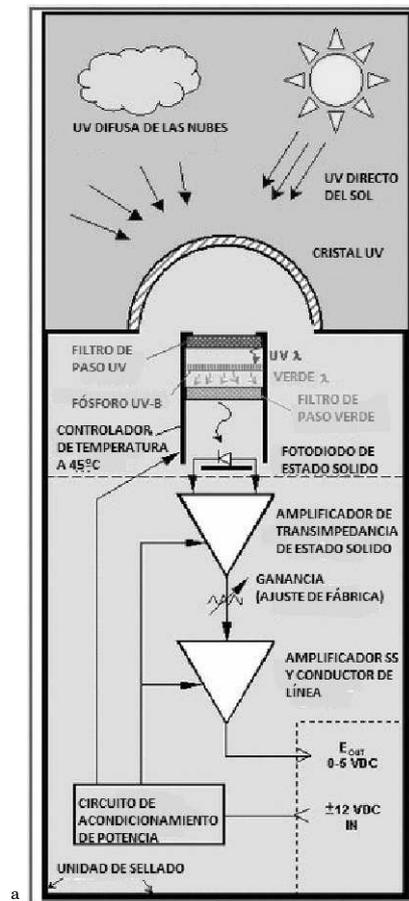
En cuanto a anteriores mediciones del incremento porcentual de la RUV con la altura, el estudio realizado entre la misma localidad de Cota Cota (3430 msnm) y el Monte Chacaltaya (5230 msnm), en el período invernal (Zaratti et al. 2003), arrojó un resultado de un 15% en un desnivel de 1800 metros a gran altura. Se quería por tanto, verificar ese resultado a una altura intermedia (3900 msnm) y en la estación de verano, aprovechando y sustentando la campaña educativa realizada en Sica Sica.

2. DESCRIPCIÓN DE LAS LOCALIDADES

El municipio de Sica Sica está situado en la provincia Aroma del departamento de La Paz, en pleno altiplano, a una altura de 3917 msnm, latitud sud de $17^{\circ}23'00''$ y longitud oeste de $67^{\circ}45'00''$. Goza de horizontes amplios sin obstáculos naturales relevantes. Asimismo, la contaminación ambiental es prácticamente nula.

A su vez, el Laboratorio de Física de la Atmósfera (LFA-UMSA) se halla ubicado en el valle de La Paz, en el Campus de Cota Cota, a una altura de 3430 msnm, a la latitud sud de $16^{\circ}32'16''$ y longitud oeste de $68^{\circ}03'05''$. Su horizonte es amplio al oeste, hacia donde se mira las ciudades de La Paz y El Alto, y limitado por cerros en las otras direcciones.

Dada la diferencia de altura entre Sica Sica y el



^a www.yesinc.com

FIG. 1.— Esquema del Principio de Operación del Radiómetro YES.

LFA-UMSA, se utilizó dos radiómetros YES para determinar la diferencia de intensidad de radiación UV entre estas localidades. También se tomó en cuenta que las medidas realizadas en esta época del año (verano), tanto en Sica Sica como en la ciudad de La Paz, reciben una cantidad de RUV mayor que en la época de invierno, debido al menor ángulo cenital en los meses de noviembre, diciembre y enero.

Debido a la diferencia de longitud entre estas dos localidades, se calculó (mediante el programa STELLARIUM) un desfase temporal de aproximadamente un minuto entre el pase del sol por el respectivo cenit.

3. CAMPAÑA E INSTRUMENTACIÓN

La campaña se llevó a cabo del 10 de diciembre del 2010 al 3 de febrero del 2011. La irradiancia UV fue medida por dos radiómetros de UV-B de la Yankee Environmental Systems (YES) serial 137 y 138, para medidas simultáneas en dos localidades diferentes (Sica Sica y Cota Cota). Por otro lado, con fondos adquiridos del proyecto IDH, se adquirió un nuevo equipo, YES 140, con el cual se realizó una intercalibración de los equipos YES 137 y YES 138.

Estos radiómetros son instrumentos meteorológicos precisos para la medición de la radiación ultravioleta-B. La técnica de medición empleada

TABLA 1
RUIDO DE FONDO DE LOS RADIÓMETROS

Radiómetro	Offset (mV)
YES 137	226
YES 138	78
YES 140	178

TABLA 2
INTERCALIBRACIÓN DE LOS RADIÓMETROS

Radiómetro	Factor de Intercalibración
YES 137	0.97
YES 138	1.04

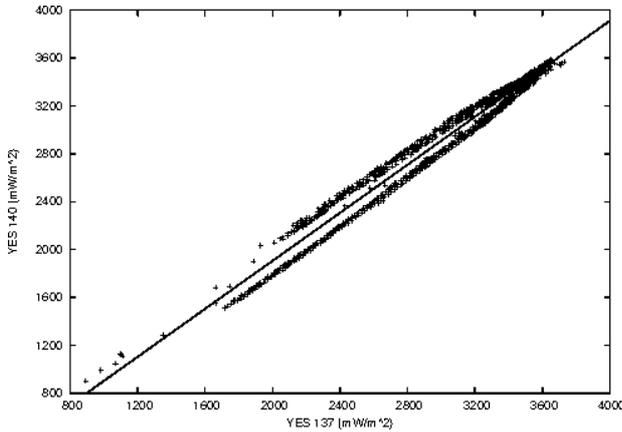


FIG. 2.— Intercalibración de los equipos YES 137 - YES 140.

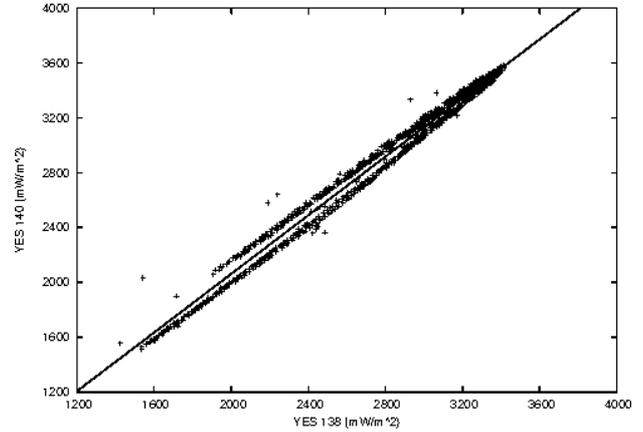


FIG. 3.— Intercalibración de los equipos YES 138 - YES 140.

utiliza un fósforo fluorescente que convierte la radiación UV-B a luz visible, que es a su vez medida con precisión por un fotodiodo de estado sólido. La radiación solar, tanto directa como difusa, es transmitida a través de una cúpula (ver figura 1) de cuarzo.

La luz visible, excepto por una pequeña fracción de luz roja, es absorbida por un primer filtro, (un transmisor UV de cristal negro). La luz transmitida a través del primer filtro incide sobre el sensor de fósforo de UV-B. Este material absorbe la radiación UVB y la re-emite como luz visible, principalmente en longitudes de onda verde. Un segundo filtro de cristal verde deja pasar la luz fluorescente del fósforo, mientras bloquea el paso de toda luz roja emitida por el cristal negro. Finalmente, la intensidad de la luz fluorescente es medida por un fotodiodo de estado sólido (GaAsP) (Yankee-Environmental-Systems 2008). Estos instrumentos miden UV en la banda de 280 nm a 320 nm de manera continua en voltios convertibles a unidades físicas absolutas (mW/m^2) y eritémicas.

Los radiómetros descritos han sido diseñados para que su respuesta espectral coincida con el espectro de acción eritémica definida por CIE (McKinley & Diffey 1987), de tal modo que midan la irradiación UV eritémica efectiva. Dado que el índice UV se calcula a partir de esta irradiancia efectiva (WMO 1994, 1997), pueden ser reportadas en unidades IUUV (1 IUUV = 25 mW/m^2 de irradiancia efectiva) como si la misma fuera una unidad física.

4. MEDIDAS

4.1. Intercalibración de Radiómetros

Antes de realizar la intercalibración, se puso los tres radiómetros (YES-137, YES-138, YES-140) en un lugar oscuro para poder obtener el ruido de fondo. Después de hacer un tratamiento a los datos se obtuvo la tabla 1.

Para la intercalibración se situó los tres radiómetros en el techo del edificio del Laboratorio de Física de la Atmósfera, tomando datos de RUV al mismo tiempo. Luego de realizar un tratamiento a los datos y utilizando el radiómetro YES 140 como base para la intercalibración para los demás radiómetros, se obtuvo la tabla 2 y las figuras 2 y 3.

4.2. Radiación UV en Sica Sica

En los meses de diciembre de 2010 y enero de 2011, se realizaron las medidas con los equipos descritos en la sección 3. En el presente trabajo las medidas se reportan en unidades físicas absolutas (mW/m^2).

Las figuras 4 y 5 muestran el incremento de la RUV en el municipio de Sica Sica teniendo como referencia la radiación en Cota Cota.

Es importante señalar que debido a la época de lluvias, durante el período de las mediciones hubo pocos días soleados y ninguno soleado simultáneamente en La Paz y en Sica Sica, de manera que el análisis comparativo se redujo notablemente.

Finalmente, se hizo la comparación en dos días soleados (14 y 17 de diciembre). Considerando que la diferencia en la posición del sol en su máximo entre los dos días es de aproximadamente un minuto, no se realizó corrección alguna a los tiempos por ser esa diferencia despreciable cerca al solsticio de diciembre.

La figura 6 muestra la mayor intensidad de la RUV

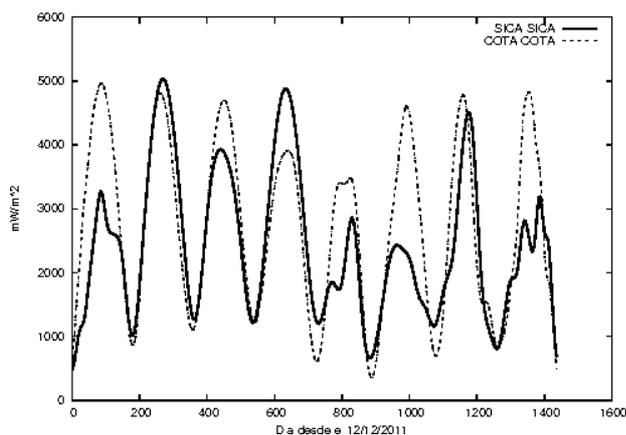


FIG. 4.— Radiación registrada en el mes de diciembre de 2010.

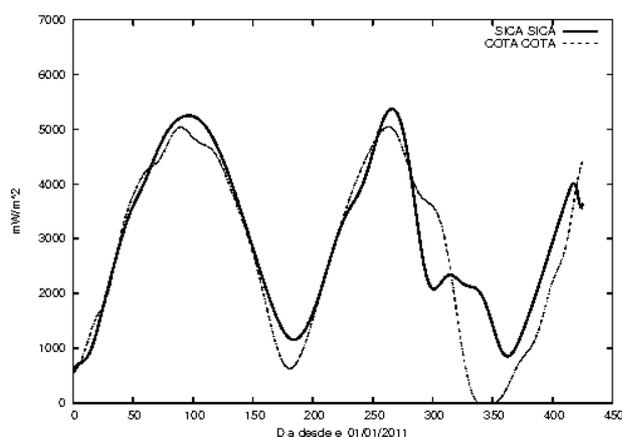


FIG. 5.— Radiación registrada en el mes de enero de 2011

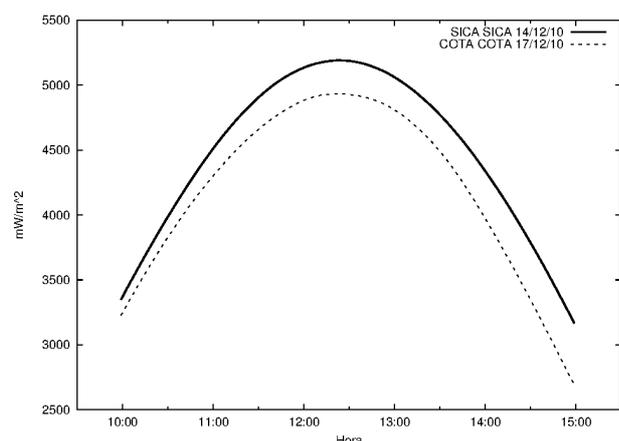
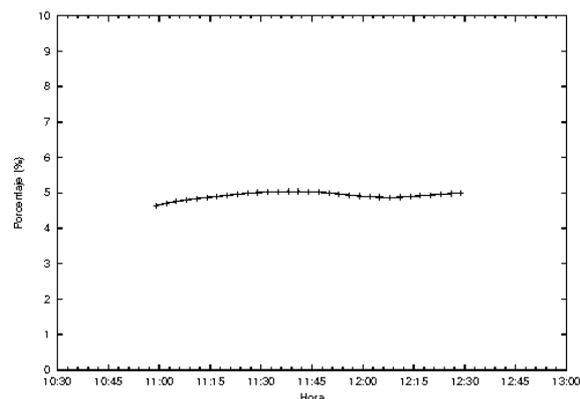


FIG. 6.— Diferencia de la medida obtenida en Sica Sica con respecto a La Paz en un día soleado

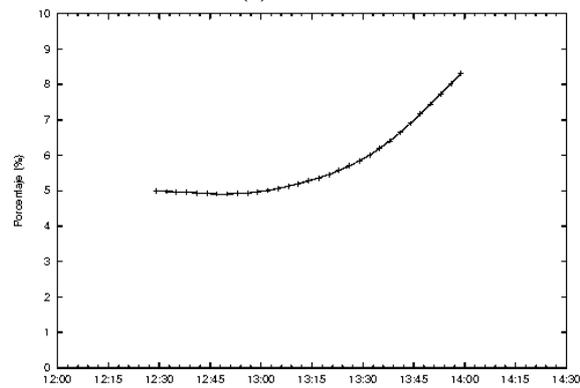
en Sica Sica con respecto a Cota Cota y la figura 7 cuantifica esta diferencia en el intervalo central del día de 11:00 a 14:00 en un porcentaje entre 4.6%-5.0% (mañana) y 4.9%-8.3% (tarde).

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se conoce que en el departamento de La Paz se registran altos niveles de radiación UVB a consecuencia de la altura y su ubicación geográfica. Además, es



(a) mañana



(b) tarde

FIG. 7.— Incremento de RUV en porcentaje.

importante considerar que en Bolivia existe un alto porcentaje de habitantes que viven a más de 3000 msnm. Es necesario estudiar la variación de la intensidad de la radiación ultravioleta conforme va incrementando la altura, tomando en cuenta que, la radiación ultravioleta no tiene que comportarse necesariamente de forma lineal con la altura. De todos modos, esta radiación puede provocar cáncer de piel, acelerar el envejecimiento de la piel, causar lesiones oculares y debilitar el sistema inmunológico humano (Pozadas 2010). Con los datos obtenidos en Sica Sica con respecto al LFA en La Paz, se obtuvo que el incremento de la intensidad de la RUV es de 4.6% - 5.0% en la mañana y 4.9% - 8.3% en la tarde. Este incremento puede deberse al verano en Bolivia, a la mayor altura de Sica Sica y a su cielo poco contaminado.

En particular, las conclusiones del estudio sobre el incremento de la RUV con la altura son:

1. Los factores ambientales juegan un papel importante en el buen funcionamiento de equipos de medida. Por eso es recomendable calibrar los equipos en condiciones de trabajo.
2. Se verifica que la radiación ultravioleta se incrementa conforme ascendemos en la superficie terrestre.
3. Los valores máximos de incidencia de la radiación ultravioleta se dan alrededor del medio día, aproximadamente a horas 12:30 en época

de verano, en la localidad de Sica Sica y en La Paz.

4. Los factores de incremento hallados son ligeramente diferentes a los obtenidos en una anterior campaña de medidas (Zaratti et al. 2003). Esta diferencia se explica por varias razones: la topografía de Sica Sica que permite captar mayor cantidad de RUV, la estación del año y la no linealidad del incremento con la altura, debido a la variación de la densidad del aire.
5. La variación de los porcentajes entre mañana y tarde se debe posiblemente a que la RUV en La Paz es atenuada desde el medio día por la contaminación de origen antropogénico.

El elevado índice de RUV medido en Sica Sica motivó la realización de campañas de concientización sobre la necesidad de fotoprotección contra la RUV en el altiplano pacaño, debido a que afecta a más de 40 millones de habitantes en Bolivia. Esta campaña brindó información veraz y directa a los sectores prioritarios, en una gran mayoría a niños (en etapa de formación de su sistema inmunológico y piel más delicada) y jóvenes que carecen de recursos económicos o falta de información acerca de fotoprotección. Además, se distribuyó un total de 2900 gorras adecuadas para la protección ante los rayos UV, 50 banners, con información de la RUV, en diferentes escuelas del municipio de Sica Sica y se difundieron los cuidados ante la RUV en radios locales del mismo municipio.

Las conclusiones de la campaña son:

- a) La campaña fue un éxito con respecto al

propósito que se tuvo desde un principio, el cual fue brindar información de fotoprotección tanto a profesores, niños y población en general.

- b) Hace falta todavía mayor concientización de la gente que vive en áreas rurales, debido a que bastantes niños y adultos usan gorras, las cuales no son adecuadas para una protección óptima.
- c) Es muy importante esta concientización porque las personas que viven en el altiplano son más vulnerables a los efectos nocivos de la radiación ultravioleta debido a su forma de trabajo y a su diario vivir.
- d) Es necesario brindar mayor información a los municipios rurales. Las campañas de interacción social en torno a los riesgos de una prolongada exposición al sol del altiplano, respaldadas por la investigación científica, representan un excelente ejemplo de como la ciencia puede estar al servicio de la población.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dirección de Posgrado, Investigación e Interacción social (DIPGIS) de la Universidad Mayor de San Andrés por el apoyo recibido mediante un fondo IDH. Asimismo ponderan la cooperación de las autoridades municipales y escolares de Sica Sica a lo largo de la Campaña. Finalmente se reconoce el apoyo constante de la oficina local de la OPS/OMS en el desarrollo de las campañas de la RUV en Bolivia.

REFERENCIAS

- McKinley A. & Diffey B. (1987), *Commission Int. Eclairage (CIE)*, **6**, 17
- Pozadas M. (2010), *Medición de la RUV en los Municipios de Pucarani y Mecapaca*
- WMO (1994), *WMO Technical Report*, **95**
- (1997), *WMO Technical Report*, **143**
- Yankee-Environmental-Systems (2008), *Inc. UVB-1 Ultraviolet Pyranometer Installation and User Guide, Version 2.04*
- Zaratti F. & Forno R. (2003), *La Radiación Ultravioleta en Bolivia* (U. M. S. A.)
- Zaratti F., Forno R., García J. & Andrade M. F. (2003), *J. Geophys. Res.*, **108**, 4263

ANÁLISIS DEL BALANCE DE MASA MENSUAL Y ANUAL
DEL GLACIAR TROPICAL ZONGO (BOLIVIA)

MONTHLY AND ANNUAL MASS BALANCE ANALYSIS
OF THE TROPICAL GLACIAL ZONGO (BOLIVIA)

G. LEONARDINI¹, J-E. SICART², A. RABATEL³, A. SORUCO⁴, P. GINOT⁵, & E. RAMIREZ⁶

¹ IRD, La Paz-Bolivia

² IRD/UJF-Grenoble 1/CNRS/G-INP, LTHE UMR 5564, Grenoble F-38041, France

³ 2UJF-Grenoble 1 / CNRS, LGGE UMR 5183, Grenoble, F-38041

⁴ UMSA, IGEMA, Calle 27, Cota Cota, La Paz, Bolivia

⁵ 4IRD / CNRS / IFSTTAR / Météo France / UJF-Grenoble 1 / Université de Savoie / Grenoble-INP, Observatoire des Sciences de l'Univers Grenoble (OSUG) UMS222, St Martin d'Hères, F-38400, France

⁵ UJF Grenoble 1 / CNRS, Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement (LGGE) UMR 5183, Grenoble, F-38041, France

⁶ UMSA,IHH, Calle 30, Cota Cota, La Paz, Bolivia

(Recibido 24 de Febrero de 2012; aceptado 29 de Junio de 2012)

RESUMEN

Se presenta una estimación del balance de masa del Glaciar Tropical Zongo en Bolivia por dos métodos independientes, así como un análisis de su variabilidad anual y mensual (se entiende por “balance de masa” la cantidad de masa que el glaciar gana o pierde en cierto tiempo). Para este propósito fueron considerados 15 años hidrológicos (1993-2008) y se determinó que los años con balances de masa más deficitarios estaban relacionados con una fuerte ablación y los años con balance positivo con una fuerte acumulación. También se observó que los meses de septiembre a diciembre son los meses de mayor ablación y los meses de enero a marzo los meses de acumulación.

Descriptor: Glaciares — Impacto del cambio climático global

Código(s) PACS: 92.40.vk, 92.70.Mn

ABSTRACT

We present an estimate of the mass balance of the tropical glacier at Zongo-Bolivia (we understand as “mass balance” the mass gained or lost by the glacier in a given time interval); this estimate was carried out by two independent methods. We also analysed the balances annual and monthly variability. We considered 15 hydrological years (1993-2008) and concluded that the years with a negative balance were related to a strong ablation (especially from September to December), and the years with a positive balance related to a strong accumulation (especially from January to March).

Subject headings: glaciers — impacts of global change (climate)

1. INTRODUCCIÓN

Los glaciares tropicales representan el 0.16% de la superficie glaciar del planeta; de este porcentaje el 70% y el 20% corresponden al Perú y a Bolivia respectivamente (Francou et al. 2007). Los glaciares tropicales, que son en su totalidad glaciares de montaña, presentan una respuesta más corta a los cambios medioambientales (Coudrain et al. 2005). Esta fuerte sensibilidad, particularmente al clima,

les ha valido el calificativo de buenos indicadores del clima. Sin embargo, existen pocas observaciones disponibles en los trópicos y particularmente en las zonas de montaña (asociada a una baja densidad de estaciones meteorológicas, observaciones satelitales, etc.) y se tienen pocos estudios sobre las variaciones climáticas en esta región. Colateralmente, se encuentran los aspectos sociales, particularmente aquellos relacionados al aprovisionamiento de agua, la generación de electricidad y los riesgos de desastres.

Actualmente, el balance de masa es medido cada año en más de 100 glaciares, y de manera estacional en 40 de estos (WGMS 2007). Estas medidas son parte de una estrategia de seguimiento integrada, de manera que los datos son enviados bajo criterios es-

¹Email: gonzalo.leonardini@hotmail.com

²Email: jean-emmanuel.sicart@ird.fr

³Email: antoine.rabatel@lgge.obs.ujf-grenoble.fr

⁴Email: alvaro.soruco@gmail.com

⁵Email: patrick.ginot@ird.fr

⁶Email: eramirez@accelerate.com

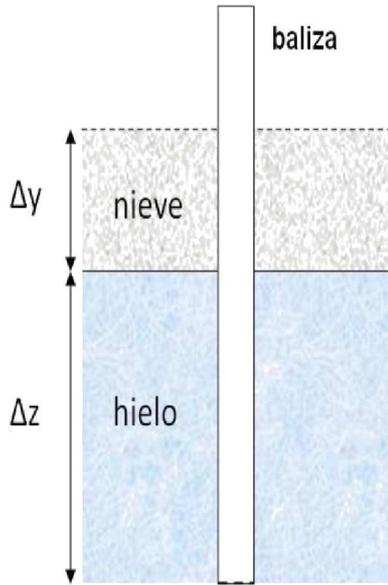


FIG. 1.— Diagrama de la variación de la altura de nieve y hielo en un periodo de tiempo determinado.

pecíficos a WGMS (Word Glaciar Monitoring service). Actualmente, los glaciares Zongo y Charquini Sur de la Cordillera Real en Bolivia son parte de esta red de seguimiento.

La contribución del presente trabajo con relación al vasto trabajo sobre el mismo glaciar, radica en tres aspectos principales: El primero es la estimación de diferentes parámetros y características del glaciar con una serie de datos de 15 años, que consideramos es significativa como referencia para trabajos posteriores; el segundo aspecto es la descripción de las particularidades en la distribución espacial del balance de masa en cuatro años de gran contraste; y el último aspecto tiene que ver con los resultados de balance de masa a nivel mensual, particularmente el balance de masa hidrológico que es mostrado por primera vez y contribuye a la comprensión del funcionamiento del Glaciar Zongo.

2. BALANCE DE MASA

El balance de masa de un glaciar es el cambio de masa del mismo en un determinado intervalo de tiempo, generalmente 1 año hidrológico. Si bien su dimensión es [M] (masa), por compatibilidad con unidades en un contexto hidrológico se expresa en m eq.a. (metros equivalentes de agua). El signo del balance de masa calculado mediante el método glaciológico, B_n , determina dos zonas en la superficie del glaciar: la zona de acumulación (donde $B_n > 0$) y la zona de ablación (donde $B_n < 0$). La línea en la cual se interceptan ambas superficies se denomina Línea de Equilibrio Altitudinal o ELA (Equilibrium Line Altitude) y la razón entre el área de la zona de acumulación y el área total del glaciar se denomina Proporción del Área de Acumulación o AAR (Accumulation Area Ratio). Ambos parámetros descritos anteriormente son importantes por su relación lineal con el balance de masa (Rabatel 2005).

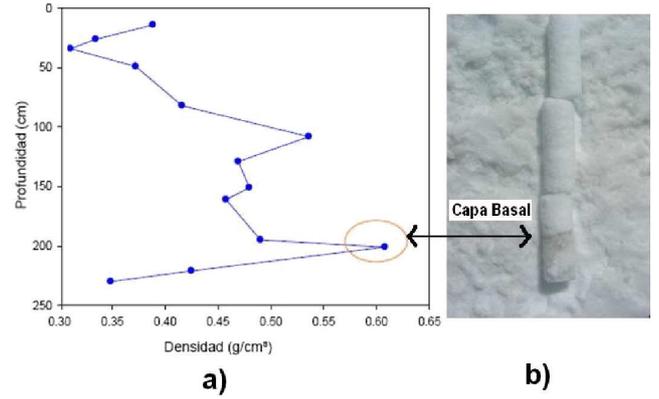


FIG. 2.— (a) Densidad en función de la profundidad para una de las perforaciones en la zona de acumulación del glaciar. La medición corresponde a la acumulación del año hidrológico 2007-2008. (b) Testigo de hielo/nieve en la cual puede identificarse la capa basal.

2.1. Balance de masa glaciológico

Este método se sustenta en la medición directa del espesor de hielo y nieve de la superficie del glaciar en el transcurso de un periodo de tiempo (generalmente de 1 año). Así, en la parte inferior del glaciar, se dispone de una red de balizas para medir mensualmente el proceso de ablación de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$b_n = \rho_0 \Delta z + \rho \Delta y. \quad (1)$$

Donde b_n es el balance de masa, ρ_0 y ρ son las constantes de densidad relativa del hielo (0.9) y la nieve (0.4) respectivamente y Δz y Δy son las variaciones del espesor de hielo y nieve respectivamente. Véase la figura 1.

En la parte superior del glaciar, se realizan dos o tres pozos/perforaciones de nieve/hielo con un perforador PICO (Polar Ice Coring Office) para medir la acumulación (figura 2). El procedimiento consiste en identificar estratigráficamente la capa basal que es la capa partir de la cual se acumula la precipitación sólida correspondiente a un año hidrológico. Esta capa, que corresponde al pico de máxima densidad, puede identificarse visualmente como la capa más oscura del testigo de hielo (figura 2).

A continuación, en i muestras sucesivas desde la superficie hasta la capa basal se estima la masa neta acumulada según la ecuación (2):

$$b_n = \sum_i \rho_i h_i. \quad (2)$$

Donde ρ_i representa la densidad relativa de la muestra de altura h_i .

Finalmente, para calcular el balance de masa en la totalidad del glaciar, se discretizan los valores de balance de masa en 11 rangos altitudinales j (cada 100m) y se pondera cada rango por el área relativa respectiva (balance de masa específico, B_n).

$$B_n = \sum_{j=1}^{j=11} b_n^j \left(\frac{S_j}{S_g} \right) \quad (3)$$

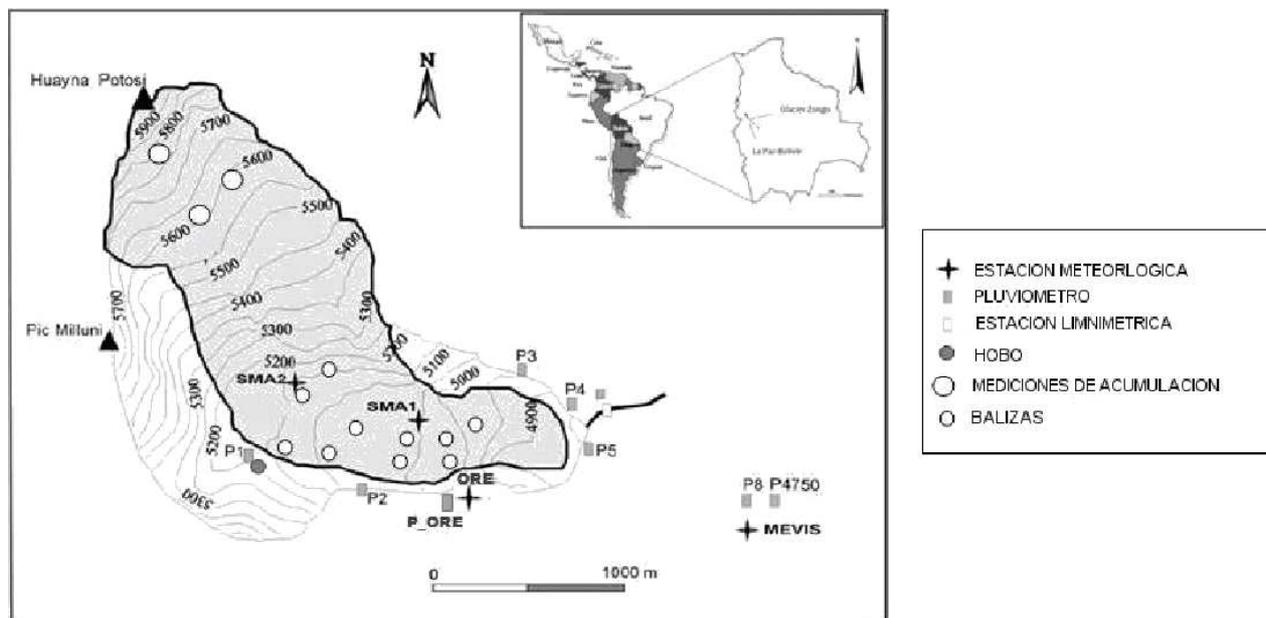


FIG. 3.— Mapa del Glaciar Zongo y equipo instalado sobre el glaciar.

Donde, b_n^j es el balance de masa del rango altitudinal j ; S_j es el área del rango altitudinal j y S_g es el área total del glaciar.

2.2. Balance de masa Hidrológico

El balance hidrológico (B_h) permite la estimación del balance de masa de manera indirecta. Así, si consideramos que el proceso de acumulación es cuantificado por la precipitación (P_g) y el proceso de ablación es cuantificado por la fusión (F_g) y la sublimación (Subl), según Paterson (1994) tenemos:

$$B_h = P_g - F_g - \text{subl} \quad (4)$$

Donde de manera similar al balance de masa glaciológico, los términos son expresados en metros equivalentes de agua (m eq.a.).

Ahora bien, si consideramos despreciable el término de sublimación con respecto al término de fusión, y expresamos la fusión del glaciar en función del caudal medido sobre el emisario del glaciar, tenemos la siguiente expresión (Sicart et al. 2007):

$$B_h = P_g - \frac{1}{S_g} [Q - (S - S_g)ceP_g] \quad (5)$$

Donde Q en m^3/s es el caudal medido por la estación limnigráfica a la salida de la cuenca, S y S_g corresponden a las áreas de la cuenca y del glaciar respectivamente; ce es el coeficiente de escurrimiento que es estimado empíricamente en 0.8 para la cuenca glaciar Zongo (Ribstein et al. 1995).

2.3. Medición de la precipitación

Se ha evidenciado una subestimación de la precipitación sólida medida en los pluviómetros totalizadores a causa de un fenómeno de turbulencia en la parte superior de los mismos (Larson & Peck 1974;

Sicart et al. 2007). Por otra parte, en un reciente trabajo de Soruco et al. (2009) se calcula el balance de masa anual por el método fotogramétrico y se obtiene una buena concordancia entre el mismo y el balance hidrológico. Sin embargo, el balance hidrológico es corregido en +37% en las mediciones de la precipitación. Anteriormente, un criterio análogo de corrección de la precipitación (+50%) para el cálculo del balance hidrológico fue realizado por Sicart et al. (2007). En base a los criterios anteriormente mencionados, proponemos una corrección de +40% a las mediciones mensuales de la precipitación para los pluviómetros de la cuenca, porque es bajo ese porcentaje que la subestimación observada es menos significativa. Más adelante podremos hacer una comparación de tales correcciones de precipitación en el balance de masa hidrológico. Indicamos también que en las mediciones de precipitación de la cuenca glaciar que se realizan entre 4750 y 5150 msnm. No se evidencia un gradiente de precipitación. Por lo tanto, se asume que precipita en la misma cantidad en toda la superficie del glaciar.

3. SITIO DE ESTUDIO, CLIMA Y MEDICIONES

El Glaciar Zongo es un glaciar del nevado Huayna Potosí ($16^{\circ}15'S$ y $68^{\circ}10'W$, 6088 msnm) que forma parte de la Cordillera Real en Bolivia, es un glaciar templado de valle de una superficie de 1.96 km^2 (en 2006, Soruco et al. 2009). Entre 5300 y 6000 msnm el glaciar tiene una pendiente promedio de 22° orientada al sud-este; y entre 4900 y 5300 msnm el glaciar tiene una pendiente de 15° orientada al este (Sicart 2002). En condición de equilibrio (balance de masa nulo) el glaciar presenta una ELA_0 igual a 5150 msnm y un AAR_0 igual a 77%. El nevado Huayna Potosí se ubica en la región tropical externa caracterizada por una marcada estacionalidad de la precipitación y una débil estacionalidad

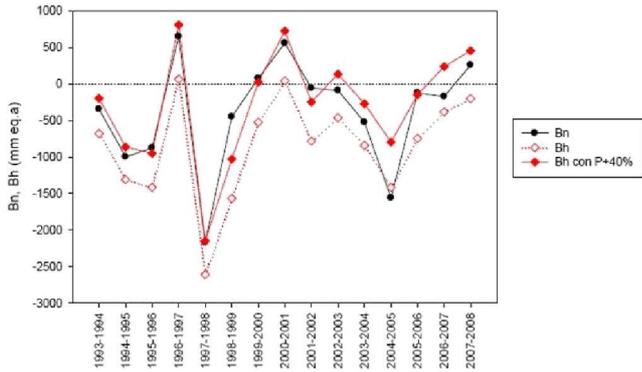


FIG. 4.— Comparación de los balances de masa glaciológico (B_n) e hidrológico (B_h) anuales. B_h con P+40% representa el balance de masa obtenido también por el método hidrológico pero considerando una subestimación del 40% en las mediciones mensuales de la precipitación en los pluviómetros totalizadores.

de la temperatura (Troll 1941). El régimen de precipitación en esta región está determinado por la oscilación de la Zona de Convergencia Inter-Tropical o ITCZ (del inglés Inter Tropical Convergence Zone): entre marzo y septiembre la ITCZ se encuentra al norte de Bolivia y los anticiclones subtropicales producen un clima seco. De octubre a marzo la ITCZ se desplaza hacia el sur incrementando la convección de la humedad producida en la cuenca amazónica, generando así un clima húmedo propicio para la precipitación (Aceituno & Montecinos 1993). La figura 3 muestra la red de balizas de ablación y acumulación, los pluviómetros totalizadores y las estaciones meteorológicas instaladas en la cuenca del glaciar Zongo. Para los 15 años estudiados (1993-2008) la precipitación promedio anual registrada por los pluviómetros totalizadores ubicados en el margen pro-glaciar (figura 3) es de 950 mm de agua con 87% de la precipitación registrada entre octubre y abril y 51% registrada entre enero y marzo.

4. RESULTADOS

4.1. Variabilidad anual del balance de masa

El balance de masa anual observado en el periodo 1993-2008 (figura 4) es en gran medida dependiente de la ablación de los meses de octubre a febrero. Estos meses explican el 91% de la varianza del balance de masa anual. Este resultado es similar al 95% estimado por Francou et al. (2003) para el Glaciar Chacaltaya en los meses de octubre a abril.

A nivel regional, existen indicios que la variabilidad anual del balance de masa esté relacionada a eventos ENSO (EL NIÑO Southern Oscillation) mediante un marcado déficit de precipitación y un aumento de temperatura en su fase negativa o EL NIÑO, y un impacto inverso en su fase positiva o LA NIÑA (Wagnon et al. 2001; Francou et al. 2003). Sicart et al. (2003, 2011) adiciona el aspecto del retraso/adelanto de la época de lluvia en eventos NIÑO/NIÑA que ocasiona fusión/acumulación significativa en meses donde la radiación solar es máxima. Complementariamente, en años donde el ENSO no es significativo y en los meses correspon-

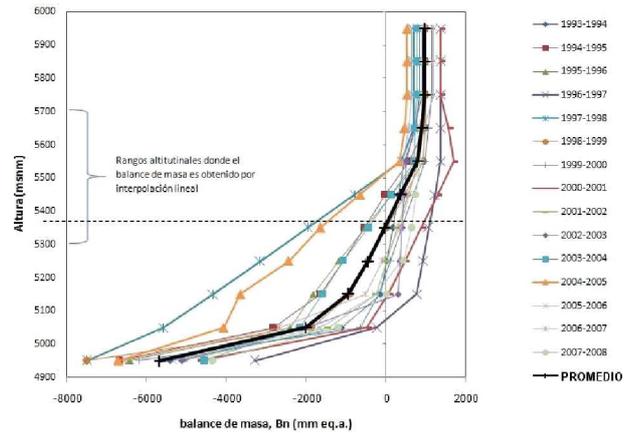


FIG. 5.— Variación del balance de masa con la altitud para el Glaciar Zongo para cada año del periodo 1993-2008. La curva negra representa el promedio de todo el periodo estudiado y la línea horizontal segmentada corresponde a la ELA del mencionado promedio. Entre 5300 y 5700 msnm el balance de masa es calculado por interpolación lineal de los datos obtenidos gracias a las balizas y testigos de hielo.

dientes al periodo seco, el desplazamiento anormal de la ITCZ en dirección norte ocasiona los llamados “surazos” i.e. precipitación en el periodo seco que tiene un impacto en el balance de masa anual (Rabatel et al. (en prep)).

La variabilidad del balance de masa mostrado en la figura 4 es concordante con un aumento de temperatura en los Andes (de 0.7° a 1.3° C) en años donde prevalece el fenómeno de EL NIÑO (Vuille et al. 2003). Al respecto, según Francou et al. (2003), a escala mensual es posible observar una correlación próxima entre la anomalía del balance de masa y la anomalía de la temperatura del aire a 500 hpa (datos de reanálisis); sin embargo, pocos estudios han investigado las causas físicas de tal correlación. Para concluir los comentarios correspondientes a la figura 4, indicamos que mediante la comparación de ambos métodos, podemos constatar que la correlación entre los mismos es significativa ($r^2=0.85$, $n=15$) y que la corrección de la precipitación mencionada en la sección 2.3 tiene un efecto compensatorio en la subestimación de B_h .

La ELA correspondiente al promedio de los 15 años es 5345 msnm ($> ELA_0 = 5150$ msnm) y el gradiente altitudinal en su proximidad es de $1.8 \text{ m eq.a.}(100\text{m})^{-1}$, que coincide con los $2 \text{ m eq.a.}(100\text{m})^{-1}$ estimados por Kaser (2002) para los glaciares tropicales (figura 5). Es importante indicar que la ELA promedio está comprendida en una región donde no se tienen medidas directas del balance de masa, lo que que agrega un mayor grado de incertidumbre a este parámetro y sugiere que la red de balizas sea extendida hacia rangos más elevados. A pesar de esta consideración, encontramos una buena correlación entre la ELA y el balance de masa ($r^2=0.85$, $n=15$) y entre la AAR y el balance de masa ($r^2=0.76$, $n=15$); esta característica es concordante con la mayor parte de los glaciares en seguimiento en el mundo (WGMS 2009).

Cuando precisamos el porcentaje de balance de

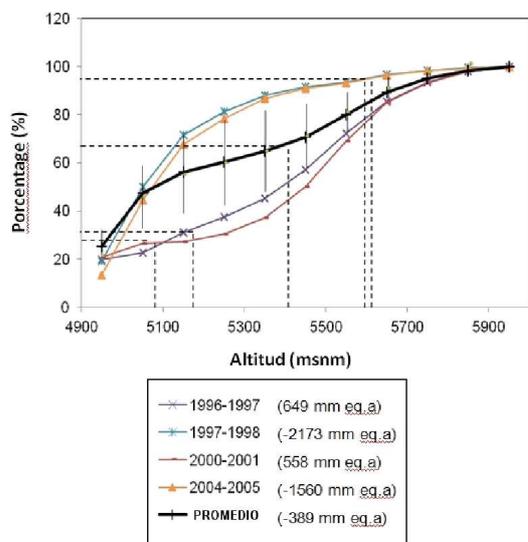


FIG. 6.— Porcentaje del balance de masa acumulado en función del rango altitudinal para 4 años hidrológicos de condiciones climáticas diferentes. En línea negra, el promedio de de todo el periodo de estudio (1993-2008). La línea segmentada precisa la ELA y el porcentaje acumulado para los cuatro años respectivos.

masa acumulado del Glaciar Zongo en función de la altitud para algunos años del periodo estudiado (se consideran los valores absolutos de balance de masa), constatamos que: para aquellos años con balance de masa muy deficitario (1997-1998 y 2004-2005) el balance de masa correspondiente a la zona de ablación representa el 95% del balance de masa total (figura 6). De la misma forma, la zona comprendida entre el rango altitudinal 4900-5300 m representa el 90% del balance de masa total. Este aporte tan significativo de la zona de ablación es debido a que en los años con eventos Niño (caracterizados por temperaturas elevadas y déficit de precipitación), la altitud de la línea de equilibrio se encuentra por encima de los 5500 msnm, delimitando un AAR de 35 y 37% respectivamente. Este aspecto resalta la importancia de la zona de ablación y la importancia de mantener un monitoramiento constante por la red de balizas. Por otra parte, también constatamos que para aquellos años con balance de masa positivo (1996-1997 y 2000-2001) la zona de ablación y el rango altitudinal 4900-5300 msnm representan respectivamente el 30% y 40% del balance de masa anual. Así mismo, las AARs respectivas son 69 y 75%. En síntesis, los balances de masa negativos extremos son debidos a una fuerte ablación y no a una baja acumulación (y viceversa).

4.2. Variabilidad mensual del balance de masa

Valiéndonos de las mediciones mensuales de la ablación en la parte baja del glaciar, de los datos de caudal y de precipitación, a continuación mostramos los resultados correspondientes a la variabilidad mensual del balance de masa.

Los valores mensuales de balances de masa entre 4900-5300 msnm mostrados en la figura 7 están distribuidos de la siguiente manera: de septiembre a diciembre se registran los valores de balances de

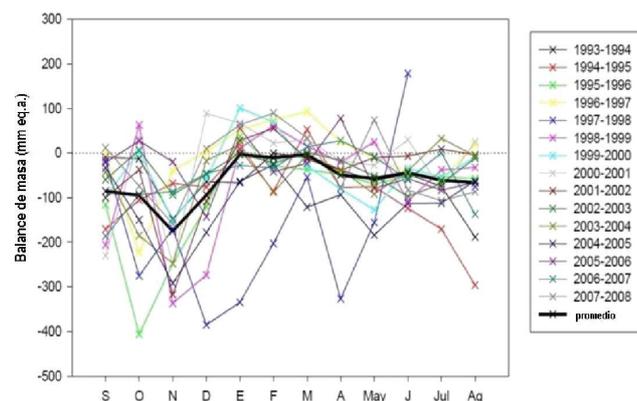


FIG. 7.— Balance de masa glaciológico para el rango altitudinal 4900-5300 m entre septiembre y agosto (Año Hidrológico). En línea negra se representa el promedio de todo el periodo de estudio (1993-2008). El promedio de septiembre a diciembre es -109 mm eq. a. ($s=108$ mm eq. a., $n=52$), de enero a marzo es 3 mm eq. a. ($s=50$ mm eq. a., $n=54$), y de abril a agosto es -56 mm eq. a., ($s=62$ mm eq. a., $n=50$). En los promedios anteriores se excluyen los años 1996-1997 y 1997-1998.

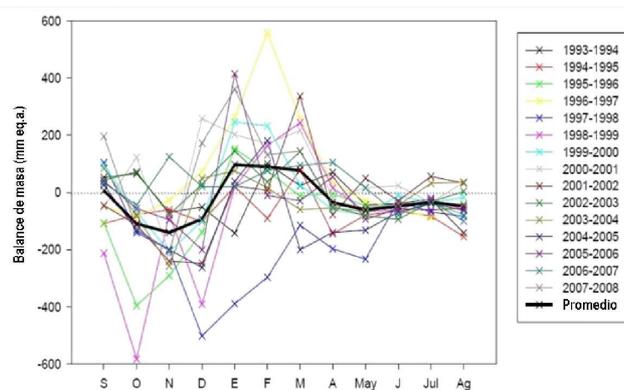


FIG. 8.— Balance de masa hidrológico para el periodo de estudio (1993-2008). En línea negra se representa el promedio de todo el periodo de estudio (1993-2008). El promedio de septiembre a diciembre es -81 mm eq. a. ($s=158$ mm eq. a., $n=52$), de enero a marzo es 94 mm eq. a. ($s=130$ mm eq. a., $n=54$), y de abril a agosto es -40 mm eq. a., ($s=53$ mm eq. a., $n=50$). En los promedios anteriores se excluyen los años 1996-1997 y 1997-1998.

masa más bajos (promedio=-109 mm eq. a., $s=108$ mm eq. a., $n=52$) debido a un incremento progresivo en la radiación solar y a una disminución del albedo en la superficie. De enero a marzo los balances de masa son casi nulos (promedio=3 mm eq. a., $s=50$ mm eq. a., $n=54$) debido a un aumento progresivo del albedo; sin embargo, la eventual ablación evidenciada está relacionada a la emisión de ondas largas por las nubes convectivas que se forman en estos meses. Finalmente, entre abril y agosto la débil ablación (promedio=-56 mm eq. a., $s=62$ mm eq. a., $n=50$) es originada por la emisión de ondas largas por la atmósfera desprovista de nubes a estas altitudes.

La figura 8, que muestra la variabilidad mensual del balance de masa de todo el glaciar para el periodo estudiado, nos permite contrastar tal variabilidad con los correspondientes en parte baja del glaciar (figura 7). Así, destacamos tres aspectos importantes: el primero es que en promedio, los

meses de octubre-diciembre son los meses de mayor ablación del glaciar ($B_n \sim B_h = -150$ mm eq.a.), y los meses de enero-marzo son los meses de acumulación del glaciar ($B_h = 90$ mm eq.a.). El segundo aspecto es la tendencia a la simultaneidad de los procesos de ablación y acumulación que es concordante con los trabajos anteriores que indican que el balance de masa anual de los glaciares dependen del inicio y de la distribución del periodo de precipitación. Como último aspecto, reafirmamos el rol de la parte baja del glaciar (4900-5300 msnm) en el proceso de ablación. Observese que los valores mensuales de ablación de esta parte del glaciar (figura 7) son semejantes a los valores de la integridad del glaciar (figura 8).

5. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

En el cálculo del balance de masa, se presentaron los resultados de dos métodos independientes uno del otro. La comparación de ambos métodos es favorable; sin embargo, hay importantes fuentes de errores que deberán ser tratados en trabajos posteriores como ser las interpolaciones lineales entre el rango altitudinal 5300-5700 msnm, la corrección en la medición de la precipitación (40%) y la variabilidad estacional del coeficiente de escurrimiento (*ce*).

En el periodo de 15 años estudiados, se observó una tendencia al registro de balances de masa nega-

tivos (disminución acumulada de 6m eq.a.). Estos 15 años están comprendidos en el periodo de años 1980-2005 que se caracteriza por una mayor frecuencia de eventos EL NIÑO y que está asociado a la oscilación decadal del pacífico (PDO, por sus siglas en inglés) (Francou & Vincent 2007). Particularmente los años 1982-1983 y 1997-1998 corresponden a los años con el mayor índice del mencionado evento.

En lo que corresponde al balance de masa anual, se mostró la importancia de la zona de ablación y de la zona entre 4900 y 5300 msnm en años con balance de masa deficitario. Por ejemplo el año 1997-1998, estas zonas del glaciar contribuyen con alrededor del 90 % al balance de masa anual (año de mayor ablación de nuestra serie).

En cuanto al balance de masa mensual, se constató que los meses de septiembre a marzo son aquellos donde la variabilidad del balance de masa es significativa con respecto al anual. (91% de varianza respecto al anual). Los meses de septiembre a diciembre se registran los valores de balances de masa más bajos debido a un incremento en la radiación solar y a una disminución del albedo en la superficie; de enero a marzo los balances de masa son casi nulos debido a un aumento progresivo del albedo. Finalmente, Entre abril y agosto la débil ablación es originada por la emisión de ondas largas por la atmósfera desprovista de nubes a estas altitudes.

REFERENCIAS

- Aceituno P. & Montecinos A. (1993), *Circulation anomalies associated with dry and wet periods in the South American Altiplano* (Proc. Fourth Int. Conf. on Southern Hemisphere Meteorology, Hobart, Australia. Amer. Meteor. Soc), 330-331
- Coudrain A., Francou B. & Kundzewicz Z. W. (2005), *Glacier shrinkage in the Andes and consequences for water resources*, Vol. 50 (Journal of Hydrological Sciences), 925-932
- Francou B. & Vincent C. (2007), *Les glaciers l'preuve du climat* (IRD)
- Francou B., Vuille M., Wagnon P., Mendoza J. & Sicart J. E. (2003), *Tropical climate change recorded by a glacier in the central Andes during the last decades of the twentieth century: Chacaltaya, Bolivia*, 16S (Journal of Geophysical Research)
- Francou B., Wagnon P., Sicart J. E., Maisincho L., Ginot P., Chazarin J. P., Favier V. & Ribstein P. (2007), *Mass balance versus climate: accumulation and ablation. Is it the end of snowy heights? Glaciers and Climate change in the Andean Community* (General Secretariat of the Andean Community, IRD, UNEP), 103 pp
- Kaser G. (2002), *Tropical glaciers* (Camridge University Press)
- Larson L. W. & Peck E. L. (1974), *Accuracy of precipitation measurement for hydrological modelling*, Vol. 10 (Water Resources Research), 857-863
- Paterson W. S. D. (1994), *The physics of glaciers* (Elsevier Science Ltd, Oxford.), 31p
- Rabatel A. (2005), *Chronologie et interprétation paléoclimatique des fluctuations des glaciers dans les Andes de Bolivie depuis le maximum du Petit Age Glaciaire* (Ph.D. thesis, Univ. J. Fourier (Grenoble 1)), 192p
- Rabatel A. et al. (2012), *Current state of glaciers in the tropical Andes. A multi secular perspective on glacier evolution and climate change* (in preparation)
- Ribstein P., Tiriau E., Francou B. & Saravia R. (1995), *Tropical climate and glacier hydrology: a case study in Bolivia*, Vol. 165 (Journal of Hydrology), 221-234
- Sicart J. E. (2002), *Contribution l'étude des flux d'énergie, du bilan de masse et du débit de fonte d'un glacier tropical: Le Zongo, Bolivie* (Ph.D. thesis, Univ. Paris VI), 333 p
- Sicart J. E., Hock R., Ribstein P., Litt M. & Ramirez E. (2003), *Analysis of seasonal variations in mass balance and meltwater discharge of the tropical Zongo Glacier by application of a distributed energy balance model* (J. of Geophys. Res.)
- (2011), *Analysis of seasonal variations in mass balance and meltwater discharge of the tropical Zongo Glacier by application of a distributed energy balance model* (J. of Geophys. Res.)
- Sicart J. E., Ribstein P., Francou B., Pouyaud B. & Condom T. (2007), *Hydrological and Glaciological Mass Balances of a tropical glacier: Zongo, Bolivia*, Vol. 59 (Global Planet change), 1-4
- Soruco A., Vincent C., Francou B., Ribstein P., Berger T., Sicart J. E., Wagnon P., Arnaud Y., Favier V. & Lejeune Y. (2009), *Mass balance of Zongo glacier, Bolivia, between 1956 and 2006, using glaciological, hydrological and geodetic methods*, Vol. 50 (Annals of Glaciology), 1-8
- Troll C. (1941), *studien zur vergleichenden Geographie der Hochgebirge der Erde* (Bonner Mitteilungen, Zurich)
- Vuille M., Bradley R. S., Werner M. & Keimig F. (2003), *20th century climate change in the tropical Andes: observations and model results*
- Wagnon P., Ribstein P., Francou B. & Sicart J. E. (2001), *Anomalous heat and mass budget of Zongo Glacier, Bolivia, during the 1997-98 El Nino year*, Vol. 47 (Journal of Glaciology), 21-28
- WGMS. (2007), *Submission of Glacier Fluctuation Data to the World Glacier Monitoring Service General Guidelines and Attribute Descriptions* (World Glacier Monitoring Service, Zurich)
- (2009), *Glacier mass balance bulletin* (Bulletin N10 (2006-2007))

MODELO GEOMÉTRICO Y CARACTERIZACIÓN ESPECTRAL
DE TUBOS FLUORESCENTES DE LUZ ULTRAVIOLETA

GEOMETRICAL MODEL AND SPECTRAL CHARACTERIZATION
OF FLUORESCENT TUBES EMITTING ULTRAVIOLET LIGHT

EMILIANA JUANIQUINA, FRANCESCO ZARATTI, FLAVIO GHEZZI, FERNANDO VELARDE, & A. R. TICONA BUSTILLOS[†]

Laboratorio de Física de la Atmósfera
Instituto de Investigaciones Físicas, Carrera de Física
Universidad Mayor de San Andrés
c. 27 Cota-Cota, Campus Universitario, Casilla de Correos 8639
La Paz – Bolivia
(Recibido 1 de Marzo de 2011; aceptado 9 de Julio de 2012)

RESUMEN

La radiación de las lámparas ultravioleta, del tipo usado en las camas solares de centros de belleza, es medida y caracterizada usando técnicas espectrales y métodos de dosimetría. Se observa la presencia significativa de radiación ultravioleta B, la cual representa un peligro en su uso en el caso de no tener un control en el tiempo de exposición. Usando el principio de superposición se desarrolla un modelo computacional que toma en cuenta los datos medidos y nos permite calcular el efecto combinado de varias lámparas según la geometría en la que dichas lámparas están dispuestas.

Descriptores: Evaluación de dosimetría/exposición (radiación UV) — simulación computacional (en física médica)

Código(s) PACS: 87.50.up, 87.64.Aa

ABSTRACT

The radiation from ultraviolet lamps, of the type used in sun beds, is measured and characterised using spectral and dosimetric techniques. We observe the significant presence of ultraviolet B radiation which represents a danger to health if time exposure is uncontrolled. Using the superposition principle we developed a computational model which takes the measured radiation data of one lamp and calculates the combined effect of many lamps and geometries that make up potential systems such as sun beds.

Subject headings: Dosimetry/exposure assessment of UV radiation — Computer simulation (in medical physics)

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día existen en Bolivia muchos sectores e industrias que usan fuentes artificiales de luz Ultra Violeta (UV), por ejemplo soldadores, radiólogos, las curtiembres, etc. A pesar de esto, nuestro país no dispone de una ley relacionada al uso de dichas fuentes. Por eso es esencial realizar un análisis espectral y de dosis de las fuentes de radiación UV que nos permita regular su uso (Camacho 2001; Zuluaga 2009). Uno de las mayores aplicaciones de la radiación UV está en la fabricación de camas y duchas solares.

Las camas solares nos brindan una forma controlada de radiación, mediante la cual podemos broncear nuestra piel, a diferencia de la radiación solar que presenta prácticamente todo el espectro de energías. Sin embargo, el mal uso en los tiempos de

exposición podría resultar en un daño, si no tomamos en cuenta algunos factores que caracterizan a la radiación emitida por estas, así como la interacción de dicha radiación con nuestra piel (Martin et al. 1999).

El principal efecto de bronceado en la piel es producido por la radiación Ultra Violeta A (UVA), por lo cual las lámparas usadas solo deberían emitir este tipo de radiación. Lamentablemente una lámpara que solo emita este tipo de radiación es simplemente un modelo idealizado, ya que debido a diferentes circunstancias técnicas, es imposible que solo se produzca un solo tipo de radiación de manera controlada, por lo que podemos encontrar otros tipos de radiación como la Ultra Violeta B (UVB), la cual puede ser muy nociva para nuestra piel ya que produce diferentes daños en ésta (Miyamura et al. 2011).

Por otro lado, la presencia de radiación UVB en la emisión de estas lámparas, las hacen muy útiles para otras aplicaciones como en biología y ciencias de

[†] aticonab@fiumsa.edu.bo

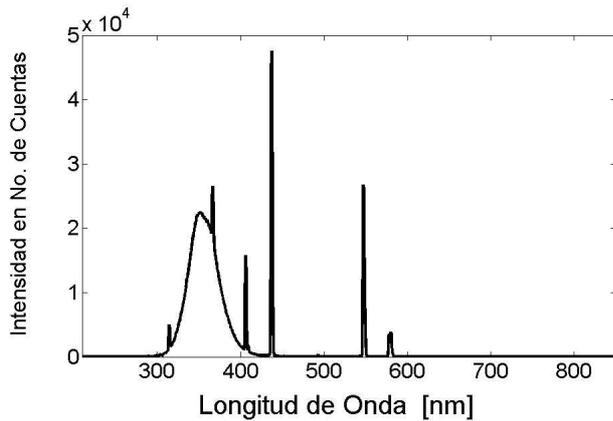


FIG. 1.— Espectro de una lámpara mostrando su intensidad en número de cuentas, en función a las longitudes de onda, medido por un espectro fotómetro Ocean Optics, en la parte central de la lámpara a 20 cm de su eje.

materiales; por ejemplo se han usado para simular en forma controlada condiciones externas en el estudio de resistencia de materiales o para observar diferentes cambios en el comportamiento de las plantas (Palenque et al. 2011).

En este trabajo presentamos un estudio de la radiación que caracteriza a las lámparas que son usadas en este tipo de camas en el mercado local. Estudiamos el espectro y la dosis de una de estas lámparas en función a la distancia radial a su eje, mostrando la cantidad relativa de las componentes en la radiación emitida por dicho tipo de lámparas.

Usando el principio de superposición, proponemos un modelo que nos permita calcular el efecto combinado de varias lámparas según la geometría en las que se encuentran dispuestas. Esto nos permite indicar la dosis y los tiempos máximos de exposición recomendables que corresponden a cada tipo de cama o ducha solar (Teikari 2007).

2. ESPECTRO Y DOSIS DE UNA LÁMPARA

Para estudiar el espectro de estas lámparas usamos en primera instancia un espectro fotómetro Ocean Optics USB 4000, el cual recibe luz a través de una fibra óptica. Este instrumento mide de 180 nm hasta a 900 nm, acumulando los datos en número de cuentas por canal, con un espacio de aproximadamente 0.2 nm entre canales, correspondientes a las longitudes de onda medidas. Esto nos permitiría eventualmente analizar el espectro correspondiente al Ultra Violeta (UV), visible y parte del Infrarrojo (IR). Las limitaciones de la fibra óptica cortan esta información desde aproximadamente el UVB, hasta parte del IR. Además, el uso de la fibra óptica presenta algunas restricciones geométricas, en primera lugar, el ángulo sólido de detección de una fibra cubre un espacio relativamente pequeño, lo cual limita sus datos (Martin et al. 1999); en segundo lugar, cada vez que realizamos una medida con este instrumento, debemos situarlo de manera perpendicular a la fuente que estamos midiendo, lo cual no es técnicamente sencillo, de otra manera por la restricción mencionada antes, los datos medidos serán

TABLA 1

DIVISIÓN DEL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO, EN FUNCIÓN A LA LONGITUD DE ONDA.

Tipo de Radiación	Longitudes de Onda [nm]
IR	750 - 1500
Visible	400 - 750
UVA	315 - 400
UVB	280 - 315
UVC	200 - 280

menores a los reales. Los datos obtenidos con este detector fueron comparados con los obtenidos por un espectro fotómetro Newport (OrielCat 78347), con el cual se obtuvieron los mismos resultados.

En la última década, la tecnología ha desarrollado dosímetros de UVA y UVB muy estables y de precios asequibles (Martin et al. 1999; Godar 2005). En segunda instancia medimos la dosis de estas lámparas usando un dosímetro Gigahertz OptikXD-9501-4, cuyo cabezal contiene dos sensores que pueden medir la UVA y UVB simultáneamente. Dicho cabezal es plano y situado en el propio instrumento, esto facilita mucho su uso, ya que su ángulo sólido de detección es muy amplio y su colocación, en forma perpendicular con respecto a la fuente, es relativamente sencilla.

Una de las lámparas de bronceado artificial más comunes y usadas en el mercado boliviano por los salones de belleza es la Wolff Velocity de 80 W de potencia, con 3.80 cm de diámetro y 150 cm de longitud.

Para realizar las medidas, se sitúa la lámpara horizontalmente en una mesa óptica, en un ambiente oscurecido, con paredes negras y con muy poca reflexión, así realizamos las medidas sobre el eje radial de la lámpara, con ambos detectores.

La figura 1 muestra el espectro que es obtenido por el espectro fotómetro Ocean Optics al medir la radiación de una de estas lámparas solares. Podemos observar la región del espectro que tiene mayor intensidad, así como también algunos picos característicos de estas lámparas debido al gas que usan éstas y el revestimiento del tubo.

Para el estudio del espectro se usan protocolos bien establecidos (EUROPEAN-COMMISSION 2005; IEC-1228 1996; Gerber et al. 2002). En la Tabla 1 podemos observar la división del espectro electromagnético, en función a la longitud de onda.

En la figura 2 podemos observar un estudio comparativo del espectro de la figura 1 y el ruido de fondo obtenido bajo las mismas condiciones de medida del caso anterior, pero con la lámpara apagada. Para notar mejor las diferencias, en esta figura mostramos el logaritmo natural de la intensidad.

Observamos que cuando la lámpara es encendida se notan cambios desde aproximadamente los 280 nm hasta los 700 nm, esto implica que su espectro se extiende desde la radiación UVB hasta parte del visible, siendo mucho más intensa en la parte del UVA, como era de esperarse en este tipo de lámparas. La contribución de radiación Infrarrojo (IR) solo se nota en los datos de los puntos muy cercanos a los extremos, donde se encuentran los bornes eléctricos,

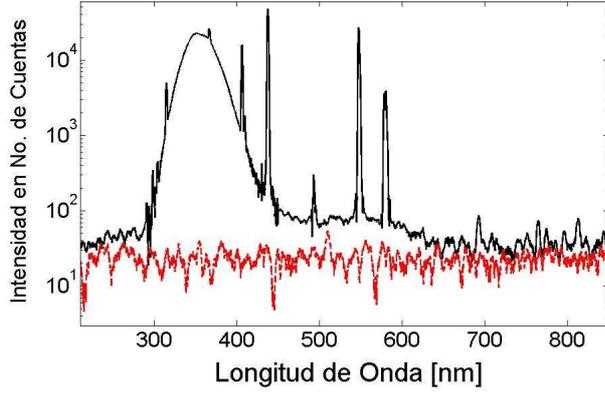


FIG. 2.— Espectro de una lámpara mostrando el logaritmo de su intensidad en número de cuentas, junto a la radiación de fondo medida bajo las mismas condiciones de la figura 1. pero esto no corresponde a la radiación emitida por la lámpara, por esta razón no tomaremos en cuenta esta parte del espectro en nuestro análisis.

Una vez que tenemos diferenciadas las bandas del espectro que nos interesan en el presente estudio, podemos caracterizar su contribución en la emisión de estas lámparas. Un importante resultado es obtenido al estudiar la radiación en función a la distancia. En la figura 3 podemos observar el comportamiento de las componentes UVA y UVB con respecto a la lámpara, medidas sobre el eje radial de dicha lámpara, en su parte central.

El mismo análisis puede ser realizado con el dosímetro, este comportamiento puede ser observado en la figura 4, donde se muestra el comportamiento de la dosis en función a la distancia.

Para tener una idea de los datos obtenidos con el dosímetro, presentamos dos ejemplos:

1. La dosis del sol a medio día tiene una dosis de 45.7 W/m^2 para UVA y 1 W/m^2 para UVB, esto a una altura 2750 m sobre el nivel del mar en un día completamente soleado de octubre (29/10/2009).
2. Una ducha solar moderna de 5 tubos (cada uno de 160 W) al nivel de la piel (30 cm) es de 194 W/m^2 de UVA y 2.1 W/m^2 de UVB (Soria 2010).

En las figuras 3 y 4 podemos observar que el comportamiento de la radiación con respecto a la distancia obedece, en su mayor parte, una ley de potencia con exponente -1 , para los cuatro casos mostrados en estas figuras. Esto corresponde al comportamiento de la intensidad de la radiación emitida por un hilo cargado infinito. En el caso de la lámpara este comportamiento se debe a dos factores, primero, como habíamos mencionado, el ángulo sólido de detección de estos detectores son restringidos, lo cual hace que no puedan observar la lámpara entera, entonces desde el punto de vista de estos detectores la lámpara es infinita; en segundo lugar, como el diámetro de la lámpara es relativamente pequeño, a cierta distancia se asemeja a un hilo muy delgado. A distancias pequeñas de la lámpara si se nota el volumen real de ésta, lo cual hace que el comportamiento descrito anteriormente ya no sea válido.

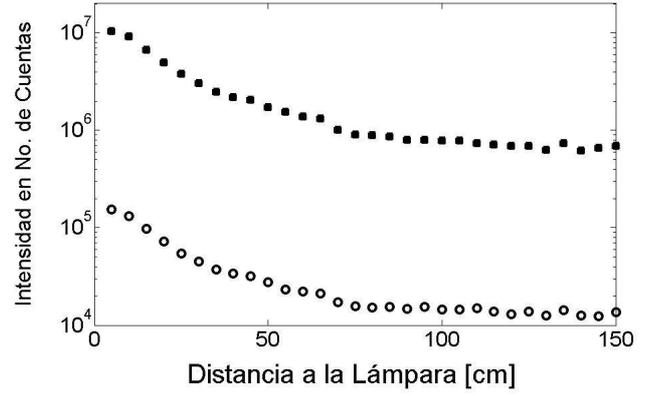


FIG. 3.— Comportamiento de la intensidad de la radiación, medida con respecto a la distancia sobre el eje radial (centro de la lámpara). Los cuadrados (parte superior) corresponden a radiación UVA y los círculos (parte inferior) a la radiación UVB.

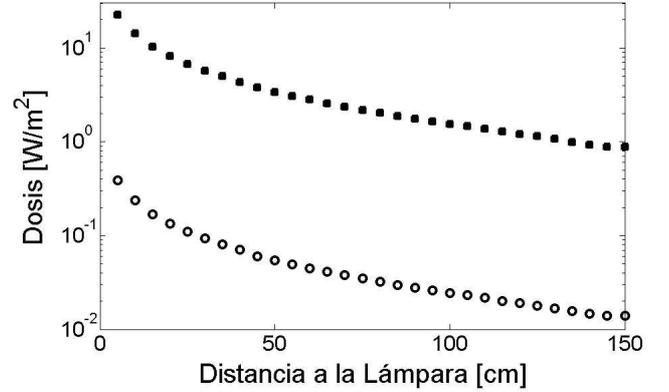


FIG. 4.— Comportamiento de la dosis de la radiación, medida con respecto a la distancia sobre el eje radial (centro de la lámpara). Los cuadrados (parte superior) corresponden a radiación UVA y los círculos (parte inferior) a la radiación UVB.

Por su parte la componente visible de la lámpara también presenta el mismo comportamiento.

Considerando que estos comportamientos son similares podemos determinar un factor de conversión entre los datos de ambos equipos, con lo cual tenemos todos los resultados en unidades de W/m^2 . El factor obtenido al comparar los puntos de ambas figuras es de $(5.12 \pm 0.09) \times 10^5$. La mayor contribución al error en la determinación de este factor, se debe a los datos obtenidos con la fibra óptica, como se observa en la figura 3. Como habíamos mencionado existe mucha dificultad técnica al acomodar la fibra en forma perpendicular a la lámpara.

3. ESPECTRO DE ACCIÓN

El efecto de la radiación electromagnética sobre la piel es más nocivo para altas energías, este efecto está cuantificado en el llamado espectro de acción. Existen diferentes definiciones para este espectro de acción, nosotros usamos la definición SIE que nos da un índice dado por (IEC-1228 1996):

$$I_{UV} = \frac{1}{25 \frac{\text{mW}}{\text{m}^2}} \int_{286.5 \text{ nm}}^{400 \text{ nm}} I(\lambda) \cdot w(\lambda) \cdot d\lambda. \quad (1)$$

Donde I representa la intensidad de la radiación,

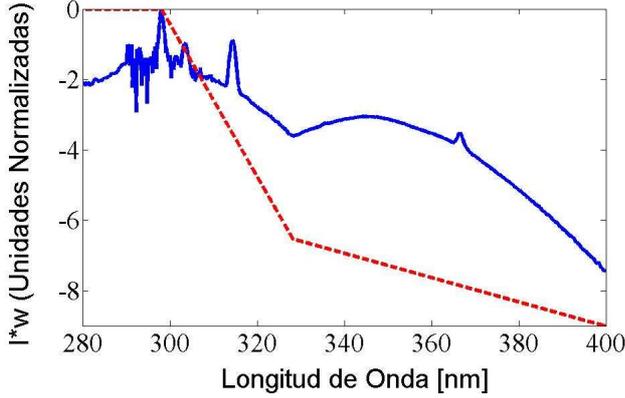


FIG. 5.— Comportamiento de $I(\lambda) \cdot w(\lambda)$. La línea punteada toma $I = 1$. La línea continua toma los valores de I medidos para la lámpara, los cuales fueron mostrados en la figura 1, estos se encuentran normalizados para una fácil comparación. El resultado se muestra en escala logarítmica.

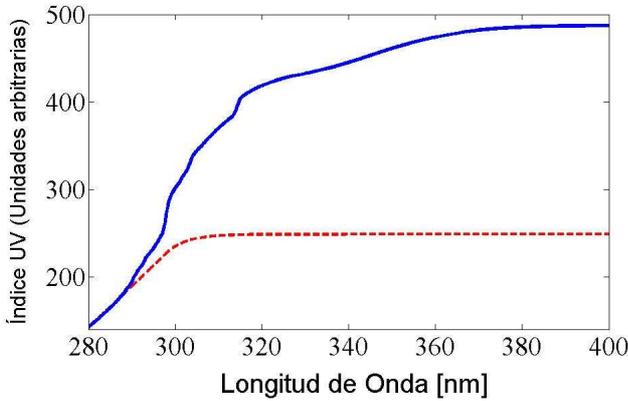


FIG. 6.— Índice UV (espectro de acción, definición SIE). La línea punteada toma $I=1$. La línea continua toma los valores de I medidos para la lámpara. Las unidades son arbitrarias para una fácil comparación.

λ la longitud de onda y w es la ponderación del efecto de la radiación en función a su longitud de onda, dada por:

$$w(\lambda) = \begin{cases} 1 & 250 < \lambda \leq 298 \\ 10^{0.094(298-\lambda)} & 298 < \lambda \leq 328 \\ 10^{0.015(139-\lambda)} & 328 < \lambda \leq 400 \\ 0 & 400 < \lambda \end{cases} \quad (2)$$

En la figura 5 graficamos el comportamiento de $I(\lambda) \cdot w(\lambda)$, primero tomamos el valor de $I = 1$ y comparamos este resultado con el obtenido para la lámpara, considerando las intensidades de la figura 1, para poder comparar estos resultados, normalizamos los resultados obtenidos para la lámpara. Para tener una mejor idea de este resultado mostramos el logaritmo natural de $I(\lambda) \cdot w(\lambda)$.

Como podemos observar en la figura 5, la contribución de radiación nociva es bastante importante en la radiación emitida por estas lámparas. Lamentablemente, las restricciones de la fibra óptica solo nos permiten apreciar medidas a partir de aproximadamente 290 nm , esto no significa que la lámpara no emita radiación con longitudes de onda

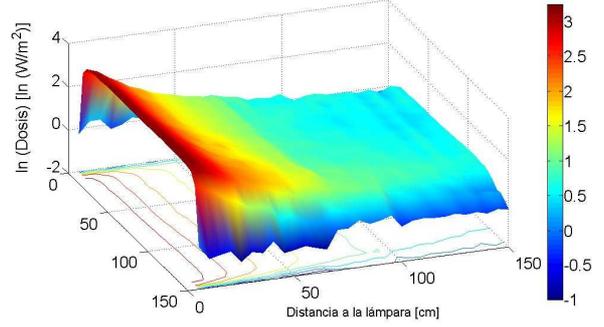


FIG. 7.— Dosis medida de la radiación emitida por la lámpara (en escala logarítmica), en función a la distancia de la lámpara y al eje paralelo a la lámpara. (Figura a color online).

inferiores, lo cual incrementa aun mas, el riesgo en el uso no controlado de estas lámparas.

En la figura 6 observamos el índice UV calculado para la lámpara, usando las ecuaciones 1 y 2, para comparación se muestra el índice considerando la intensidad igual a 1, las unidades son arbitrarias, para que pueda compararse los comportamientos. A pesar que para ambas curvas comienzan en el mismo valor para 280 nm (esto debido a la manipulación intencional de las unidades), se nota claramente, que la radiación UVB tiene una contribución bastante importante, lo cual demuestra nuevamente lo peligroso que podría resultar el uso de estas lámparas, como habíamos mencionado antes.

4. DEPENDENCIA DE LA RADIACIÓN CON LA DISTANCIA

Para poder estudiar los posibles impactos de este tipo de lámparas sobre un cuerpo dentro de una cama solar, estudiamos el comportamiento de la intensidad de la radiación emitida en función a la distancia.

Tomamos medidas a lo largo de un eje paralelo al eje radial de la lámpara con espacios de 5 cm entre cada medida. Comenzamos a una distancia de 5 cm de la lámpara y luego repetimos este procedimiento a cada 5 cm hasta alcanzar los 150 cm de distancia al tubo. Esto nos permite estudiar las distancias importantes de uso de estas lámparas, ya que en una cama solar, la persona no se encuentra a una distancia mayor a las mencionadas.

En la figura 7 observamos la intensidad de la radiación total de la lámpara medida a diferentes distancias, mostradas en el eje horizontal de la izquierda (profundidad en la figura); en el eje horizontal de la derecha tenemos las distancias paralelas a la lámpara medida en centímetros. El eje vertical y las diferencias de colores nos muestran la dosis de la radiación, la cual fue obtenida usando el factor de corrección entre cuentas y dosis, calculado en la segunda parte de este trabajo. Para que pueda apreciarse con mayor claridad la mostramos en escala logarítmica. Vale la pena recalcar que para esta figura solo usamos las contribuciones de UVB, UVA y visible, por lo explicado con anterioridad, con respecto a la sensibilidad de la fibra óptica.

Como podíamos esperar, la intensidad se reduce aproximadamente 20 veces, desde los 5 cm hasta los

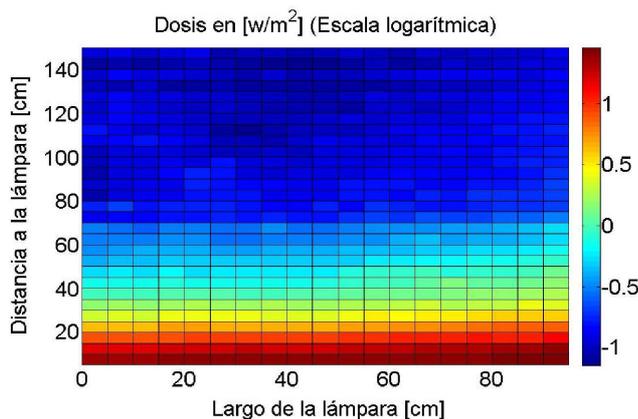


FIG. 8.— Dosis medida de la radiación visible emitida por la lámpara (en escala logarítmica), en función a la distancia de la lámpara y al eje paralelo a la lámpara. (Figura a color online).

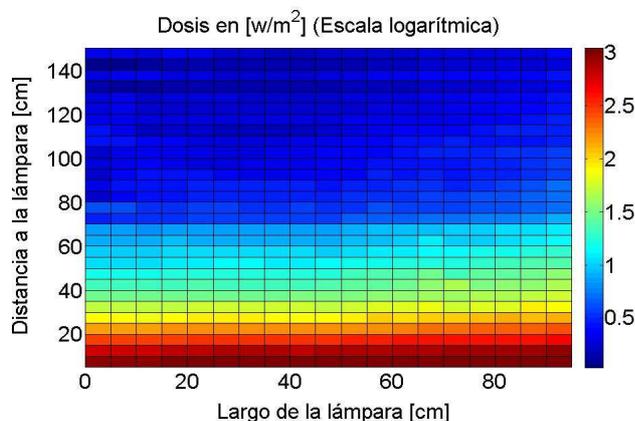


FIG. 9.— Dosis medida de la radiación UVA emitida por la lámpara (en escala logarítmica), en función a la distancia de la lámpara y al eje paralelo a la lámpara. (Figura a color online).

150 *cm* de distancia hacia la lámpara. La sensibilidad del espectro fotómetro, nos permite observar algunas irregularidades en los extremos de la figura, debido a algunos reflejos en las paredes.

Para el resto de nuestro análisis consideramos solo la parte más intensa de la lámpara, que corresponde a los 100 centímetros centrales. Como se puede apreciar en la figura 7, en los extremos, es decir 25 *cm* de cada extremo, los efectos de borde hacen que la intensidad de la radiación emitida sea menor, dándonos valores menores a los que serán mostrados a continuación.

Podemos analizar por separado las contribuciones importantes del espectro de la lámpara y estudiar su comportamiento en función a la distancia. En la figura 8 analizamos el comportamiento de la parte visible del espectro de la lámpara.

El comportamiento es el esperado, mostrando prácticamente el mismo patrón que la figura de la intensidad total. De igual manera podemos analizar la contribución de la radiación UVA, en función a la distancia en la figura 9. El comportamiento es el mismo que el observado en las figuras 7 y 8.

Finalmente podemos realizar el mismo tipo de análisis con la componente UVB, la cual, como ya

TABLA 2

PORCENTAJE PROMEDIO DE CADA TIPO DE RADIACIÓN.

Tipo de Radiación	Porcentaje
UVB	1.4 ± 0.3
UVA	78.8 ± 0.1
Visible	19.8 ± 0.1

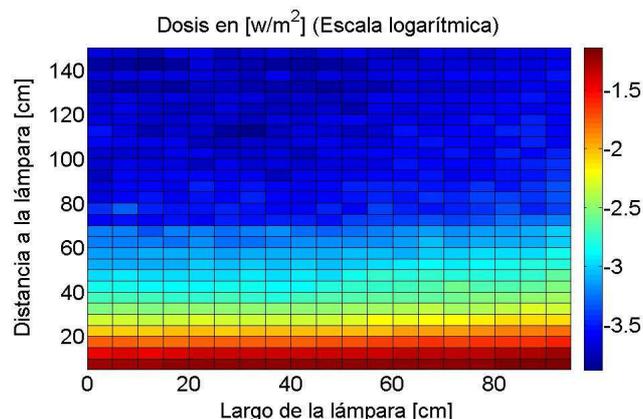


FIG. 10.— Dosis medida de la radiación UVB emitida por la lámpara (en escala logarítmica), en función a la distancia de la lámpara y al eje paralelo a la lámpara. (Figura a color online).

habíamos mencionado, presenta un efecto nocivo para la piel. En la figura 10 observamos la intensidad de esta radiación en función a la distancia al tubo. Como podemos observar, la contribución de esta radiación no es despreciable.

Podemos obtener el porcentaje de cada una de estas tres contribuciones para cada punto donde realizamos la medición, este porcentaje es aproximadamente constante para todos los puntos donde se realizaron estas medidas, los valores son mostrados en la tabla 2.

5. MODELO GEOMÉTRICO

En una cama o en una ducha solar, se tiene un arreglo de varias lámparas actuando al mismo tiempo. Debido a las dificultades mencionadas antes, con respecto a las restricciones geométricas que tienen los sensores lo cual ya fue reportado por Martín et al. (1999), resulta muy difícil realizar una medida del efecto combinado de todas estas lámparas.

Una vez que tenemos datos medidos para una lámpara, podemos usar el principio de superposición para poder determinar el efecto combinado de varias lámparas. Nuestro modelo parte de un determinado arreglo de lámparas, para lo cual necesitamos las posiciones de cada lámpara y además podemos considerar la intensidad de cada lámpara. Ya que tenemos caracterizado todo el espectro y el comportamiento de la intensidad de la radiación en función de la distancia, prácticamente para cualquier punto cercano a la lámpara, ahora resulta muy sencillo rehacer un mapeo completo del comportamiento para cualquier intensidad medida en cualquiera de estos puntos.

Una vez que se tienen caracterizadas las lámparas,

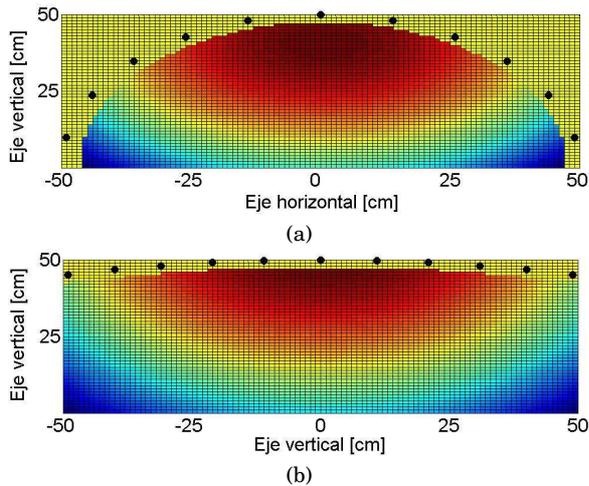


FIG. 11.— Corte transversal de una determinada distribución de lámparas (tipo cama solar). Se muestra la intensidad de la radiación en función a la posición. (a) Distribución cerrada. (b) Distribución abierta. (Figura a color online).

podemos considerar cualquier punto cercano a estas y calcular cual es la intensidad de radiación que este punto está recibiendo de la configuración de lámparas. De esta manera podemos calcular el tiempo de exposición que se requiere, según el objetivo para el cual se utiliza una determinada configuración.

En la figura 11 mostramos un barrido completo para posiciones cercanas a dos determinados arreglos geométricos de lámparas, tipo camas solares. Realizamos un corte transversal en la posición central de las lámparas donde, como habíamos mencionado, se tiene una mayor intensidad de radiación.

En la figura 11(a) se muestra un arreglo bastante cerrado lo cual hace que la intensidad de radiación, sea demasiado alta casi en todos los puntos cercanos a esta configuración, además notamos una distribución poco homogénea, lo cual representaría un peligro en una cama solar, ya que ciertos puntos quedan más expuestos que otros, lo cual daría como resultado un bronceado no uniforme. Por su parte los resultados mostrados en la figura 11(b) corresponden a una configuración menos cerrada, lo cual da una distribución de la radiación, menos localizada y a una distancia de uso típica en una cama solar, presentaría un bronceado más uniforme.

6. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

La razón del uso de una cama solar, es obtener un bronceado rápido y controlado. Podemos observar en las figuras 1 y 2 así como también en la tabla 2, que existe una pequeña contribución de radiación UVB, en la radiación emitida por estas lámparas. Debido al tipo de daño que se puede producir con este tipo de radiación, aún esta pequeña contribución, es muy importante en comparación al resto de la radiación UVA, como mostramos en las figura 5 y 6.

Está claro que este tipo de lámparas son muy eficientes en la emisión de radiación UVA, por lo tanto son muy eficientes en el bronceado, como pudimos observarlo en las figura 9, de todos modos, se debe tener cuidado con el tipo de lámparas, controlando los tiempos de exposición en base al espectro de acción de estas.

El modelo presentado en este trabajo, también puede ser usado para el control en el tiempo de exposición, ya que nos da en forma sencilla una buena aproximación, a la intensidad total a la que una persona está expuesta en este tipo de camas. Además podemos usar este mismo modelo para otro tipo de aplicaciones, por ejemplo en muchos casos se usan estas mismas lámparas, para simular en laboratorio el comportamiento de plantas o animales expuestos a este tipo de radiación. Entonces podemos determinar una configuración más eficiente para una determinada aplicación. Es sencillo, con el uso de este modelo, simular sectores menos expuestos, debido a sombras u obstáculos que se presentan en un determinado ambiente, así tenemos control de cuanta radiación recibe cada porción de un determinado objeto.

Finalmente podemos decir que el método y modelo desarrollado en este trabajo se puede aplicar a otras fuentes artificiales usadas en otras industrias.

AGRADECIMIENTOS

Ma. Lourdes Soria M. y su centro de belleza Svelta Cochabamba por su ayuda e interés en un bronceado artificial saludable.

Eduardo Palenque por sus comentarios y observaciones sobre este trabajo.

REFERENCIAS

Camacho F. (2001), *Revista internacional de dermatología y dermo cosmética*, **4** (7), 441
 EUROPEAN-COMMISSION (2005), *Opinion on Biological effects of ultraviolet radiation relevant to health with particular reference to sun beds for cosmetic purposes* (SCCP/0949/05)
 Gerber B., Matiz P., Moser M., Bressoud D. & Braun-Fahrlander C. (2002), *Photochemistry and Photobiology*, **76** (6), 664
 Godar D. E. (2005), *Photochemistry and Photobiology*, **81**, 736
 IEC-1228 (1996), *amendment 1*
 Martin C. J., Currie G. D. & Pye S. D. (1999), *Phys. Med. Biol.*, **44**, 843
 Miyamura Y. & et al. (2011), *Pigment Cell Melanoma Res.*, **24** (1), 136
 Palenque E. R., Ghezzi F. & Vargas C. (2011), *Revista Boliviana de Física*, **18**, 17
 Soria M. L. (2010), *Centro de belleza Svelta Cochabamba*
 Teikari P. (2007), *Light Pollution* (Universitat Tècnica Catalunya)
 Zuluaga A. (2009), *Rev. Asoc. Colomb. Dermatol.*, **17**, 205

CORRELACIÓN DE LA ACTIVIDAD SOLAR CON LOS EXPERIMENTOS NM64 Y LAGO

SOLAR ACTIVITY CORRALITION WITH THE EXPERIMENTS NM64 AND LAGO

VLADIMIR ROGER MIRANDA LA HERA†

Instituto de Investigaciones Físicas, Carrera de Física
Universidad Mayor de San Andrés
c. 27 Cota-Cota, Campus Universitario, Casilla de Correos 8639
La Paz – Bolivia

RESUMEN

En este trabajo se analizan los datos correspondientes al flujo de neutrones provenientes del Sol registrados por el Monitor de Neutrones NM64, y por el experimento LAGO, que es sensible a rayos gamma. Durante este periodo (marzo-mayo, 2012) ocurrieron dos destellos solares moderados de magnitudes M8.4 (10 de marzo) y M7.9 (13 de marzo) que estuvieron en el campo de visión de Chacaltaya (La Paz, Bolivia). El análisis de datos que se presenta en este trabajo - realizado en Laboratorio de Física Cósmica de Chacaltaya - tiene por objeto estudiar el efecto de la actividad solar sobre dicho flujo de neutrones (se conoce bien la anticorrelación que existe entre la actividad solar y el flujo de neutrones cósmicos que llegan a la Tierra). Se concluye que los registros de ambos experimentos no muestran efecto alguno, mientras el análisis del flujo de partículas en ambos detectores muestra anticorrelación con las manchas solares.

Descriptor: Manchas y ciclos solares — Emisión de partículas y viento solar — Actividad solar

Código(s) PACS: 96.60.qd, 96.60.Vg, 96.60.Q-

ABSTRACT

We analyze the data corresponding to the neutron flux as registered by the Neutron Monitor NM64 which detects neutrons emitted by the Sun, and by the LAGO experiment which is sensible to gamma rays. During this period (March-May 2012) two solar bursts occurred with magnitudes M8.4 (March 10) and M7.9 (March 13) which were within the range of Mount Chacaltaya (La Paz, Bolivia). The data analysis presented in this work (carried out in the Chacaltaya Cosmic Physics Laboratory) is aimed at studying the effect of the solar activity upon the neutron flux, for which the anticorrelation between the solar activity and the neutron flux is well known. We conclude that, while the records of both experiments do not show effects, the analysis of the particles' flux upon both detectors show anticorrelation with the solar spots.

Subject headings: Sun spots and solar cycles — Particle emission and solar wind — Solar activity

1. INTRODUCCIÓN

El Sol es el único acelerador de iones al que se tiene acceso, la aceleración de iones es tan elevada que puede acelerar iones a energías relativistas ($\sim 1\text{GeV}$), en la actualidad se elaboran distintos estudios a causa de las fulguraciones solares (manchas solares, erupción solar, etc) que tiene y por los niveles de energía capaz de producir. También, libera explosiones de energía conocidas como destellos o erupciones solares que se asocian a violentas explosiones en la fotosfera del Sol, estos se dan en la corona y cromosfera solar, teniendo en la mayoría de

los eventos el origen alrededor de manchas solares (Watanabe & et al. 2003). Un destello solar es capaz de liberar en pocos minutos alrededor de 10^{29} - 10^{33} ergs de energía en forma de radiación electromagnética y aceleración de partículas.

Durante un destello solar se producen distintos tipos de partículas de iones y electrones, además partículas neutras, protones y otros, sin embargo para evitar la complejidad que se genera por los campos magnéticos solo se estudian partículas neutras, en especial neutrones (n), espectros de rayos gamma (γ) y neutrinos producidos por la interacción de partículas aceleradas junto con la atmósfera solar. Estas partículas son capaces de viajar directa-

†Email: vladimirmh@hotmail.com

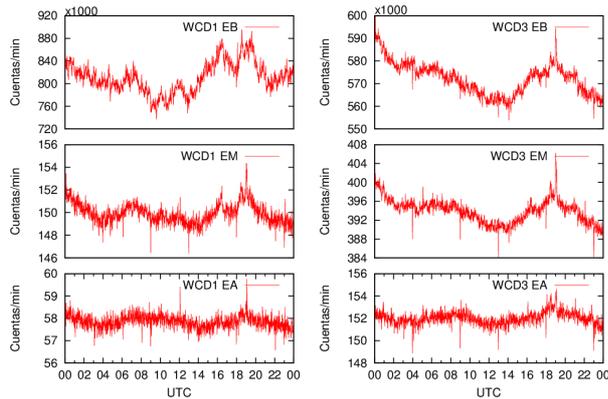


FIG. 1.— Datos correspondientes al 10 de abril de 2012 en LAGO. La izquierda corresponde al detector de $2 m^2$, a la derecha se encuentra el detector de $4 m^2$

mente a la Tierra sin ser desviados, dando como resultado la oportunidad de obtener información sobre su aceleración, densidad de partículas, nivel de energía, etc; de manera que se observa una ventaja al estudiar partículas neutras (Sako & et al. 2006). Si bien, el estudio de los neutrinos es descartado por su dificultad de observación experimental, es posible estudiar los n y γ .

En el Laboratorio de Física Cósmica de Chacaltaya se encuentran instalados detectores capaces de poder estudiar las partículas. Los neutrones son estudiados por el monitor de neutrones, formado por 12 detectores del tipo NM64 (Neutron Monitor 64 por sus siglas en inglés) cubre un área de $13.1 m^2$. Por otro parte, los rayos γ se esperan detectar en el experimento LAGO (Large Array GRB Observatory por sus siglas en inglés) formado de 3 WCD (Water Cherenkov Detector), el WCD1 posee un diámetro y altura de $1.4 m$; mientras que los otros dos detectores son de $2.2 m$ y tienen $1.5 m$ de altura instalados en las esquinas del área de $15 m \times 10 m$, estos discriminan tres umbrales de energía de 4.4 , 8.9 y $44 MeV$ (Para facilidad de los umbrales, es tomado de aquí en adelante a $EB = 4.4$, $EM = 8.9$ y $EA = 44$, estos corresponden a energías baja, media y alta). Los datos de ambos experimentos se acumulan en distintos lapsos de tiempo, el NM64 registra ritmos de conteo con intervalos de $10 s$; mientras que LAGO corresponde a intervalos de $5 ms$ para cada dato. En las figuras (1) y (2) se muestra el registro típico diario de los experimentos, en la primera se observan los umbrales de los WCD1 y WCD3; mientras que en la segunda se dispone solo una figura con la suma de los 12 detectores NM64.

En general, los neutrones relativísticos solares ya fueron observados y estudiados en todas sus características por el NM64 (hoy en día es tomado como parámetro de referencia) en los destellos solares, sin embargo para manchas solares se espera que presente un comportamiento similar a la figura (3), en cambio para LAGO no se han detectado los γ de energía solar que puedan ser correlacionados con neutrones. En vista que el NM64 ya demostró su sensibilidad en los destellos solares, en la presente investigación se busca encontrar una sensibilidad seme-

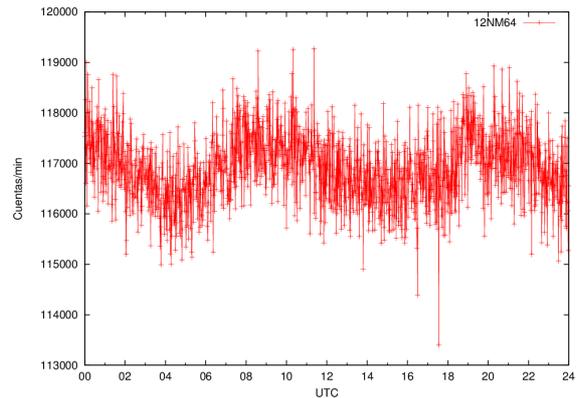


FIG. 2.— Datos correspondientes al 10 de abril de 2012 del NM64

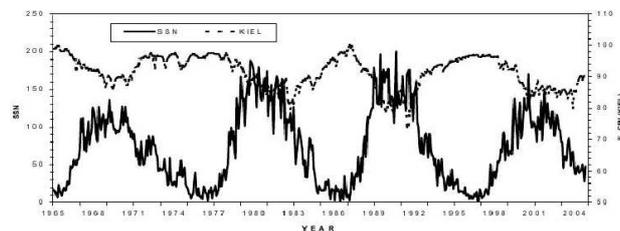


FIG. 3.— Variación de intensidad a largo plazo del monitor de neutrones Kiel (Curva superior) con las manchas solares del 1965-2004 (Curva inferior)(Gupta & et al. 2005)

jante en el experimento LAGO, donde en ambos casos se tenga incrementos que duren más de 5 minutos como consecuencia de un destello solar y además permitan conocer el comportamiento de estos hacia las manchas solares.

2. TRATAMIENTO DE DATOS

Los datos de los experimentos NM64 y LAGO se han reducido a cuentas por minuto en archivos diarios de ambos experimentos, al acumular los datos se vió que existe falta de algunos datos, como resultado las interrupciones alcanzan el 30% de los 90 días estudiados.

En este sentido, se construyó un programa que interpola los datos faltantes a lo largo de un día, luego se elabora un promedio que se encuentre dentro del margen y complete los datos. Posteriormente, con los datos completos se suman satisfactoriamente llevando a minutos. Cabe recalcar que esto solo comprende al tiempo de los experimentos, en cambio con los datos del flujo de partículas se debe elaborar un distinto manejo dependiendo del caso. Es decir, los datos del NM64 comprenden la suma de 12 detectores aportando 1 resultado, en cambio los datos de LAGO corresponden a 3 detectores con 3 diferentes umbrales cada uno, en consecuencia proporciona cerca de 9 resultados diferentes.

Buscando una solución analítica (Figura (1)) para LAGO, se muestra en la figura los resultados de los detectores WCD1 y WCD3 (Por la semejanza del WCD2 con el WCD3 solo se toma en cuenta a WCD3 ya que ambos tienen $4 m^2$) en minutos, en general se observan distintos niveles de cuentas para las distintas energías, sin embargo, recurriendo a otros tra-

masa [u.m.a]	1.0086649156
$m_n - m_p$ [u.m.a]	0.0013884487
vida media , τ [s]	885.5 \pm 0.8
carga , $[q_e]$	(-0.4 \pm 0.1) $\times 10^{-21}$

TABLA 1
CONSTANTES FÍSICAS DEL NEUTRÓN n

bajos (Rivera 2007), se vió que el WCD1 es el mas eficiente, por lo que se utiliza los resultados del contador WCD1 con el nivel de energía más bajo EB y que presentarían resultados que se ajustan a la actividad solar que se pretende medir.

Para la corrección del flujo de partículas fue necesario elaborar una determinada limpieza siempre que se observan datos sobresalientes a causa del ruido generado, estos se reducen por interpolación. No obstante, en ausencia de datos de días prolongados no es posible utilizar un programa para recrear los datos, puesto que en muchas ocasiones mostraron que los datos corregidos no respondían al comportamiento real de los detectores, en consecuencia estos datos se anularon.

Finalmente, se debe mencionar que los datos utilizados en este tratamiento corresponden a los datos de marzo, abril y mayo de 2012.

3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO SOBRE EL FLUJO DE NEUTRONES

El flujo de neutrones solares observado cerca de la Tierra y sobre el suelo es muy pequeño, debido al corto tiempo de vida de los neutrones (Ver tabla 1) y a la atenuación atmosférica terrestre. Si bien los neutrones solares no poseen carga y no son afectados por campos magnéticos a lo largo de su camino a la Tierra, su observación debe involucrar la detección de partículas secundarias producidas por interacciones con otras partículas. Como el tiempo de producción de neutrones solares cerca de la superficie del Sol puede ser determinado por mediciones de sus energías, los detectores de neutrones deben ser capaces de medir energías de neutrones (Lopez 2008). Si bien en el espacio, es posible detectar neutrones de baja energía, en ausencia de materia su flujo es atenuado solamente por su decaimiento, mientras que en la Tierra, los neutrones de baja energía son fuertemente atenuados por la atmósfera terrestre por lo que es necesario colocar detectores de neutrones en montañas a gran altura. De esta manera, los neutrones después de ingresar a la atmósfera terrestre, ciertos neutrones son dispersados por núcleos atmosféricos mientras que otros neutrones de baja energía son producidos como resultado de la interacción de la atmósfera con otras partículas.

El experimento NM64 consiste principalmente de cuatro partes; el reflector, productor, moderador y contador. El reflector es una caja construido con láminas de 7.5 cm de espesor de polietileno, se encarga de rechazar los neutrones de baja energía producidos en la atmósfera y en las sustancias cercanas al monitor de neutrones. Un cilindro de plomo es usado como productor, el diametro es de 24.5 cm y espesor de 1.2 cm. Otro cilindro interno es usado

como moderador, es de polietileno de 2 cm de espesor para desacelerar neutrones hasta energías térmicas, el cual está localizado entre el contador y el productor. El contador es un tubo cilindrico de 288 cm de largo con BF3 está localizado dentro del productor.

Con los resultados del experimento, se hace un análisis estadístico que refleje el flujo de n de NM64 y pueda destacar numéricamente los hechos más llamativos que fueron encontrados. Para tal caso, en la población diaria de datos brutos se encuentran los coeficientes usualmente utilizados; la media y_m , desviación típica σ_t y el error E , S_t (ecuación (2)) corresponde a la suma total de los cuadrados de las diferencias entre la y medida y la media poblacional \bar{y} expresados a continuación.

$$y_m = \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N} \quad (1)$$

$$S_t = \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 \quad (2)$$

$$\sigma_t^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}{N} \quad (3)$$

$$E = \frac{\sigma_t}{\sqrt{N}} \quad (4)$$

$$y = y_m \pm E \quad (5)$$

Con E encontrado, se determina el y que corresponde a las cuentas del flujo, donde y_m es el valor que se encuentra al medio de los datos medidos. Esto nos ayuda a elaborar la corrección de los datos y encontrar el error (o dispersiones) al que se encuentra sujeto el flujo.

Con la finalidad de encontrar incrementos producidos por erupciones solares del orden de minutos trabajamos con muestras de datos en lugar de la población diaria, en consecuencia para este trabajo calculamos la *media variable* (ecuación (6)), permite encontrar un promedio para cada minuto de tal manera que se obtiene una gráfica que presenta el promedio. Encontrando la *media variable*, se procede a encontrar la varianza de la población por muestras (ecuación (7)); no obstante, es necesario obtener una desviación poblacional. Cabe recalcar cuando se presentan gráficas se utilizan los estadísticos muestrales y cuando se presentan resultados, corresponden a resultados poblacionales, en el presente trabajo n es de 30 y N de 1440 minutos.

$$\bar{y}_i = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{n} \quad (6)$$

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \bar{y})^2}{n} \quad (7)$$

Para continuar se debe minimizar la suma de los cuadrados de los residuos entre la y medida y la media variable \bar{y}_i como se muestra en la ecuación (8), obteniendo una línea única para la muestra que viene a representar por S_r .

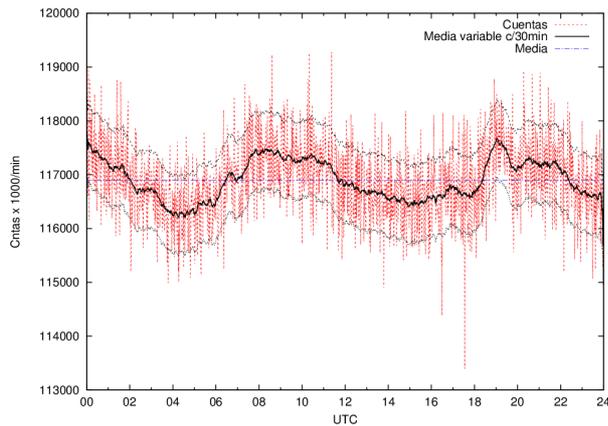


FIG. 4.— Registro del NM64 junto a su media variable y media, datos correspondientes al 10 de abril.

$$S_r = \sum (y_i - \bar{y}_i)^2 \quad (8)$$

La diferencia entre las cantidades, $S_t - S_r$, cuantifica la mejora o reducción del error por describir los datos en términos de una línea recta en vez de un promedio. Como la magnitud de esta cantidad depende de la escala, la diferencia se normaliza a S_t para obtener la ecuación (9), r^2 se conoce como el coeficiente de determinación y r como el coeficiente de correlación, esto ayuda a encontrar la media variable mejor ajustada a los datos.

$$r^2 = \frac{S_t - S_r}{S_t} \quad (9)$$

Alternativamente el coeficiente de correlación usado es:

$$r = \frac{N \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{N \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}} \quad (10)$$

Como resultado en la figura (4) para el NM64 se muestran en el eje horizontal las horas en UTC y en el eje vertical se encuentran las cuentas totales, media poblacional, media variable ($c/30min$) y medias variables desfasadas por $\pm\sigma$, la media variable persigue un comportamiento similar a los datos originales.

Para verificar la funcionalidad de las ecuaciones, la figura (5) muestra la distribución normal para la figura (4). La desviación típica resulta $\sigma = 715.27$ que se muestra en la figura (4) las líneas encima y debajo de la media variable, esto corresponde a un $r = 0.61$.

4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO SOBRE EL FLUJO DE GAMMAS

Los fotones gamma son conocidos como las emisiones más energéticas de radiación electromagnética que llegan en períodos de tiempo muy corto del orden de los segundos, estos se encuentran distribuidos de manera isotrópica y en promedio se puede ver un destello por día. Durante el seguimiento de las erupciones solares se detectan rayos gamma, tanto por satélites como por detectores en la tierra como los detectores WCD conocidos como detector de agua Cherenkov. Los WCD son

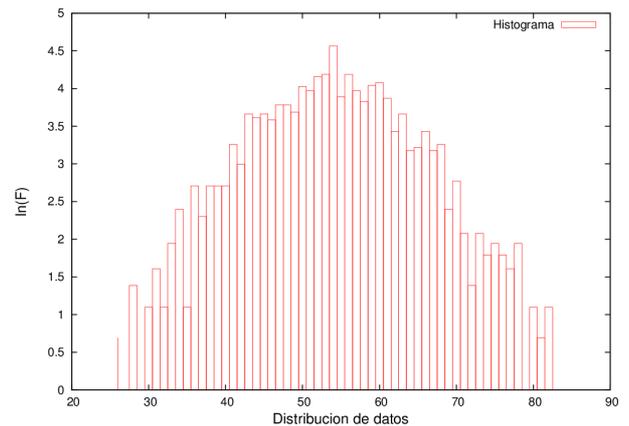


FIG. 5.— Gaussiana del NM64 para el 10 de abril alrededor de la media $\bar{y} = 116899$

capaces de registrar la caída de las partículas secundarias basando en el efecto Cherenkov que se produce cuando una partículas cargada se mueve en un medio transparente a una velocidad mayor a la que tendría la luz en dicho medio, generando una perturbación electromagnética que origina una luz; como se mencionó, el experimento LAGO hace uso de este tipo de detectores. En general, LAGO tiene el objetivo de detectar la componente de alta energía de los destellos de rayos gamma, usando la técnica de partículas individuales en arreglos de detectores de agua Cherenkov. La técnica que se utiliza para la determinación de rayos γ se basa en el efecto Cherenkov con la ventaja de poder observar fotones gamma (γ) secundarios que constituyen el 90% de las partículas secundarias que son generadas por partículas primarias de alta energía que se generan como consecuencia de la interacción de partículas (Quispe 2010).

Las partículas que ingresan dentro de los tanques WCD se transforman en fotones ópticos, dependiendo siempre del tipo de partículas que interactúan con la materia (e^\pm , μ^\pm y γ^\pm), seguidos por procesos físicos, se puede registrar los eventos de rayos cósmicos. Forrados internamente con materiales de alta reflectividad más del 80% de los fotones Cherenkov son reflejados y captados por los fotomultiplicadores. El tiempo que un γ tarda en llegar del Sol a la Tierra corresponde a 480 s.

De igual manera al NM64, se utilizan las ecuaciones (1-10), además como resultado se muestran las figuras (6) y (7), en la primera se observa a la *media variable* persiguiendo cada una de las elevaciones de los datos originales, en la segunda se observa la campana de gauss con el mejor ajuste.

Las ecuaciones (1-10) permiten el estudio en las gráficas que se presentan en las secciones precedentes, también se trabaja con las *media variable* de ambos detectores.

5. CORRELACIÓN DE PARTÍCULAS

Para verificar una correlación de partículas, se debe encontrar un comportamiento similar en ambos experimentos, en este sentido se presenta la figura (8). Donde en (8.a) y (8.b) las gráficas con mayores

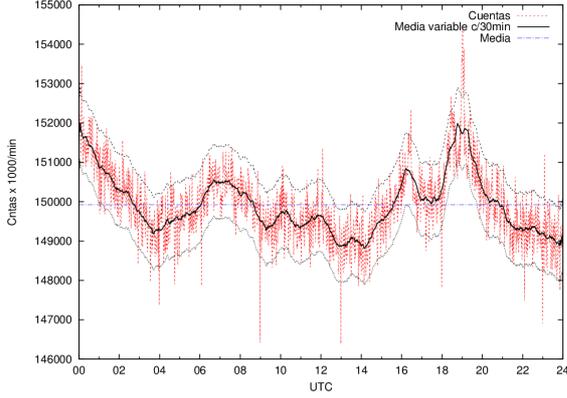


FIG. 6.— Registro del LAGO en minutos junto a su media variable y media, datos correspondientes al 10 de abril.

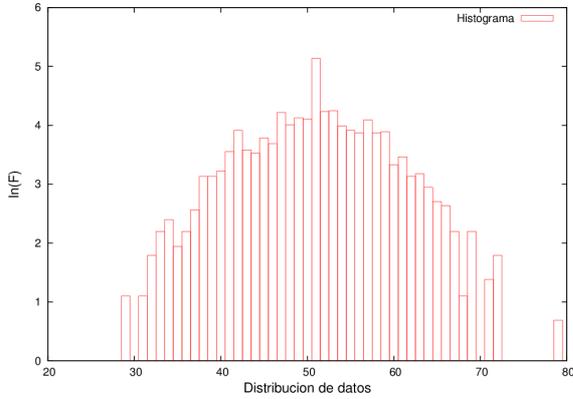
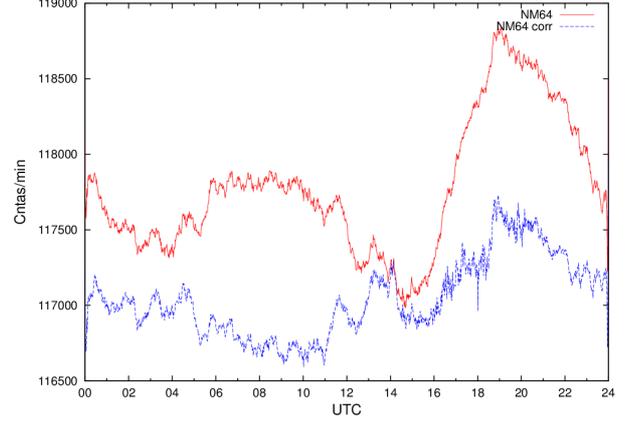


FIG. 7.— Distribución normal para datos correspondientes al 10 de abril alrededor de $\bar{y} = 144925$

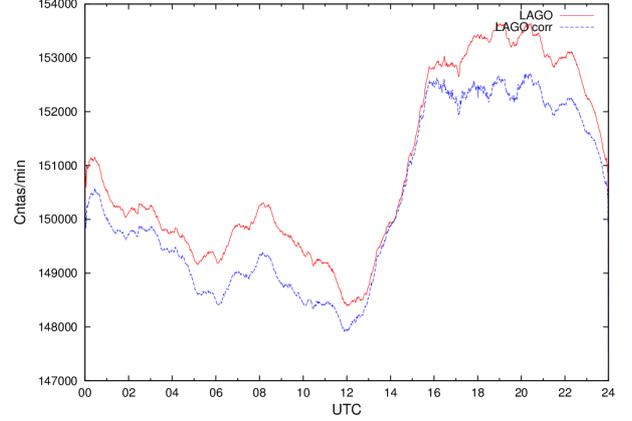
cuentas muestran los datos de la media variable detectados por el NM64 y LAGO, (8.c) refleja la presión en Chacaltaya. El comportamiento de la presión es inverso a las cuentas de los experimentos, pues a mayor cantidad de partículas (Cntas/min) existe una menor presión. Esto sucede en respuesta al registro continuo de la componente nucleónica que evidencia una fuerte dependencia de la presión atmosférica, mientras las variaciones de la temperatura en la atmósfera pueden ser mucho menores y ser despreciadas (Ticona & et al. 1998). Por esta razón, los registros del monitor de neutrones deben ser corregidos por efectos de carácter atmosférico según la ecuación (11), dado por el número de cuentas $N(p)$ deben ser reducidas a un valor de referencia p_o de la presión atmosférica, p es la presión atmosférica y β conocido como el coeficiente barométrico. La corrección por presión no debe ser puesta solamente en el monitor NM64, sino también al LAGO, puesto que se desconoce la sensibilidad de éste ante efectos atmosféricos.

$$N(p) = N(p_o)e^{-\beta(p-p_o)} \quad (11)$$

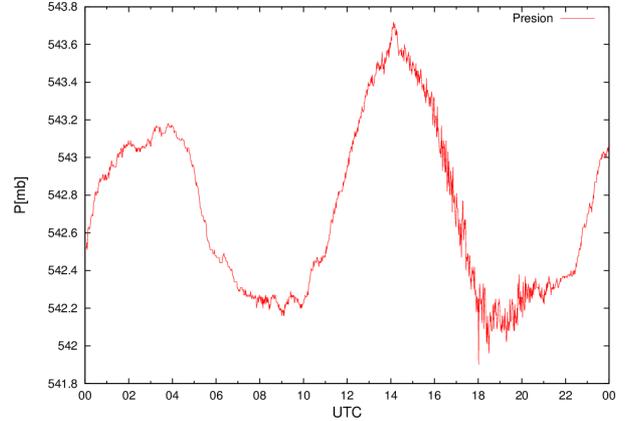
El cálculo del β se encuentra mediante un análisis de la regresión de p sobre N utilizando algún método directo de correlación simple, los resultados de β para los experimentos NM64 y LAGO son 0.0063 y 0.0042 (Figuras (9.a) y (9.b)). Si bien los datos son



(a)



(b)



(c)

FIG. 8.— Datos correspondientes al 11 de mayo. (a) Media variable (Mayores cuentas) y media variable con corrección por presión del monitor (Menores cuentas). (b) Media variable (Mayores cuentas) y media variable con corrección por presión detectada por LAGO (Menores cuentas). (c) Presión.

corregidos para observar el efecto en los experimentos (Figuras (8.a) y (8.b) con menores números de cuentas), el experimento LAGO presenta una menor sensibilidad que el NM64 hacia la presión, esta corrección se mantendrá para la elaboración de las siguientes figuras.

Dado que el Sol presenta una gran cantidad de distintas actividades solares, se busca observar el comportamiento del experimento LAGO hacia estos. Entre los fenómenos más interesantes del Sol, asocia-

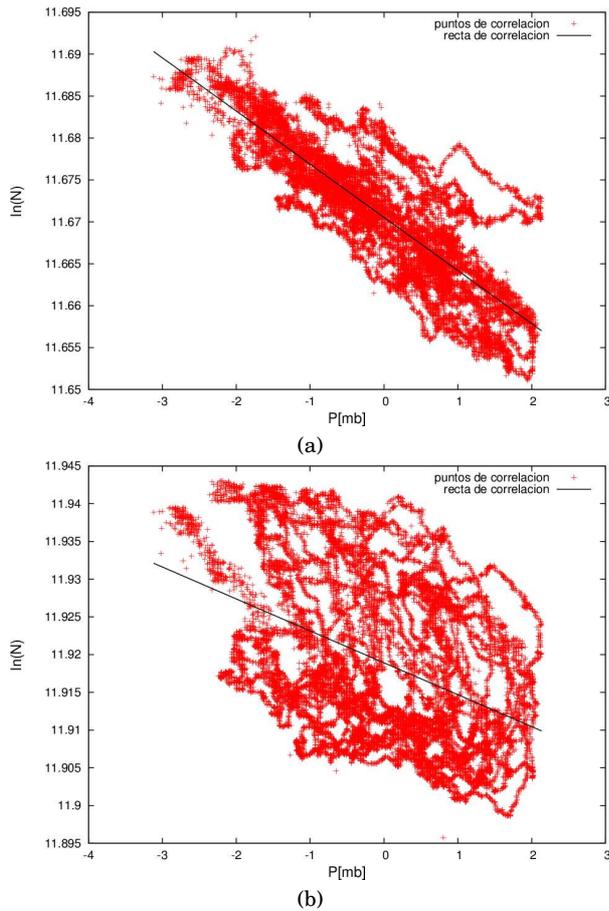


FIG. 9.— Regresión para encontrar β (a) NM64. (b) LAGO.

dos a regiones activas se encuentran los destellos solares capaces de emitir un espectro de onda variado y las manchas solares ya que existe una relación con cada grupo de manchas solares y las regiones activas. Tanto las manchas como los destellos solares presentan una mayor actividad en el centro de los ciclos solares, en la actualidad el Sol se encuentra en el ciclo solar 24 que comenzó el 8 de enero del 2008; en consecuencia, todavía se encuentra en ascenso siendo la punta el 2013. No obstante, vale la pena observar los efectos causados por estas actividades dado que el Sol se encuentra solo un año de llegar a su máximo. Si bien el NM64 es capaz de medir los n en los destellos solares (Watanabe & et al. 2003; Sako & et al. 2006), presenta además una relación negativa con el número de manchas solares en años (Tiwari & et al. 2011), el experimento LAGO debe presentar algún tipo de relación puesto que ciertos γ se generan en estos fenómenos.

Los primeros 5 meses del presente año muestran que hubo todo tipo de destellos (Clase GOES A \sim X, corresponde a la clasificación elaborada por el pico del flujo de rayos X medidos en la nave GOES) sobre el campo de visión de Chacaltaya, sin embargo no se pudo observar los de mayor magnitud X porque el equipo estaba parado; no obstante, fue posible encontrar ciertos eventos de magnitud M asociados a las partículas buscadas.

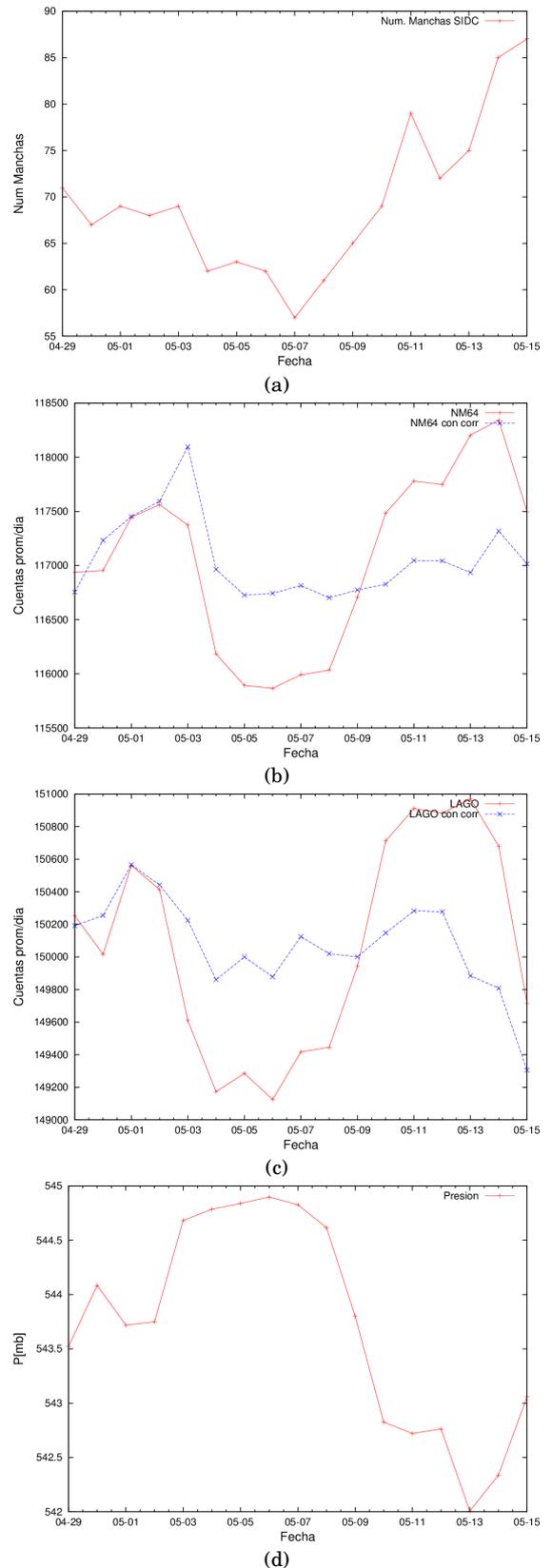


FIG. 10.— Modulaciones promedio de datos del 29 de abril al 15 de mayo. (a) Número de manchas solares tomados del SIDC (Solar Influence Data Analysis Center). (b) Cuentas y cuentas con corrección en NM64. (c) Cuentas y cuentas con corrección LAGO WCD1 EB. (d) Presión.

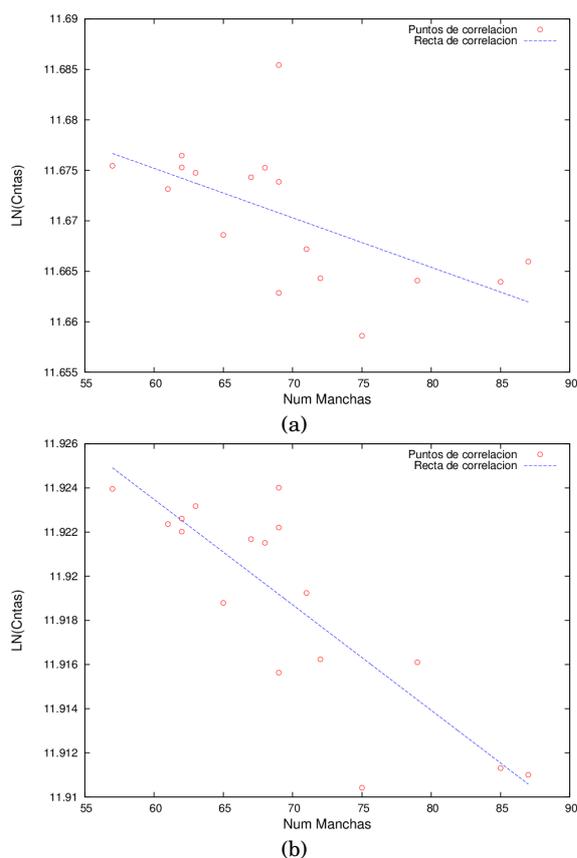


FIG. 11.— Correlaciones de los detectores con las manchas solares. (a) Experimento NM64. (b) Experimento LAGO.

Para el estudio de las manchas solares se presenta un valor total diario que corresponde al número de Wolf de un día. Para el estudio de los detectores respecto las manchas solares, se encuentra los promedios totales a lo largo de un día, para este fin también se toma en cuenta la corrección por presión diaria, en este estudio no se pudo encontrar datos de ambos experimentos y la presión para lapsos mayores a 17 días continuos.

La figura (10) muestra las manchas solares (Datos de manchas solares extraídos de SIDC Solar Influence Data Analysis Center) junto a los detectores y la presión (Datos correspondientes del 29 de abril al 15 de mayo). El primero de estos casos es el registro del número total de manchas solares a lo largo de cada día (Figura (10.a)), se destaca un incremento de manchas en los últimos 7 días en relación a los días anteriores, al mismo tiempo se encuentran incrementos o decrementos en los experimentos NM64 (Figura (10.b)) y LAGO (Figura (10.c)) en los datos sin corregir. La presión (Figura (10.d)) muestra un comportamiento inverso a los experimentos a lo largo de los días, de modo similar presenta un comportamiento inverso a las manchas solares. A causa del comportamiento inverso entre las manchas solares y la presión, es posible que también el monitor NM64 muestre el mismo comportamiento hacia las manchas solares, LAGO refleja cierta relación directa al comportamiento del NM64, es decir ambos muestran incrementos o decrementos en periodos similares.

Para obtener un resultado cuantitativo del comportamiento de los experimentos NM64 y LAGO, y que presente una correlación de éstos hacia algún fenómeno que responda a la actividad solar, es necesario obtener un resultado entre las manchas solares y los experimentos. En respuesta a la figura (10) que muestra una relación directa entre el número de manchas solares y las cuentas diarias de los experimentos NM64 y LAGO se construye la figura (11) mostrando los puntos en los que coinciden los experimentos, y que además presenta una recta de correlación.

En la figura (11.a) se presenta la correlación de los n detectados por el NM64 respecto el total de las manchas solares, es posible distinguir una relación entre estas variables, puesto que se muestra que a mayor medida de n se encuentra un menor número de manchas; sin embargo en respuesta a esta relación directa es posible encontrar el coeficiente de determinación de $r^2 = 0.35$ que presenta un comportamiento de anticorrelación bastante bajo, es posible que este coeficiente sea mayor para una mayor cantidad de datos según la figura (3). Para la correlación de LAGO (Figura (11.b)) se tiene una correlación con menor dispersión de datos, en consecuencia presenta un $r^2 = 0.71$ cuya recta de correlación en relación a los datos presenta un mejor ajuste, en resumen ambos presentan una anti correlación (Tiwari & et al. 2011; Gupta & et al. 2005) Estos comportamientos deben seguir una ecuación $N = N_0 e^{-\alpha m}$, donde m es el número de manchas solares, mientras que N corresponde a los datos que entran.

6. CONCLUSIONES

Se logra realizar un primer estudio de la correlación de partículas de los experimentos NM64 y LAGO situados en el Laboratorio de Física Cósmica de Chacaltaya con las manchas solares. Confirmando una anti correlación entre ambos. Dado que se trabajaron con valores de solo 3 meses en un ciclo solar de 11 años, los coeficientes de correlación son pequeños sin embargo, se observa la modulación producida por las manchas solares sobre el número de partículas detectadas por unidad de tiempo, se destaca el hecho que la anti correlación es más clara en el caso de LAGO.

Por otra parte, el análisis realizado para encontrar una correlación cuantitativa entre la actividad solar y los detectores (en especial LAGO), en base a la figura (11) muestran una anti correlación para el NM64 con un coeficiente $r^2 = 0.35$, en LAGO se tiene un valor de $r^2 = 0.71$, este resultado parece perseguir un comportamiento inverso entre las manchas solares y el flujo de partículas como debe ser. Puesto que el tratamiento de estos datos son de solo 17 días, es posible confirmar un mejor comportamiento inverso del NM64 hacia las manchas si se utilizan periodos anuales y posteriormente verificarlo con LAGO.

Para los destellos solares en ambos experimentos no se llega a observar un claro comportamiento en ambos, puesto que se tratan de destellos solares de magnitud M que para los experimentos no apor-

tan ningún incremento brusco de flujo de partículas. Para un estudio de este tipo se debe tratar de esperar los destellos más energéticos.

Para estudios futuros se sugiere continuar este es-

tudio por todo el ciclo solar 24, dado que faltan pocos meses para situarse en el pico máximo (Año 2013), además utilizar una mayor cantidad de datos para la elaboración de las figuras.

REFERENCIAS

- Gupta M. & et al. (2005), *29th International Cosmic Ray Conference - Pune*, 101–104
- Lopez N. (2008), *Análisis de eventos producidos por neutrones solares detectados en el Monte Chacaltaya* (U. M. S. A.)
- Quispe J. (2010), *Búsqueda de destellos de Rayos Gamma (GRBs) en el monte Chacaltaya con detectores de agua Cherenkov* (U. M. S. A.)
- Rivera H. (2007), *Implementación y calibración de un prototipo de detector Cherenkov de chubascos atmosféricos* (U. M. S. A.)
- Sako T. & et al. (2006), *The Astrophysical Journal*, **651**, 69
- Ticona R. & et al. (1998), *Revista Boliviana de Física*, **4**, 83
- Tiwari K. & et al. (2011), *Indian J. Sci. Res.*, **2** (4), 15
- Watanabe K. & et al. (2003), *The Astrophysical Journal*, **592**, 590



The Puyehue-Cordón Caulle Volcanic Eruption, June 2011: Water Vapor, Atmospheric Boundary Layer and Aerosol Temporal Evolution in Buenos Aires, Argentina

Lidia Ana Otero, Pablo Roberto Ristori,
CEILAP (CITEDEF-CONICET), UMI-IFAECI-CNRS 3351
Juan B. de La Salle 4397 - B1603ALO - Villa Martelli, Buenos Aires, Argentina
Tel: +54 11 47098100 ext 1410, Fax: +54 11 47098122, E-mail: lidia1116@gmail.com
and **Juan Vicente Pallotta, Ezequiel Eduardo Pawelko, Eduardo Jaime Quel**
CEILAP (CITEDEF-CONICET), UMI-IFAECI-CNRS 3351
Juan B. de La Salle 4397 - B1603ALO - Villa Martelli, Buenos Aires, Argentina
Tel: +54 11 47098100 ext 1410, Fax: +54 11 47098122, E-mail: lidia1116@gmail.com

SUMMARY

The 4th June 2011 a volcano eruption in the Puyehue – Cordón Caulle chain in the south central region of Chile released an important amount of ash to the atmosphere. The cloud reached Argentina, Uruguay, Brazil, South Africa and Australia blocking the aerial transport. A multiwavelength backscatter Raman LIDAR, developed and operational in Buenos Aires, at Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones, CEILAP (CITEDEF-CONICET), (34.5° S, 58.5° W) observed this event as well as satellites and ground-based systems of this monitoring station. The source of this lidar is a tripled Nd:YAG laser, collecting the nitrogen Raman backscattered returns from nitrogen at visible and ultraviolet wavelengths to retrieve the aerosol extinction and Ångström coefficient vertical distribution. It also measures the water vapor mixing ratio profile at the corresponding Raman-shifted backscattered return. Additional information such as satellite imaging, backtrajectories (HYSPLIT model) and aerosol optical depth (AERONET) were included on this study.

Key words: Raman Lidar, volcanic ash, atmospheric boundary layer.

INTRODUCTION

Southern Patagonia is frequently affected by volcanic eruptions. These events disrupt the overall air quality; generate economic losses, harmful health and very serious problems in air navigation. In this paper we study an event the eruption of volcano Puyehue - Cordón Caulle in Chile. Aerosols ejected by this eruption affected Central Patagonia, and the Northern region of Argentina. These were also detected in several countries of the southern hemisphere. The data used for the study of this event were: a lidar system, a sunphotometer and satellite images.

EVENT DESCRIPTION

The Puyehue-Cordón Caulle volcano located in Chile, north of Cardinal Samore International Pass (40.590° S, 72.117° W, 2240 m ABL) erupted on June 4, 2011. The first eruption emitted ashes to a maximum altitude 14,000 m, according to the Buenos Aires Volcanic Ash Advisory Center – (VAAC). The ash cloud remained above 12,000 m for the 5 and 6 June. The continuous emissions during these two days created an ash cloud that was spread over 1,900 km from Chile along the Argentinean Region.

STATION DESCRIPTION

The Coaxial Multiwavelength Rayleigh and Raman Tropospheric Lidar System (MWRLS) [Otero et al., 2011] operates in the suburbs of Buenos Aires City at CEILAP

(Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones). This lidar was conceived to monitor range-resolved (80 m to 15 km AGL) aerosol optical properties from the IR to the near UV spectral region in the whole troposphere. Its emission system is a 10 Hz – 600 mJ (1064 nm) solid state Nd:YAG laser (Continuum Surelite III P-IV). The fundamental laser line is doubled and tripled to obtain 532 nm and 355 nm respectively. The backscattered radiation is collected by an f/2, 1 m focal length Newtonian telescope, focused into a 1 mm diameter optical fiber to achieve a field of view of 1 mrad. The detection unit is a dichroic/interference filter-based polychromator unit that separates the elastic and Raman-shifted backscattered radiation. The detection units are photomultiplier modules (Hamamatsu H6780-03) for the ultraviolet and visible wavelengths and a detector module (LICEL) based on an NIR enhanced Si-avalanche photodiode set (EG&G) for the infrared wavelength.

Also at CEILAP, there is installed a CIMEL sunphotometer of AERONET (AEROSOL ROBOTIC NETWORK). This is a worldwide network of automated ground-based instruments providing spectral aerosol optical depth (AOD), inversion products of other aerosol optical properties, such as single scattering albedo (SSA) and aerosol size distributions [Holben et al., 1991].

Typically the sunphotometers take measurements of the direct sun radiance at eight spectral channels (340, 380, 440, 500, 670, 870, 940 and 1020 nm) with triplet observations per wavelength and diffuse sky radiances at four spectral channels (440, 670, 870 and 1020 nm). For our study, we used Level 1.5 (cloud-screened) data.

RESULTS

Figure 1 shows an AQUA satellite image from June 8, 2011 where it is possible observed the ash plume arriving to Buenos Aires.

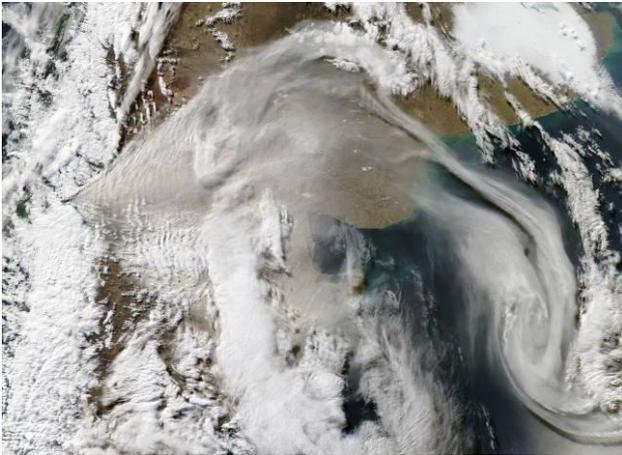


Figure 1. AQUA June 8, 2011 18.30 UTC.

Figure 2 shows the first lidar measurement of volcanic ashes over Buenos Aires on June 7, 2011. Figure 3 shows the evolution of these measurements over June 8, 2011. Both Figures display the attenuated aerosol backscatter in arbitrary units and logarithmic scale at 1064 nm. On both figures it is possible to observe the aerosol layers and the atmospheric boundary layer evolution. These transported aerosol layers reached a maximum height of 7 km on the 7th June and 3 km during the 8th June. Above these layers some cloud can be observed. The deposition of these layers is evidenced as a negative slope of the ashes height versus time. Aerosol intrusion into the convective boundary layer is also observed.

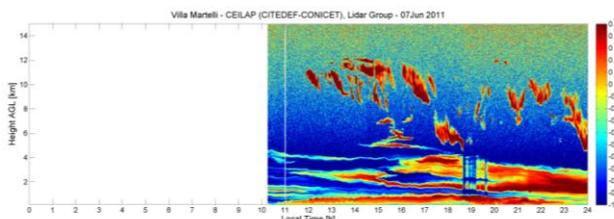


Figure 2. Aerosol Backscatter at 1064 nm, June 7, 2011.

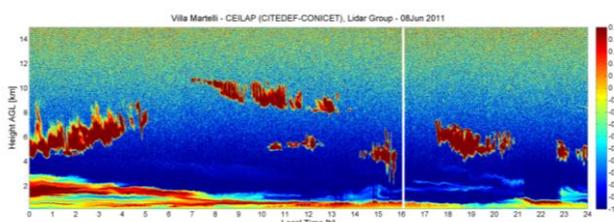


Figure 3. Aerosol Backscatter at 1064 nm, June 8, 2011.

Figure 4 shows the aerosol optical depth (AOD) temporal evolution measured at 440 nm using the collocated AERONET sunphotometer. It is important to note that AOD values exceed 4 times the typical average for June.

Figure 5 shows the water vapor, measured with the 940 nm sunphotometer line, and Angstrom Coefficient [Angstrom, 1929; Otero et al., 2006] calculated using the six AOD

sunphotometer measurements. From 7 to 12 June the water vapor signal displays a slight increase, remaining practically constant during the day. Instead, the Angstrom coefficient that is related to the aerosol mean radius, presents a significant daily and day-to-day variability. Figure 6 shows the water vapor mixing ratio temporal evolution calculated using the Raman Lidar profiles at 387 nm and 408 nm.

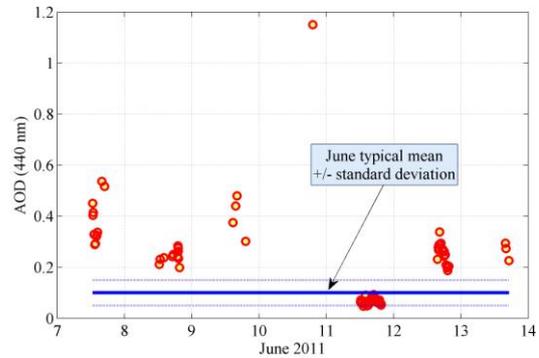


Figure 4. Aerosol optical depth temporal evolution.

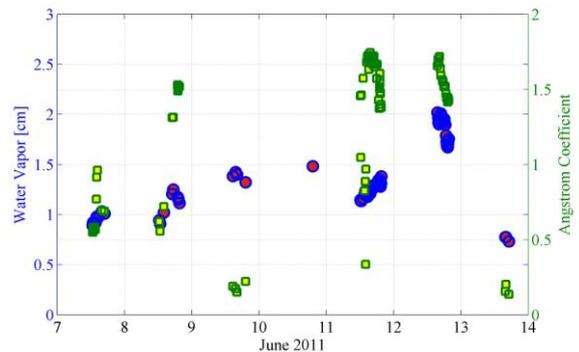


Figure 5. Water Vapor and Angstrom Coefficient temporal evolution.

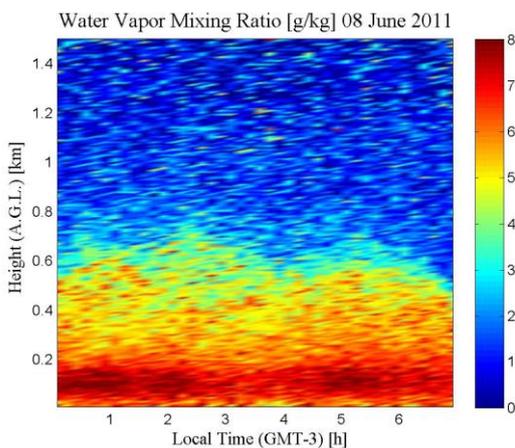


Figure 6. Water Vapor Mixing Ratio [g/kg].

It is possible to observe that the water vapor mixing ratio is nearly constant at each altitude during the night. This may indicate that the hygroscopy of volcanic ash remained invariant during the measurement.

Finally, Figure 7 shows the averaged water vapor mixing ratio profile from 05.00 to 06.00 AM (local time) measurements. The profile was compared to a radiosonde measurement, done at 30 km from the lidar station at 09.00 AM local time. This

explains the lack of agreement at lower altitudes. However, for higher altitudes there is a better agreement.

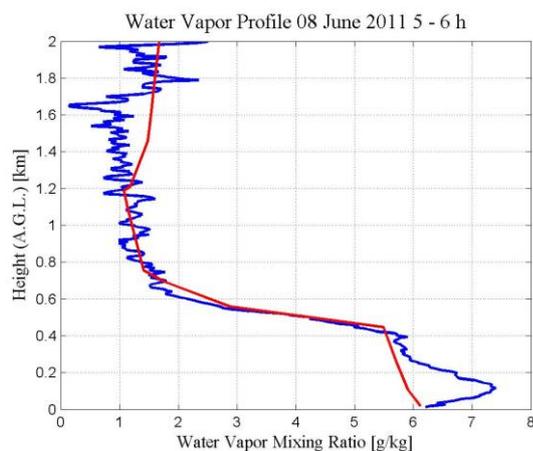


Figure 7. Water Vapor Mixing Ratio [g/kg]. Comparison between lidar measurement in blue (average 05.00 to 06.00 AM) and radiosonde measure in red (09.00 AM).

CONCLUSIONS

The first results of volcanic ashes measurements over Buenos Aires are presented. The amount of particulate matter was transported from Patagonia to Buenos Aires City with significant satellite tracking drawbacks due to the lack of visibility because of the presence of clouds throughout the region. LIDAR measurements provided information about optical and geometrical thickness of the aerosol layers, and

also showed the moment at which they began to mix with the atmospheric boundary layer, giving an indication of the beginning of the ash dry deposition.

ACKNOWLEDGMENTS

Authors thank the following institutions: AERONET network, JICA, CONICET, ANPCyT and CONAE for the provided support in the realization of this work.

REFERENCES

- Ångström, A. (1929), On the atmospheric transmission of sun radiation and on dust in the air, *Geografis Annal.*, 2,156-166.
- Holben B., T. F. Eck, I. lutsker, D. Tanre, J. P. Buis, A. Setzer, E. Vermote, J. A. Reagan, Y. Kaufman, T. Nakajima, F. Lavenu, I. Jankowiak, and A. Smirnov (1991), AERONET-A federated instrument network and data achieve for aerosol characterization, *Remote Sens.*, 12, 1147-1163.
- Otero L., P. Ristori, B. Holben, E. Quel (2006), Aerosol Optical Thickness at ten AERONET – NASA stations during 2002, *Opt. Pura Apl.* 39 (4) 355-364.
- Otero, L., P. Ristori, E. Pawelko, J. Pallotta, E. Quel (2011), Six-Year Evolution of Multiwavelength Lidar System at CEILAP. V Workshop on Lidar Measurements in Latin America, *Opt. Pura Apl.*, 44, 13-18.



Biomass burning and volcanic ash characterization at Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones, Buenos Aires, Argentina

Pablo Roberto Ristori, Lidia Ana Otero,

CEILAP (CITEDEF-CONICET), UMI-IFAECI-CNRS 3351

Juan B. de La Salle 4397 - B1603ALO - Villa Martelli, Buenos Aires, Argentina

Tel: +54 11 47098100 ext 1410, Fax: +54 11 47098122, E-mail: pablo.ristori@gmail.com

and **Juan Vicente Pallotta, Ezequiel Eduardo Pawelko, Eduardo Jaime Quel**

CEILAP (CITEDEF-CONICET), UMI-IFAECI-CNRS 3351

Juan B. de La Salle 4397 - B1603ALO - Villa Martelli, Buenos Aires, Argentina

Tel: +54 11 47098100 ext 1410, Fax: +54 11 47098122, E-mail: pablo.ristori@gmail.com

SUMMARY

Biomass burning events and volcanic ash transport measurements from a multi-wavelength backscatter LIDAR at Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones, CEILAP (CITEDEF-CONICET), (34.5° S, 58.5° W), Buenos Aires, Argentina are studied to characterize their optical properties. The lidar system operating at this place has the first three harmonics of a Nd:YAG laser and collects Raman returns from nitrogen and water vapor. Different aerosol layers were separated from the total acquisition and studied alone to characterize their optical properties at different wavelengths. Intended products are the backscatter coefficient and the color ratio. In addition a comparison between layers is performed, trying to determine their similarity. This method has the final goal of parameterizing the basic parameters of biomass burning originated aerosols and volcanic ashes transported over important distances.

Key words: Biomass burning, volcanic ash, Lidar, Color Ratio

INTRODUCTION

Lidar is a valuable tool to determine the presence of atmospheric aerosols and their telemetry. In some cases it can also retrieve extensive properties like the aerosol optical depth of these layers at the lidar measuring wavelength. However, even if important efforts have been done to determine aerosol microphysics [Muller et al, 1999], up to date aerosol type still remains a difficult to determine using this instrument.

This paper studies the lidar signals to retrieve the corrected aerosol attenuated backscatter and the attenuated aerosol color ratio for different aerosol intrusion events. The first one is the recent volcanic ash intrusion event at Buenos Aires due to the eruption of Puyehue Cordon del Cauille Volcano and the second is a late winter – early spring biomass burning transport at Buenos Aires. While the first parameter indicates the aerosol extensive properties, the second one is more related to their intensive properties and it is important to characterize the aerosol type.

SYSTEM DESCRIPTION

The Coaxial Multiwavelength Raman Lidar System (MWRLS) [Otero et al., 2011a] was conceived to monitor range-resolved aerosol optical properties from the IR to the near UV spectral region in the whole troposphere. Its emission system is a solid state Nd:YAG laser emitting its fundamental, doubled and tripled emission lines. An $f/2$, 1 m focal length Newtonian telescope, focus the backscattered signal into 1 mm diameter optical fiber that transmits the light to a dichroic/interference filter-based polychromator unit. In this way, three elastic wavelengths (1064 nm, 532 nm and 355 nm) and three Raman wavelengths (Nitrogen Raman backscattered signal from 532

nm and 355 nm, and Water Vapor Raman backscattered signal from and 355 nm) are measured at 7.5 m and 10 s bin intervals.

METHODS

The aerosol study presented in this paper uses 355 nm and 532 nm backscattered profiles as their aerosol signature can be easily compared to the molecular profile. Infrared (1064 nm) backscatter is mostly used to indicate the aerosol presence in a specific region especially when aerosol loads are difficult to detect on the other channels. The attenuated scattering ratio at wavelength λ (Vaughan et al., 2005) is calculated from the elastic lidar signals to the attenuated molecular backscatter β_m^{λ} ratio; this last obtained from the radiosonde – derived molecular backscatter $\beta_m^{\lambda}(z)$ and extinction $\alpha_m^{\lambda}(z)$. Constant k is assumed to set this ratio to unity where the signal matches pure molecular backscatter at a given height.

$$R^{\lambda} = \frac{\beta_{Total}^{\lambda}(z)}{\beta_m^{\lambda}(z)} = k \frac{signal(z) \cdot z^2}{\beta_m^{\lambda}(z) \exp\left(-2 \int_0^z \alpha_m^{\lambda}(\zeta) d\zeta\right)} \quad (1)$$

We use this calculation to approximate the corrected aerosol attenuated backscatter as:

$$\beta_{aer}^{\lambda} = (R - 1) \beta_{mol}^{\lambda} \quad (2)$$

From this value it is possible to calculate the attenuated aerosol color ratio here defined as:

$$\chi'_{\lambda_1/\lambda_2}(z) = \frac{\beta_{aer}^{\lambda_1}(z)}{\beta_{aer}^{\lambda_2}(z)} \quad (3)$$

RESULTS

The days studied are the 7 – 8 June 2011 in which a volcanic ashes intrusion event was detected and a biomass burning event the 9 September 2010.

Figure 1 shows the attenuated total backscatter in arbitrary units and logarithmic scale. A reference to this period can be found at [Otero et al, 2011b]. Cloud coverage was important and made difficult the analysis using other instrumentation than the lidar.

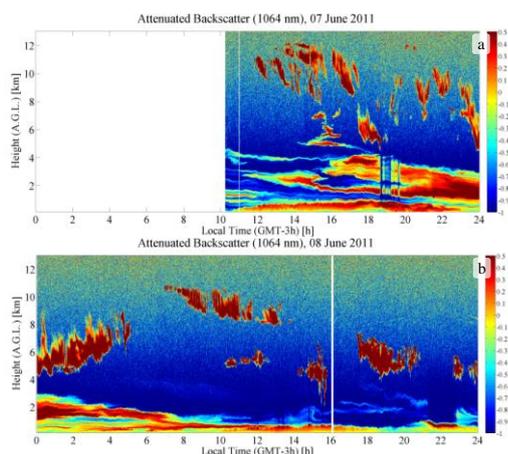


Figure 1. Aerosol Attenuated Total Backscatter Profile measured at 1064 nm for the (a) 07 June 2011 and (b) 08 June 2011. Boundary layer aerosols, volcanic aerosols mid-level and high level clouds can be observed.

Three periods were studied for the first day averaging during 1 hour. For them the attenuated backscatter and attenuated scattering ratio was plotted versus height. The first (figure 2) was at noon, the second (figure 3) in the early afternoon, and the third (figure 4) during the night.

As it can be seen on those figures, the attenuated aerosol color ratio χ' reaches values from 0.75 to 1 for volcanic ashes and 0.5 for local aerosols inside the boundary layer. These values are independent of the aerosol load which confirms that the assumption of χ' as an intensive aerosol property was valid even knowing that aerosol extinction parameters at both wavelengths were not eliminated from the equation. This effect can be seen at the positive slope of χ' on figure 4 consequence of the two way 532 nm to 355 nm transmission ratio.

During nighttime, 10 minute average signals were taken to perform an extensive study of these two parameters in a period of time between 0 h and 7 h.

Figures 5 show the aerosol attenuated backscatter at 532 nm at which local aerosols are found along the first kilometer, a strong backscatter volcanic plume is above this layer and, from midnight to 4 am, a cloud layer is clearly distinguishable above 4.5 km.

Figure 6 shows the attenuated aerosol scattering ratio displaying the difference between the low altitude city aerosols (0.2 to 0.6) and the high altitude volcanic ashes (0.7 to 1) and clouds (1 – 1.2)

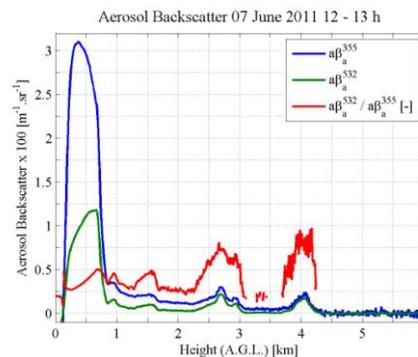


Figure 2. Aerosol attenuated backscatter ($a\beta_a$) and aerosol color ratio (χ'). Below 2 km χ' is below 0.5 while for the layers above 2 km χ' reaches values of 0.75 to 1.

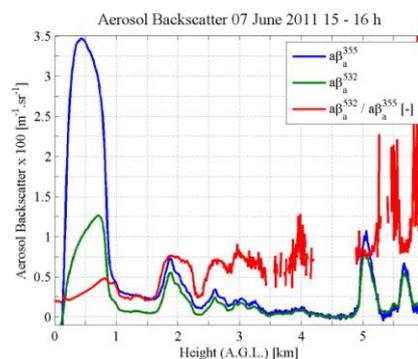


Figure 3. Aerosol attenuated backscatter ($a\beta_a$) and color ratio (χ'). In presence of aerosol layers above 1.5 km, χ' reaches 0.75. Some spikes above these values are due to low aerosol values making undetermined the value of χ' .

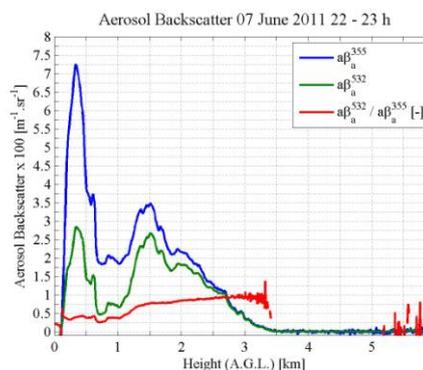


Figure 4. Aerosol attenuated backscatter ($a\beta_a$) and scattering ratio (χ'). High aerosol loads do not affect the value of χ' which is almost the same as previous figures above 1 km.

The final part of this study analyzes the biomass burning event measured at Buenos Aires the 09 September 2010. The record of more than 7 hours is presented on figure 7.

As seen on figure 8 the aerosol attenuated backscatter values are much lower than in the previous case. The lower aerosol layer remains quite stable during the day and the convective activity is only evidenced in the first two hundred meters.

Figure 9 shows values of about 0.5 – 0.6 in the presence of biomass burning event. For lower altitudes these values are close to 0.2 to 0.4. The increasing values close to 1 km can be due to water vapor condensation that could be seen at the top of the first aerosol layer in the 1064 nm attenuated backscatter profile.

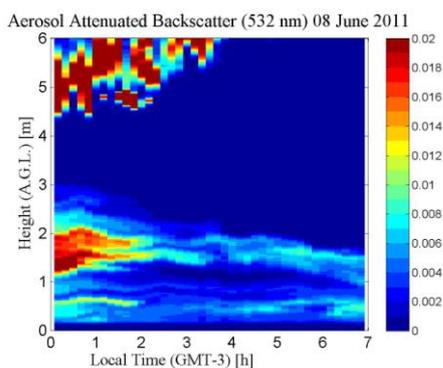


Figure 5. Ten minutes averaged aerosol attenuated backscatter. Stratified aerosol layers and clouds are present over the whole period.

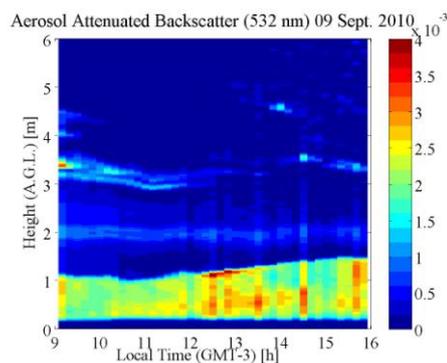


Figure 8. Ten minutes averaged aerosol attenuated backscatter. The aerosol loads are much lower than in figure 5

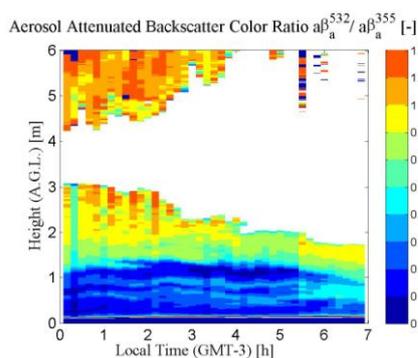


Figure 6. Ten minute averaged aerosol attenuated color ratio. The color code can be used to identify the concentration-independent aerosol type.

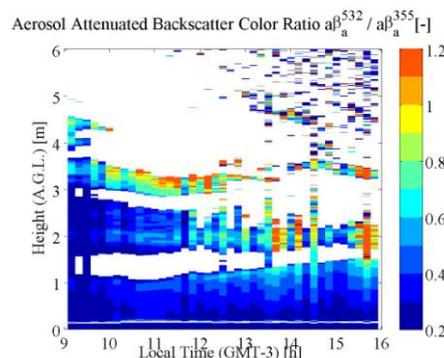


Figure 9. Ten minute averaged aerosol attenuated color ratio. Compared to figure 6 these calculated values for biomass burning are much lower than for volcanic ashes.

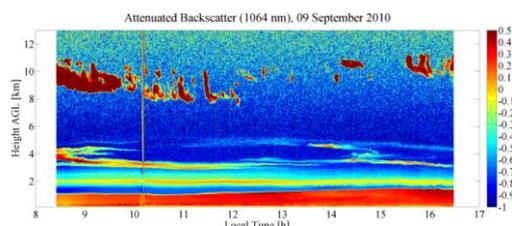


Figure 7. Aerosol Attenuated Total Backscatter Profile measured at 1064 nm for the 09 September, 2010.

CONCLUSIONS

Two different types of aerosols were studied using only the elastic wavelength capabilities of the Multiwavelength Raman Lidar System at the Lidar Division. The coaxial upgrade permitted to observe aerosol layers at heights as low as 200 meters. The rich information of the ultraviolet and visible channels permitted to see an almost constant color ratio behavior between aerosols of the same type independently of the time of the day or the aerosol concentration. I was also noticed that for different aerosol types the color ratio was significantly different making possible to separate aerosol type in the same event and at different events.

ACKNOWLEDGMENTS

Authors thank the following institutions: JICA, CONICET, ANPCyT and CONAE for the provided support in the realization of this work.

REFERENCES

- Müller D., U. Wandinger, A. Ansmann, (1999) Microphysical Particle Parameters from Extinction and Backscatter Lidar Data by Inversion with Regularization: Theory, *Appl. Opt.* 38, 2346-2357.
- Otero, L., P. Ristori, E. Pawelko, J. Pallotta, E. Quel (2011a), Six-Year Evolution of Multiwavelength Lidar System at CEILAP. V Workshop on Lidar Measurements in Latin America, *Opt. Pura Apl.*, 44, 13-18.
- Otero, L., P. Ristori, E. Pawelko, J. Pallotta, E. Quel (2011b) The Puyehue-Cordón Caulle Volcanic Eruption, June 2011: Water Vapor, Atmospheric Boundary Layer and Aerosol Temporal Evolution in Buenos Aires, Argentina, *VI WLMA, Extended Abstract*.
- Vaughan, M. A., D. M. Winker, K. A. Powell, (2005), CALIOP Algorithm Theoretical Basis Document, Part 2: Feature Detection and Layer Properties Algorithms, PC-SCI-202 Part 2

XXIII REUNIÓN NACIONAL DE LA SOCIEDAD BOLIVIANA DE FÍSICA
DEL 26 AL 31 DE MARZO DE 2012
SUCRE–BOLIVIA

SOCIEDAD BOLIVIANA DE FÍSICA

RESUMEN

Se presenta la relación de ponencias de la XXIII Reunión Nacional de Física realizada entre el 26 y el 31 de Marzo de 2012, en la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Sucre - Bolivia. En forma conjunta se realizaron el III Curso de Tópicos de Física de la Materia Condensada y el III Curso Boliviano sobre Enseñanza de la Física. La información sobre estas tres actividades puede ser encontrada en el sitio web de la SOBOFI: <http://www.fiums.a.edu.bo/sobofi/index.html>

Descriptor: reuniones de física

Subject headings: physics workshops

Título:

MODELO DINÁMICO COMO APROXIMACIÓN DEL SONIDO TARA DE LA TARKA/ANATA

Autor: Arnaud Gerard, Flavio Ghezzi, Sachiko Sakuma, Gabriel Mindlin, Luis Yapu

Resumen: Se utiliza un modelo dinámico de osciladores forzados ligeramente no-lineales que muestra una modulación de la amplitud según se van variando los parámetros, similar a la aparición del sonido tara en una tarka/anata. Observaciones y estudios realizados por Gérard y Sakuma, en trabajo dirigido por Ghezzi y Gérard, muestra que la aparición de la modulación de amplitud tiene una frecuencia prácticamente constante. Esto es una indicación que la transición se produce mediante la bifurcación de Hopf. En efecto, se observa en el espectro observado y simulado que los nuevos picos están a una distancia finita y bien definida de la frecuencia principal.

Título:

EFFECTOS DE RADIACIÓN LUMÍNICA (PAR Y UV) SOBRE EL CRECIMIENTO DE PLANTAS CULTIVADAS

Autor: Eduardo R. Palenque Vidaurre

Resumen: Se describe cómo afecta la exposición a los diversos niveles y bandas de radiación lumínica a los diferentes estados de desarrollo de plantas domesticadas en condiciones de cultivo controladas. Se comprueba la correlación de intensidad y velocidad de crecimiento, y los efectos dañinos de la banda UV tanto en desarrollo como en maduración.

Título:

ESPECTRÓMETRO DE ELECTRONES

Autor: Boris López

Resumen: Diseño de un espectrómetro de electrones generados por la interacción de una onda laser ultra intensa, ultra corta y con algún material.

Título:

ESTACIÓN REGIONAL GAW-CHC

Autor: F. Zaratti, M. Andrade, R. Forno, R. Gutiérrez, F. Velarde e I. Moreno

Resumen: Descripción general del establecimiento y actividades en la estación climática regional del monte de Chacaltaya.

Título:

INFLUENCIA DEL PERFIL TEMPORAL EN POST-COMPRESIÓN POR FIBRA HUECA

Autor: Freddy Flores F.

Resumen: El objetivo del trabajo es estudiar computacionalmente los efectos de dispersión y efectos no lineales, en la propagación por fibra hueca de pulsos ultracortos con diferentes perfiles temporales. Se quiere identificar el pulso más adecuado para la post-compresión por fibra hueca. Las anchuras iniciales de los pulsos fueron parecidas para comparar los ensanchamientos espectrales de la propagación no lineal.

Título:

CARACTERIZACIÓN ELÉCTRICA EL SBS, PBS Y FES NATURALES POR EFECTO HALL Y VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA COMO SEMICONDUCTORES

Autor: Gabriel Mamani Dalence

Resumen: En este trabajo de investigación se han realizado pruebas de caracterización eléctrica de muestras de SBS, PBS y FES que se presentan en forma de minerales sulfurosos naturales. Analizando cuantitativa y cualitativamente portadores de carga, constante de Hall, conductividad, movilidad y banda de energía prohibida más niveles de energía de ionización de impurezas, a partir del efecto Hall y la variación de la resistencia con la temperatura.

Título:

CRUCIGRAMAS COMO INSTRUMENTO DIDÁCTICO EN EL PROCESO ENSEÑANZA APRENDIZAJE DE LA FÍSICA

Autor: Germán Cruz

Resumen: El presente trabajo está desarrollado con miras a mejorar el proceso de enseñanza y aprendizaje en los estudiantes de diferentes niveles, dotándoles de un instrumento esencial donde los estudiantes podrán adquirir conocimientos sobre la física analizando y razonando lógicamente. Los crucigramas son juego de palabras cruzadas, pasatiempos para agilizar la mente de la persona y puedan de esta manera tener un razonamiento lógico.

Título:

MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS APLICADO A MODELOS TEÓRICOS PARA PROCESOS DE ELECTRO MAQUINADO (EDM)

Autor: Ivan Amilcar Quiroga Fernandez

Resumen: El presente trabajo desarrolla un modelo que permite profundizar en el estudio de los procesos de electroerosión realizando cálculos numéricos de los volúmenes de erosión en el cátodo, empleando para ello el método de elementos finitos habiendo realizado los programas en el software conocido como COMSOL Multiphysics. El trabajo está basado en el trabajo escolástico realizado por DiBitonto, Eubank y Barrufet, habiéndose obtenido una notable coincidencia con los resultados publicados por dicho grupo de investigadores.

Título:

ALGUNOS MÉTODOS PARA SIMULAR COMPUTADORAS CUÁNTICAS

Autor: Luis Pánfilo Yapu Quispe

Resumen: Esta presentación está basada en el review de De Raedt y Michielsen en el que se presentan algunos métodos de simulación para modelos de computación cuántica. Se presentan principalmente el algoritmo polinomial de Chebyshev, el algoritmo de iteración corta de Lanczos y los algoritmos basados en la fórmula de Suzuki-Trotter. Algunos de estos métodos están basados en descomposiciones de algebra lineal, entre ellas la descomposición de Schmidt. Esta descomposición fue utilizada por Vidal en un método de simulación eficiente para sistemas cuánticos ligeramente intrincados.

Título:

COHETERÍA EXPERIMENTAL

Autor: Mario Cerrogrande Ramos, Wilmer Aruquipa Coloma y Marcelo Vargas Lucana

Resumen: Se presenta una alternativa para realizar experimentos sobre cohetería a bajo costo, utilizando propulsión química y material de bajo costo. A diferencia de los motores fabricados con tubos de aluminio o acero en cuyos motores existen piezas que tienen que ser trabajadas a máquina aumentando de esta manera el costo de fabricación, los motores fabricados con material PVC no requiere piezas trabajadas a máquina. La utilización de material PVC para la construcción de motores de cohete tiene como fin realizar experimentos de costo reducido.

Título:

LA FÍSICA Y LAS ARTES MARCIALES

Autor: Víctor Hugo Gutiérrez Vega

Resumen: El trabajo en su primera apunta a los fundamentos físicos aplicados en las diferentes artes marciales. En una segunda parte están las explicaciones dinámicas del Tae Kwon Do, presentado los diferentes aspectos de la mecánica que explican diferentes movimientos de defensa y ataque en este arte marcial y como su conocimiento ayuda a su evolución. Finalmente se presenta resultados del análisis de la cinemática y dinámica de las 5 técnicas más frecuentes del Tae Kwon Do obtenidos en base a experiencias realizadas por el profesor Ireneo Fargas 7º DAN WTF.

Título:

TECNOLOGÍAS DE REACTORES NUCLEARES

Autor: Issac Poma

Resumen: Las tecnologías de los reactores nucleares van evolucionando de generación a generación. Se expondrá sobre las diferencias entre los varios tipos de reactores.

Título:

EL ÁTOMO CLÁSICO

Autor: Miguel Peñafiel Nava

Resumen: Se resuelve numéricamente las ecuaciones para el problema de N cuerpos cargados, aplicado al átomo clásico: dos partículas con las propiedades del electrón y protón.

Título:

INTRODUCCIÓN A LA TÉCNICA LIDAR

Autor: Oscar A. Lazcano Patroni

Resumen: Se presentará una introducción a la técnica LIDAR, introducción de la ecuación y métodos de inversión que se emplean en el laboratorio del LFA. Además, se mostrarán los avances obtenidos en el laboratorio hasta la actualidad.

Título:

SISTEMA DE RECOMENDACIÓN

Autor: Oswaldo G. Velásquez Aroni

Resumen: Sistemas de recomendación aplicando campo eléctrico.

Título:

MONITOR DE NEUTRONES NM64 DE CHACALTAYA

Autor: P. Miranda, R. Ticona, A. Velarde

Resumen: Se presentan resultados, experiencias y contribuciones del grupo NM64 en el estudio de actividad solar.

Título:

OSCILADORES MÓVILES ACOPLADOS

Autor: Roy Omar Edgar Bustos Espinoza

Resumen: Se estudiará la dinámica y los posibles comportamientos de osciladores móviles acoplados.

Título:

MODELO PEDAGÓGICO PARA LA SIMULACIÓN Y MODELACIÓN DE PROCESOS FÍSICOS MEDIANTE LABORATORIOS VIRTUALES EN LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA

Autor: Rolando Oscar Molina Baspineiro

Resumen: El trabajo trata del uso de laboratorios virtuales como catalizador eficiente en las prácticas de laboratorio físico.

Título:

DEBILITAMIENTO DEL CAMPO GEOMAGNÉTICO

Autor: Rudy Vilca Salinas

Resumen: El campo magnético de la tierra, desde que fue medido por Gauss, acusa hasta la fecha un continuo debilitamiento, del cual haremos una cuantificación con datos de observatorios geomagnéticos de todo el mundo, incluidos los de Bolivia.

16^{va} OLIMPIADA BOLIVIANA DE FÍSICA,
6^{ta} OLIMPIADA BOLIVIANA DE ASTRONOMÍA Y ASTROFÍSICA
TRINIDAD, BENI, DEL 17 AL 21 DE SEPTIEMBRE DE 2011
SOLUCIONES 2^{da} Y 3^{ra} ETAPAS
6^{to}, 7^{mo}, 8^{vo} DE PRIMARIA - 1^{ro}, 2^{do}, 3^{ro}, 4^{to} DE SECUNDARIA

BUSTOS R.¹, HUANCA C.¹, CONDORI H.², BRAÑEZ A.³, MAMANI E.³, SANCHEZ M. F.³, PEÑAFIEL M.³, GUTIERREZ V. H.⁴, GUAYGUA T.⁵, CASTELO J. J.⁵, MALLCU A.⁵, VELAZCO J.⁵, ANDRADE M.⁶, GUZMÁN R.⁶, MAMANI R.⁷, FUENTES W.⁷, MARTINEZ L.⁸, JUSTINIANO I.⁹, JAILLITA J.⁹, PAYLLO J. P.¹⁰, CABRERA J.¹¹, VARGAS C.¹², CORAITE O.¹³, QUIROZ Z.¹⁴, VALDEZ Z.¹⁵, ORTEGA L.¹⁶, DE LA TORRE M.¹⁷

¹Sociedad Boliviana de Física (SOBOFI)

²Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), *Instituto de Electrónica Aplicada (IEA)*, La Paz

³Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), *“Magia de la Física”*, Carrera de Física, La Paz

⁴Universidad Mayor, Real y Pontificia San Francisco Xavier de Chuquisaca (UMRPSFXCH), *Facultad de Tecnología*, Sucre

⁵Universidad Técnica de Oruro (UTO), *Facultad Nacional de Ingeniería (FNI)*, Oruro

⁶Universidad Mayor de San Simón (UMSS), *Facultad de Ciencia y Tecnología*, Cochabamba

⁷Universidad Autónoma Tomás Frías (UATF), *Carrera de Física*, Potosí

⁸Universidad Privada de Santa Cruz de la Sierra (UPSA), Santa Cruz de la Sierra

⁹Colegio María Auxiliadora, Cobija Pando

¹⁰Colegio 12 de Agosto, Yacuiba Tarija

¹¹Colegio Amor de Dios, La Paz

¹²Colegio Buenas Nuevas, Sucre

¹³Colegio La Salle, Oruro

¹⁴Colegio Instituto Americano, La Paz

¹⁵Colegio Cardenal Cushing, Santa Cruz

¹⁶Colegio Hno. Felipe Palazó'n, Tarija &

¹⁷Asociación Boliviana para el Avance de la Ciencia (ABAC)

RESUMEN

La 16^{va} Olimpiada Boliviana de Física (16^{va} OBF) y la 6^{ta} Olimpiada Boliviana de Astronomía y Astrofísica (6^{ta} OBAA) se llevaron a cabo simultáneamente y con éxito del 17 al 21 de Septiembre de 2011 en la ciudad de Trinidad – Beni.

Los proyectos se enmarcaron en el proyecto titulado *Ira Olimpiada Científica Estudiantil Plurinacional Boliviana* (1^{ra} OCEPB) impulsado por el Estado Plurinacional de Bolivia a través del Ministerio de Educación y de su Viceministerio de Ciencia y Tecnología (VCyT), donde se invitaron a que participen 6 áreas de las ciencias puras y naturales: Astronomía y Astrofísica, Biología, Física, Informática, Matemática y Química.

La organización del evento contó también con la participación de los siguientes organismos e instituciones: Comité Olímpico Boliviano de Astronomía y Astrofísica, Comité Olímpico Boliviano de Física, Sociedad Boliviana de Física (SOBOFI), la Asociación Boliviana para el Avance de la Ciencia (ABAC), la Dirección distrital de Trinidad; SEDUCA – BENI y la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del BENI (UAB).

Participaron 9 delegaciones departamentales: Beni, Chuquisaca, Cochabamba, La Paz, Oruro, Pando, Potosí, Santa Cruz de la Sierra y Tarija.

En la 16^{va} OBF y la 6^{ta} OBAA se evaluaron las categorías de 6to de primaria y los seis cursos de Secundaria en las etapas previas al evento nacional pero en dicho evento lastimosamente solo participaron los cursos de 5to y 6to de Secundaria.

La categoría de 6to de Secundaria tienen como principal premio el ingreso libre y directo a cualquiera de las carreras de Ciencias y/o Ingeniería de las universidades comprometidas con los proyectos.

Se concentraron cerca a 300 personas, 50 de Astronomía y Astrofísica y 50 de Física, entre estudiantes y profesores. También madres/padres de familia que acompañaron a sus hijos. Todos compartieron sus experiencias, costumbres, y culturas.

El evento se realizó con la presencia de estudiantes universitarios, con la actividad titulada la “Magia de la Física” (proyecto desarrollado por estudiantes de la Carrera de Física de la Facultad de Ciencias Puras y Naturales de la Universidad Mayor de San Andrés, La Paz).

Las dos categorías, tanto en Astronomía y Astrofísica como en Física, de 5to y 6to de Secundaria, tuvieron dos modalidades de evaluación: Teórica y Experimental.

Los ganadores de las etapas previas al evento nacional, de las categorías: 4to, 3ro, 2do,

1ro de Secundaria y 6to de Primaria forman los “equipos Bolivianos preseleccionados” postulantes a futuros eventos olímpicos: Latinoamericanos, Iberoamericanos e Internacionales a llevarse a cabo las gestiones 2013, 2014, 2015, 2016 y 2017 respectivamente.

El gobierno nacional ha comprometido el apoyo administrativo de todas las áreas de las olimpiadas desde la divulgación de las convocatorias hasta el apoyo a las delegaciones Bolivianas invitadas a participar fuera de nuestras fronteras. Es sin duda un gran apoyo, pero ha eliminado categorías que antes tenían participación en los eventos nacionales, sin entender todavía el fundamental incentivo que debemos dar a toda la juventud Boliviana, como es el de motivar preseleccionando delegaciones no solo para la siguiente gestión inmediata, sino con 3, 4, 5, 6, 7 o más años de anticipación! dicha receta es sin duda la mejor manera de ser cada vez más competitivos a nivel internacional.

¡Felicidades! a todos los jóvenes participantes y ganadores de las distintas etapas y categorías así como también a todos las unidades educativas fiscales, particulares y de convenio de todo el país que se animaron a participar en el apasionante mundo de la Física, la Astronomía y la Astrofísica por que están dando un digno ejemplo a seguir en otras unidades educativas, profesor@s, estudiantes contemporáneos y todas las generaciones venideras.

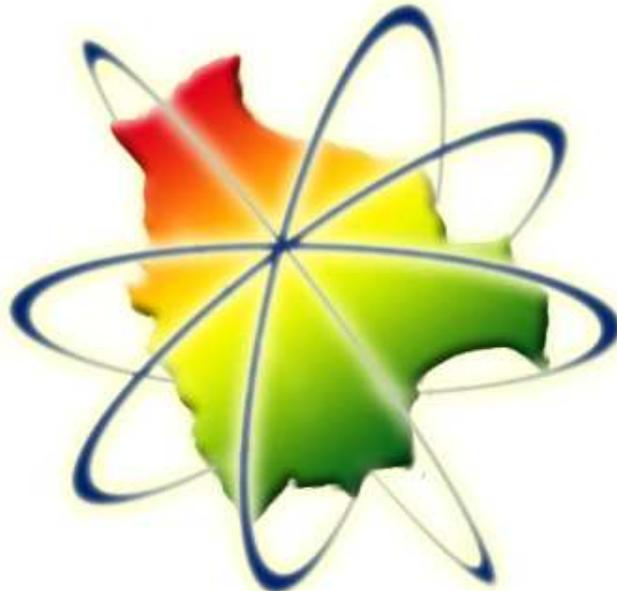
A continuación se presentan las soluciones de todas las categorías de ambas olimpiadas, de las etapas previas al evento nacional. En la página WEB:

<http://200.105.152.242/olimpiada/>

se encuentran textos, exámenes pasados, simulaciones, etc. de acceso libre para todos los interesados.

NOTA ACLARATORIA: La 15^{va} OBF y la 5^{ta} OBAA (realizada del 5 al 8 de noviembre de 2010), cuyos artículos respectivos fueron publicados en los dos últimos números de la RBF, han sido financiadas gracias al apoyo del Impuesto Directo a los Hidrocarburos (IDH), asignados como fondos concursables a la UMSA

OLIMPIADA BOLIVIANA DE FÍSICA



OLIMPIADA BOLIVIANA DE ASTRONOMÍA Y ASTROFÍSICA

Descriptores: Olimpiadas de Física, Olimpiadas de Astronomía y Astrofísica

Subject headings: Physics Olympiads, Astronomy and Astrophysics Olympiads

16^{va} OLIMPIADA BOLIVIANA DE FÍSICA
 1^{ra} OLIMPIADA CIENTÍFICA ESTUDIANTIL
 PLURINACIONAL BOLIVIANA
SEGUNDA ETAPA
6^{to} DE PRIMARIA

PARTE CONCEPTUAL (40%)

1. (10%) Emparejar los términos de la izquierda eligiendo una definición del lado derecho. Marque el correcto en la casilla cuadrada.

- a) Masa
 b) Densidad

1. Peso del cuerpo.
 2. Peso por unidad de volumen.
 3. Masa por unidad de volumen.
 4. Medida de la cantidad de materia.

- a) a con 1; b con 3
 b) a con 2; b con 3
 c) a con 4; b con 3
 d) Ninguno

2. (10%) ¿Cuál es el punto de ebullición del agua a nivel del mar? Exprese el resultado en grados Kelvin como un número entero.

- a) 373 K
 b) 273 K
 c) 100°C
 d) Ninguno

3. (10%) ¿En que proceso un líquido se convierte en gas?

- a) Sublimación
 b) Condensación
 c) Vaporización
 d) Ninguno

4. (10%) Se tiene dos recipientes del mismo volumen que contiene, agua en uno y aceite en el otro. Se vierten en el mismo instante y se observa que el agua se vierte más rápidamente que el aceite. ¿Cuál de los dos líquidos es el más pesado?

- a) El agua
 b) El aceite
 c) Ninguno.

PARTE APLICADA (60%)

1. (20%) Las partículas que contiene el núcleo son el protón y el neutrón. Si un núcleo tiene 4 protones y 5 neutrones, determinar la masa total del núcleo si sus masas son: $m_p = 1.67 \times 10^{-27} \text{ Kg}$, $m_n = 1.67 \times 10^{-27}$.

a) $15.03 \times 10^{-27} \text{ Kg}$

b) $3.34 \times 10^{-27} \text{ Kg}$

c) $15.03 \times 10^{-54} \text{ Kg}$

d) Ninguno

2. (20%) El radio de un cilindro es de 5 cm y su altura es de 20 cm, dicho cilindro es de madera cuya densidad es igual a 0.573 g/cm. Determinar la masa del cilindro de madera, si el volumen del cilindro está dada por:

$$V = \pi r^2 h$$

a) 1900 g

b) 900 g

c) 2740 g

d) Ninguno.

3. (20%) Un cubo de hielo tiene un volumen de 500 cm^3 . Si la masa es de 460 g. ¿Cuál es la densidad del hielo?

a) 0.920 g/cm^3

b) $230\,000 \text{ g/cm}^3$

c) 1.087 g/cm^3

d) Ninguno

16^{va} OLIMPIADA BOLIVIANA DE FÍSICA
 1^{ra} OLIMPIADA CIENTÍFICA ESTUDIANTIL
 PLURINACIONAL BOLIVIANA
SEGUNDA ETAPA
 7^{mo} DE PRIMARIA

PARTE CONCEPTUAL (40%)

1. (10%) Emparejar los términos de la izquierda eligiendo una definición del lado derecho. Marque el correcto en la casilla cuadrada.

- a) *Número atómico*
 b) *Masa atómica*

1. Número de protones y neutrones en el núcleo.
 2. Número de átomos que hay en una muestra.
 3. Numero de protones que hay en el núcleo.
 4. Número de electrones y protones.

- a) a con 1; b con 3
 b) a con 2; b con 3
 c) a con 3; b con 1
 d) Ninguno

2. (10%) ¿Cuántos grupos de elementos existen en la Tabla periódica?

- a) 10
 b) 8
 c) 15
 d) 18
 e) Ninguno

3. (10%) Experimentos recientes indican que también la contaminación por ruido puede ser un factor que contribuye a la alta presión sanguínea, la ansiedad y el nerviosismo. El nivel sonoro que el oído humano puede detectar se mide en:

- a) Intensidad sonora
 b) Decibeles
 c) Watt/m²
 d) Longitud de onda
 e) Ninguno

PARTE PRÁCTICA (60%)

1. (20%) De las siguientes longitudes, la menor es:

- a) 0.10mm
 b) 0.01pulg
 c) 10.001m
 d) 0.1cm
 e) Ninguno.

2. (20%) La velocidad de la luz en el vacío es de 300000[Km/s], establecer este valor en el sistema c.g.s

- a) $3.0 \times 10^6 \text{ cm/s}$
 b) $3.0 \times 10^{10} \text{ cm/s}$
 c) $3.0 \times 10^{10} \text{ m/s}$
 d) Ninguno

3. (20%) Durante una tormenta, un observador percibe instantáneamente un relámpago o rayo, después de 5[s] se oye un trueno. ¿A qué distancia se produjo la descarga eléctrica?. La velocidad del sonido es de 340 [m/s].

- a) 1.70Km
 b) 1.70m
 c) 1700.0cm
 d) Ninguno

16^{va} OLIMPIADA BOLIVIANA DE FÍSICA
1^{ra} OLIMPIADA CIENTÍFICA ESTUDIANTIL
PLURINACIONAL BOLIVIANA
SEGUNDA ETAPA
8^{vo} DE PRIMARIA

PARTE CONCEPTUAL (40%)

1. (10%) Emparejar los términos de la izquierda eligiendo una definición del lado derecho. Marque el correcto en la casilla cuadrada.

- a) *La Temperatura es*
b) *Equilibrio térmico*

1. La variación de energía.
2. La medida de calor o frío.
3. Ambos cuerpos alcanzan la misma temperatura.
4. Cuando se alcanza $0^{\circ}C$.

- a) a con 1; b con 3
b) a con 2; b con 3
c) a con 3; b con 1
d) Ninguno

2. (10%) Dos cargas diferentes signos y diferente valor, entran en contacto, luego entonces las cargas:

- a) Se repelen
b) Se atraen
c) Se neutralizan
d) Ninguno

3. (10%) Si estas jugando al fútbol y siempre le das al poste izquierdo, en lugar de marcar el gol, entonces eres:

- a) Preciso
b) Exacto
c) Preciso y exacto.

4. (10%) Se tiene dos recipientes del mismo volumen que contiene, agua en uno y aceite en el otro. Se vierten en el mismo instante y se observa que el agua se vierte más rápidamente que el aceite. ¿Cuál de los dos líquidos es el más pesado?

- a) El agua
b) El aceite
c) Ninguno

PARTE PRÁCTICA (60%)

1. (20%) El kilogramo patrón es un cilindro de platino-iridio de 39.0mm de altura y 39.0mm de diámetro. ¿Cuál es la densidad del material?

- a) $2.15 \times 10^4 Kg/m^3$
b) $2150.0Kg/m^3$
c) $2150.0g/cm^3$
d) Ninguno

2. (20%) ¿A qué temperatura registran el mismo valor la escala Fahrenheit y Kelvin? Se tiene:

$$\frac{^{\circ}F - 32}{9} = \frac{^{\circ}K - 273}{5}$$

- a) 547.25
b) 574.25
c) 373.0
d) Ninguno

3. (20%) Si la carga eléctrica de un electrón es $e = 1.6 \times 10^{-19}[C]$. Determinar la cantidad de electrones que posee un Coulombio.

- a) $6.25 \times 10^{-18}e$
b) 6.25×10^3e
c) $6.25 \times 10^{18}e$
d) Ninguno

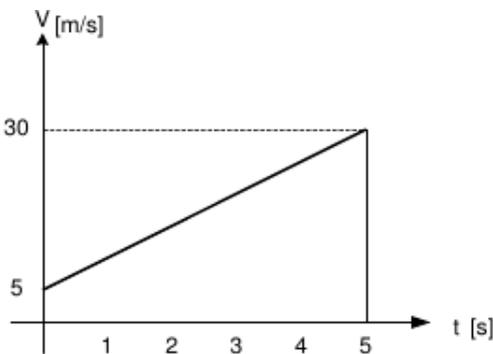
16^{va} OLIMPIADA BOLIVIANA DE FÍSICA
 1^{ra} OLIMPIADA CIENTÍFICA ESTUDIANTIL
 PLURINACIONAL BOLIVIANA
SEGUNDA ETAPA
1^{ro} DE SECUNDARIA

PARTE CONCEPTUAL (40%)

- (10%) Las masas de cuatro objetos, medidos con instrumentos adecuados, son: $M_1 = 3.75g$, $M_2 = 0.648g$, $M_3 = 13.2g$, $M_4 = 5.8401g$. Determinar la masa total considerando cifras significativas.
 a) 23g; b) 23.4g; c) 23.44g; d) 23.439g; e) Ninguno
- (10%) Si la velocidad de la luz es: $c = 3 \times 10^8 m/s$ y la distancia aproximada de la tierra a la luna es de: $3.84 \times 10^8 m$. ¿Cuántos viajes completos de ida y vuelta de la tierra a la luna se podrían realizar a esta velocidad en un segundo?
 a) 0[viajes]; b) 1[viaje]; c) 2[viajes]; d) 2.5[viajes]; e) Ninguno
- (10%) El corazón de un hombre late aproximadamente 76 veces en un minuto. ¿Cuál es el número de latidos que realiza el corazón en un día?
 a) $1.09 \times 10^6 [Km/h]$; b) $2.6 \times 10^5 [Km/h]$; c) $1.73 \times 10^5 [Km/h]$; d) Ninguno
- (10%) Expresar un mes e segundos y en notación científica
 a) $2.6 \times 10^6 [s]$; b) $2.6 \times 10^5 [s]$; c) $2.5 \times 10^5 [s]$; d) Ninguno

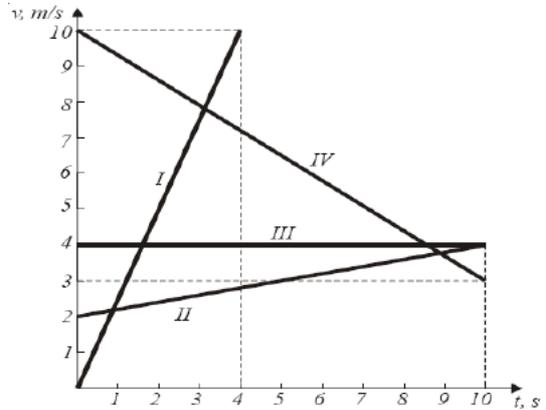
PARTE PRÁCTICA (60%)

- (20%) La velocidad de un móvil que se mueve en línea recta y con aceleración constante es de $5m/s$ cuando el tiempo inicial es $t_0 = 0[s]$ y después la velocidad es de $30m/s$, cuando $t = 5[s]$. Grafique: **V vs t** para el intervalo entre 0 y 5 [s]



- (20%) En la gráfica adjunta se representan 4 diferentes movimientos rectilíneos. Complete la tabla de abajo, escribiendo para cada movimiento, el tiempo total del movimiento (t), el desplazamiento total (x) del movimiento, la velocidad final (v_f) y la aceleración (a).

	t, s	x, m	$v_f, m/s$	$a, m/s^2$
I	4	20	10	2.5
II	10	30	4	0.2
III	10	40	4	0
IV	10	65	3	-0.7



- (20%) Un atleta en una carrera de 100 m planos realiza la prueba 5 veces obteniendo los siguientes tiempos: 10.22(s); 10.15(s); 10.18(s); 10.20(s); 10.16(s). Determinar:
 a) El valor más probable del tiempo empleado.
 b) El error absoluto medio.
 c) Establecer de mejor manera el resultado del tiempo empleado.
 d) El error relativo porcentual.

Respuestas.

a)

$$\bar{t}_p = \frac{10.22 + 10.15 + 10.18 + 10.20 + 10.16}{5}$$

$$= 10.18(seg)$$

b)

$$E_a = |t - t_p|$$

	$t - t_p$	$ t - t_p $
10.22 - 10.18	0.04	0.04
10.15 - 10.18	-0.03	0.03
10.18 - 10.18	0	0
10.20 - 10.18	0.02	0.02
10.16 - 10.18	-0.02	0.02

c)

$$t_r = t_p \pm E_a \Rightarrow t_r = 10.18 \pm 0.022(s)$$

d) El error relativo:

$$E_r = \frac{E_a}{\bar{t}} = \frac{0.022}{10.18} = 0.00216$$

El error relativo porcentual:

$$E_{r(\%)} = \frac{E_a}{\bar{t}} \times 100$$

$$E_{r(\%)} = 0.00216 \times 100 = 0.216(\%)$$

16^{va} OLIMPIADA BOLIVIANA DE FÍSICA
 1^{ra} OLIMPIADA CIENTÍFICA ESTUDIANTIL
 PLURINACIONAL BOLIVIANA
SEGUNDA ETAPA
 2^{do} DE SECUNDARIA

PARTE CONCEPTUAL (40%)

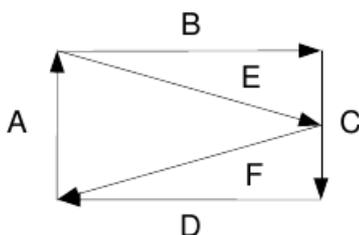
1. (10%) El valor promedio del diámetro de cierto eje es 22.4 mm, y los datos experimentales para su cálculo son:

D	D ₁	D ₂	D ₃
[mm]	22.4	22.5	22.3

D ₄	D ₅	D ₆	D ₇
22.2	22.3	?	22.6

¿Cuál es el valor de D₆?

- a) 23 mm; b) 23,4 mm; c) 23,44 mm; d) 23,439 mm; e) Ninguno
2. (10%) En el siguiente sistema de la Figura, el vector resultante es igual a:



- a) F; b) D + C; c) C; d) B + C; e) Ninguno
3. (10%) Si el módulo de la suma de dos vectores de igual módulo, es el doble del módulo de su diferencia. Determinar la medida del ángulo agudo que forman.
- a) 30°; b) 37°; c) 45°; d) 90°; e) 53°
4. (10%) Cuando la suma y diferencia de dos vectores tiene el mismo módulo, entonces se cumple que dichos vectores: (subraye la proposición que es verdadera)
- a) Son paralelos; b) Forman un ángulo de 30°; c) Forman un ángulo de 60°; d) Son perpendiculares; e) Ninguno

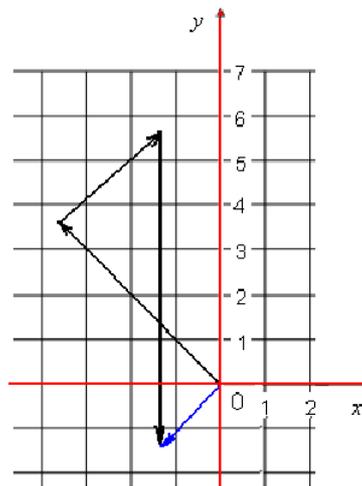
PARTE PRÁCTICA (60%)

1. (20%) Un móvil tarda en recorrer 100 [m] en 7.15 [s] y la precisión del cronómetro es ±0.01 [s]. Expresar esta medida de precisión y el error de la medida.

$$t = t_p \pm \delta_t = 7.15 \pm 0.01 [s]$$

$$\epsilon_t \% = \delta_t / t_p * 100\% = 0.01 / 7.15 * 100\% = 0.14\%$$

2. (20%) Un atleta recorre 5 Km. hacia el noroeste, luego 3 Km. hacia el noreste y finalmente 7 Km. hacia el sur. Determinar su desplazamiento en su recorrido total a partir del método poligonal (método grafico).



Analíticamente:

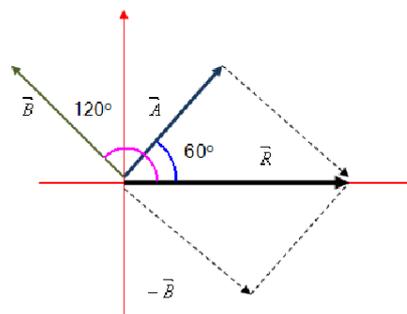
$$Y = 5 * \sin 45 + 3 * \sin 45 - 7 = -1.34$$

$$X = -5 * \cos 45 + 3 * \cos 45 = -1.41$$

$$\text{Resultante} = R = \sqrt{X^2 + Y^2} = \sqrt{1.34^2 + 1.41^2} = 1.95 \text{ km}$$

$$\text{Angulo} = \arctan(1.34/1.41) = 43.54^\circ \text{ hacia abajo del oeste}$$

3. (20%) El vector \vec{A} tiene 2 m. de longitud y su dirección forma un ángulo de 60° con el eje x. El vector \vec{B} mide también 2 m y forma un ángulo de 120° con el eje x. Hallar la magnitud del vector $\vec{A} - \vec{B}$ y el ángulo que forma con el eje x.



$$R^2 = A^2 + B^2 + 2AB \cos \theta$$

$$R^2 = 2^2 + 2^2 + 2 \times 2 \times 2 \cos 120^\circ$$

$$R = 2 \text{ m}$$

El ángulo que forma con el eje x es $\theta = 0$ porque R se encuentra sobre el eje "x".

16^{va} OLIMPIADA BOLIVIANA DE FÍSICA
1^{ra} OLIMPIADA CIENTÍFICA ESTUDIANTIL
PLURINACIONAL BOLIVIANA
SEGUNDA ETAPA
3^{ro} DE SECUNDARIA

PARTE CONCEPTUAL (40%)

- (10%) Un objeto de masa "m" se mueve con una velocidad inicial v_o , si su energía cinética se duplica entonces la nueva velocidad será:
 - $2v_o$
 - $4v_o$
 - $\sqrt{2}v_o$
 - v_o
 - Ninguno
- (10%) En un movimiento parabólico, para un ángulo de 45° la relación entre la altura máxima y el alcance horizontal es:
 - 1/2
 - 1/3
 - 1/5
 - 1
 - Ninguno
- (10%) Emparejar los términos de la izquierda eligiendo una definición de la derecha.

<ol style="list-style-type: none"> El producto vectorial de dos vectores El producto escalar de dos vectores 	<ol style="list-style-type: none"> Un vector paralelo al primer vector Un vector perpendicular a los dos vectores Un escalar positivo Un escalar
--	--

<ol style="list-style-type: none"> $a \leftrightarrow x$ $b \leftrightarrow x$ $b \leftrightarrow u$ $a \leftrightarrow y$ $a \leftrightarrow z$ 	<ol style="list-style-type: none"> 270° 90° 0° 45° Ninguno
--	---
- (10%) Para lograr un trabajo máximo, la fuerza aplicada y el desplazamiento deben formar un ángulo de:
 - 270°
 - 90°
 - 0°
 - 45°
 - Ninguno

PARTE PRÁCTICA (60%)

- (20%) Un bloque de masa m está sujeto a través de una cuerda de longitud L fija por un extremo. La masa se mueve en un círculo horizontal soportada por una mesa pulida (fig. 1). Determinar la tensión en la cuerda si el periodo es P .

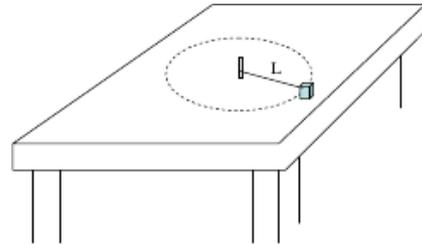


Figura 1.

Respuesta: $T = 4\pi^2 mL/P^2$

- (20%) Se dispara un bloque de masa $m = 1[Kg]$ a través de un resorte de constante elástica $K = 800[N/m]$ comprimido $20[cm]$ al pie de un plano inclinado como se muestra en la figura 2. Si el coeficiente de rozamiento cinético entre el bloque y el plano inclinado es $\mu = 0.2$, determinar la altura máxima alcanzada en el ascenso.

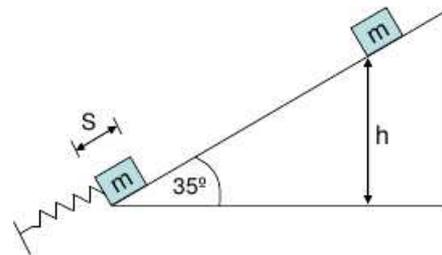


Figura 2.

Respuesta: $h = 1,27[m]$

- (20%) Hallar el área de un paralelogramo cuyas diagonales son los vectores $\vec{A} = 3i + j - 2k$ y $\vec{B} = i - 3j + 4k$.



Respuesta: $Area = \sqrt{75}$ unidades de superficie

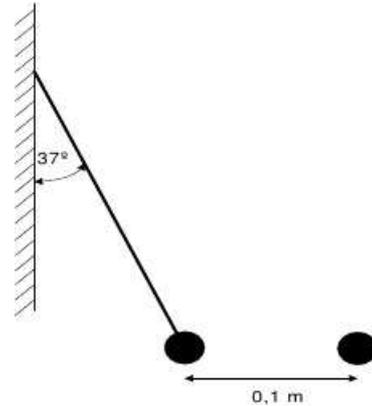
16^{va} OLIMPIADA BOLIVIANA DE FÍSICA
1^{ra} OLIMPIADA CIENTÍFICA ESTUDIANTIL
PLURINACIONAL BOLIVIANA
SEGUNDA ETAPA
4^{to} DE SECUNDARIA

PARTE CONCEPTUAL (40%)

- (10%) En el gráfico fuerza del resorte vs. Elongación del resorte, la pendiente de la recta representa:
 - El trabajo del resorte
 - La elongación del resorte
 - La constante elástica del resorte
 - La fuerza del resorte
 - Ninguno
- (10%) Dos cargas puntuales Q_1 y Q_2 se atraen en aire con cierta fuerza F , suponga que el valor de Q_1 se duplica y el de Q_2 se vuelve 8 veces mayor. Para que el valor de la fuerza F permanezca invariable, la distancia r entre las cargas Q_1 y Q_2 deberá ser:
 - 32 veces mayor
 - 4 veces mayor
 - 16 veces mayor
 - 4 veces menor
 - Ninguno
- (10%) Un capacitor de carga "Q", tiene una capacitancia "C". Si la carga se duplica, entonces la capacitancia:
 - Se duplica
 - Se reduce a la mitad
 - Se mantiene
 - Ninguno
- (10%) Una partícula se lanza verticalmente hacia arriba y al cabo de un tiempo alcanza una altura máxima. En ese instante, la partícula se detiene, entonces:
 - Carece de aceleración
 - Se encuentra en equilibrio
 - Está acelerada
 - Ninguno

PARTE PRÁCTICA (60%)

- (20%) Se tienen dos esferas iguales, electrizadas con igual cantidad de carga $q = 10^{-6}C$ pero con signos diferentes, separadas una distancia de $0.1m$; una de ellas está sujeta a una cuerda que hace un ángulo de 37° con la pared vertical y la otra esta fija. Calcular la tensión en la cuerda y la masa de cada esfera
Respuesta : $T = 1,5N$; $m = 0,12kg$



- (20%) Un alambre tiene una resistencia eléctrica de 5Ω si se estira hasta triplicar su longitud permaneciendo constante su volumen y resistividad eléctrica. Determinar la nueva resistencia.
 $A_o =$ Área inicial, $l_o =$ longitud inicial
Respuesta: $R_f = 45\Omega$
- (20%) Una tabla de $17m$ de longitud y masa $m = 100[Kg]$ se coloca al borde de un precipicio, de tal manera que $10m$ se encuentran apoyados sobre el piso horizontal y el resto sobresalen del borde. ¿Qué distancia, desde el borde del precipicio, podrá caminar sobre la tabla un hombre de $65[Kg]$ antes de caer al precipicio?
Respuesta: $X = 2,31m$

6^{ta} OLIMPIADA BOLIVIANA DE ASTRONOMÍA Y
ASTROFÍSICA
1^{ra} OLIMPIADA CIENTÍFICA ESTUDIANTIL
PLURINACIONAL BOLIVIANA
SEGUNDA ETAPA
6^{to} DE PRIMARIA

1. ¿Qué estudia la astronomía?
 - a) Cuerpos Negros
 - b) El Sistema Solar
 - c) La Tierra
 - d) Cuerpos Celestes
 - e) La Naturaleza
2. ¿Cuál es la ciencia más antigua de las ciencias?
 - a) Física
 - b) Alquimia
 - c) Astronomía
 - d) Aeronáutica
 - e) Astrofísica
3. ¿Quién publicó la teoría Heliocéntrica?
 - a) Aristóteles
 - b) Copérnico
 - c) Da Vinci
 - d) Galileo Galilei
 - e) Isaac Newton
4. ¿Quién descubrió las leyes del movimiento de los planetas?
 - a) Isaac Newton
 - b) Copérnico
 - c) Kepler
 - d) Galilei
 - e) Tycho Brahe
5. ¿Quién construyó el primer Telescopio?
 - a) Kepler
 - b) Galileo Galilei
 - c) Newton
 - d) Einstein
 - e) Brahe
6. ¿Cuál de los siguientes movimientos se considera verdadero?
 - a) Tierra alrededor del Sol
 - b) Sol alrededor de la Tierra
 - c) Luna alrededor de Júpiter
 - d) Marte alrededor de la Tierra
7. ¿Cómo se define la Luna?
 - a) Satélite
 - b) Cúmulo
 - c) Planeta
 - d) Estrella
 - e) Meteoro
8. ¿A cuánto equivale el diámetro de la Luna respecto a la Tierra?
 - a) 1/2
 - b) 1/4
 - c) 1/5
 - d) 1/6
 - e) 2
9. Aproximadamente ¿en qué tiempo la luna se desplaza alrededor de la Tierra?
 - a) 1 Mes
 - b) 2 Meses
 - c) 1 Año
 - d) 6 Meses
 - e) 24 Horas
10. ¿Cuántos Planetas clásicos hay en el Sistema Solar?
 - a) Siete
 - b) Nueve c) Ocho
 - d) Ninguno
 - e) Cinco
11. ¿Cómo debe ser la forma de un planeta?
 - a) Aproximadamente Irregular
 - b) Aproximadamente Elipsoide
 - c) Aproximadamente Esférico
 - d) Aproximadamente Ovalado
12. ¿Cuál es la densidad de la Tierra?
 - a) 1 [g/cm^3]
 - b) 5.51 [g/Kg^3]
 - c) 2.51 [g/Kg^3]
 - d) 8 [g/m^3]

6^{ta} OLIMPIADA BOLIVIANA DE ASTRONOMÍA Y
ASTROFÍSICA

1^{ra} OLIMPIADA CIENTÍFICA ESTUDIANTIL
PLURINACIONAL BOLIVIANA

SEGUNDA ETAPA
7^{mo} DE PRIMARIA

1. ¿A qué distancia está nuestro sistema solar del centro de la vía Láctea? Relacione con el tipo de unidad apropiado.
 - a) 25000 x) Años Luz
 - b) 30000 y) Kilómetros
 - c) 100000 z) Unidades Astronómicas
2. ¿Qué es una estrella?
 - a) Un objeto que brilla por su luz propia
 - b) Un objeto que absorbe luz y la refleja
 - c) Un objeto que desvía la Luz que pasa cerca de ella
 - d) Un objeto inanimado que junto con otras forma figuras en el cielo
3. ¿Cómo interactúa el Sol con el planeta Tierra?
 - a) Solo con la gravedad
 - b) Solo con radiación térmica (calor)
 - c) Solo con Luz
 - d) Todas las anteriores
 - e) Solo la primera y la tercera
4. ¿A qué se deben las estaciones del año?
 - a) A que el sol quema más combustible en ciertas épocas de año
 - b) Al alejamiento y acercamiento de la Tierra con el Sol
 - c) A la inclinación del eje terrestre
 - d) Todas las anteriores
5. ¿Si en La Paz estamos en verano, en Sidney que estación del año tienen?
 - a) Otoño
 - b) Primavera
 - c) Verano
 - d) Invierno
6. ¿Cómo interactúa la fuerza de gravedad entre el Sol y la Tierra?
 - a) Nos empuja hacia afuera
 - b) Nos jala hacia el centro
 - c) Nos hace girar sobre nuestro propio eje
 - d) Nos mantiene en equilibrio
 - e) Ninguna de las anteriores
7. Si hoy es luna llena ¿después de cuantos días volveremos a ver la Luna llena?
 - a) 28 días
 - b) 27.5 días
 - c) 29.5 días
 - d) 30 días
8. Si la distancia Tierra–Sol es de una 1UA. ¿Cuánto vale en metros?
 - a) $180 \times 108 \text{ m}$
 - b) $150 \times 108 \text{ m}$
 - c) $7 \times 1020 \text{ m}$
 - d) Ninguna de las anteriores
9. El fenómeno de las mareas es causado por:
 - a) Radiación
 - b) Luna Menguante
 - c) Gravedad
 - d) Radición
 - e) Ninguna de las anteriores
10. ¿Cuantos planetas son visibles a simple vista desde la Tierra?
 - a) 9
 - b) 6
 - c) 3
 - d) 5
 - e) 7
11. ¿Cuál de los planetas es el más brillante visto desde la Tierra?
 - a) Júpiter
 - b) Saturno
 - c) Marte
 - d) Venus
 - e) Mercurio
12. ¿Cuantos planetas aceptados por la Unión Internacional de Astronomía tenemos ahora (clásicos)?
 - a) 9
 - b) 8
 - c) 10
 - d) 15
 - e) 7

6^{ta} OLIMPIADA BOLIVIANA DE ASTRONOMÍA Y
ASTROFÍSICA

1^{ra} OLIMPIADA CIENTÍFICA ESTUDIANTIL
PLURINACIONAL BOLIVIANA

SEGUNDA ETAPA
8^{vo} **DE PRIMARIA**

1. Si Júpiter se encuentra a 5 Unidades Astronómicas del Sol, ¿Cuánto será eso en kilómetros?
 - a) 750 millones [km]
 - b) 500000000 [km]
 - c) 250 billones [km]
 - d) 7000 [km]
 - e) Ninguna de las anteriores
2. Uno de los satélites naturales de Júpiter es:
 - a) Titán
 - b) Nereida
 - c) Padme
 - d) Europa
 - e) Ninguna de las anteriores
3. ¿Hace cuánto tiempo se formó el Sistema Solar?
 - a) 5730 años
 - b) 50 mil años
 - c) 3500 millones de años
 - d) 1 millón de años
 - e) 100 años
4. ¿Cuál de los siguientes planetas no tiene satélites naturales?
 - a) Júpiter
 - b) Saturno
 - c) Urano
 - d) Venus
 - e) Tierra
5. ¿Cuánto tiempo viaja la luz entre el Sol y la Tierra?
 - a) 1 hora
 - b) 40 minutos
 - c) 2 años luz
 - d) 8.33 minutos
 - e) 60 segundos
6. ¿Cuál es el séptimo planeta?
 - a) Mercurio
 - b) Júpiter
 - c) Marte
 - d) Saturno
 - d) Urano
7. ¿Cuál de los siguientes es el menos denso?
 - a) Luna
 - b) Saturno
 - c) Júpiter
 - d) Tierra
 - e) Marte
8. Si se dice que Saturno flotaría en una piscina de agua esto quiere decir que, comparada con el agua líquida, su densidad es:
 - a) Mayor
 - b) Menor
 - c) Igual
 - d) Ninguna de las anteriores
9. ¿Cuál de los siguientes cuerpos tiene una superficie más fría?
 - a) Tierra
 - b) Marte
 - c) Plutón
 - d) Venus
 - e) El Sol
10. ¿Cuál de las siguientes no es parte del Sol?
 - a) Núcleo
 - b) Manto
 - c) Zona convectiva
 - d) Corona
 - e) Fotosfera
11. ¿Cuanto tiempo aproximadamente duraría un viaje a Marte?
 - a) 1 mes
 - b) 5 años
 - c) un siglo
 - d) un lustro
 - e) 6 meses
12. ¿De qué están hechos los anillos de Saturno?
 - a) Hielo y polvo
 - b) Oro
 - c) Chocolate blanco
 - d) Algodón de azúcar
 - e) Diamantes

6^{ta} OLIMPIADA BOLIVIANA DE ASTRONOMÍA Y
ASTROFÍSICA
1^{ra} OLIMPIADA CIENTÍFICA ESTUDIANTIL
PLURINACIONAL BOLIVIANA
SEGUNDA ETAPA
1^{ro} DE SECUNDARIA

1. El centro de la esfera celeste es:
 - a) EL ojo del observador
 - b) El centro de la Tierra
 - c) El centro del Sol
 - d) El observatorio de Greenwich
 - e) El suelo debajo del telescopio
2. Bolivia tiene un uso horario de -4 ¿A que distancia del meridiano cero, en grados de longitud equivale eso?
 - a) 4°
 - b) 15°
 - c) 60°
 - d) 180°
 - e) 310°
3. Si colocásemos, una al lado de la otra, sobre la línea del meridiano local, para un horizonte matemático. Aproximadamente ¿Cuántas Lunas Llenas podríamos colocar?
 - a) 360
 - b) 200
 - c) 180
 - d) 400
 - e) 530
4. Las coordenadas ecuatoriales del punto de Aries son:
 - a) A. R. 10° Dec. 23.5°
 - b) A. R. 30° Dec. 30°
 - c) A. R. 180° Dec. 90°
 - d) A. R. 0° Dec. 0°
 - e) A. R. 23.5° Dec. 95°
5. En un lugar dado. La mínima distancia entre la línea del ecuador celeste y el cenit es igual a:
 - a) La hora del día
 - b) La latitud del lugar
 - c) La longitud del observador
 - d) 23.5°
 - e) El Nadir
6. Los días anteriores al solsticio de verano la cantidad de horas de Sol por día:
 - a) Aumenta
 - b) Disminuye
 - c) Es igual a las de noche
 - d) Ninguna de las anteriores
7. ¿Donde coinciden el Cenit y el Polo Sur celeste?
 - a) En el polo sur
 - b) En el polo norte
 - c) En el ecuador
 - d) En cualquier lugar de la Tierra
 - e) En ningún lugar
8. ¿A qué distancia angular se encuentra la línea del trópico de cáncer de la línea del ecuador?
 - a) 0°
 - b) 50.3°
 - c) 23.5°
 - d) 180°
 - e) Ninguna de las anteriores
9. Un objeto tiene una declinación de -16.5 grados, el observador se encuentra en una latitud de 25 grados sur. Al momento de culminar el objeto ¿Cuáles serán las coordenadas altacimutales del mismo?
 - a) Alt. 81.5° Az. 0°
 - b) Alt. 0° Az. 0°
 - c) Alt. 41.5° Az. 90°
 - d) Alt. 90° Az. 180°
10. Si Ud. vive en una hipotética ciudad de coordenadas latitud $53^\circ 12' 11''$ longitud $83^\circ 25' 45''$ ¿Cuál será la altura del polo celeste visible desde esa ubicación?
 - a) 0°
 - b) $126^\circ 48' 49''$
 - c) 90°
 - d) $53^\circ 12' 11''$
 - e) Ninguna de las anteriores
11. Decimos que Bolivia es un país tropical por qué:
 - a) Se encuentra entre el ecuador y el trópico de capricornio
 - b) Es un país cálido
 - c) Está en latino américa
 - d) Igualarnos a nuestros vecinos
 - e) Ninguna de las anteriores
12. La estrella Alpha Centauro se encuentra a 4.3 Años Luz. ¿A cuánto equivale eso en parsecs?
 - a) 1.5
 - b) 1.3
 - c) 2
 - d) 5
 - e) 4.3

6^{ta} OLIMPIADA BOLIVIANA DE ASTRONOMÍA Y
ASTROFÍSICA
1^{ra} OLIMPIADA CIENTÍFICA ESTUDIANTIL
PLURINACIONAL BOLIVIANA
SEGUNDA ETAPA
2^{do} DE SECUNDARIA

1. El catálogo Messier incluye:
 - a) Alrededor de 1000 objetos
 - b) Millones de objetos
 - c) Alrededor de 100 objetos
 - d) Ninguna de las anteriores
 - e) No existe tal catálogo
2. Por lo general las coordenadas mostradas en los mapas estelares son:
 - a) Ascensión Recta y Declinación
 - b) Altura y Acimut
 - c) Distancia y brillo
 - d) Todas las anteriores
 - e) Ninguna de las anteriores
3. ¿Quién elaboro el primer catálogo estelar?
 - a) Hiparco
 - b) Platón
 - c) Ptolomeo
 - d) Aristóteles
 - e) Ninguna de las anteriores
4. La clasificación de las magnitudes estelares se debe a:
 - a) Hiparco
 - b) Platón
 - c) Ptolomeo
 - d) Aristóteles
 - e) Ninguna de las anteriores
5. La vía Láctea es una galaxia tipo:
 - a) Irregular
 - b) Espiral
 - c) Elíptica
 - d) Peculiar
 - e) Ninguna
6. La distancia del Sol al centro de la galaxia es:
 - a) 10 [Parsec]
 - b) 1000000 [Parsec]
 - c) 100000 [Parsec]
 - d) 10000 [Parsec]
7. Cuando decimos Paralaje nos referimos a:
 - a) Una distancia
 - b) Un ángulo
 - c) Unidades de brillo
 - d) Tiempo
 - e) Masa
8. ¿Que parte de la Vía Láctea observamos al ver hacia la región de Orión?
 - a) Hacia el centro
 - b) Hacia afuera
 - c) Por encima
 - d) No estamos viendo la galaxia
9. La estrella más cercana al Sol se encuentra a menos de:
 - a) 100 [Parsec]
 - b) 10 [Parsec]
 - c) 5 [Parsec]
 - d) 2 [Parsec]
 - e) 1 [Parsec]
10. Si solo le dieran a escoger uno de los siguientes parámetros para calcular la distancia a una estrella, ¿Cuál escogería?
 - a) La magnitud aparente
 - b) La magnitud visual
 - c) El paralaje
 - d) El brillo
 - e) La masa
11. Aparte de su brillo ¿porqué otras características pueden clasificarse las estrellas?
 - a) Su color
 - b) Su masa
 - c) Su temperatura
 - d) Todas las anteriores
 - e) Ninguna de las anteriores
12. El catálogo NGC incluye (puede ser más de una):
 - a) Nebulosas
 - b) Estrellas
 - c) Galaxias
 - d) Cúmulos estelares
 - e) Ninguna de las anteriores.

6^{ta} OLIMPIADA BOLIVIANA DE ASTRONOMÍA Y
ASTROFÍSICA
1^{ra} OLIMPIADA CIENTÍFICA ESTUDIANTIL
PLURINACIONAL BOLIVIANA
SEGUNDA ETAPA
3^{ro} DE SECUNDARIA

1. El período de traslación de un objeto alrededor del Sol depende de:
 - a) La masa del objeto
 - b) El área barrida por el objeto
 - c) Que la trayectoria sea elíptica
 - d) Todas las respuestas anteriores
 - e) Ninguna de las respuestas anteriores
2. En el sistema Tierra - Sol. Si cambiamos la masa del Sol también cambiará:
 - a) El período de traslación de la Tierra
 - b) La excentricidad de la órbita de la Tierra
 - c) La distancia Tierra - Sol
 - d) Todas las anteriores
 - e) Ninguna de las anteriores
3. ¿Cuál es el período orbital de un satélite geoestacionario?
 - a) 12 horas
 - b) 1 día
 - c) 1 mes
 - d) 6 meses
 - e) 1 año
4. En su afelio, la fuerza gravitacional que el Sol ejerce sobre la Tierra es de: 3.67×10^{22} N. En ese mismo momento la fuerza que ejerce la Tierra sobre el Sol es:
 - a) Cero (0 N)
 - b) Mucho más pequeña
 - c) Más pequeña
 - d) La misma
 - e) Más grande
5. Para cierta onda que posee una velocidad de propagación de 0.3 Km/s , la longitud de onda que corresponde a la frecuencia 440 Hz es:
 - a) 1.32×10^2 [Km]
 - b) 2.64×10^2 [Km]
 - c) 6.82×10^{-4} [Km]
 - d) 3.41×10^4 [Km]
6. Se observan 2 estrellas idénticas. La primera está a 3.12 parsecs y la segunda está a 6.24 parsecs. La intensidad luminosa de la primera será: ____ veces la intensidad de la segunda.
 - a) 0.25; b) 0.5; c) 2; d) 4; e) 8
7. Al combinar dos ondas cuyas amplitudes y frecuencias son iguales y poseen un desfase de π radianes. La amplitud de la onda resultante será:
 - a) El doble de la amplitud original
 - b) Igual a la amplitud original
 - c) La mitad de la amplitud original
 - d) Cero
 - e) Ninguna de las opciones anteriores
8. Dos hojas ideales de polarización se ponen una en frente de otra, de manera que no se transmita luz incidente no polarizada. Una tercera hoja se desliza entre las dos primeras en un ángulo de 45° con la hoja que recibe la luz incidente. La fracción de luz transmitida por el conjunto de las tres hojas es:
 - a) Cero; b) 1/8; c) 1/4; d) 1/2; e) 1
9. Existen dos tipos principales de telescopios, los cuales son:
 - a) Refractores y refringentes
 - b) Reflectores y refractores
 - c) Reflectores y refringentes
 - d) Todas las anteriores
 - e) Ninguna de las anteriores
10. Un aficionado a la astronomía observa la luna a través de un telescopio Cassegrain de 8 pulgadas usando un ocular de 9 milímetros. Al cambiar el ocular por uno de 26 milímetros él observa que el aumento de telescopio:
 - a) Incrementa
 - b) Disminuye
 - c) Permanece igual
 - d) El campo de visión aumenta
11. El poder de captación de luz de un telescopio reflector de 16 pulgadas es ____ veces el de otro telescopio reflector de 8 pulgadas.
 - a) 1/2; b) 2; c) 4; d) 8; e) 16
12. En un telescopio simple, basado en lentes, la lente del objetivo tiene una distancia focal _____ y el ocular tiene una distancia focal _____.
 - a) Corta, corta
 - b) Corta, larga
 - c) Larga, corta
 - d) Larga, larga
 - e) Ninguna de las anteriores

6^{ta} OLIMPIADA BOLIVIANA DE ASTRONOMÍA Y
ASTROFÍSICA
1^{ra} OLIMPIADA CIENTÍFICA ESTUDIANTIL
PLURINACIONAL BOLIVIANA
SEGUNDA ETAPA
4^{to} DE SECUNDARIA

1. Las galaxias se clasifican por:
 - a) Su masa
 - b) Su brillo
 - c) Su distancia
 - d) Su forma
 - e) Ninguna de las anteriores
2. Las nubes de Magallanes son dos galaxias del tipo:
 - a) Espiral
 - b) Irregular
 - c) Elíptico
 - d) Peculiar
 - e) Ninguna de las anteriores
3. El color de una estrella es reflejo de:
 - a) Su masa
 - b) Su tamaño
 - c) Su temperatura superficial
 - d) Su distancia
 - e) Ninguna de las anteriores
4. La longitud de onda del pico de radiación del Sol se encuentra en los 4750 Å, si observamos una estrella más caliente esperaríamos que la longitud de onda del pico de su radiación sera:
 - a) Mayor
 - b) Menor
 - c) Igual
 - d) Ninguna de las anteriores
5. La potencia emitida por una estrella más caliente que es el Sol sera:
 - a) Mayor
 - b) Menor
 - c) Igual
 - d) Ninguna de las anteriores
6. ¿Cómo será la luminosidad de una estrella del doble de la temperatura del Sol y una cuarta parte de su radio, con respecto a la luminosidad del Sol?
 - a) Mayor
 - b) Menor
 - c) Igual
 - d) Ninguna de las anteriores
7. Un objeto a una elevada temperatura tiene su pico de emisión en color naranja, otro objeto con temperatura un poco inferior emitirá en color:
 - a) Azul
 - b) Verde
 - c) Rojo
 - d) Violeta
 - e) Amarillo
8. Es posible determinar la temperatura de una estrella de forma:
 - a) Directa
 - b) Indirecta
 - c) Ambas formas
 - d) Ninguna
9. ¿Cuál es el diámetro de nuestra galaxia?
 - a) 5000 [Parsec]
 - b) 150×10^6 [Km]
 - c) 4500 [Años Luz]
 - d) 30000 [Parsec]
10. ¿Cuál es la superficie de la Tierra?
 - a) 5000 [Km^3]
 - b) 510 [MKm^2]
 - c) 125000 [Km^2]
 - d) 500000000 [Km]
11. En el espectro electromagnético ¿en qué intervalo se encuentra la luz visible?
 - a) 380 - 780 [nm]
 - b) 1780 - 1450 [nm]
 - c) 180 - 580 [nm]
 - d) 40 - 100 [nm]
12. El Sol tiene una temperatura superficial de 5780 Kelvin ¿a cuántos grados centígrados corresponden?
 - a) 1000000 [$^{\circ}C$]
 - b) 3000 [$^{\circ}C$]
 - c) 250 [$^{\circ}C$]
 - d) 400 [$^{\circ}C$]
 - e) 5507 [$^{\circ}C$]

16^{va} OLIMPIADA BOLIVIANA DE FÍSICA
1^{ra} OLIMPIADA CIENTÍFICA ESTUDIANTIL
PLURINACIONAL BOLIVIANA

TERCERA ETAPA
6^{to} DE PRIMARIA

PARTE CONCEPTUAL (40%)
(CADA PREGUNTA VALE 10%)
MARQUE EL INCISO CORRECTO

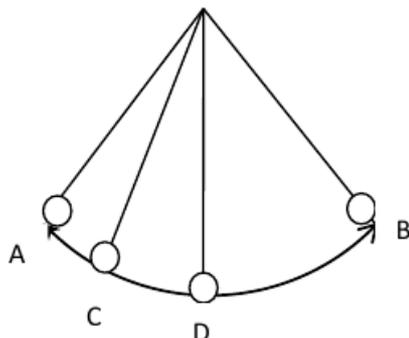
- ¿Cuál de los puntos tiene mayor valor?
a) El de ebullición; b) El de congelamiento; c) Ambos son iguales
- ¿En qué estado la materia no tiene forma definida, pero si tiene volumen definido?
a) Sólido; b) Líquido; c) Gaseoso
- ¿Qué partícula no se encuentra en el núcleo del átomo?
a) Protón; b) Neutrón; c) Electrón
- ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es la correcta?
a) La materia contiene calor;
b) La materia contiene energía en distintas formas pero no contiene calor;
c) La materia puede contener frío

PARTE PRÁCTICA SOBRE 60%
(CADA PREGUNTA VALE 20%)

- De un ejemplo de un átomo y de una molécula y señale la diferencia que existe entre ambos.

Respuesta. El oxígeno y el hidrógeno son ejemplos de átomos. Cuando se combinan dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno forman una molécula de agua. Es decir los átomos se combinan para formar las moléculas

- Se tiene un péndulo (Un cuerpo pequeño colgando de un hilo, el hilo se encuentra en el otro extremo fijo y puede entonces el cuerpo moverse con un movimiento oscilatorio (véase la figura). Cuando se suelta desde la posición A el cuerpo oscila hasta la posición B pasando por C y D. Considere que no existe resistencia del aire.

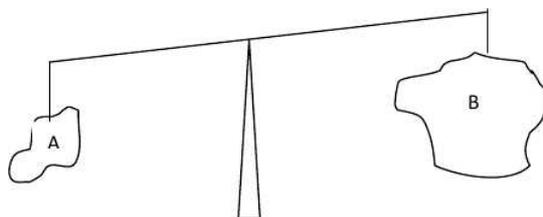


- Indique que tipo de energía tiene cuando se encuentra en el punto A.
- Indique que tipo de energía tiene cuando se encuentra en el punto B.
- Indique que tipo de energía tiene cuando se encuentra en el punto C.
- Indique que tipo de energía tiene cuando se encuentra en el punto D.
- ¿En cuál de los puntos A, B, C ó D la energía total es mayor?
- ¿Por qué?

Respuestas.

- Energía potencial
- Energía potencial
- Energía potencial y cinética
- Energía cinética
- En todos los puntos la energía es la misma
- Porque la energía se conserva no varía en valor solo se transforma de potencial a cinética o a la inversa sin cambiar el valor total. Esto se debe a que no existen fuerzas disipativas como el rozamiento y la resistencia del aire.

- Observe la figura de dos cuerpos A y B en una balanza y responda:



- ¿Cuál de los cuerpos tiene mayor masa? Justifique su respuesta
- ¿Cuál de los cuerpos tiene mayor volumen? Justifique su respuesta
- ¿Cuál de los cuerpos tiene mayor densidad? Justifique su respuesta

Respuestas.

- El A porque la balanza está inclinada a favor del cuerpo A
- El cuerpo B porque se puede observar que es de mayor tamaño
- Recuérdese que la densidad es la cantidad de masa contenida por unidad de volumen es decir es la relación entre masa y volumen. De este modo si el cuerpo A tiene mayor masa y volumen pequeño su densidad será alta; por otro lado el cuerpo B tiene masa pequeña y volumen grande, entonces su densidad será más pequeña.

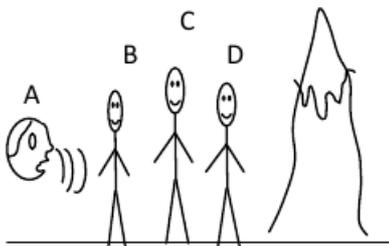
16^{va} OLIMPIADA BOLIVIANA DE FÍSICA
1^{ra} OLIMPIADA CIENTÍFICA ESTUDIANTIL
PLURINACIONAL BOLIVIANA
TERCERA ETAPA
7^{mo} DE PRIMARIA

PARTE CONCEPTUAL (40%)
(CADA PREGUNTA VALE 10%)
MARQUE EL INCISO CORRECTO

- ¿Qué unidad tienen en común el sistema MKS y el cgs?
 - El metro
 - El segundo
 - El gramo
 - El kilogramo
- ¿Qué cantidad es más grande?
 - 3×10^{-3}
 - 3.5×10^{-3}
 - 3×10^3
 - 6×10^2
- ¿Cuál de las siguientes es una fuente de energía no renovable?
 - hidroeléctrica
 - eólica
 - solar
 - gas natural
- Cuál de las siguientes cantidades tiene más cifras significativas?
 - 23.000
 - 2.3×10^4
 - 23
 - 0.230×10^5

PARTE PRÁCTICA SOBRE 60%
(CADA PREGUNTA VALE 20%)

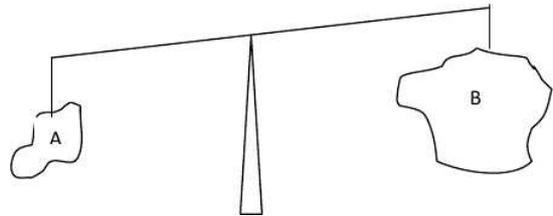
- La persona A lanza un grito.
 - ¿quién de las otras personas B, C o D escucha primero el eco que se produce debido a la montaña?. ¿Por qué?
 - ¿Quién es el último en escuchar el grito? ¿Por qué?



Respuestas.

- D escucha primero el eco porque se encuentra más cerca a la montaña por tanto el sonido tardara menor tiempo en llegarle.
- D es el último en escuchar el grito porque esta a mayor distancia de A

- Observe la figura de dos cuerpos A y B en una balanza y responda:



- ¿Cuál de los cuerpos tiene mayor masa? Justifique su respuesta
- ¿Cuál de los cuerpos tiene mayor volumen? Justifique su respuesta
- ¿Cuál de los cuerpos tiene mayor densidad? Justifique su respuesta

Respuestas.

- El cuerpo A porque la balanza esta inclinada a favor del cuerpo A
 - El cuerpo B porque se puede observar que es de mayor tamaño
 - El cuerpo A tiene mayor densidad, pues teniendo menor volumen que B tiene mayor masa por tanto su densidad será mayor, pues la densidad es la relación de masa y volumen.
- Si el número atómico de un átomo ionizado es 2.
 - ¿Cuántos protones tiene?
 - ¿Cuántos electrones podría tener?
- Respuestas.
- Dos
 - Uno o ninguno

16^{va} OLIMPIADA BOLIVIANA DE FÍSICA
1^{ra} OLIMPIADA CIENTÍFICA ESTUDIANTIL
PLURINACIONAL BOLIVIANA
TERCERA ETAPA
8^{vo} DE PRIMARIA

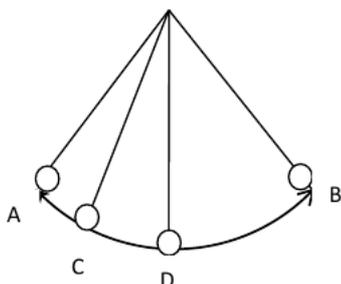
PARTE CONCEPTUAL (40%)
(CADA PREGUNTA VALE 10%)
MARQUE EL INCISO CORRECTO

- Para que la fuerza eléctrica entre dos cargas estáticas sea grande estas deben:
 - Estar separadas una gran distancia
 - Las cargas deben ser grandes y la distancia de separación pequeña
 - Las cargas deben ser grandes y la distancia de separación no tiene importancia
 - Las cargas deben ser pequeñas y la distancia de separación también.
- ¿Cuál de las siguientes cantidades tiene más cifras significativas? A

A) 23.000; b) 2.3×10^4 ; c) 23; d) 0.230×10^5
- ¿Qué magnitud tiene la misma unidad en el sistema MKS y el cgs?
 - la longitud; b) el tiempo; c) la masa; d) ninguna
- ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es la incorrecta:
 - La fuerza entre cargas iguales es repulsiva
 - La fuerza eléctrica entre partículas neutras es cero
 - La fuerza entre partículas con cargas de diferente signo es repulsiva

PARTE PRÁCTICA SOBRE 60%
(CADA PREGUNTA VALE 20%)

- Se tiene un péndulo (Un cuerpo pequeño colgando de un hilo, el hilo se encuentra en el otro extremo fijo y puede entonces el cuerpo moverse con un movimiento oscilatorio (véase la figura). Cuando se suelta desde la posición A el cuerpo oscila hasta la posición B pasando por C y D. Considere que no existe resistencia del aire.



- Indique que tipo de energía tiene cuando se encuentra en el punto A.
- Indique que tipo de energía tiene cuando se encuentra en el punto B.
- Indique que tipo de energía tiene cuando se encuentra en el punto C.
- Indique que tipo de energía tiene cuando se encuentra en el punto D.
- ¿En cuál de los puntos A, B, C ó D la energía total es mayor?
- ¿Por qué?

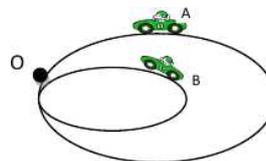
Respuestas.

- Energía potencial
- Energía potencial
- Energía potencial y cinética
- Energía cinética
- En todos los puntos la energía es la misma
- Porque la energía se conserva no varía en valor solo se transforma de potencial a cinética o a la inversa sin cambiar el valor total. Esto se debe a que no existen fuerzas disipativas como el rozamiento y la resistencia del aire.

- Se tiene un cuerpo B de menor volumen que un cuerpo A pero de mayor masa ¿Cuál de los dos cuerpos tiene menor densidad? ¿Por qué?

Respuesta. La densidad es la relación de la masa y el volumen: $\rho = m/V$. Por tanto la densidad es directamente proporcional a la masa e inversamente proporcional al volumen; esto quiere decir que mientras mayor la masa mayor la densidad; y mientras mayor el volumen menor la densidad. El cuerpo B cumple ambas condiciones tiene mayor masa en menor volumen, por tanto será el de mayor densidad.

- Dos automóviles se mueven durante un mismo tiempo partiendo del punto O, describiendo las trayectorias que se ven en la figura y retornando al mismo punto O.



- ¿Cuál de ellos recorrió mayor distancia?
- ¿Cuál tuvo mayor rapidez?
- ¿Cuál tuvo mayor desplazamiento?

Respuestas.

- El automóvil A es evidente de la figura que muestra la trayectoria de A más larga a la de B
- El automóvil A pues recorrió mayor distancia en el mismo tiempo que B.
- Ambos tuvieron un desplazamiento nulo porque retornaron al mismo punto.

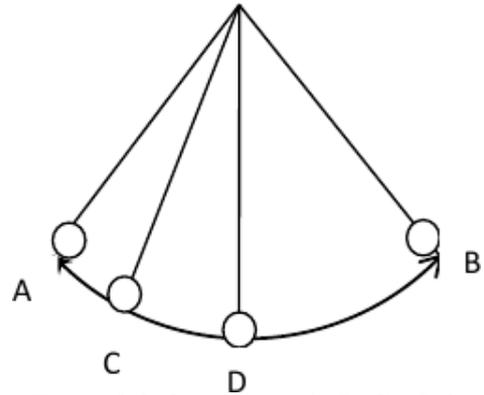
16^{va} OLIMPIADA BOLIVIANA DE FÍSICA
 1^{ra} OLIMPIADA CIENTÍFICA ESTUDIANTIL
 PLURINACIONAL BOLIVIANA
TERCERA ETAPA
1^{ro} DE SECUNDARIA

PARTE CONCEPTUAL (40%)
 (CADA PREGUNTA VALE 10%)
 MARQUE EL INCISO CORRECTO

- ¿Cuál de las siguientes cantidades tiene mayor error porcentual?
 - $(30 \pm 3)[g]$
 - $(20 \pm 5)[g]$
 - $(10.0 \pm 0.1)[g]$
 - $(100 \pm 15)[g]$
- ¿Cuál de las siguientes cantidades se redondea a 7 Kg?
 - 7500.5 g
 - 7045.5 g
 - 7550 g
 - 6050 g
- Se mide un bolígrafo con una regla con apreciación de milímetro ¿Cuál de los siguientes resultados está incorrectamente expresado?
 - $(12.00 \pm 0.100) \text{ cm}$
 - $(120 \pm 1) \text{ mm}$
 - $(12.0 \pm 0.1) \text{ cm}$
 - $(0.120 \pm 0.001) \text{ m}$
- ¿Cuál de las siguientes cantidades es de tipo escalar?
 - Fuerza
 - Desplazamiento
 - Temperatura
 - Velocidad

PARTE PRÁCTICA SOBRE 60%
 (CADA PREGUNTA VALE 20%)

- Se tiene un péndulo (Un cuerpo pequeño colgando de un hilo, el hilo se encuentra en el otro extremo fijo y puede entonces el cuerpo moverse con un movimiento oscilatorio (véase la figura). Cuando se suelta desde la posición A el cuerpo oscila hasta la posición B pasando por C y D.
 - Indique que tipo de energía tiene cuando se encuentra en el punto A.
 - Indique que tipo de energía tiene cuando se encuentra en el punto B.
 - Indique que tipo de energía tiene cuando se encuentra en el punto C.
 - Indique que tipo de energía tiene cuando se encuentra en el punto D.

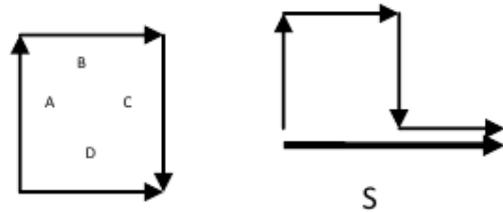


- ¿En cuál de los puntos A, B, C ó D la energía total es mayor?
- ¿Por qué?

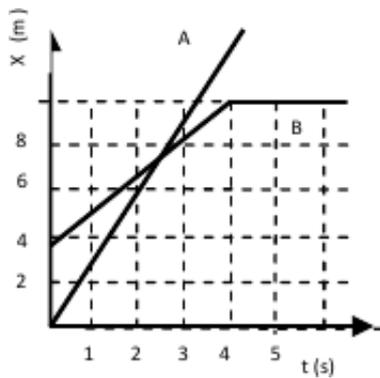
Respuestas.

- Energía potencial
 - Energía potencial
 - Energía potencial y cinética
 - Energía cinética
 - En todos los puntos la energía es la misma.
 - Porque la energía se conserva no varía en valor solo se transforma de potencial a cinética o a la inversa sin cambiar el valor total
- Realice gráficamente la suma de los siguientes vectores (los cuatro forman un cuadrado perfecto)

Respuesta. Usando el método gráfico del polígono de suma de vectores. Se dibujan un vector a continuación de otro y finalmente el vector resultante suma es el vector que va del origen del primero a la punta del último (véase la figura). Y este resulta ser igual a dos veces el vector B o dos veces el vector D.



- Del gráfico posición x en metros versus tiempo t en segundos que describen dos partículas A y B al moverse analice y responda:
 - ¿Cuál de las partículas tiene mayor velocidad? Justifique su respuesta.
 - ¿Cuándo y dónde se encuentran las partículas? Justifique su respuesta.
 - ¿Cuál partícula parte delante de cuál? Y ¿aproximadamente cuánto más adelante? Justifique su respuesta.
 - ¿Qué ocurre con la partícula B después de los 4 s? Justifique su respuesta.



Respuestas.

a) A tiene mayor velocidad porque la pendiente de la recta es mayor.

b) Se encuentran aproximadamente a los 2.5 segundos (entre los 2 y 3 segundos). Y aproximadamente a los 7 metros (entre los 6 y 8 metros). Esto se puede ver del gráfico porque es el punto de intersección.

c) Se puede ver que cuando t es cero, es decir en el instante inicial la posición de B es 4 metros y la de A es de 0 m. Entonces A parte 4 metros mas adelante de B.

d) Se puede ver que ha medida que transcurre el tiempo después de los 4 segundos la posición de la partícula B permanece en 10 m., por tanto la partícula llega a los 10 m y permanece en reposo.

16^{va} OLIMPIADA BOLIVIANA DE FÍSICA
1^{ra} OLIMPIADA CIENTÍFICA ESTUDIANTIL
PLURINACIONAL BOLIVIANA

TERCERA ETAPA
2^{do} DE SECUNDARIA

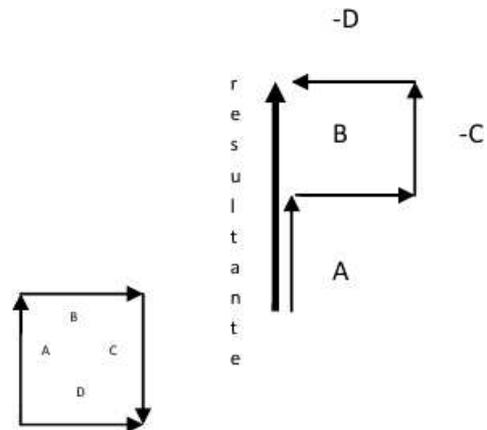
PARTE CONCEPTUAL (40%)
(CADA PREGUNTA VALE 10%)
MARQUE EL INCISO CORRECTO

- ¿Cuál de las siguientes cantidades tiene mayor error porcentual?
 - $(30 \pm 3)[g]$
 - $(20 \pm 5)[g]$
 - $(10.0 \pm 0.1)[g]$
 - $(100 \pm 15)[g]$
- ¿Cuál de las siguientes cantidades se redondea a 7 Kg?
 - 7500.5 g
 - 7045.5 g
 - 7550 g
 - 6050 g
- Una persona A se encuentra a 1300m de una montaña. Una persona B se encuentra entre la persona A y la montaña a 300 m de la persona A. Una tercera persona C también se encuentra entre la persona A y la montaña, a 700 m de la montaña. La persona A lanza un grito ¿Cuál de las personas escucha primero el eco que se produce debido a la montaña?
 - La persona A
 - La persona B
 - La persona C
 - Todas lo escuchan al mismo tiempo
- ¿Qué cantidad es la mayor? d
 - 0, 2 kg
 - 200 g
 - 200×10^3 mg
 - 2000×10^{-3} kg

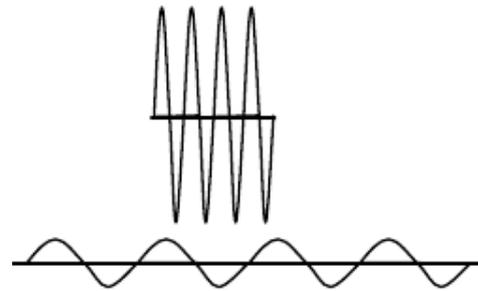
PARTE PRÁCTICA SOBRE 60%
(CADA PREGUNTA VALE 20%)

- Halle gráficamente $A + B - (C + D)$ de los siguientes vectores (los cuatro forman un cuadrado perfecto)

Respuesta. Usando el método gráfico del polígono de suma de vectores. Se dibujan un vector a continuación de otro y finalmente el vector resultante suma es el vector que va del origen del primero a la punta del último (véase la figura). Nótese que tanto el vector C como el D están afectados por un signo negativo, gráficamente esto significa que se deben dibujar en sentido contrario. Realizando el dibujo la resultante es dos veces el vector A.



- En la figura se observan dos ondas graficadas en la misma escala. La onda de arriba se llama A y la inferior se llama B. Ambas ondas son del mismo tipo por tanto tienen la misma velocidad. Justificando sus respuestas para que tengan validez, responda:



- ¿Cuál de las ondas tiene mayor frecuencia?

Respuesta. De la figura se puede observar que la distancia entre dos nodos es menor en la onda A por tanto su longitud de onda λ es menor. Como ambas ondas tienen la misma velocidad, es decir: $\lambda_A f_A = v_A = v_B = \lambda_B f_B$, Por lo tanto para que la velocidad sea siempre la misma, si la longitud de onda es pequeña la frecuencia debe ser grande. Por tanto si A tiene longitud de onda menor su frecuencia será mayor, entonces A tiene mayor frecuencia.

- ¿Cuál de las ondas tiene mayor amplitud?

Respuesta. De la figura se puede ver que A tiene mayor amplitud

- ¿Cuál de las ondas tiene mayor periodo?

Respuesta. La frecuencia es inversamente proporcional al periodo por tanto si la frecuencia de A es mayor entonces su periodo será menor, por tanto B tiene mayor periodo.

- ¿Cuál de las ondas tiene mayor longitud de onda?

Respuesta. De la figura se puede observar que la distancia entre dos nodos es menor en la onda A por tanto su longitud de onda es menor.

3. Se midió varias veces una misma masa con una apreciación de 0.02 g. Calcule a partir de estos datos la cantidad que utilizaríamos para expresar la medición de la masa

No.	1	2	3	4
Masa en [g]	43.20	43.80	43.00	43.20

5	6	7
43.00	43.20	43.40

Respuesta. El promedio de todas las masas es 43.257 g

El valor de $\sigma = 0.276$ g

Por tanto el error estadístico

$$\sigma/E = \sigma_{n-1}/\sqrt{N} = 0.276/\sqrt{7} = 0.104$$

El resultado final de la masa es: (43.26 ± 0.10) g

16^{va} OLIMPIADA BOLIVIANA DE FÍSICA
1^{ra} OLIMPIADA CIENTÍFICA ESTUDIANTIL
PLURINACIONAL BOLIVIANA
TERCERA ETAPA
3^{ro} DE SECUNDARIA

PARTE CONCEPTUAL (40%)
(CADA PREGUNTA VALE 10%)
MARQUE EL INCISO CORRECTO

- Si un cuerpo "A" flota en un líquido "B". Se puede concluir entonces que:
 - Ambas densidades: del cuerpo A y B, son iguales
 - La densidad de B es mayor a la de A
 - El volumen de A es mayor al de B
 - No se puede conocer la relación de densidades a partir de este hecho.
- Según la ecuación de Bernoulli de fluidos:
 - La energía no se conserva
 - Si la velocidad aumenta entonces la presión disminuye
 - Si la presión disminuye es porque la velocidad también disminuye
 - La velocidad de un fluido no afecta su presión.
- ¿Qué velocidad debe tener una bala de 15g de masa para que tenga la misma cantidad de movimiento que un auto de 900 Kg moviéndose a 10 m/s?
 - 1350 m/s; b) 600 km/s; c) 60m/s; d) 135m/s
- Si una partícula tiene movimiento circular uniforme es decir gira con velocidad angular constante, entonces:
 - No tiene aceleración
 - Tiene aceleración tangencial
 - Tiene aceleración centrípeta
 - No se tienen suficientes datos para conocer su aceleración

PARTE PRÁCTICA SOBRE 60%
(CADA PREGUNTA VALE 20%)

- Para medir la presión atmosférica Torricelli lleno un tubo de mercurio lo volcó sobre un recipiente, observó que este no se vació por completo, quedo lleno una altura de 760 mm de mercurio respecto al nivel de mercurio en el recipiente, esto ocurre debido a que el peso de la presión atmosférica equipara el peso del mercurio. Si hubiese realizado el experimento con agua en lugar del mercurio cual hubiese sido la altura alcanzada. La densidad del mercurio es 13.6 veces la del agua.

Resultado. En ambos casos ya sea que se realice el experimento con agua o con mercurio

quien no deja que todo el líquido se vacíe es la presión atmosférica que equipara a la presión que ejerce el líquido dada por el producto de la densidad la gravedad y la altura de líquido, es decir:

$$\rho_{Hg}gh_{Hg} = P_{atm} = \rho_{H_2O}gh_{H_2O}$$

De donde

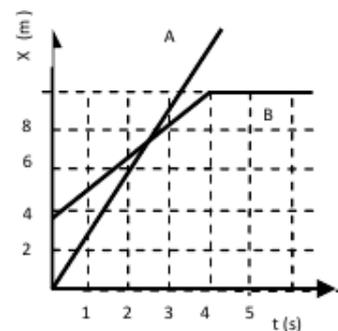
$$h_{H_2O} = \frac{\rho_{Hg}}{\rho_{H_2O}} h_{Hg}$$

Reemplazando datos nos queda:

$$h_{H_2O} = 13.6 \times 760mm = 10336mm = 10.3m$$

La altura alcanzada es de 10 metros por ello es que Torricelli tuvo que realizar su experimento con mercurio, pues sino las condiciones experimentales se dificultarían enormemente.

- Del grafico posición x en metros versus tiempo t en segundos que describen dos partículas A y B al moverse analice y responda:



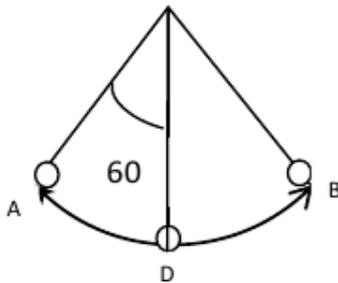
- ¿Cuál de las partículas tiene mayor velocidad? Justifique su respuesta.
- ¿Cuándo y dónde se encuentran las partículas? Justifique su respuesta.
- ¿Cuál partícula parte delante de cuál? Y ¿aproximadamente cuánto más adelante? Justifique su respuesta.
- ¿Qué ocurre con la partícula B después de los 4 s? Justifique su respuesta.

Respuestas.

- A tiene mayor velocidad porque la pendiente de la recta es mayor.
- Se encuentran aproximadamente a los 2.5 segundos (entre los 2 y 3 segundos). Y aproximadamente a los 7 metros (entre los 6 y 8 metros). Esto se puede ver del gráfico porque es el punto de intersección.
- Se puede ver que cuando t es cero, es decir en el instante inicial la posición de B es 4 metros y la de A es de 0m. Entonces A parte 4 metros mas adelante de B.

d) Se puede ver que ha medida que transcurre el tiempo después de los 4 segundos la posición de la partícula B permanece en 10 m., por tanto la partícula llega a los 10 m y permanece en reposo.

3. Se tiene un péndulo (Un cuerpo pequeño colgando de un hilo, el hilo se encuentra en el otro extremo fijo y puede entonces el cuerpo moverse con un movimiento oscilatorio, véase la figura). Cuando se suelta desde la posición A el cuerpo oscila hasta la posición B pasando por D. Considere que no existe resistencia del aire.



- a) Indique que tipo de energía tiene cuando se encuentra en el punto A:
 b) Indique que tipo de energía tiene cuando se encuentra en el punto B:
 c) Indique que tipo de energía tiene cuando se encuentra en el punto D:
 d) ¿En cuál de los puntos A, B, C ó D la energía total es mayor?

¿Por qué?

- e) Si la cuerda mide 1 metro de longitud y se lo suelta desde un ángulo de 60° . ¿Cuál será la máxima velocidad que logrará alcanzar la partícula? (el coseno de 60 es 0.5 . considere la gravedad con un valor de 10 m/s^2)

Respuestas.

- a) Respuesta. Energía potencial
 b) Respuesta. Energía potencial
 c) Respuesta. Energía cinética
 d) Respuesta. En todos los puntos la energía es la misma.

Porque la energía se conserva no varía en valor solo se transforma de potencial a cinética o a la inversa sin cambiar el valor total. Esto ocurre debido a que no existen fuerzas disipativas como la fricción o la resistencia del aire.

- e) Debido a que la energía se conserva se puede igualar la energía potencial en el punto inicial cuando se la suelta con la energía cinética máxima que se alcanza en el punto mas bajo y de allí despejar la velocidad.

$$mgh = 1/2mv^2$$

$$v = \sqrt{2gh}$$

Pero del dibujo nótese que $h = L - L\cos60^\circ = L(1 - \cos60^\circ)$

Reemplazando esto en la velocidad

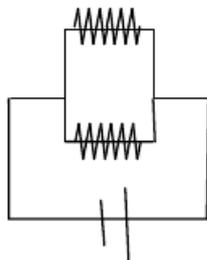
$$v = \sqrt{2gL(1 - \cos60^\circ)} =$$

$$= \sqrt{2 \times 10 \times 1 \times (1 - 1/2)} = \sqrt{10} \approx 3 \text{ m/s}$$

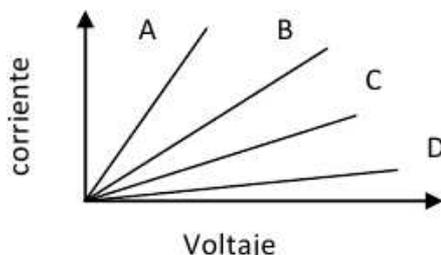
16^{va} OLIMPIADA BOLIVIANA DE FÍSICA
1^{ra} OLIMPIADA CIENTÍFICA ESTUDIANTIL
PLURINACIONAL BOLIVIANA
TERCERA ETAPA
4^{to} DE SECUNDARIA

PARTE CONCEPTUAL (40%)
(CADA PREGUNTA VALE 10%)
MARQUE EL INCISO CORRECTO

1. En el circuito de la figura por cuál de las resistencias circulará mayor corriente.



- a) Por ambas la misma pues la corriente se divide en dos
b) Por la que tenga menor valor
c) Por la que tenga mayor valor
2. Se midieron la corriente que atraviesa una resistencia para distintos voltajes y se obtuvieron los siguientes gráficos. ¿Cuál resistencia es mayor?



- a) A
b) B
c) C
d) D
e) todas tiene las misma
f) no existe la forma de saber
3. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es correcta?
- a) Si en un proceso no existe transferencia de calor, entonces no habrá variación de la Temperatura.
b) Si sobre un gas se realiza trabajo digamos se lo comprime sin darle calor entonces la temperatura puede aumentar
c) Si en un proceso la Temperatura de un gas disminuye entonces es adiabático.

4. La segunda ley de la termodinámica dice:

- a) Si en una máquina se evitan las pérdidas de energía por fricción entonces se puede conseguir un 100% de eficiencia es decir se puede transformar todo el calor en trabajo
b) La energía de un sistema se conserva
c) No se puede transferir energía de un cuerpo frio a uno caliente

PARTE PRÁCTICA SOBRE 60%
(CADA PREGUNTA VALE 20%)

1. Se tienen dos gases de la misma sustancia confinados en dos recipientes. El gas A tiene 12.044×10^{23} moléculas y esta confinado en un volumen de 2 litros. El gas B esta a una presión de 2 atmósferas y a temperatura de 100° centígrados y ocupa 3 litros ¿Cuál tiene mayor cantidad de sustancia?

La constante Universal de los gases tiene un valor: $R = 8.314 \text{ J/mol} \cdot \text{K} = 0.08206 \text{ litros} \cdot \text{atm/mol} \cdot \text{Kelvin}$

El Número de Avogadro es $N_A = 6.022 \times 10^{23}$

La cantidad de moles del gas A será:

$$n_A = \frac{N}{N_A} = \frac{12.044 \times 10^{23}}{6.022 \times 10^{23}} = 2$$

La cantidad de moles del gas B, obtenida a partir de la ecuación de estado, será:

$$PV = nRT$$

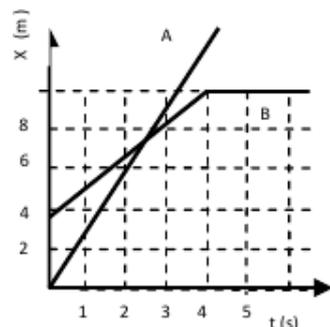
$$n = PV/RT$$

En esta ecuación se debe trabajar con la temperatura en escala kelvin, por tanto $T = 100 + 273 = 373 \text{ K}$, reemplazando:

$$n_B = \frac{2 \text{ atm} \times 3 \text{ l}}{0.08206 \frac{\text{l} \cdot \text{atm}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \times 373 \text{ K}} = 0.196 \text{ moles}$$

Por tanto el gas A tiene mayor cantidad de sustancia

2. Del gráfico posición x en metros versus tiempo t en segundos que describen dos partículas A y B al moverse analice y responda:



- a) ¿Cuál de las partículas tiene mayor velocidad? Justifique su respuesta.
- b) ¿Cuándo y dónde se encuentran las partículas? Justifique su respuesta.
- c) ¿Cuál partícula parte delante de cuál? Y ¿aproximadamente cuánto más adelante? Justifique su respuesta.
- d) ¿Qué ocurre con la partícula B después de los 4 s? Justifique su respuesta.

Respuestas.

- a) A tiene mayor velocidad porque la pendiente de la recta es mayor.
- b) Se encuentran aproximadamente a los 2.5 segundos (entre los 2 y 3 segundos). Y aproximadamente a los 7 metros (entre los 6 y 8 metros). Esto se puede ver del gráfico porque es el punto de intersección.
- c) Se puede ver que cuando t es cero, es decir en el instante inicial la posición de B es 4 metros y la de A es de 0 m. Entonces A parte 4 metros mas adelante de B
- d) Se puede ver que ha medida que transcurre el tiempo después de los 4 segundos la posición de la partícula B permanece en 10 m, por tanto la partícula llega a los 10 m y permanece en reposo.
3. Una persona se pesa en una balanza dentro de un ascensor, mientras este se encuentra acelerado. El peso que indica la balanza es de 70 kg. El ascensor tiene una aceleración hacia arriba de 2 m/s. ¿Cuál es el verdadero peso de la persona?

Respuesta. Debido a que el sistema es no inercial la sumatoria de fuerzas que actúan sobre la persona es igual a la masa por la aceleración del sistema, aunque aparentemente la persona no se mueve para un observador dentro del ascensor, pero si lo hace junto con el sistema (ascensor).

$$N - mg = ma$$

Donde la normal N es lo que indica la balanza, el peso es mg y va con signo negativo porque esta en contra de la aceleración del sistema.

Nótese que si la aceleración fuese cero entonces la normal o lo que indica la balanza sería igual al peso real de la persona, pero como la aceleración es distinta de cero el peso real esta dado por:

$$mg = N - ma$$

Donde la Normal $N = 70kg \times 10m/s^2 = 700Newton$

$$m = \frac{N}{(g + a)}$$

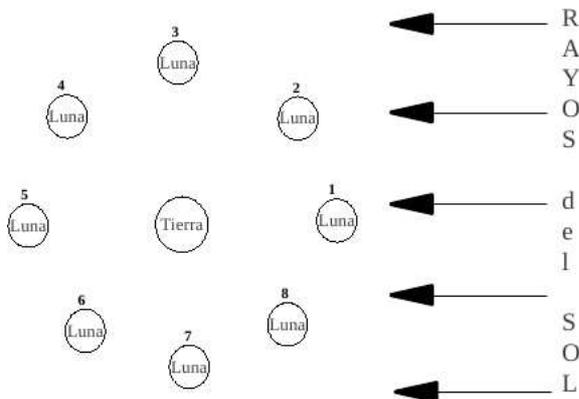
Reemplazando datos:

$$m = 700N / (10 + 2)m/s^2 = 58kg$$

6^{ta} OLIMPIADA BOLIVIANA DE ASTRONOMÍA Y
ASTROFÍSICA
1^{ra} OLIMPIADA CIENTÍFICA ESTUDIANTIL
PLURINACIONAL BOLIVIANA
TERCERA ETAPA
6^{to} DE PRIMARIA

PARTE CONCEPTUAL (40%)

- (5%) La estructura interna de la Tierra está conformada por (subraye la correcta):
 - Corteza - Manto - Núcleo
 - Corteza - Núcleo
 - Corteza - Manto
- (5%) La estructura interna de la Luna está conformada por (subraye la respuesta correcta):
 - Corteza - Manto - Núcleo
 - Corteza - Núcleo
 - Corteza - Manto
- (10%) Ordene de menor a mayor altura las capas de la atmósfera Terrestre.
 - Exósfera ...5...
 - Tropósfera ...1...
 - Termósfera ...4...
 - Estratósfera ...2...
 - Mesósfera ...3...
- (15%) Indique en el siguiente diagrama las 4 fases fundamentales de la Luna:



- Cuarto Menguante ...7...
 - Cuarto Creciente ...3...
 - Luna Nueva ...1...
 - Luna Llena ...5...
- (5%) Es correcto afirmar que el NORTE está “arriba” y el SUR “abajo”?

Respuesta. No, porque el sistema cardinal está situado en un plano local el cual nos permite ubicarnos en un sistema de referencia horizontal, mientras que “arriba” indicaría una dirección perpendicular a dicho plano.

PARTE APLICADA (60%)

- (15%) Si estás mirando al SUR, a tu derecha está el ESTE, el OESTE o el NORTE?
Respuesta. El Este.
- (25%) El Big-Bang o Gran Explosión es un modelo que intenta explicar el origen de universo, el cual se estima ocurrió hace 13700 Millones de años. Si el origen de la Tierra se estima en un tercio de ese tiempo, ¿hace cuantos Millones de años se creó nuestra planeta?
Respuesta. $13700 \text{ M.a.} / 3 = 4566 \text{ M.a.}$
- (20%) Algunos científicos afirman que al crearse el sistema solar había un planeta (protoplaneta) llamado THEIA que tenía la misma órbita que la Tierra que colisionó con ésta creando un satélite llamado
Respuesta. Luna

6^{ta} OLIMPIADA BOLIVIANA DE ASTRONOMÍA Y
ASTROFÍSICA
1^{ra} OLIMPIADA CIENTÍFICA ESTUDIANTIL
PLURINACIONAL BOLIVIANA
TERCERA ETAPA
7^{mo} DE PRIMARIA

PARTE CONCEPTUAL (40%)

1. (10%) Ordene (coloque números), del exterior al interior, los planetas del Sistema Solar.

Respuesta. Neptuno - Urano - Saturno - Júpiter - Marte - Tierra - Venus - Mercurio.

2. (10%) Un cometa (del Griego κομητηρ, de χομη), es un cuerpo celeste sólido rodeado de gas y polvo que al acercarse al Sol el viento Solar ioniza el gas y el polvo formando la cola que lo caracteriza. Indique si dicha cola se aleja o se acerca del/al Sol.

Respuesta. Se aleja, porque el viento Solar se emite radialmente desde el Sol.

3. (10%) Escoga una sola opción:

- La Aurora (del latín: Diosa Romana del Amanecer) boreal y austral es un fenómeno que nace cuando las partículas provenientes del Sol interactúan con los polos magnéticos terrestres. Ambos fenómenos suceden simultáneamente:

- a) Siempre
- b) A veces
- c) Nunca

4. (10%) Explique en pocas palabras lo siguiente (Fuente: wikipedia):

- **Meteoroides:** son partículas de polvo y hielo o rocas de hasta decenas de metros que se encuentran en el espacio producto del paso de algún cometa o restos de la formación del Sistema Solar.

- **Meteoro:** es un fenómeno luminoso producido en la alta atmósfera por la ionización del aire causada por los meteoroides interceptados por la Tierra en sus mutuas órbitas alrededor del Sol.

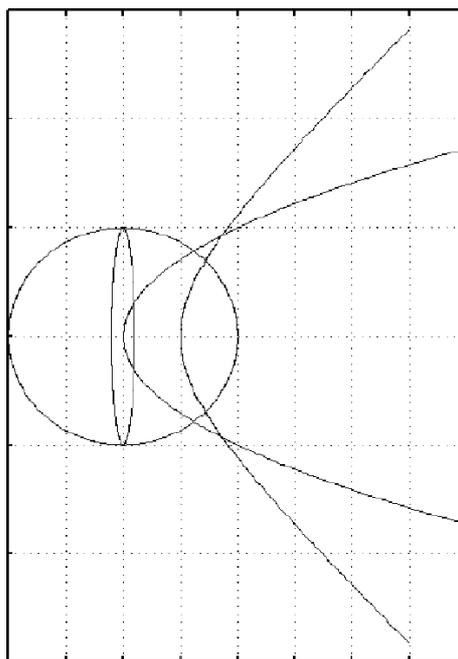
- **Meteorito:** son los meteoroides que alcanzan la superficie de la Tierra debido a que no se desintegran por completo en la atmósfera.

- **Asteroide:** es un cuerpo rocoso, carbonáceo o metálico mas pequeño que un planeta y mayor que un meteoroides, que orbita alrededor del Sol en una órbita interior a la de Neptuno.

PARTE APLICADA (60%)

1. (20%) Grafique en el plano adjunto órbitas: circular, elíptica, parabólica e hiperbólica indicando el nombre de cada trayectoria:

Respuesta. El círculo y la elipse tienen un centro común. La parábola pasa por el centro. La hipérbola no llega a tocar el centro.



2. (20%) La distancia promedio Tierra - Sol es de 149.6 Miles de kilómetros (MKm), que es equivalente a 1 Unidad Astronómica (UA). Saturno está a 9.539 UA. ¿A cuántos kilómetros se encuentra Saturno del Sol?

Respuesta. $149.6 \times 9.539 \text{ UA} = 1427.0344 \text{ MKm} = 1427.0344 \times 10^6 \text{ Km}$.

3. (20%) La densidad de la Tierra es igual a la densidad de Venus: 5500 Kg/m^3 . El radio de la Tierra es 6378 Km y el radio de Venus es 6051 Km. Encuentre:

- a) El volumen de ambos planetas.
- b) La división entre el volumen mayor y el volumen menor.
- c) Indique el significado del valor de ésta división.

Respuestas.

- a) Usando la relación: $V = (4/3)\pi R^3$ encontramos que:

$$V_{Tierra} = 1.09 \times 10^{12} \text{ Km}^3$$

$$V_{Venus} = 9.28 \times 10^{11} \text{ Km}^3$$

- b) La división esta dada por:

$$\frac{V_{Tierra}}{V_{Venus}} = 1.17$$

- c) Despejando el volumen de la Tierra tenemos:

$$V_{Tierra} = 1.17 \times V_{Venus}$$

lo cual significa que el volumen de la Tierra es aproximadamente 1.17 veces mayor que el volumen de Venus.

6^{ta} OLIMPIADA BOLIVIANA DE ASTRONOMÍA Y
ASTROFÍSICA
1^{ra} OLIMPIADA CIENTÍFICA ESTUDIANTIL
PLURINACIONAL BOLIVIANA
TERCERA ETAPA
8^{vo} DE PRIMARIA

PARTE CONCEPTUAL (40%)

1. (10%) ¿Es el año luz una medida de tiempo?
¿Por qué?

Respuesta. No, el año luz es una medida de distancia. Porque es la distancia que recorre la luz, que viaja a una velocidad de 299 792 458 m/s en un año. Es decir:

$$299792458 \frac{m}{s} \times \frac{1km}{10^3m} \times \frac{3600}{1h} \times \frac{24h}{1d} \times \frac{365d}{1a} \approx 9.46 \times 10^{12} \frac{km}{a}$$

es decir, la luz viaja en un año una distancia igual: $9.46 \times 10^{12} km$

2. (10%) ¿Qué es una Unidad Astronómica?

Respuesta. Una Unidad Astronómica (u. a.) es la distancia promedio existente entre la Tierra y el Sol: $1u.a. = 149597870660m$

3. (10%) Indique las distintas partes de la estructura solar:

- **Corona:** La corona se extiende cerca de dos diámetro solares y es visible durante los eclipses de Sol. Su temperatura asciende a 10^6 K. De la corona emana el viento solar, que es un flujo constante de partículas que sale hacia el espacio.

- **Cromósfera:** Es la parte superior de la atmósfera solar. Es de color violeta y sólo es visible durante un eclipse de Sol, cuando la luz esconde el disco de la fotosfera. Tiene un espesor de 7000 a 10 000 Km y una temperatura de 15 a 103 K. Aquí surgen las protuberancias solares, que son erupciones de fuego hasta 200 000 Km de longitud.

- **Fotosfera:** Tiene unos 400 Km de espesor. Tiene la apariencia de la superficie de un líquido en ebullición, llena de manchas en movimiento conocidas como manchas solares, regiones irregulares que aparecen más oscuras que la fotosfera circundante. La temperatura de la fotosfera es de 5800 K, mientras que la de las manchas solares es de unos 3800 K.

- **Zona Convectiva:** Es una franja en la que la energía se transforma por convección. Tiene unos 140 000 Km de espesor.

- **Zona Radiativa:** Es la región donde la energía fluye por radiación, proveniente de los procesos termonucleares que se originan en el núcleo. Tiene 380 000 Km de espesor y alcanza 15 600 000 K de temperatura.

- **Núcleo:** Es la parte central de la estrella, mide aproximadamente 600 000 Km de diámetro. Es el lugar donde se producen las reacciones termonucleares, principal mecanismo de producción de la energía solar.

4. ¿Qué es el viento solar?

Respuesta. Es un flujo constante de partículas que sale de la corona solar, radialmente hacia el espacio.

PARTE APLICADA (60%)

1. En 1838, el astrónomo T. Henderson encontró que el paralaje heliocéntrico de una estrella es igual a 0.75 segundos de arco:

a) Expresa en radianes el paralaje encontrado.

b) Calcular la distancia en parsecs, a la que se encuentra dicha estrella. ¿Sabes el nombre de la estrella que encontró Henderson?

Respuestas.

a)

$$\alpha = 0.75'' \times \frac{1^\circ}{3600''} \times \frac{2\pi rad}{360^\circ} = 3.64 \times 10^{-6} rad$$

b) La distancia d a la que se encuentra una estrella del Sol es dada por:

$$d = \frac{1}{\alpha}$$

donde α es el paralaje de la estrella. Por tanto:

$$d = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{3.64 \times 10^{-6}} rad = 275020.69 UA \quad (1)$$

Nota: Un parsec es la distancia que corresponde a un paralaje heliocéntrico de $1''$. en radianes:

$$0.1'' \times \frac{1^\circ}{3600''} \times \frac{2\pi rad}{360^\circ} = 4.848136811 \times 10^{-6} rad$$

Entonces la distancia equivalente a 1 parsec en unidades astronómicas será:

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1^\circ}{4.85 \times 10^{-6} rad} \approx 206265 UA$$

Por tanto: $1pc = 206265 UA$

La ecuación (1) puede ser reescrita del siguiente modo:

$$d = 275020.69 UA \times \frac{1pc}{206265 UA} = 1.333336679 pc$$

que es la distancia en parsecs a la que se encuentra la estrella en cuestión; o en unidades de años luz:

$$d = 275020.69 UA \times \frac{149597870.660m}{1UA} \times$$

$$\times \frac{1UA}{9.46 \times 10^{12} Km} \approx 4.3a.l.$$

La estrella es ALFA CENTAURO.

2. (20%) El flujo de partículas que emana de la corona solar es de aproximadamente 10^{11} partículas por centímetro cuadrado por segundo y el número de partículas que llegan a la Tierra es de aproximadamente 7 por centímetro cuadrado por segundo. Analiza las unidades que se utilizan en estos datos y encuentra la definición del concepto de flujo dado.

Respuesta. Analizando las unidades dadas, el flujo será:

$$\text{Flujo} = \frac{\text{número de partículas}}{\text{área} \times \text{tiempo}}$$

3. (20%) ¿Porqué motivo cree Ud. que el periodo rotacional ecuatorial del Sol (25.4 días) sea distinto del periodo rotacional cerca de los polos (30 días)?

Nota: Definiciones útiles:

Periodo: Es el tiempo en que se repite un ciclo.
Ej. El medio día tiene un periodo de 24 horas.

Periodo Rotacional: Es el tiempo en que un punto sobre la superficie de una esfera da una revolución o vuelta completa, hasta estar nuevamente en su mismo lugar.

Ecuador: Es el círculo máximo de una esfera, que es perpendicular a su eje de rotación.

Polos: Regiones cercanas o que circundan a los ejes de rotación que tocan la superficie de una esfera.

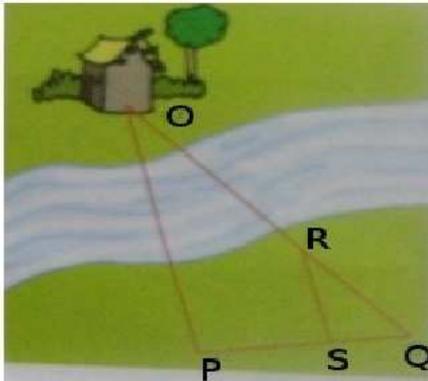
Respuesta. Esto se debe a que el Sol no es un cuerpo sólido. Solo en un cuerpo sólido que gira, los distintos puntos de la superficie tienen iguales periodos. El Sol es una esfera líquida y gaseosa, por lo tanto, las distintas zonas giran alrededor del eje con distintos periodos.

6^{ta} OLIMPIADA BOLIVIANA DE ASTRONOMÍA Y ASTROFÍSICA
 1^{ra} OLIMPIADA CIENTÍFICA ESTUDIANTIL PLURINACIONAL BOLIVIANA
TERCERA ETAPA
 1^{ro} DE SECUNDARIA

PARTE CONCEPTUAL (40%)

1. (10%) Explique como se miden ls distancias hacia las estrellas relativamente cercanas a nosotros.

Respuesta. Imagina que deseamos medir la distancia a la que se encuentra una casa que está al frente de un río ancho, como el río de Beni y La Paz. El método más simple es usar semejanza de triángulos. Estudiemos la siguiente figura:



Por la semejanza de los triángulos es posible afirmar que se cumple la siguiente relación:

$$\frac{OP}{RS} = \frac{PQ}{SQ}$$

de donde, es fácil despejar la distancia "inalcanzable" OP :

$$OP = RS \times \frac{PQ}{SQ} \quad (2)$$

Nota que las distancias RS, PQ, SQ son fáciles de medir, por lo tanto, de la ecuación (1) es posible calcular la distancia que nos interesa: OP .

Exáctamente éste mismo procedimiento es el que se usa para poder medir la distancia hasta las estrellas, por lo menos las más cercanas a nosotros, o al Sol.

Cuando un objeto o un cuerpo es observado desde los puntos distintos, su posición con respecto a los objetos del fondo se modifica.

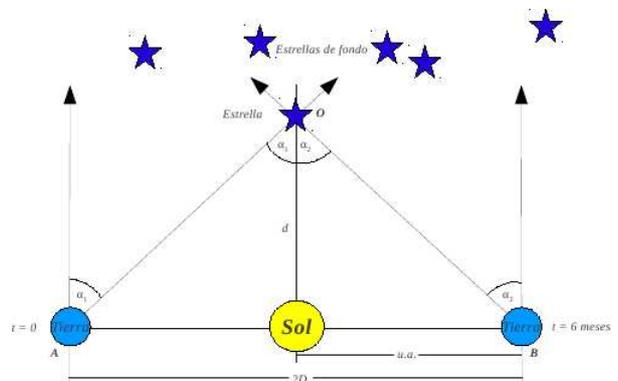
Pasos:

- Coloca un dedo de tu mano delante tuyo a cualquier distancia, digamos el índice de tu mano derecha.
- Cierra uno de tus ojos y observa con el ojo abierto tu dedo y los objetos

que están detrás (muebles, libros, ventanas,cerros,etc, no importa lo que tengas detrás , solo observalos).

- Ahora repite lo mismo pero intercambiando los papeles: abre el ojo que estaba cerrado y cierra el que estaba abierto y vuelve a mirar tu dedo.
- Lo notas? Posición de tu dedo con respecto a los objetos del fondo cambia.
- Esta técnica nos permite medir la dostancia a la que se encuentra las estrellas:
 - Miremos una estrella y las estrellas del fondo.
 - Volvamos a mirar la estrella 6 meses después.

Analicemos el siguiente gráfico:



En el punto O está una estrella. Queremos conocer su distancia d hasta el Sol. La línea base es $2D$.

Cuando miramos la estrella y las estrellas del fondo desde los puntos A y B es posible medir los ángulos α_1 y α_2 .

Nota que éstos ángulos son iguales, por tanto, es posible escribir: $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ dicho ángulo α es conocido como el PARALAJE DE LA ESTRELLA.

Conociendo D y α es posible determinar d : ($\tan \alpha = \frac{D}{d}$) pero en astronomía α , el paralaje de la estrella, es generalmente es un ángulo pequeño entonces se cumple que: ($\tan \alpha \approx \alpha$), por tanto:

$$\tan \alpha = \frac{D}{d} \approx \alpha$$

de donde: $d = \frac{D}{\alpha}$.

Ahora D es la distancia conocida como UNIDAD ASTRONÓMICA (1UA), entonces la distancia hasta la estrella, en 1UA será finalmente:

$$d = \frac{1}{\alpha} UA$$

2. (10%) Explique qué se entiende en astronomía por:

(a) **Magnitud Estelar:** Es la cantidad que nos permite cuantificar el flujo proveniente de las estrellas, y hace posible clasificar los flujos estelares.

Una magnitud estelar igual a uno se escribe $1m$, o también $m = 1$. En 1856, N. Pogson verificó que la percepción por el ojo humano del brillo de una fuente luminosa se puede expresar mediante una escala logarítmica, tal que el flujo ϕ_1 de una estrella de magnitud estelar igual a 1: $m_1 = 1$, es 100 veces más intenso que el flujo ϕ_2 de una estrella de magnitud estelar igual a seis: $m_2 = 6$, es decir: $\phi_1 = 100\phi_2$, dicha ecuación se cumple si y solo si:

$$\frac{\phi_1}{\phi_2} = 2.512^{(m_1 - m_2)} \quad (3)$$

lo que el estudiante puede verificar fácilmente usando los valores: $m_1 = 1$ y $m_2 = 6$.

Por una convención Internacional, las estrellas cuyo flujo es menor tiene mayor magnitud estelar. Dicha progresión tiene una razón exponencial igual a : 2.512.

$$\dots, -4^m, -3^m, -2^m, -1^m, 0^m, +1^m, +2^m, +3^m, +4^m, \dots$$

Esta escala es equivalente a la que propuso Hiparco de Grecia hace más de 2200 años.

(b) **Magnitud Aparente:** El flujo de un astro medido en la Tierra es su brillo aparente y se expresa en términos de su magnitud aparente. Apliquemos logaritmos a la relación (3):

$$\log\left(\frac{\phi_1}{\phi_2}\right) = \log(2.512^{(m_1 - m_2)})$$

$$\log\left(\frac{\phi_1}{\phi_2}\right) = \log(2.512^{(m_1 - m_2)}) =$$

$$-(m_1 - m_2) \log(2.512) \approx -(m_1 - m_2) \frac{1}{2.5}$$

$$\Rightarrow (m_1 - m_2) = -2.5 \log\left(\frac{\phi_1}{\phi_2}\right) \quad (4)$$

Donde, la magnitud aparente de un astro es:

$$m = -2.5 \log(\phi) + Cte \quad (5)$$

(c) **Magnitud Absoluta:** El brillo aparente de una estrella no es igual a su brillo intrínseco, éste se mide mediante la MAGNITUD ABSOLUTA, que es la magnitud

que tendría la estrella si se la observase desde una distancia de 10 pc. La magnitud absoluta se relaciona con la magnitud aparente y con la distancia r (medida en parsecs) a la que se encuentra la estrella, mediante la ecuación:

$$M = m + 5 - 5 \log(r)$$

3. (10%) ¿Qué nos dice la ley de Pogson?

Respuesta. Esta ley viene dada por la ecuación (4), lo cual nos indica que: la diferencia de magnitud entre dos estrellas es proporcional a la diferencia de los logaritmos de sus brillos aparentes.

4. (10%) ¿Qué es la constante Solar?

Respuesta. El flujo es una magnitud fundamental para el estudio de las estrellas. Es una medida de la energía por unidad de área por unidad de tiempo que llega a un determinado punto en el espacio. Este punto puede ser, por ejemplo, el ocular de un telescopio. El flujo luminoso del Sol se lo conoce como la Constante Solar. La constante Solar es la cantidad de energía solar, que atraviesa en $1[s]$ una superficie perpendicular a los rayos solares de $1[m^2]$, que está a una distancia igual a la distancia media entre la Tierra y el Sol (1 UA). Su valor es: $1360 \frac{W}{m^2}$

PARTE APLICADA (60%)

1. (20%) Calcular:

a) El flujo saliente total de una estrella de radio igual al del Sol pero cuya luminosidad es igual a: $L = 12 \times 10^{23} W$

Respuesta. Recordemos que la luminosidad L es equivalente a la potencia $[w]$ que a una determinada fuente de radiación electromagnética emite al espacio, es decir, la energía total emitida por unidad de tiempo en todas direcciones.

El flujo ϕ es igual a la luminosidad por unidad de área:

$$\phi = \frac{L}{S} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Para una estrella de radio R , y en consecuencia, superficie: $S = 4\pi R^2$, el flujo saliente de toda superficie es:

$$\phi = \frac{L}{4\pi R^2} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

y si buscamos el flujo a cierta distancia r de la estrella, éste será:

$$\phi = \frac{L}{4\pi r^2} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

El concepto de flujo sirve para caracterizar la potencia de la radiación emitida y generalmente se mide en una escala logarítmica, debido a que el rango de las magnitudes de los flujos es muy amplio, basta que comparemos el flujo del Sol con el flujo de la estrella más pequeña que tus ojos puedan encontrar.

El flujo saliente total de la estrella será:

$$\phi = \frac{L}{4\pi R^2} = \frac{12 \times 10^{23} [W]}{4 \times \pi \times (6.96 \times 10^9 [m])^2} = 1971.3 \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

b) El flujo detectado de la misma estrella, si está a una distancia de nosotros igual a 5pc

Respuesta. Recordemos que 1[pc] = 3.086 × 10¹⁶[m] y usando la ecuación:

$$\begin{aligned} \phi &= \frac{L}{4\pi r^2} \left[\frac{W}{m^2} \right] \\ \phi &= \frac{12 \times 10^{23} [W]}{4 \times \pi \times (5 [pc])^2} \times \frac{(1 [pc])^2}{(3.086 \times 10^{16} [m])^2} = \\ &= 4 \times 10^{-12} \left[\frac{W}{m^2} \right] \end{aligned}$$

c) La magnitud estelar de la estrella.

Datos útiles del Sol:

Radio: $R_{Sol} = 696 \times 10^3 Km$;

Magnitud: $m_{Sol} = -26.8$;

Flujo en la Tierra $\phi_{Sol} = 1360 W/m^2$

Respuesta. Usemos directamente la ecuación:

$m_1 = m_2 - 2.5 \log(\frac{\phi_1}{\phi_2})$, por tanto:

$$\begin{aligned} m_{Estrella} &= m_{Sol} - 2.5 \log\left(\frac{\phi_{Estrella}}{\phi_{Sol}}\right) = \\ &= -26.8 - (-36.2) = 9.52 \end{aligned}$$

2. (20%) La estrella Vega está situada a 27 años luz del Sol. Si ésta distancia se ha calculado mediante el método del paralaje heliocéntrico, ¿cuál es el valor de este paralaje?

Respuesta. Primero expresemos 27 años luz en unidades astronómicas:

$$27 [al] \times \frac{1 [pc]}{3.26 [al]} \times \frac{206265 [UA]}{1 [pc]} = 1708329.75 [UA]$$

El paralaje heliocéntrico está definido por la relación: $d = \frac{1}{\alpha} [UA]$, de donde: $\alpha = \frac{1}{d} [UA]$

Colocando datos:

$$\alpha = \frac{1}{d} [UA] = \frac{1}{1708329.75} [UA] = 5.86 \times 10^{-7} [rad]$$

Llegamos al mismo resultado si en el numerador colocamos 1[UA] en [m], y en el denominador colocamos 27[al] en [m]. Comprueballo!

3. (20%) En el siguiente mapa, identifica:

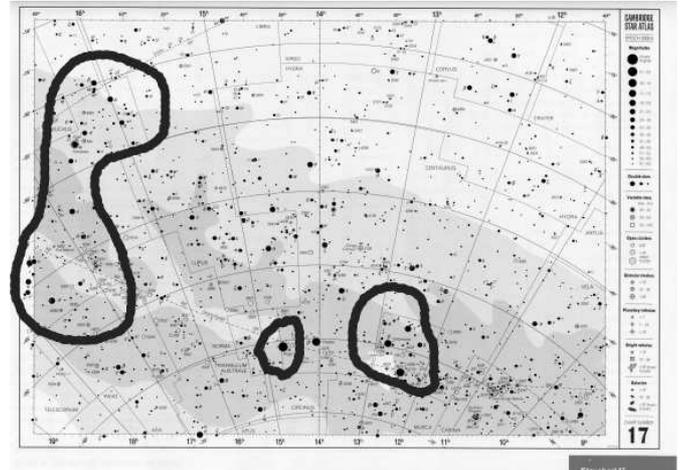
(a) La constelación Cruz del Sur.

(b) La estrella alfa centauru.

(c) La constelación Escorpio.

(d) El Polo Sur Celeste.

Respuesta. (d) Las líneas meridianas tienden hacia el Polo Sur Celeste



6^{ta} OLIMPIADA BOLIVIANA DE ASTRONOMÍA Y
ASTROFÍSICA
1^{ra} OLIMPIADA CIENTÍFICA ESTUDIANTIL
PLURINACIONAL BOLIVIANA
TERCERA ETAPA
2^{do} DE SECUNDARIA

PARTE CONCEPTUAL (45%)

- (9%) La lupa simple, o también conocida como amplificador de vidrio, está constituida por una única lente:
 - Convergente
 - Divergente
 - Mixta
 - Ninguna
- (9%) ¿Cuál es la distancia focal de una hoja de vidrio para ventana?
 - Cero
 - Infinito
 - El espesor de vidrio
 - Imposible de determinar

Explicación. Recordemos a la ecuación del fabricante de lentes:

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

donde, n , es el índice de refracción, R_1 y R_2 son los radios de curvaturas de la superficie de la lente y f es la distancia focal. Puesto que las superficies planas del plano tienen radios de curvaturas infinitos, entonces f , también es infinita. Los Rayos paralelos que inciden en el plano se enfocan en el infinito, lo que significa que permanecen paralelos después de pasar a través del vidrio.

- (9%) Unos excursionistas desean prender una fogata durante el día. Ellos cuentan con papel, leña, una lente convergente y otra lente divergente. ¿Cuál lente deberán utilizar para enfocar los rayos del Sol sobre el papel para iniciar el fuego?
 - Cualquiera de las dos
 - La lente divergente
 - La lente convergente
 - Una combinación de las dos.

Explicación. Los rayos del Sol deben converger sobre el papel. La lente convergente es una lupa.

- (9%) Deseas prender una fogata, con el reflejo de la luz del Sol mediante un espejo sobre papel bajo un cúmulo de madera. ¿Cuál sería la mejor selección del tipo de espejo?
 - Plano
 - Concavo

c) Convexo

Explicación. Un espejo cóncavo enfocará la luz de un área grande del espejo de un área pequeña del papel, dando como resultado una potencia de entrada muy alta en el papel.

- (9%) Use una opción para cada espacio en blanco: *refracción - reflexión*:

El telescopio de **refracción** usa una combinación de lentes para formar una imagen y el telescopio de **reflexión** usa un espejo curvo y una lente.

PARTE APLICADA (55%)

- (25%) Una persona aficionada a la astronomía tiene un telescopio de 1000 [mm] de distancia focal del objetivo, y tres oculares de 3[cm], 22[mm] y 0.013[m] de distancia focal respectivamente ¿con cuál de estos tres oculares se logra el mayor aumento o la amplificación angular?

Respuesta. El aumento está dado por la siguiente expresión: $A = -\frac{f}{a}$, donde f , es la distancia focal, a la distancia focal de los oculares y el signo negativo indica que la imagen está invertida, por tanto:

$$A = -\frac{f}{a} = -\frac{1000}{30} = 33.33$$

$$A = -\frac{f}{a} = -\frac{1000}{22} = 45.45$$

$$A = -\frac{f}{a} = -\frac{1000}{13} = 76.92$$

Por tanto se logra mayor aumento con el ocular de 0.013[m]

- (30%) Imagine un sistema estratificado que consiste en materiales transparentes de diferentes espesores. Demostrar que la dirección de propagación del haz emergente se determina solamente por la dirección y por los índices de refracción de las capas inicial y final (ver figura 1).

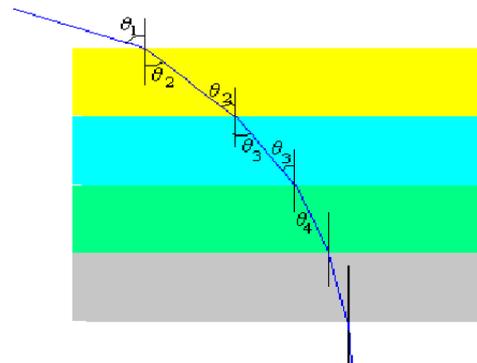
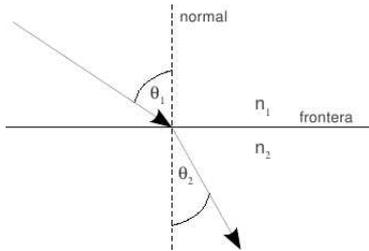


FIG. 1.— Sistema estratificado (cada nivel tiene diferente índice de refracción n)

Respuesta. Una onda que cruza una frontera conforme viaja del medio 1, con índice de refracción n_1 , al medio 2, con índice de refracción n_2 , se refracta o dobla. El rayo incidente, el rayo reflejado, el rayo refractado y la normal a la superficie se encuentran todos en el mismo plano. Para ondas de luz, la ley de Refracción de Snell afirma que: $n_1 \text{ sen } \theta_1 = n_2 \text{ sen } \theta_2$.

Aplicando la ley de Snell a cada capa se encuentra que:



$$n_1 \text{ sen } \theta_1 = n_2 \text{ sen } \theta_2$$

$$n_2 \text{ sen } \theta_2 = n_3 \text{ sen } \theta_3$$

$$n_3 \text{ sen } \theta_3 = n_4 \text{ sen } \theta_4$$

$$n_4 \text{ sen } \theta_4 = n_5 \text{ sen } \theta_5$$

.
.
.

reemplazando la segunda ecuación en la primera, la tercera en la segunda, la cuarta en la tercera, etc. tendremos:

$$n_{inicial} \text{ sen } \theta_{inicial} = n_{final} \text{ sen } \theta_{final}$$

6^{ta} OLIMPIADA BOLIVIANA DE ASTRONOMÍA Y
ASTROFÍSICA
1^{ra} OLIMPIADA CIENTÍFICA ESTUDIANTIL
PLURINACIONAL BOLIVIANA
TERCERA ETAPA
3^{ro} DE SECUNDARIA

PARTE CONCEPTUAL (40%)

1. (10%) ¿Cuáles son las unidades de la constante de gravitación universal, en el sistema MKS?

Respuesta. La ley de gravitación universal afirma que:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

entonces, de dicha ecuación se puede despejar G:

$$G = \frac{F r^2}{m_1 m_2}$$

Escribiendo esta ecuación dimensionalmente encontramos finalmente las unidades buscadas:

$$\frac{Nm^2}{Kg^2} = \frac{m^3}{s^2 Kg}$$

donde se usó el hecho de que: $N = Kg \frac{m}{s^2}$, relación que se deduce fácilmente de la 2^{da} Ley de Newton: $\vec{F} = m\vec{a}$

El valor de la constante gravitacional está dado por:

$$G = 6.673 \times 10^{-11} m^3 Kg^{-1} s^{-2}$$

2. (10%) Indique qué se entiende por secuencia de Harvard

Respuesta. La clasificación espectral de Harvard, conocida también como el tipo espectral estelar, propuesta por E. Pickering de la Universidad de Harvard en el año 1890, es la clasificación estelar más utilizada en astronomía. Las diferentes clases se enumeran de las estrellas más cálidas a las más frías. En la siguiente tabla se pueden apreciar las características más importantes:

3. (10%) ¿Para qué se utiliza el diagrama de Hertzsprung - Russell?

Respuesta. El diagrama de Hertzsprung - Russell (comúnmente abreviado como diagrama H - R) muestra el resultado de numerosas observaciones sobre la relación existente entre la magnitud absoluta de una estrella y su temperatura superficial. Fue realizado en 1911 por el astrónomo E. Hertzsprung y de manera independiente, en 1913 por H. Russell.

El diagrama H-R se utiliza para diferenciar tipos de estrellas y para estudiar la evolución estelar. Un examen de diagrama muestra que las estrellas tienden a encontrarse agrupadas en regiones específicas del mismo. La predominante es la diagonal que va de la región superior izquierda (caliente y brillante) a la región inferior derecha (fría y menos brillante) y se denomina secuencia principal. En este grupo se encuentran las estrellas que extraen su energía de las reacciones termonucleares de fusión del hidrógeno en helio. En la esquina inferior izquierda se encuentran las enanas blancas y por encima de la secuencia principal se encuentran las gigantes rojas y las supergigantes.

4. (10%) ¿Qué es la energía potencial gravitacional?

Respuesta. En un sistema físico, la energía potencial es la energía que mide la capacidad que tiene dicho sistema para realizar un trabajo en función exclusivamente de su posición o configuración. Puede pensarse como la energía almacenada en el sistema, o como una medida de trabajo que un sistema puede entregar. La energía potencial gravitatoria es la energía asociada con la fuerza gravitatoria. Ésta dependerá de la altura relativa de un objeto o algún punto de referencia, la masa y la fuerza de gravedad.

Para estos casos en los que la variación de gravedad es insignificante, se aplica la fórmula: $U = mgh$, donde U es la energía potencial, m es

Clase	Temperatura	Color Convencional	Masa	Radio	Luminosidad	Líneas de absorción
O	28000 - 50000 K	Azul	60	15	1400000	Nitrógeno, carbono, helio y oxígeno
B	9600 - 28000 K	Blanco azulado	18	7	20 000	Helio, hidrógeno
A	7100 - 9600 K	Blanco	3,1	2,1	80	Hidrógeno
F	5700 - 7100 K	Blanco amarillento	1,7	1,3	6	Metales: hierro, titanio, calcio, estroncio y magnesio
G	4600 - 5700 K	Amarillo (como el Sol)	1,1	1,1	1,2	Calcio, helio, hidrógeno y metales
K	3200 - 4600 K	Amarillo anaranjado	0,8	0,9	0,4	Metales y óxido de titanio
M	1700 - 3200 K	Rojo	0,3	0,4	0,04	Metales y óxido de titanio

* Las magnitudes Masa, Radio y Luminosidad, están en proporción respecto al Sol (Sol=1).

la masa, g es la aceleración de la gravedad y h la altura. Sin embargo, si la variación de la aceleración de la gravedad es considerable, se debe aplicar la fórmula general:

$$U = -\frac{GMm}{r}$$

Donde U es la energía potencial, r es la distancia entre la partícula material y el centro de la Tierra, G la constante universal de la gravitación y M la masa de la Tierra. Ésta última ecuación es la que necesitamos emplear, por ejemplo, para estudiar el movimiento de satélites y misiles balísticos.

PARTE APLICADA (60%)

1. (20%) Un planeta tiene dos lunas de igual masa. La luna 1 está en órbita circular de radio r . La luna 2 está en órbita circular de radio $2r$. ¿Cuál es la magnitud de la fuerza gravitacional que ejerce el planeta sobre la luna 2? Justifique su respuesta.

- (a) Cuatro veces mayor que sobre la luna 1.
 (b) Dos veces mayor que sobre la luna 1.
 (c) Igual que sobre la luna 1.
 (d) La mitad de la ejercida sobre la luna 1.
 (e) Un cuarto de la ejercida sobre la luna 1.

Explicación. Debido a que la fuerza gravitacional sigue un comportamiento del cuadrado inverso de la distancia:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

entonces para la luna 1 tendremos:

$$F_{Luna1} = G \frac{m_{Tierra} m_{Luna1}}{r^2}$$

mientras que para la luna 2, que está al doble de distancia:

$$F_{Luna2} = G \frac{m_{Tierra} m_{Luna2}}{(2r)^2}$$

pero como las masas de las lunas son iguales: $m_{Luna1} = m_{Luna2} = m_{Luna}$, podemos reescribir las fuerzas:

$$F_{Luna1} = G \frac{m_{Tierra} m_{Luna}}{r^2}$$

y

$$F_{Luna2} = G \frac{m_{Tierra} m_{Luna}}{(2r)^2}$$

de donde:

$$\begin{aligned} F_{Luna2} &= G \frac{m_{Tierra} m_{Luna}}{2^2 (r)^2} = \\ &= \frac{1}{4} G \frac{m_{Tierra} m_{Luna}}{r^2} = \frac{1}{4} F_{Luna1} \end{aligned}$$

por lo tanto, la magnitud de la fuerza gravitacional que ejerce el planeta sobre la luna 2 será un cuarto de la ejercida sobre la luna 1.

2. (20%) Un asteroide está en una órbita elíptica enormemente excéntrica alrededor del Sol. El periodo de la órbita del asteroide es de 90 días. ¿Cuál de los siguientes enunciados es verdadero acerca de la posibilidad de una colisión entre este asteroide y la Tierra?

- (a) No hay posible peligro de colisión.
 (b) Hay posibilidad de una colisión.
 (c) No hay suficiente información para determinar si hay peligro de colisión.

Explicación. Recordemos que la excentricidad de una circunferencia es cero ($\varepsilon = 0$)

La excentricidad de una elipse es mayor que cero y menor que 1 ($0 < \varepsilon < 1$)

La excentricidad de una parábola es 1 ($\varepsilon = 1$)

La excentricidad de una hipérbola es mayor que 1 ($\varepsilon > 1$)

Por lo tanto la información dada sobre de que "la órbita del asteroide es elíptica y además enormemente excéntrica" nos dice que: $\varepsilon = 0.99999$

A partir de la 3^{ra} Ley de Kepler:

$$\frac{T^2}{L^3} = \frac{4\pi^2}{GM_{Sol}}$$

donde T es el periodo dado por:

$$T = 90 \text{ dias} \times \frac{24h}{1 \text{ dia}} \times \frac{60 \text{ min}}{1h} \times \frac{60s}{1 \text{ min}} = 7776 \times 10^3 s$$

L es la distancia media del asteroide al Sol, G , es la constante de gravitación universal dada por:

$G = 6.673 \times 10^{-11} m^3 Kg^{-1} s^{-2}$ y M_{Sol} , es la masa del Sol dada por: $M_{Sol} = 1.9889 \times 10^{30} Kg$.

Por lo tanto de la 3^{ra} Ley despejamos la distancia media del asteroide al Sol y coloquemos los datos dados:

$$\begin{aligned} L &= \left(\frac{T^2 GM_{Sol}}{4\pi^2} \right)^{\frac{1}{3}} = \\ &= \left[\frac{(7776 \times 10^3)(6.673 \times 10^{-11})(1.9889 \times 10^{30})}{4\pi^2} \right]^{\frac{1}{3}} \approx \\ &\approx 5.9 \times 10^{10} m \end{aligned}$$

Con éste dato es posible calcular la longitud total del semieje mayor: $a = 2L \approx 1.2 \times 10^{11} m$

Debido a que ésta distancia es más pequeña que la distancia Tierra-Sol: $d_{T-S} = 1.5 \times 10^{11} m$ entonces: No hay posible peligro de colisión.

3. (20%) Un cometa se mueve en una órbita elíptica alrededor del Sol. ¿Cuál punto en su órbita (perihelio o afelio) representa el valor más alto de:

- (a) La rapidez del cometa.
- (b) La energía potencial del sistema cometa-Sol.
- (c) La energía cinética del cometa.
- (d) La energía total del sistema cometa-Sol.

Respuestas. Recordemos que:

Perihelio: Es el punto más cercano de la órbita de un cuerpo celeste alrededor del Sol.

Afelio: Es el punto más alejado de la órbita de un planeta alrededor del Sol. Es el punto opuesto al perihelio.

Tal como establece la segunda de las leyes de Kepler, la velocidad de traslación del planeta es mínima en el afelio y máxima en el perihelio.

NOTA: A principios de Julio, en el afelio, la Tierra dista $152.6 \times 10^6 Km$ del Sol, mientras que a comienzos de Enero, en el perihelio, la Tierra dista $147.5 \times 10^6 Km$ del Sol.

- (a) Perihelio. Debido a la segunda ley de Kepler y también a la conservación de la cantidad de movimiento angular, la rapidez del cometa es mayor en su posición más cercana al Sol.
- (b) Perihelio. Debido a que la energía potencial esta dada por:

$$U = -\frac{GMm}{r}$$

Entonces la energía potencial es inversamente proporcional a la distancia, por tanto U es mayor cuando el cometa está en su distancia más próxima al Sol.

- (c) Perihelio. La energía cinética, que viene dada por:

$$E_c = \frac{mv^2}{2}$$

es mayor en el punto donde la rapidez del cometa es mayor.

- (d) Todos los puntos. La energía total del sistema, que viene dada por: $E_T = E_C + U$ Es la misma sin importar dónde está el cometa en su órbita. La energía total es una constante de movimiento.

6^{ta} OLIMPIADA BOLIVIANA DE ASTRONOMÍA Y
ASTROFÍSICA
1^{ra} OLIMPIADA CIENTÍFICA ESTUDIANTIL
PLURINACIONAL BOLIVIANA
TERCERA ETAPA
4^{to} DE SECUNDARIA

PARTE CONCEPTUAL (40%)

1. (10%) Indique el nombre de los subconjuntos del espectro electromagnético.

Respuesta. Las ondas electromagnéticas cubren una amplia gama de frecuencias o de longitudes de onda. La clasificación habitual es la siguiente:

- (a) Ondas de Radiofrecuencia.
- (b) Microondas.
- (c) Radiación Infrarroja.
- (d) Luz Visible.
- (e) Rayos Ultravioleta.
- (f) Rayos X.
- (g) Rayos Gamma.

2. (10%) ¿Qué es una enana blanca?

Respuesta. Una enana blanca es un remanente estelar que se genera cuando una estrella de masa menor a 9-10 masas solares agota su combustible nuclear. Es una etapa de la evolución estelar que atravesará el 97% de las estrellas que conocemos, incluido el Sol. Las enanas blancas son, junto a las enanas rojas, las estrellas más abundantes en el universo. El físico Stephen Hawking, en su obra *Historia del Tiempo*, define a la enana blanca de la siguiente manera:

“Estrella fría estable, mantenida por la repulsión debida al principio de exclusión entre electrones”.

3. (10%) ¿Qué es una estrella de neutrones?

Respuesta. Es un remanente estelar dejado por una estrella supergigante después de que ésta agotó el combustible nuclear en su núcleo y explotó como una supernova (supernova: del latín *nova*, «nueva» es una explosión estelar que puede manifestarse a simple vista, en lugares de la esfera celeste donde antes no se había detectado nada en particular. Por ésta razón, a eventos de ésta naturaleza se los llamó inicialmente *stellae novae* o «estrellas nuevas»). Las estrellas de neutrones están compuestas principalmente de neutrones, más otro tipo de partículas tanto en su corteza sólida de hierro, como en su interior, que puede contener tanto protones como electrones. La masa original de la supernova debe ser mayor a 9 ó 10 masas solares; las estrellas con masas menores a 9-10 masas solares evolucionan en enanas blancas,

mientras que las de masas mayores evolucionan en agujeros negros. Una estrella de neutrones típica tiene una masa entre 1.35 y 2.1 masas solares y un radio de entre 20 y 10 Km.

4. (10%) ¿Qué es un agujero negro?

Respuesta. Es una región finita del espacio-tiempo provocada por una gran concentración de masa en su interior, con un enorme aumento de la densidad, lo que genera un campo gravitatorio tal que ninguna partícula material, ni siquiera los fotones de luz, pueden escapar de dicha región.

La curvatura del espacio-tiempo o «gravedad de un agujero negro» provoca una singularidad envuelta por una superficie cerrada, llamada horizonte de sucesos. Esto es una consecuencia de las ecuaciones de campo de Einstein. El horizonte de sucesos separa la región del agujero negro del resto del universo y es la superficie límite del espacio a partir de la cual ninguna partícula puede salir, incluyendo la luz. Dicha curvatura es estudiada por la relatividad general, la que predijo la existencia de los agujeros negros y fue su primer indicio. En los años 70, Hawking, Ellis y Penrose demostraron varios teoremas importantes sobre la ocurrencia y geometría de los agujeros negros. Previamente, en 1963, R. Kerr había demostrado que un espacio-tiempo de cuatro dimensiones todos los agujeros negros debían tener una geometría cuasi-esférica determinada por tres parámetros: su masa M , su carga eléctrica total e y su momento angular L . Se cree que en el centro de la mayoría las galaxias, entre ellas la Vía Láctea, hay agujeros negros supermasivos. La existencia de agujeros negros está apoyada en observaciones astronómicas, en especial a través de la emisión de rayos X por estrellas binarias y galaxias activas.

PARTE APLICADA (60%)

1. (10%) Si la densidad de una estrella de neutrones es de 10^9 g/cm^3 . Calcule la masa de una estrella de neutrones de 10 Km de radio.

Respuesta. De la relación:

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ y } V = \frac{4}{3}\pi r^3$$

encontramos que:

$$m = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho$$

teniendo en cuenta que debe haber compatibilidad de unidades, tendremos finalmente que:

$$\begin{aligned} m &= \frac{4}{3}\pi r^3 \rho = \frac{4}{3}\pi (10)^3 10^{12} \text{ kg} = \\ &= \frac{4}{3} 10^{21} \text{ Kg} \approx 4.2 \times 10^{21} \text{ Kg} \end{aligned}$$

2. (20%) Sobre un espectro electromagnético y sus subconjuntos:

a) Indique a cuál de las siguientes longitudes de onda le corresponde cada uno: 1 Km, 1 m, 1 cm, 1 μ m, 1 nm, 1 pm.

b) ¿Cuál es la frecuencia respectiva de cada dato dado en el inciso a)?

c) ¿Cuál es la energía respectiva de cada dato dado en el inciso a) o b)?

Dato útil: $1eV = 1.602 \times 10^{-19} J$

Respuesta. Usando las relaciones: $c = \lambda\nu$, donde λ es la longitud de onda, ν es la frecuencia y c es la velocidad de la luz dada por: $c = 299792458m/s$ y $E = h\nu$, donde E es la energía, h es la constante de Planck, dada por: $h = 6.62 \times 10^{-34} Js$ y ν es nuevamente la frecuencia, por lo tanto:

λ	Nombre de la radiación	Frecuencia [Hz]	Energía [eV]
1 km	Amplitud modulada (AM)	3×10^5	1.2×10^{-9}
1 m	Frecuencia Modulada (FM)	3×10^7	1.2×10^{-7}
1 cm	Microondas	3×10^{10}	1.2×10^{-4}
1 μ m	Luz Visible	3×10^{14}	1.2
1 nm	Ultra Violeta	3×10^{17}	1.2×10^3
1 pm	Rayos X	3×10^{20}	1.2×10^6
1 fm	Rayos Gamma	3×10^{23}	1.2×10^9

d) ¿Cuál es la energía más alta que ud. encontró?

Respuesta. $1.2 \times 10^9 eV$, equivalente a la radiación Gamma.

3. (30%) Una **galaxia** es un sistema masivo de estrellas, nubes de gas, planetas, polvo, materia oscura, etc, unidos gravitacionalmente. La cantidad de estrellas que forman una galaxia es variable, desde las enanas, con 10^7 , hasta las gigantes, con 10^{12} estrellas. La **Vía Láctea** es la galaxia espiral en la que se encuentra el Sistema Solar y por ende, la Tierra. Según las observaciones, posee un diámetro medio de unos 100000 años luz, se calcula que contiene entre 200 mil millones y 400 mil millones de estrellas. La distancia desde el Sol hasta el centro de la galaxia es de alrededor de 27700 años luz o 8500 pc.

a) (8%) ¿Nuestra galaxia puede ser clasificada como una galaxia enana? ó una galaxia gigante?. Calcule.

Respuesta. Asumiendo 300 mil millones de estrellas (el valor promedio), o $300000 \times 10^6 = 3 \times 10^{11}$ estrellas, es posible afirmar que nuestra galaxia es casi una galaxia gigante.

b) (8%) ¿Cuánto tiempo tardaría la luz en llegar desde el borde de la galaxia hasta su centro?

Respuesta. 50 000 años luz.

c) (8%) Suponga que una nave (hipotética) que viaje desde la Tierra, a una velocidad constante

igual a: $\nu = 30 \times 10^3 m/s$ en dirección hacia el centro de la galaxia ¿en cuánto tiempo llegaría?

Respuesta. La distancia es igual a:

$$27700al \times \frac{9.46 \times 10^{12} Km}{1al} \approx 2.6 \times 10^{17} Km$$

Y la velocidad es: $v = 30 Km/s$, por tanto:

$$t = \frac{2.6 \times 10^{17}}{30}$$

En un año hay $3.2 \times 10^7 s$, por lo tanto la nave necesitaría un tiempo igual a: $t = 2.8 \times 10^8$ años!!!

d) (6%) Indique en cuál constelación se encuentra el centro de la vía láctea o centro de la galaxia.

Respuesta. Sagitario.

REVISTA BOLIVIANA DE FÍSICA

COMITÉ EDITORIAL

Sociedad Boliviana de Física

Dr. Diego Sanjinés Castedo

Email: sanjines@fiumsa.edu.bo

Instituto de Investigaciones Físicas

Lic. Alfonso Velarde Chávez

Email: avelarde@fiumsa.edu.bo

Dr. Eduardo Palenque Vidaurre

Email: edyruy@yahoo.es

Carrera de Física

Dr. Armando R. Ticona Bustillos

Email: aticona@fiumsa.edu.bo

Casilla 8635, La Paz – Bolivia. Tel.: (591-2) 2792999, Fax: (591-2) 2792622

Misión

La Revista Boliviana de Física (RBF) es el órgano oficial de la Sociedad Boliviana de Física (SOBOFI) y se publica semestralmente en forma conjunta con el Instituto de Investigaciones Físicas y la Carrera de Física de la Universidad Mayor de San Andrés (IIF-UMSA).

La RBF busca difundir la producción científica de la comunidad de físicos y profesionales de ciencias afines, especialmente dentro de Iberoamérica.

Secciones

Los artículos, revisiones y colaboraciones se distribuyen en las siguientes secciones:

- A. **Artículos:** Son trabajos que presentan material nuevo y original. Para su publicación, deben ser revisados y aprobados por árbitros del Consejo Editorial. Los artículos deberán tener un resumen no mayor a 200 palabras y secciones de Introducción, Métodos y Procedimientos, Resultados y/o Discusión de datos, Conclusiones y Referencias.
- B. **Contribuciones y Revisiones:** Estos trabajos no presentan, necesariamente, material original sino que definen la posición del (de los) autor(es) sobre un determinado tópico de debate (en el caso de Contribuciones) o bien, son una revisión de temas conocidos en algún área de la física (en el caso de Revisiones). Las contribuciones deberán estar orientadas hacia la difusión de algún problema o debate interpretativo. Las revisiones estarán orientadas a exponer temas de trascendencia para el desarrollo de las ciencias relacionadas con la física, o exponer en forma didáctica algún tema que los autores encuentren que no ha sido tratado en forma adecuada en la literatura asequible en lengua castellana.
 - I. **Presentaciones:** Estos trabajos muestran, en resumen, las presentaciones mostradas por los expositores del **VI Workshop on Lidar Measurements in Latin America**, que no pudieron ser publicadas en el Número 20s.
- C. **Memorias de la Reunión Anual de la SOBOFI u otras reuniones de física:** Esta sección reúne los resúmenes de los trabajos presentados durante la última Reunión Nacional Anual de la SOBOFI o de otras reuniones científicas importantes sobre física.
- D. **Enseñanza de la Física:** Esta sección está dedicada a artículos que tratan sobre problemas relacionados a la enseñanza de la física o a la promoción del estudio de la física entre los jóvenes estudiantes. Se incorporan regularmente en esta sección los exámenes de las Olimpiadas de Física y las Olimpiadas de Astronomía y Astrofísica. Las contribuciones a esta sección son seleccionadas exclusivamente por el Comité Editorial.
- E. **Historia:** Esta sección se dedica a la conmemoración de hechos importantes en la historia de la Física Boliviana e Iberoamericana. De igual manera, se orienta a la recopilación de publicaciones relacionadas a la física que, por su importancia histórica, merecen ser nuevamente publicadas.

Instrucciones para los autores

Los trabajos enviados para su publicación deberán estar escritos preferentemente en castellano. Trabajos escritos en inglés podrán ser aceptados por el Comité Editorial y, pasado el proceso de aceptación, serán traducidos al castellano para su publicación en la RBF.

Los autores deberán enviar sus trabajos preferentemente en los formatos $\text{\LaTeX} 2_{\epsilon}$, *MS Word*, o *sólo texto* (con extensiones *.tex*, *.doc* y *.txt*, respectivamente), ya sea mediante una copia en dispositivo magnético o bien por correo electrónico. En este caso, deberán incluir una carátula donde se especifique el título del trabajo, los nombres de los autores, las direcciones (postal y/o electrónica) y el resumen del trabajo. Además, las figuras, tablas y notas de pie de página contenidas deberán estar indicadas en el texto, debidamente numeradas y referenciadas. Las figuras deberán tener una resolución razonable a fin de que puedan ser vistas con suficiente claridad por el lector.

Los artículos científicos serán revisados por el Comité Editorial y posteriormente por un par de árbitros anónimos quienes dan el veredicto sobre si el artículo es aceptado o no.

La comunicación de los autores con los árbitros se realiza únicamente a través del editor encargado del área.

Los trabajos y consultas sobre la RBF deberán enviarse a las direcciones del Comité Editorial indicadas arriba.

Conflicto de interés: Los autores que envíen artículos para su publicación en la RBF admiten que no tienen conflicto de interés en relación a los trabajos realizados y presentados.