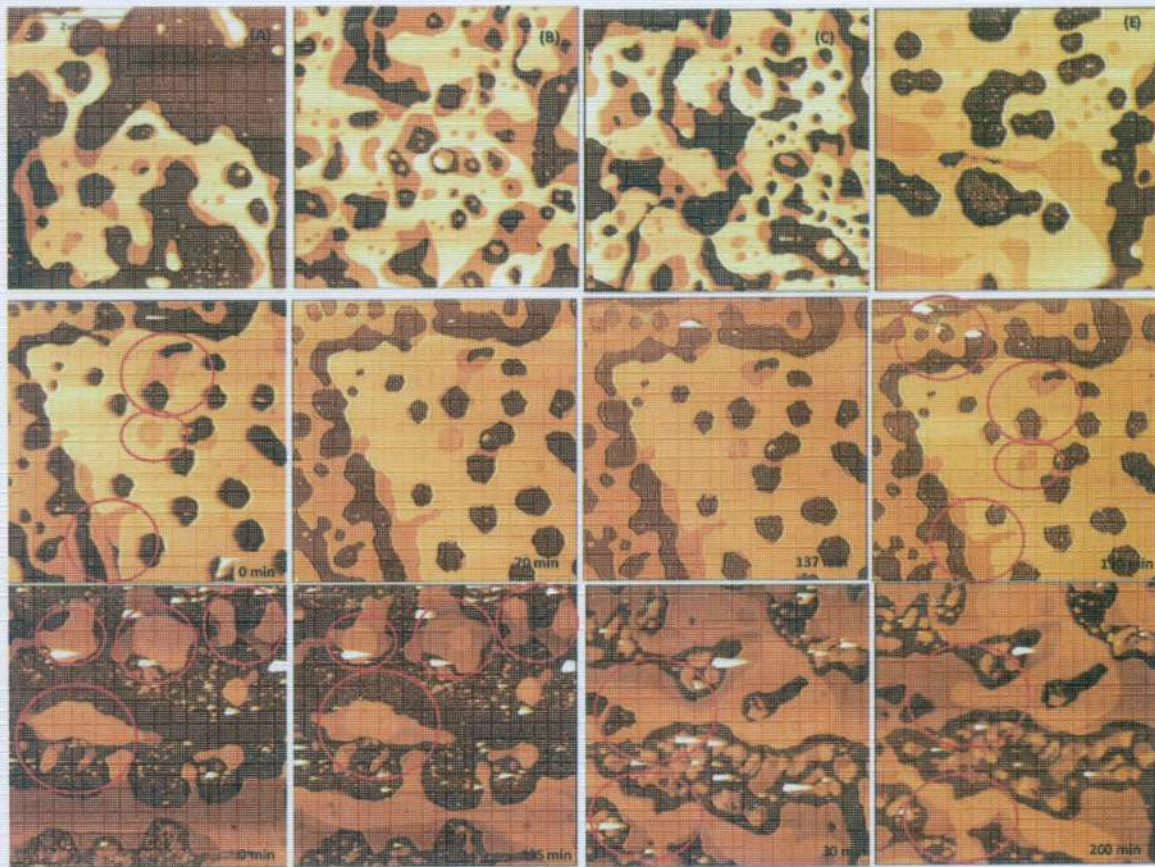


ISSN - 1562 - 3823

REVISTA BOLIVIANA DE FÍSICA

NÚMERO 42

NOVIEMBRE 2023 - LA PAZ - BOLIVIA



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FÍSICAS
CARRERA DE FÍSICA - UMSA

SOCIEDAD BOLIVIANA DE FÍSICA

REVISTA BOLIVIANA DE FÍSICA
Esta es una revista de la Unión Iberoamericana de Sociedades de Física

COMITÉ EDITORIAL

Sociedad Boliviana de Física

Lic. Alfonso Velarde Chávez

Email: alfonso.velarde@gmail.com

Instituto de Investigaciones Físicas

Dr. Wilfredo Tavera Llanos

Email: witavera@fiumsa.edu.bo

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

Dr. John Mejia

Desert Research Institute - DRI
Division of Atmospheric Science
2215 Raggio Parkway, Reno, Nevada 89512
USA
Email: John.Mejia@dri.edu

Dr. Carlos Martin Medina

Inland Norway University of Applied Sciences
Faculty of Applied Ecology,
Agricultural Sciences and Biotechnology
Department of Biotechnology
Campus Hamar, Norway
Email: carlos.medina@inn.no

Dr. Ivânio Puerari

Instituto Nacional de Astrofísica,
Óptica y Electrónica - INAOE
Luis Enrique Erro 1, Tonantzintla,
Puebla, México C.P. 72840
Email: ivaniopuerari@gmail.com

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 42
NOVIEMBRE DE 2023

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: W. Tavera

Dirección: Carrera de Física, Campus Universitario, Calle 27, Cota Cota, La Paz.

Tel: (591 2) 2792999; FAX: (591 2) 2792622.

Portada: Imágenes de una bicapa lipídica y su interacción con saponinas utilizando microscopía de fuerza atómica (AFM).

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

Impreso por: **Imprenta Antofagasta**

Dirección: Canónigo Ayllón No. 524. Tel. (591 2) 2493609.

CONTENIDO

EDITORIAL *Editor* 1

A. ARTÍCULOS

BOLIVIAN/U.S STUDENT ATMOSPHERIC FIELD CAMPAIGN IN
THE BOLIVIAN ANDES *David N. Whiteman et al.* 3

UN ESTUDIO EXPERIMENTAL DE PROPIEDADES FÍSICAS
DE SAPONINAS Y SU INTERACCIÓN CON UN MODELO DE
MEMBRANA DE BACTERIAS GRAM-NEGATIVAS EMPLEANDO
PELÍCULAS LANGMUIR-BLODGETT Y MICROSCOPIA DE FUER-
ZA ATÓMICA *César M. Cornejo Mejía et al.* 12

DEPROJECTION METHOD AND ARMS STRUCTURE OF SPIRAL
GALAXIES. RESULTS FOR NGC 4939, NGC 5247 AND NGC 157
Deterlino Urzagasti 22

D. ENSEÑANZA DE LA FÍSICA

11ra OLIMPIADA CIENTÍFICA ESTUDIANTIL PLURINACIONAL
BOLIVIANA – ETAPA NACIONAL. 27ma OLIMPIADA BOLIVIA-
NA DE FÍSICA – EXAMEN DE PRESELECCIÓN PARA LA XXVIII
OLIMPIADA IBEROAMERICANA DE FÍSICA *Mamani E. et al.* 29

EDITORIAL

En los últimos años, una vez más por iniciativa de la propia comunidad científica, se promueve el reconocimiento de la ciencia como un bien público global. En ese carácter, se reconoce a la ciencia como la fuente principal de conocimientos que pueden ser aplicados en beneficio de la humanidad y que debieran estar libremente disponibles y accesibles para todas las personas. El año 2021, el Consejo Internacional de Ciencia (ISC por su sigla en inglés), publica un documento en el que plasma su visión respecto de la ciencia como un bien público global (Boulton 2021). El documento destaca que la ciencia es una forma especial de conocimiento, que posee en su base, dos atributos fundamentales que le otorgan su valor como bien público global:

- El conocimiento y la evidencia en la que se basa, están a disposición para ser contrastados contra la realidad y la lógica, a través de la evaluación por pares;
- Los resultados de la investigación científica son inmediatamente comunicados de manera pública y difundidos de manera eficiente para ponerlos a disposición de todos los que deseen o necesiten acceder a ellos (Boulton 2021).

En criterio de muchos científicos, principalmente del ámbito latinoamericano, los intentos de implementar de manera plena una modalidad de acceso abierto para la difusión de sus resultados, han mostrado la necesidad de construir una comunidad colaborativa de conocimiento abierto que incluya a todos los actores del proceso de investigación en la capacidad de participar, de acceder y de utilizar la investigación financiada con fondos públicos (Becerril et al. 2023).

Ponemos a consideración de nuestros lectores, la Revista Boliviana de Física número 42, con los siguientes artículos que esperamos colmen sus expectativas:

“Campana de mediciones atmosféricas en Los Andes bolivianos realizada por equipo estudiantil boliviano-estadounidense” (Whiteman et al. 2023), en el que se presentan los resultados de una interesante campaña de cuantificación del flujo de material particulado en tres puntos de medición, desde la ciudad de La Paz hacia la cumbre del monte Chacaltaya.

“Un estudio experimental de propiedades físicas de Saponinas y su interacción con un modelo de membrana de Bacterias Gram-negativas empleando películas Langmuir-Blodgett y Microscopía de Fuerza Atómica”, en el que (Cornejo et al. 2023), presentan los resultados de una investigación de las interacciones de saponinas con un modelo de membranas de Bacterias Gram-negativa empleando las técnicas experimentales de Langmuir y microscopía de fuerza atómica.

“Método de Deproyección y estructura de brazos de galaxias espirales. Resultados para NGC 4939, NGC 5247 y NGC 157”, el autor Urzagasti (2023), desarrolla un método numérico para la deproyección de imágenes de discos de galaxias espirales normales y para la obtención de su estructura de brazos usando el modelo de espirales logaritmicas.

“11ra Olimpiada Científica Estudiantil Plurinacional Boliviana – Etapa nacional. 27ma Olimpiada Boliviana de Física – Examen de preselección para la XXVIII Olimpiada Iberoamericana de Física” (Mamani et al. 2023). En este artículo de la sección de Enseñanza de la Física, se presentan los exámenes y sus soluciones, correspondientes a los eventos indicados.

Le invitamos a que considere la publicación de su próximo artículo en la Revista Boliviana de Física.

REFERENCIAS

- Becerril, A., Rovelli, L., & Aguado López, E. 2023, *Societas*, 25
- Boulton, G. 2021, *Science as a Global Public Good*. International Science Council Position Paper, https://council.science/wp-content/uploads/2020/06/Science-as-a-global-public-good_v041021.pdf
- Cornejo, M., Ticona, A., Almanza, G., Carrasco, C., & Ghezzi, F. 2023, *Revista Boliviana de Física*, 42, 12
- Mamani, E., Sanjinés, D., Rajjevic, M., & Subieta, V. 2023, *Revista Boliviana de Física*, 42, 31
- Urzagasti, D. 2023, *Revista Boliviana de Física*, 42, 23
- Whiteman, D., Andrade, M., Forno, R., Mamani-Paco, R., Moreno, I., Velarde, F., Blacutt, L., Gutiérrez, R., Ávila, F., Pozadas, M., Guzmán, D., & et al. 2023, *Revista Boliviana de Física*, 42, 3

EDITORIAL

In recent years science has been promoted, at the initiative of its own scientific community, as a global public good. In this regard, science is recognised as the principal source of knowledge that can be applied for the benefit of humanity. As such, scientific knowledge should be freely available and accessible to all. In 2021 the International Science Council (ISC) published a document that sets out its vision in which science is considered a global public good (Boulton 2021). The document emphasises that science is a special form of knowledge that has two fundamental attributes that validate its public good status:

- Knowledge, and the evidence on which it is based, is available to be tested against fact and logic, through peer review.
- The results of scientific research are immediately communicated and efficiently disseminated in the public domain reaching all those who wish or need access (Boulton 2021).

In the opinion of many scientists, mainly in Latin America, the attempts to fully implement an open access modality for the dissemination of their results have highlighted the need to build a collaborative open knowledge community that includes all actors in the field. That is, all those who are in the research process and require the ability to participate in, access and use publicly funded research (Becerril et al. 2023).

We offer you, the *Revista Boliviana de Física* number 42, the following articles that we hope will meet your expectations:

“Bolivian/U.S student atmospheric field campaign in the Bolivian Andes” (Whiteman et al. 2023), which presents the results of an interesting campaign that quantifies the flow of particulate matter at three measurement points, from the city of La Paz to the summit of Mt. Chacaltaya.

“An experimental study of the physical properties of saponins and their interaction with gram negative bacterial membrane models using Langmuir - Blodgett techniques and atomic force microscopy” (Cornejo et al. 2023), where novel results regarding the interaction of saponins with gram negative bacterial membranes are presented.

“Deprojection method and arms structure of spiral galaxies. Results for NGC 4939, NGC 5247 and NGC 157”, in which the author Urzagasti (2023), develops a numerical method for the deprojection of images of normal spiral galaxy discs and the structure of spiral galaxy arms using the spiral logarithmic model.

“11th Bolivian Plurinational Scientific Olympiad – national stage. 27th Bolivian Physics Olympiad – pre-selection test for the XXVIII Iberoamerican Physics Olympiad” (Mamani et al. 2023). In this article, within the Physics Teaching Section, the respective Olympiad exams and their solutions are presented.

We invite you to consider publishing your next article in the *Bolivian Journal of Physics*.

REFERENCIAS

- Becerril, A., Rovelli, L., & Aguado López, E. 2023, *Societas*, 25
Boulton, G. 2021, *Science as a Global Public Good*. International Science Council Position Paper, https://council.science/wp-content/uploads/2020/06/Science-as-a-global-public-good_v041021.pdf
Cornejo, M., Ticona, A., Almanza, G., Carrasco, C., & Ghezzi, F. 2023, *Revista Boliviana de Física*, 42, 12
Mamani, E., Sanjinés, D., Rajjevic, M., & Subieta, V. 2023, *Revista Boliviana de Física*, 42, 31
Urzagasti, D. 2023, *Revista Boliviana de Física*, 42, 23
Whiteman, D., Andrade, M., Forno, R., Mamani-Paco, R., Moreno, I., Velarde, F., Blacutt, L., Gutiérrez, R., Ávila, F., Pozadas, M., Guzmán, D., & et al. 2023, *Revista Boliviana de Física*, 42, 3

BOLIVIAN/U.S STUDENT ATMOSPHERIC FIELD CAMPAIGN IN THE BOLIVIAN ANDES
CAMPAÑA DE MEDICIONES ATMOSFÉRICAS EN LOS ANDES BOLIVIANOS REALIZADA POR
EQUIPO ESTUDIANTIL BOLIVIANO-ESTADOUNIDENSE

DAVID N. WHITEMAN^{1,2,a}, MARCOS ANDRADE^{2,4,b}, RICARDO FORNO^{2,c}, RUBÉN MAMANI-PACO², ISABEL MORENO²,
FERNANDO VELARDE², LUIS BLACUTT^{2,d}, RENÉ GUTIERREZ^{2,e}, FABRICIO ÁVILA², MÓNICA POZADAS², DECKER
GUZMÁN^{2,f}, RICHARD PELTIER³, ADRIÁN ACARAPI², AYOMIPOSI AJAYI⁴, VALERIA BURGOA², ALAN CALLAÚ²,
YAHUAR BENJAMÍN CHAMBI², FRANCO GARCÍA², SAMANTHA LOBATÓN², HADIJAT OKE⁴, FISAYO OKUNUGA⁵,
BELEN PEÑALOZA², MARCO ANTONIO RIVERA², MONIQUE WATSON⁶, SHAYLA REID⁷, & HOVEN ZOU⁷

¹ Howard University, Washington, DC USA

² Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia

³ University of Massachusetts, Amherst, MA USA

⁴ University of Maryland, College Park, MD USA

⁵ Illinois Institute of Technology, Chicago, IL USA

⁶ Purdue University, West Lafayette, IN USA

⁷ Eleanor Roosevelt High School, Greenbelt, MD USA

(Recibido 25 de septiembre de 2023; aceptado 24 de noviembre de 2023)

<https://doi.org/10.53287/vokv3616m54g>

ABSTRACT

A student-focused field measurement campaign was held in the vicinity of Mt. Chacaltaya in the Bolivian Andes near the city of La Paz on May 24, 2022. The campaign was part of a program funded by the US Department of State, the main goal of which was to foster cultural and scientific exchange among Bolivian and US students. As part of this exchange, a group of eight Bolivian and four U.S. students worked together to plan and execute measurements which focused on quantifying the flow of particulate matter from the city of La Paz toward the summit of Mt. Chacaltaya, where the world's highest elevation Global Atmosphere Watch site is located. Measurements were performed at three locations along a canyon that leads toward the summit of Mt. Chacaltaya and is a natural pathway for city-generated pollutants to travel toward the GAW station. The measurements indicated the presence of regular, solar-heating-generated, downslope/upslope wind flow that aids the movement of particles near the mountain surface. The development of convection during the afternoon regularly decreased the concentrations measured at the surface and thus complicated the interpretation of particle flows. A novel, low-cost tethered sonde apparatus was developed by members of the Laboratory for Atmospheric Physics (LFA) at the Universidad Mayor de San Andrés (UMSA). Use of this tethered sonde permitted vertical profiles of winds, temperature, pressure and relative humidity to be acquired thus allowing the investigation of the vertical structure of the transition between downslope and upslope flow. Outside of the measurement campaign, the students engaged in cultural activities together to enjoy local Bolivian sites and get to know each other better. One of the goals of the experiment was to increase interest in the atmospheric sciences among UMSA students. The results of a post-campaign survey indicate that participation in this joint field campaign has increased the number of physics students participating in the activities of the LFA at UMSA.

Subject headings: Student training – transport of atmospheric pollution – mountain meteorology – black carbon and glaciers

RESUMEN

Una campaña de campo para realizar mediciones atmosféricas, centrada en el trabajo de estudiantes tanto bolivianos como estadounidenses, se llevó a cabo el 24 de mayo de 2022. La campaña fue parte de un programa financiado por el Departamento de Estado de EE. UU., cuyo objetivo principal fue fomentar el intercambio cultural y científico entre estudiantes bolivianos y estadounidenses. Como parte de este intercambio, un grupo de ocho estudiantes bolivianos y cuatro estadounidenses trabajaron juntos para planificar y ejecutar mediciones enfocadas en cuantificar el flujo de material particulado desde la ciudad de La Paz hacia la cumbre del monte Chacaltaya, donde se encuentra la estación más alta del mundo de la red Global Atmosphere Watch. Las mediciones se realizaron en tres lugares a lo largo de un

cañón que conduce hacia la cima del monte Chacaltaya y es una vía natural para que los contaminantes generados por la ciudad viajen hacia la estación. Las mediciones indicaron la presencia de un flujo de viento ascendente y descendente, generado por el calentamiento y enfriamiento producido por radiación solar o la falta de ésta, que ayuda al movimiento de aerosoles cerca de la superficie de la montaña. El desarrollo de procesos convectivos durante la tarde disminuyó regularmente las concentraciones medidas en la superficie y complicó así la interpretación de los flujos de partículas. Miembros del Laboratorio de Física Atmosférica (LFA) de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) desarrollaron un novedoso sistema de sondas cautivas de bajo costo. El uso de estas sondas posibilitó adquirir perfiles verticales de vientos, temperatura, presión y humedad relativa, permitiendo así la investigación de la estructura vertical de la transición entre el flujo ascendente y descendente. Fuera de la campaña de medición, los estudiantes participaron juntos en actividades culturales para disfrutar atracciones locales y conocerse mejor. Uno de los objetivos del experimento era aumentar el interés por las ciencias atmosféricas entre los estudiantes de la UMSA. Los resultados de una encuesta posterior a la campaña indican que la participación en esta campaña de campo conjunta ha aumentado el número de estudiantes de física que participan en las actividades del LFA en la UMSA.

Palabras clave: Entrenamiento de estudiantes – transporte de contaminación atmosférica – meteorología de montaña – carbono negro y glaciares

1. INTRODUCTION

The health of Andean snow pack and glaciers has long been a concern due to their importance as sources of freshwater and the observed accelerated melting due to climate change and pollution (Francou et al. 2003; Soruco et al. 2009; Vuille et al. 2018; de Magalhães et al. 2019). Mt. Chacaltaya (16.347° S, 68.128° W, 5.4 km) in the Bolivian Andes is located only ~22 km from the center of La Paz city making it an excellent site for studying these effects. In 2011, the world's highest elevation Global Atmosphere Watch station (CHC) was established ~200 m below the summit of Mt Chacaltaya at an elevation of 5.24 km. Instruments located at the site monitor atmospheric composition in this highly populated, but under sampled (Laj et al. 2020), region. Measurements from the GAW station and the conurbation of La Paz/El Alto have been used to conclude that automobile-generated pollutants regularly are transported to the GAW station thus significantly impacting its environment (Wiedensohler et al. 2018). An intensive measurement campaign staged over a 6-month period from late 2017 into mid 2018 indicated that certain transported pollutants can change in composition during their transit from source point to the GAW station (Bianchi et al. 2021).

All of these studies point in various ways to the importance of aerosol transport in understanding the particle environment of the CHC GAW station. Yet, potential mechanisms of this transport have not been directly studied. The focus of the experimental work here was to involve a group of Bolivian and

U.S. students in the design and execution of a field measurement campaign, the goal of which was to attempt to directly measure this aerosol transport mechanism and its effects. While just a single day was devoted to the measurements, which were made primarily using low cost sensors, the overall experience of planning and executing the campaign provided excellent training for the young scientists involved.

These efforts were funded by the USA StudyAbroad program of the U.S. Department of State and included cultural exchange components in addition to the scientific efforts that are the focus of this paper. For example, all scientific communications were conducted in English to help prepare the Bolivian students for participation in the international scientific community, where English is the common language. U.S. students were exposed to a great variety of Bolivian life and culture by being housed by Bolivian families during their time in La Paz and by taking joint excursions with the Bolivian students both in La Paz/El Alto and to surrounding areas such as Corioco, where they visited a wildlife preserve, and Lake Titicaca, where they learned about the history of reed boat construction at the lake. These experiences have strengthened the students' understanding of different cultures and exposed them to research opportunities in a unique Andean environment with a secondary goal of increasing participation in atmospheric sciences and, in particular, in the activities of the Laboratory for Atmospheric Physics at UMSA.

2. METHODS AND PROCEDURES

The mechanism referred to as mountain ducting or the Mountain Chimney Effect (MCE) (Lu & Turco 1995; Whiteman et al. 2023; Whiteman 2000; Pal et al. 2017) was taken as the starting point for the design of the experiment. The MCE is driven by solar heating which creates upslope winds that move particles toward higher elevation following natural

^a<https://orcid.org/0000-0002-6794-9312>

^b<https://orcid.org/0000-0002-9736-493X>

^c<https://orcid.org/0000-0002-2795-6462>

^d<https://orcid.org/0000-0003-1399-9506>

^e<https://orcid.org/0000-0003-3500-6835>

^f<https://orcid.org/0000-0003-4815-5135>

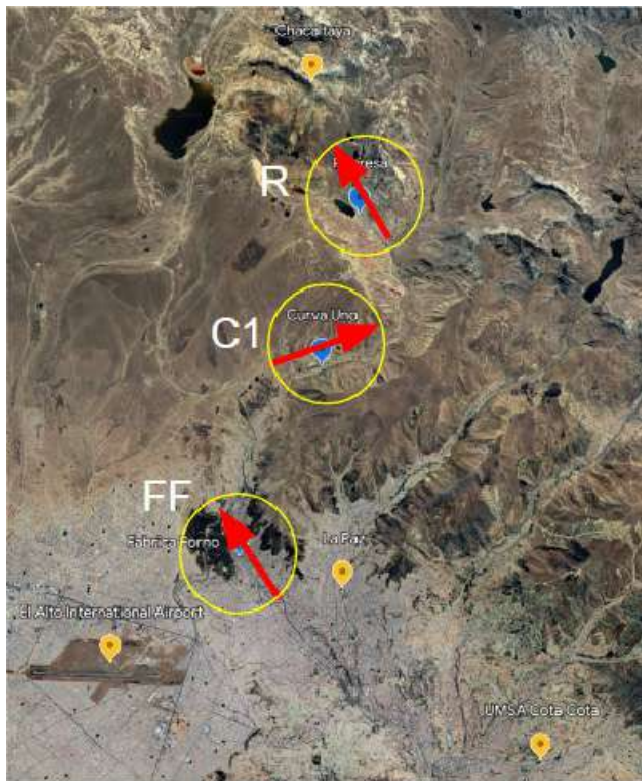


Fig. 1.— Experimental locations of Fabrica Forno (FF), Curva Uno (C1) and Represa (R) along a canyon leading up to Mt. Chacaltaya with the upslope directions noted by red arrows. In yellow markers from the top are also shown the locations of the GAW station at Chacaltaya, the center of La Paz, El Alto airport, and the UMSA campus in Cota Cota to the SE of the city center.

pathways such as canyons and river beds.

We hypothesized that solar heating on the slopes leading up to the CHC GAW station creates a region of heated, less dense air that tends to flow uphill. This phenomenon is typically extends tens of meters vertically (Whiteman 2000). The reverse happens over night when colder, denser air flows downhill toward lower elevations. If this mechanism is present, one would expect that the overnight downslope flow would reverse sometime after sunrise to become an upslope flow after sufficient heating of the surface had occurred. One also might expect that this flow reversal would influence the particulate matter (PM) and equivalent black carbon (eBC) measurements acquired at the three sites with upslope flow tending to “pull” more pollution-laden air from the lower-lying city of La Paz, whereas downslope flows would tend to transport cleaner air from higher elevations.

3. MEASUREMENT LOCATIONS

Three locations, shown in Figure 1 and described in Table 1, were chosen along a canyon leading from La Paz toward Mt. Chacaltaya for measuring pollutants and winds. There was an expectation that if recurring patterns were found in these fields one might be able to infer the movement of pollutants upward from one station to the next and ultimately to the CHC GAW station. We selected Tuesday May 24,

2022 as the day to perform the measurements with the following day as backup if needed. Due to complications in the measurements at the Represa site, where we believe the existence of multiple canyons caused the wind field to be highly variable, in the following analysis we present examples only from the Fabrica Forno and Curva Uno locations.

4. INSTRUMENTATION

As shown in Table 1, each location was instrumented such that temperature, pressure, RH and winds could be monitored both at the surface and in the profile above each site. Particulate matter (PM) and equivalent black carbon (eBC) were measured at the surface only. We detail the instruments used below.

4.1. Tethersonde

Repeated vertical profiles of winds were desired at each of the measurement sites in order to better understand the local upslope and downslope wind characteristics and, hopefully, to capture the transition from the anticipated overnight downslope wind to the daytime upslope wind. The original intention was to make use of the home-built tethersonde systems used previously in student experiments in both Bolivia and the U.S. (Whiteman et al. 2023) but these systems were powered by a hand-drill that required AC power. No power was available at the measurement sites so a solution was needed that required little or no battery power. Furthermore, a tethered balloon cannot accurately measure winds due to the restraint of the string that prevents the balloon from ascending freely. Therefore, a novel tethersonde solution was needed that required no power and would permit the balloon to ascend freely but still be recoverable. Initially, that seemed an insurmountable challenge. However, Lic. Ricardo Forno and members of the LFA staff devised an ingenious solution that proved capable of providing all the required measurements.

This device is illustrated in Figure 2 as it was used at the Curva Uno site on the measurement day of May 24, 2022. The device consists of a 150 g balloon and standard radiosonde that are attached to an approximately 200m length of high strength, low weight fishing line. Attached to the bottom of this fishing line is a series of partially-water-filled 500 mL soda bottles that are lifted off the ground as the balloon nears its maximum height. As the balloon lifts successively more bottles, its ascent is stopped gradually and the balloon can then be retrieved by manually pulling the string back down. A standard Internet Systems iMet1 radiosonde was attached to the balloon and provided measurements of temperature, pressure, RH and winds as a function of altitude. The iMet data were recorded in real-time on a battery-powered laptop running NOAA Skysonde software, which received the iMet data using a battery-powered iCom Rx-7 handheld radio tuned to the 403 MHz signal of the radiosonde. Example profile measurements can be seen later in Figure 7.







Location	Fabrica Forno (FF)	Curva Uno (C1)	Represa
Lat, Lon	16.48S, 68.15W	16.43S, 68.13W	16.38S, 68.12W
Elevation (masl)	3705	4140	4454
Downslope Direction	~320° 	~70° 	~330° 
Upslope Direction	~140° 	~250° 	~150° 
Instruments and variables	Tethersonde (T, P, RH, winds), AE51 (eBC), Davis Vantage Pro Wx station (T, P, RH, Winds), Airnote (PM)	Tethersonde (T, P, RH, winds), AE51 (eBC), Ambient Weather Wx station (T, P, RH, Winds)	Tethersonde (T, P, RH, winds), AE51 (eBC), Ambient Weather Wx station (T, P, RH, Winds), Airnote (PM)

TABLE 1

The coordinates, elevations and the upslope and downslope wind directions, estimated from local topography, and instrumentation are given for each of the experimental locations : Fabrica Forno, Curva Uno and Represa.



Fig. 2.— Manual tethered solution that required no power, permitted the balloon to fly freely on ascent thus permitting accurate wind measurements and was recoverable. The balloon at its highest ascent is shown in the upper right with the first water bottle lifted off the surface. The line of bottles ready to be lifted is shown in the main photo. Repeated profiles were successfully performed at all three experimental locations with these devices.

4.2. Low-cost particulate matter sensors

The particulate matter measurements presented here were made by a device that is manufactured by Blues Wireless and is called the Airnote. It consists of a cellular modem, a low-cost PM sensor (Plantower PMS7003) and uses a solar panel rechargeable battery. The device is set to “wake up” every 15 minutes and acquire PM measurements. The temporal resolution of the resulting data is therefore 15 minutes. Studies (Badura et al. 2018) have indicated that this

sensor has excellent precision although errors can be significant when measuring small PM amounts, which is consistent with the manufacturer’s stated accuracy of $\pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for measurements in the range of $0\text{-}100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. It was also found that elevated relative humidity (RH) can cause spuriously large readings similar to results obtained using earlier versions of Plantower PM sensors (Zheng et al. 2018; Whiteman et al. 2023).

4.3. Aethalometer

The AethLabs AE51 is a pocket sized, fixed-filter aethalometer that determines equivalent black carbon concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) in real-time with temporal resolution of 1 minute. Due to its small size and ability to operate for >20 hours using battery power, the AE51 has been used in a number of personal exposure studies (e.g. Bista et al. 2022). Performance studies have indicated excellent repeatability although there is a tendency for measurements to be biased low as PM accumulates on the filter although there are correction techniques for this effect (Good et al. 2017; Lee 2019). Three AE51s were used in this study, one at each of the measurement locations shown in Figure 1.

4.4. Weather stations

Weather stations providing surface measurements of temperature, pressure, RH and winds manufactured by Davis Instruments and Ambient Weather were used in this experiment. A Davis Vantage Pro2 was installed at the Fabrica Forno site while Ambient Weather WS-5000 units were installed at both the Curva Uno and Represa sites.

4.5. WRF simulations

Weather Research Forecasting simulations were performed by members of the Laboratory for Atmospheric Physics to aid preparations for the measurement campaign of May 24, 2022. Four nested domains were used ranging from 27 km spacing for the outermost grid to 1 km spacing for the innermost, which tightly surrounded the region of the three measurement sites of Fabrica Forno, Curva Uno and Represa. Hourly simulations performed

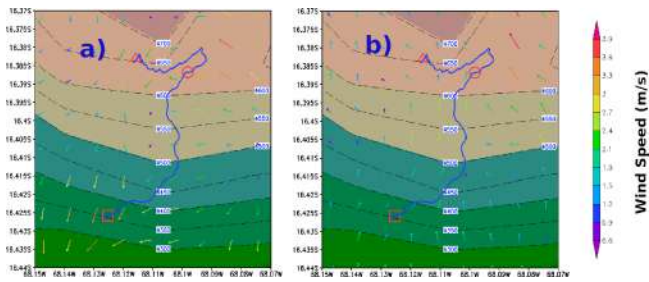


Fig. 3.— Weather Research Forecast simulations of the wind field at 2 m above the surface on May 24, 2022. The forecasts for 0300 and 1200 local are shown Figs 3a and 3b, respectively. Wind speed in m/s of the colored wind bars is shown in the color bar on the right. Elevation in masl is shown via inset boxes ranging from less than 4300 m to above 4700 m. In general, the forecast indicated a downslope flow dominated the measurement region over night and was replaced by upslope flow during the daytime.

36 hours in advance of the campaign indicated that a transition from downslope to upslope flow near the surface would occur during the campaign and extend across much of the measurement domain. Figure 3 shows the 2 m wind forecast at 0300 (left) and 1200 (right) local time. The 0300 low-level wind forecast shown on the left indicated that downslope winds at both the Fabrica Forno (red square) and Represa (red triangle) sites while the winds at Curva Uno (red circle) would be easterly. The forecast at 1200 local time is shown on the right and indicates predominantly upslope flows across the domain.

5. MEASUREMENT PROTOCOLS

Bolivian and US students and mentors were divided into three different research groups; one group each for the three measurement sites. On Monday May 23, 2022 all groups participated in a training session at the UMSA Cota Cota campus in the southeast part of La Paz and practiced balloon inflation and operation of the various instruments. Before sunrise on the next day of May 24, 2022 the three groups assembled separately and packed up three vehicles to transport all apparatus to the measurement sites of Fabrica Forno, Curva Uno and Represa. The goal was to commence measurements, including tethered sonde ascents and descents, prior to sunrise and thus also prior to the anticipated transition between downslope and upslope flows. Because of logistical delays and heavy traffic, however, teams arrived at their sites later than anticipated. Another item that caused delays in the start of tethered sonde measurements was the fact that a single helium bottle was being shared among the three sites. The time required to set up instruments and start their operations and inflate balloons pushed the start of actual tethered sonde data collection at the different sites to between approximately 0900 and 1000 local time. As will be discussed later, due to these delays it was only at the Curva Uno site that the transition between downslope and upslope flows was observed in the tethered sonde measurements.

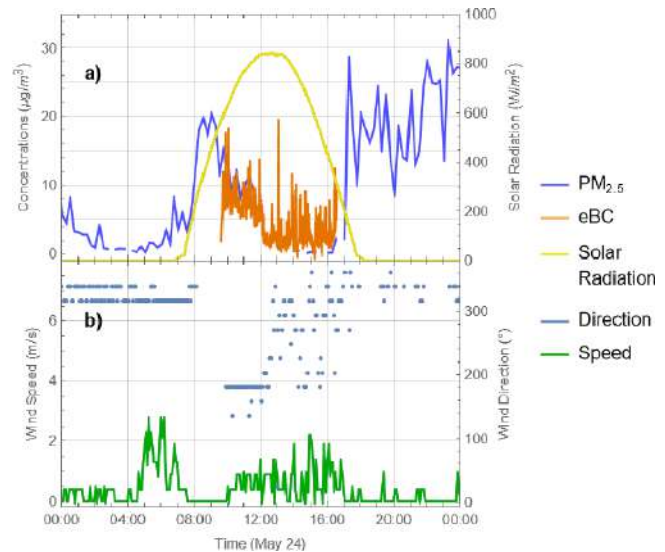


Fig. 4.— Measurements acquired from the rooftop of the Fabrica Forno site. In the upper plot are shown the time series of particle concentrations and solar radiation for May 24. In the bottom plot are shown wind speed and direction. The solar radiation measurements were acquired from a site located 2 km from Fabrica Forno. PM and eBC measurements have been converted to standard temperature and pressure conditions.

6. RESULTS AND DISCUSSION OF DATA

Early in the morning of May 24, 2022, the three groups assembled and traveled to the measurement sites shown in Fig 1. Tethered sonde, aethalometer and PM instruments were installed at all locations.

Instruments measuring winds and PM had been installed on the rooftop at the Fabrica Forno location several weeks earlier which permitted studies of the evolution of these parameters over more extended periods. Figure 4a presents equivalent black carbon measurements ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) made at Fabrica Forno using the AethLabs AE51 aethalometer from approximately 0900 to 1700 local time (shown in orange). Also shown in the figure is the 24-hour record of $\text{PM}_{2.5}$ measured by the Airnote. As an indication of solar conditions, the solar radiation measured from a location 2 km away from Fabrica Forno is also shown. Figure 4b gives the 24-hour record of wind speed and direction. Table 1 shows that the directions of upslope and downslope wind at Fabrica Forno, determined from local topography and assuming that low-level wind flow would follow the local canyons, were estimated to be 140° and 320° , respectively. Referring again to Figure 4b, between midnight and approximately 0800 local time the wind direction varied between 320° and 340° , which is consistent with the presence of downslope flows. Between approximately 0800 and 0900, winds were calm, thus no direction could be specified. Between 0930 and 1230, surface winds were primarily from 180° with some occasional variation to 140° , roughly consistent with the upslope flow direction estimated in Table 1. After 1230, the wind direction became highly variable between 180° and 360° . These variations in flow direction can be understood better by reference to the solar radiation measurements shown in Figure 4a.

May 24 was a mostly clear day in the La Paz region. The solar radiation curve shown in yellow in Figure 4a indicates a smooth increase of incident radiation starting at sunrise at ~ 0730 to a peak of approximately 825 W/m^2 at 1230. From midnight until sunrise, downslope flows became increasingly well developed with a nearly constant wind direction and with wind speeds reaching a maximum of $\sim 3 \text{ m/s}$ approximately 2 hours before sunrise. The increase in surface heating due to the rising sun created the conditions for the MCE to develop which caused a reversal in the wind direction by approximately 0930. After this time, surface wind speeds increased to approximately 2 m/s . The large variability in wind direction observed between 0930 and 1230 is interpreted as being due to the turbulence associated with the development of convective activity in the afternoon. It is interesting to now consider the variation in PM concentrations in light of the wind variations just described.

Figure 4a shows that $\text{PM}_{2.5}$ measurements from Fabrica Forno were generally much less than $5 \mu\text{g/m}^3$ between 0000 and 0800. During this time the dominant wind direction shown in Figure 4b was $320^\circ - 340^\circ$ which is consistent with a downslope flow. A significant increase in $\text{PM}_{2.5}$ was observed after 0800 which could be due to morning vehicular traffic. The onset of upslope flow at 0930, denoted by a change in wind direction to $\sim 140^\circ - 180^\circ$, caused a decrease in PM concentrations which were further decreased after 1230 when a variable wind pattern developed. These variable winds are consistent with the development of convection which can cause an increase in the height of the planetary boundary layer (PBL). An increased PBL height provides more volume into which PM can be mixed which can explain the low surface PM concentrations that are observed between 1230 and 1630. PM concentrations increased as the sun was setting and remained at elevated levels even as the downslope winds resumed after ~ 1900 . These elevated PM values could be due to dust and pollutants caused by evening traffic or could be due to dust that was lifted from the surface during the afternoon convection that had not yet settled down.

It is interesting now to compare $\text{PM}_{2.5}$, measured by the low-cost Airnote sensor (the Plantower device inside the Airnote costs $\sim \$20-30$), and equivalent black carbon measured by the considerably more expensive AE51 ($\sim \$5-6\text{k}$) given that black carbon forms a part of the total particulate matter budget. We will assume that during the time of the measurements the composition of the $\text{PM}_{2.5}$ sampled was fixed and that a linear regression of the two measurements is therefore appropriate. Linear regressions are shown in Figure 5 performed in two ways. The first, with a blue color scheme, uses all available points after the 1-minute resolution eBC measurements were averaged to the 15 minute intervals of the $\text{PM}_{2.5}$ measurements. The second technique, shown in a green color scheme, filters out the $\text{PM}_{2.5}$ measurements below $1.0 \mu\text{g/m}^3$ prior to performing the regression. The manufacturer's uncertainty spe-

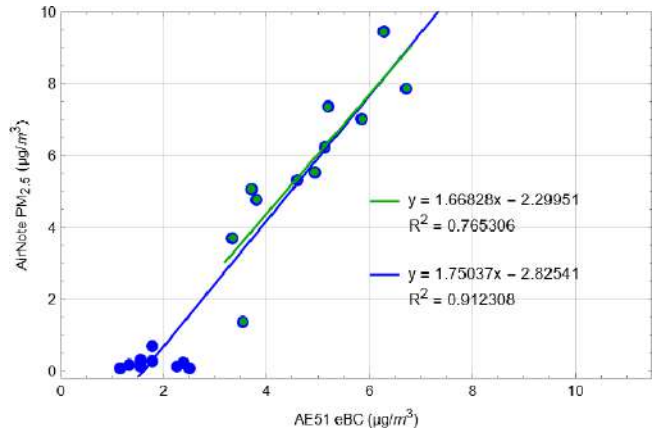


Fig. 5.— Comparison of $\text{PM}_{2.5}$ measured by the Airnote instrument and equivalent black carbon measured by the AE51 aethalometer at Fabrica Forno. Two methods of processing the data are shown.

cification that was noted previously indicates that the absolute uncertainty of the measurements increases with decreasing $\text{PM}_{2.5}$ amount. We take this to be the explanation for the apparent lack of sensitivity of the Airnote to $\text{PM}_{2.5}$ concentrations below $\sim 1.0 \mu\text{g/m}^3$. The PM values below $1.0 \mu\text{g/m}^3$ were therefore filtered out in the second regression shown.

The two regressions give similar slopes (1.69, 1.75) and intercepts ($-2.3 \mu\text{g/m}^3$, $-2.8 \mu\text{g/m}^3$) although the tight packing of the $\text{PM}_{2.5}$ values below $1.0 \mu\text{g/m}^3$ causes the second regression to show a higher correlation as evidenced by the R^2 values of 0.91 versus 0.76. The non-zero intercepts complicate interpretation but based on the regression slopes alone, which indicate the increase in $\text{PM}_{2.5}$ per unit increase in eBC, we infer that black carbon concentrations were approximately 58% as large as $\text{PM}_{2.5}$ concentrations during the measurement period.

Extended measurements of winds and PM were available at the Fabrica Forno site. Studying those measurements can help to understand the meteorological context of the May 24 measurements just described. Figure 6 presents the weekly average values of wind speed, wind direction and $\text{PM}_{2.5}$ concentration using 6 weeks of data during the May-July, 2022 period. Grey banding has been used to indicate the nighttime periods. All weeks chosen for analysis were characterized by a complete data set and generally sunny skies with at most a small amount of high-altitude cloud cover as evidenced by solar radiation measurements made near to Fabrica Forno, an example of which is shown in Figure 4. Also, the week of June 21 was avoided due to the occurrence of the San Juan events on the 23rd when a large number of fires are set in and around La Paz. Such fires create very high values of PM and eBC which would skew the average from the more usual dry season conditions that were sought for these measurements.

The first point to make concerning Figure 6 is the evident diurnal periodicity in all of the measurements. The average values of $\text{PM}_{2.5}$ have several recurring features. In general, there is a significant increase in PM values as sunrise approaches. The

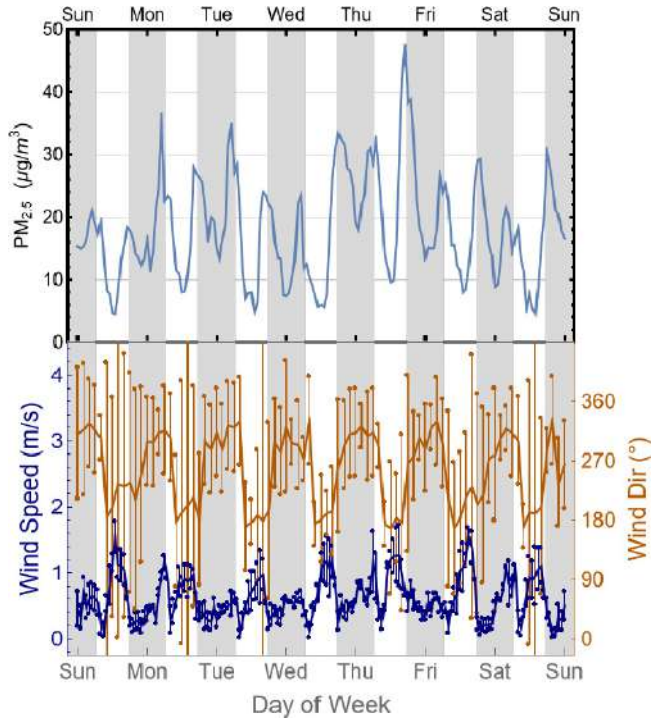


Fig. 6.— Weekly average $PM_{2.5}$ (top) and wind speed and direction (bottom) at Fabrica Forno for the weeks starting May 22, May 29, June 26, July 3, July 10, and July 24. $PM_{2.5}$ concentrations have been converted to standard temperature and pressure conditions.

middle of the day is generally characterized by a decrease in $PM_{2.5}$ while the approach of the evening causes the $PM_{2.5}$ values to again increase. These same patterns were observed on May 24 as shown in Figure 4 and are similar to earlier results previously noted (Wiedensohler et al. 2018). Figure 6 indicates that those patterns were generally prevalent at Fabrica Forno during the six weeks of measurements that occurred in the Bolivian dry season. Considering now the wind measurements, we can see another definite periodicity in both the wind speed and wind direction. The wind direction shows diurnal variation that is consistent with the daily development of downslope and upslope winds. Upslope winds tend to develop ~ 2 hours after sunrise while the reversal to downslope winds occurs approximately at sunset. The average value of the wind direction during the downslope period is approximately 300° - 320° , while the mean downslope values vary between 180° - 210° . The downslope directions that developed at the end of the day and persisted overnight were less variable in direction than the upslope directions that were present during the day. As in Figure 4, the daytime upslope directions shown in Figure 6 could be highly variable which caused the mean value of upslope winds to agree only approximately with the estimates of upslope direction given in Table 1. The most important conclusion to note from the mean direction values is that the development of upslope and downslope flows was a common occurrence during the measurement period. The wind speed variation is also diurnal with mean

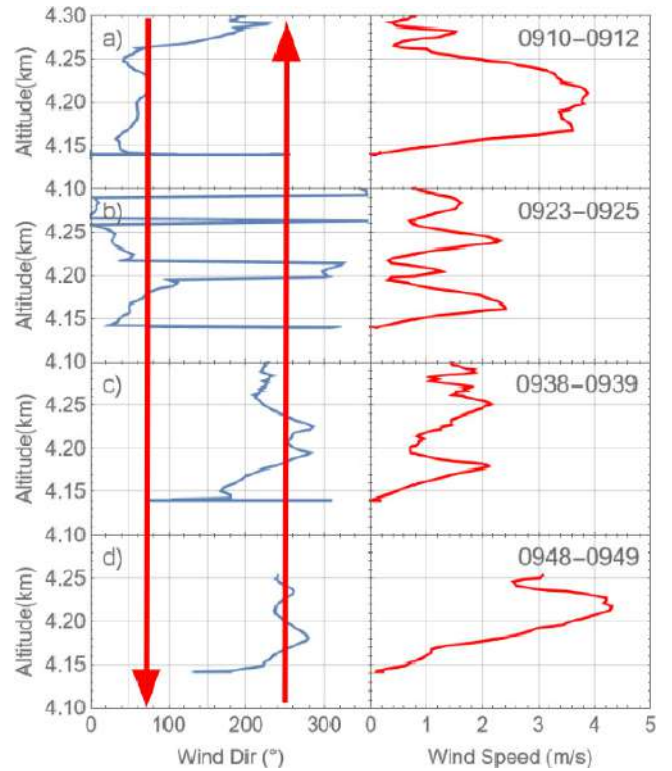


Fig. 7.— Vertical profiles of wind speed and direction acquired at the Curva Uno site using the novel tetheredsonde device. The red arrows indicate the directions of upslope and downslope flows estimated from the local topography.

winds speeds of ~ 1 - 2 m/s during the daytime when upslope flows and convection have developed. The speeds of the downslope winds that occur over night are generally lower with mean values ranging between $0.2 - 0.8$ m/s. Given that the measurements analyzed in Figure 6 covered approximately half of the dry season period, we take the PM and wind variation shown in Figure 6 to likely be indicative of the entire dry season period.

All of the analysis thus far has been with surface-based measurements acquired at the Fabrica Forno site. We turn attention now to Figure 7 which presents the vertical profile of wind speed and wind direction measurements at the Curva Uno site using the novel tetheredsonde apparatus shown in Figure 2. Measurements from Curva Uno are shown since, at the Fabrica Forno and Represa sites, the tetheredsonde measurements were not started early enough in the morning to capture the transition between downslope and upslope winds.

Figure 7 presents the first four ascents measured at Curva Uno which are stacked one on top of the other. As indicated in the figure, the ascents occurred between the local times of 0910-0912, 0923-0925, 0938-0939, 0948-0949. These times indicate that it took approximately two minutes for the balloon to ascend to its maximum altitude of ~ 150 m. Manually pulling the balloon down and preparing for the next ascent took ~ 10 - 13 minutes.

As a visual aid to interpreting the vertical profiles, two red arrows are shown overlaid on the figure

corresponding to the mean downslope (70°) and upslope (250°) directions estimated from the local topography and shown in Table 1. Figure 7 shows that during the first tethered balloon ascent that occurred at 0910-0912, the vertical wind profile was characterized by a generally downslope flow between the surface at 4.14 km up to an altitude of 4.25 km. Above this altitude the flow tends toward downslope in nature with wind directions increasing to more than 200° . Note also that during the downslope portion of the profile wind speeds peak between 3-4 m/s while, as the winds are turning toward a value of $\sim 200^\circ$ above 4.25 km, the wind speed decreases to ~ 1 m/s. The second ascent occurred at 0923-0925 and appears to show an intermingling of downslope and upslope flows. This is evidenced by wind directions which vary rapidly between roughly downslope flows of 50° - 100° (between altitudes of 4.14-4.19 km, 4.22-4.26 km, 4.27-4.29 km) and upslope flows of $\sim 300^\circ$ (e.g. 4.19-4.22 km, 4.26 km, 4.29 km). Note that during these intermingled flows, when the winds are reversing at varying altitudes, speeds are generally reduced to between 0.5 – 2.0 m/s although at the centers of the intermingled flows, e.g. at altitudes of ~ 4.18 , 4.20, 4.23, 4.28 km, there are small wind speed maxima supporting their interpretation as intermingled flows. By the time of the third ascent at 9:38-9:39, the vertical wind profile indicates that upslope flow was well established throughout the vertical profile and that wind speeds were 1-2 m/s. The fourth profile acquired 10 minutes later at 0948-0949 also shows an upslope profile but one that is more developed as evidenced by the higher wind speeds which peak above 4 m/s. The profiles shown in Figure 7 indicate that the reversal of flows on May 24, 2022 occurred non-uniformly in the vertical profile and, at least in the lower 150 m of the atmosphere, took approximately 20-30 minutes to complete. Note that we also analyzed the virtual potential temperature to study if there were different air masses involved in the upslope and downslope portions of the profile, particularly in the case of the second ascent which showed the intermingled upslope/downslope flows. We found no definite correlation between flow direction and virtual potential temperature, however.

7. STUDENT ENGAGEMENT

The U.S. students involved in this activity were all current or past students at Eleanor Roosevelt High School in Greenbelt, MD and had conducted their senior year research project under the mentorship of the lead author (Whiteman et al. 2023). The Bolivian students were selected based upon a competitive application that was circulated among UMSA physics students.

A primary goal of this student-focused field measurement campaign was to motivate students, particularly at UMSA, to continue studying atmospheric sciences. Following the field campaign activities, a survey was conducted among all the students to gauge the success of the week-long effort in accom-

plishing this goal with 9 of the 12 students responding. The results of the survey indicated that 90% or more of the students who responded significantly improved both their understanding of experimental atmospheric sciences and the influence of pollution transport on the high Andean environment. All students indicated that their interest in experimental atmospheric science was increased by this experience and that they are more likely to participate in future atmospheric sciences opportunities. All Bolivian students indicated that they would like to work with the Laboratory for Atmospheric Physics in the future.

The results of this survey indicate that the joint US Bolivian field campaign was very successful at increasing students' insight into atmospheric sciences and in motivating them to continue working in the field. Several of the students who participated in this campaign are, in fact, now working with the LFA in laboratory activities.

8. SUMMARY AND CONCLUSIONS

A student-focused field campaign involving both Bolivian and US students was conducted successfully on May 24, 2022. The campaign was conducted as part of a larger effort funded by the US Department of State that focused on student cultural exchange. The student analysis of the data revealed regularly occurring diurnal patterns in the wind speed and direction at the Fabrica Forno site that are consistent with overnight downslope flows that transition to upslope flows during the daytime. The daytime period was also characterized by increased variability in the wind field which was taken to be an indication of convection. The concomitant increase in the planetary boundary layer height during the daytime regularly caused a significant decrease in surface measured PM values. As opposed to our hypothesis, we found that the presence of downslope flows after sunset did not necessarily bring cleaner air to our measurement sites. We took this to be due to the influence of more locally generated aerosols such as from automobiles and wind-blown dust.

Tethered measurements did not commence early enough at either the Fabrica Forno or Represa sites to permit the study of the transition between downslope and upslope flows. At the Curva Uno site, however, vertical wind profile measurements acquired using the tethered apparatus on May 24 indicated that this flow reversal was quantified. The initial data analysis also indicates that during the flow reversal period downslope and upslope flows likely intermingled as a function of altitude at Curva Uno for several minutes before an upslope flow was observed to dominate at all elevations up to ~ 150 m agl. The transition between downslope and upslope flows was found to occur over a period of ~ 20 -30 minutes at the Curva Uno site.

The student field campaign experience was a very gratifying one both scientifically and culturally. The students worked together virtually both before and after the campaign and worked closely together

during the week of May 24. There also was time for the students to enjoy the city of La Paz and its surrounding areas. A survey taken after the campaign indicated that all students gained in their appreciation of pollution flows in the Andes. Also, all Bolivian students indicated increased interest in working with the UMSA Laboratory for Atmospheric Physics in the future. In fact, several of the co-authors are now working as research assistants at the LFA indicating that a hands-on field measurement experience can motivate students to become more involved in atmospheric sciences.

ACKNOWLEDGMENTS

We gratefully acknowledge the support of the U.S. Department of State's USAStudyAbroad program and the US Embassy/La Paz. In particular, we wish to thank Kathryn Holmgaard and Diego Ballivian of the US Embassy in La Paz for their support of this activity.

Conflicts of interest

All authors declare that they have no conflicts of interest with respect to the publication of this document.

REFERENCES

- Badura, M., Batog, P., Drzeniecka-Osiadacz, A., & Modzel, P. 2018, *Journal of Sensors*, 2018
- Bianchi, F. et al. 2021, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 103(2), 212
- Bista, S., Dureau, C., & Chaix, B. 2022, *Environment International*, 158, 106990
- de Magalhães, N., Evangelista, H., Condom, T., Rabatel, A., & Ginot, P. 2019, *Scientific Reports*, 9, 16914
- Francou, B., Vuille, M., Wagnon, P., Mendoza, J., & Sicart, J.-E. 2003, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D5)
- Good, N., Mölter, A., Peel, J., & Volckens, J. 2017, *J. Expo. Sci. Environ Epidemiol*, 27, 409
- Laj, P. et al. 2020, *Atmos. Meas. Tech.*, 13(8), 4353
- Lee, J. 2019, *Appl. Sci.*, 9(13), 2766
- Lu, R. & Turco, R. 1995, *Basin. Atmos. Env.*, 29, 1499
- Pal, S., Lee, T., & de Wekker, S. 2017, *Atmos. Env.*, 164, 165
- Sorucu, A., Vincent, C., Francou, B., & Gonzalez, J. F. 2009, *Geophys. Res. Lettr.*, 36(3)
- Vuille, M. et al. 2018, *Earth-Sci. Rev.*, 176, 195
- Whiteman, C. D. 2000, *Mountain Meteorology* (Oxford University Press)
- Whiteman, D. N. et al. 2023, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 104(2), 504
- Wiedensohler, A. et al. 2018, *Atmos. Environ.*, 194, 158
- Zheng, T. et al. 2018, *Atmos. Meas. Tech.*, 11(8), 4823

UN ESTUDIO EXPERIMENTAL DE PROPIEDADES FÍSICAS DE SAPONINAS Y SU INTERACCIÓN CON UN MODELO DE MEMBRANA DE BACTERIAS GRAM-NEGATIVAS EMPLEANDO PELÍCULAS LANGMUIR-BLODGETT Y MICROSCOPIA DE FUERZA ATÓMICA

AN EXPERIMENTAL STUDY OF THE PHYSICAL PROPERTIES OF SAPONINS AND THEIR INTERACTION WITH GRAM NEGATIVE BACTERIAL MEMBRANE MODELS USING LANGMUIR-BLODGETT TECHNIQUES AND ATOMIC FORCE MICROSCOPY

CESAR MAURICIO CORNEJO MEJÍA^{1,a†}, ARMANDO TICONA^{1,b}, GIOVANNA ALMANZA^{2,c}, CRISTHIAN CARRASCO^{3,d}, & FLAVIO GHEZZI^{1,e}

¹Instituto de Investigaciones Físicas (IIF), Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), La Paz, Bolivia.

²Instituto de Investigaciones Químicas (IIQ), Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), La Paz, Bolivia. &

³Instituto de Investigación y Desarrollo de Procesos Químicos (IDPROQ), Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), La Paz, Bolivia.

(Recibido 20 de agosto de 2023; aceptado 27 de noviembre de 2023)

<https://doi.org/10.53287/amax5385mv75o>

RESUMEN

Las saponinas son biotensoactivos no iónicos que presentan propiedades antifúngicas, antivirales y antibacterianas. Sin embargo, no se conoce en buena medida los mecanismos por los que las saponinas presentan estas propiedades. En el presente trabajo se emplearon las técnicas de Langmuir y microscopía de fuerza atómica (AFM) para investigar las interacciones de saponinas con un modelo de membranas de Bacterias Gram-negativa. Las películas de lípidos contenían extractos de fosfatidiletanolamina y fosfatidilglicerol de la bacteria *Escherichia coli*. Los resultados sugieren que las saponinas repelen a los fosfolípidos, lo que aumenta la fluidez de la membrana. También mostraron evidencia de adsorción de las saponinas por el modelo de membrana. Estos resultados se cotejaron con imágenes AFM. Se propone un mecanismo de la forma en que la saponina altera la membrana fosfolípica. La técnica Langmuir y la microscopía de fuerza atómica resultaron ser herramientas útiles para investigar la interacción de compuestos biológicamente relevantes con modelos de membrana celular. Los resultados de las mediciones de presión superficial, combinado con los obtenidos de AFM, nos dieron evidencia sobre la susceptibilidad de las membranas a la inserción de saponinas y sus posibles modos de acción. Los resultados de este estudio pueden contribuir a una mejor comprensión de los mecanismos de actividad antifúngica, antiviral y antibacteriana de las saponinas.

Palabras clave: Monocapas de Langmuir-Blodgett – saponinas – fosfolípidos – microscopía de fuerza atómica

ABSTRACT

Saponins are non-ionic biosurfactants that exhibit antifungal, antiviral and antibacterial properties. However, the mechanisms by which saponins exhibits these properties are not well understood. In the present work, Langmuir and atomic force microscopy (AFM) techniques were employed to investigate the interactions of saponins with a model of Gram-negative bacterial membranes. The lipid films contained extracts of phosphatidylethanolamine and phosphatidylglycerol from *Escherichia coli* bacteria. The results suggest that saponins repel phospholipids, thereby increasing membrane fluidity. They also showed evidence of adsorption of the saponin by the membrane model. These results were cross-checked with AFM images. A mechanism for how saponin alters the phospholipid membrane is proposed. Langmuir technique and atomic force microscopy proved to be useful tools to investigate the interaction of biologically relevant compounds with cell membrane models. The results of the surface pressure measurements, combined with those obtained from AFM, provided evidence for the susceptibility of membranes to the insertion of saponins and their possible modes of action. The results of this study may contribute to a better understanding of the mechanisms of antifungal, antiviral and antibacterial activity of saponins.

Subject headings: Langmuir-Blodgett monolayers – saponins – phospholipids – atomic force microscopy

^a<https://orcid.org/0009-0000-9684-7940>

^b<https://orcid.org/0000-0003-2040-1533>

1. INTRODUCCIÓN

Las saponinas son biotensoactivos, glucósidos de esteroides o de triterpenoides no iónicos, que se pueden encontrar en diversidad de plantas y animales. Estructuralmente presentan características anfífilas generadas a partir de sitios lipófilos (soluble en lípidos) e hidrófilos (soluble en agua). A pesar de la gran variedad de estructuras químicas, la característica común de todas las saponinas es la presencia de al menos un enlace glucósido que une una parte de aglicona (esteroide o triterpenoide) con una parte de glicona (mono u oligosacárido). Su capacidad para formar espumas estables en soluciones acuosas, es la razón por la cual se las ha denominado saponinas (del latín *sapo*, jabón). Si bien el papel biológico de las saponinas aún se desconoce en gran medida, existen estudios que han demostrado su importancia en el campo de la biología y la medicina. Las plantas, en respuesta a la amenaza de agentes patógenos, producen y almacenan saponinas en partes que son susceptibles al ataque de depredadores (Osbourn 1996; Szakiel et al. 2011), debido a que estos compuestos tienen propiedades antifúngicas, antivirales y antibacterianas (Fuchs et al. 2009; Podolak et al. 2010). Han mostrado actividad citotóxica en las líneas celulares de cáncer como leucemia, melanoma, SNC, pulmón no microcítico, colon, ovario, mama, renal y próstata, por lo que hoy en día se las utiliza en la terapia contra el cáncer (Fuchs et al. 2009; Podolak et al. 2010). También se conoce que en las células tumorales pueden actuar de forma extracelular o intracelular, y para fines del presente estudio interesa poner énfasis en la primera, que se refiere a la inhibición directa de proteínas de membrana o el cambio de la permeabilidad de la membrana.

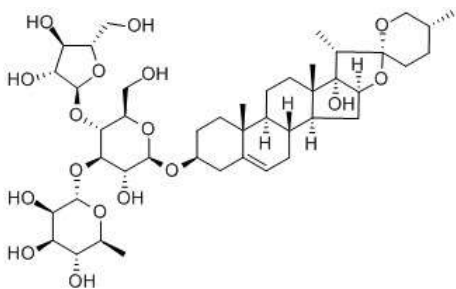


Fig. 1.— Representación de la saponina Chonglou II, en la cual se observa un elemento soluble en lípidos (el esteroide o el triterpenoide) y un elemento soluble en agua (el azúcar).

La actividad de las saponinas triterpenoides y esteroides en la membrana se ha asociado a su capacidad para interactuar con el colesterol unido a

la membrana (Keukens et al. 1996). Las observaciones de Ransom (Podolak et al. 2010) y Windaus (Windaus 1909), plantean que las saponinas simplemente eliminan el colesterol de las membranas biológicas (Böttger & Melzig 2013), dejando los poros permeables al citosol. Los trabajos de Schulman y Rideal (Schulman & Rideal 1937a; Schulman & Rideal 1937b), así como observaciones en microscopía electrónica de membranas celulares biológicas tratadas con saponina (Bangham & Horne 1962; Glauert et al. 1962) son consistentes con la hipótesis de la penetración de saponinas en las capas lipídicas y la alteración de estas (Lin & Wang 2010). Por otro lado, algunos trabajos sugieren que el colesterol no es crucial para las saponinas con la membrana celular (Hu et al. 1996) o su actividad de membrana está relacionada a las interacciones con receptores específicos (Siu et al. 2008). Por tanto, el conocimiento del mecanismo a nivel molecular es escaso, aún no se ha logrado describir de manera sistemática las fuerzas de interacción entre diferentes saponinas y fosfolípidos. Parte de la información preliminar puede deducirse de la investigación de dinámica molecular (DM) (Lin & Wang 2010).

Una de las especies que ha resultado ser interesante para el estudio de saponinas es la quinua, en ésta se han encontrado al menos 87 tipos de saponinas triterpenicas (Madl et al. 2006; Lozano et al. 2012). La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es una hierba anual de la familia Amaranthaceae que presenta una amplia variabilidad. Se la cultiva principalmente en la cordillera de los Andes, porque produce un pseudocereal con alto valor nutricional, siendo la quinua real una de las variedades más importantes. En los últimos años, Bolivia se ha situado como uno de los mayores productores de quinua del mundo y el principal productor de quinua real (Furche et al. 2015). Esto, junto con las propiedades antifúngicas, antivirales y antibacterianas de las saponinas posiciona a Bolivia en la posibilidad del desarrollo de nuevos biopesticidas o nuevos antibióticos, a fin de dar valor agregado a los residuos de quinua en el país.

En los últimos años, las monocapas lipídicas de Langmuir se usaron ampliamente para investigar las interacciones de modelos de membrana con compuestos biológicos activos. La tecnología Langmuir-Blodgett se basa en las propiedades particulares de moléculas orgánicas como lípidos, fosfolípidos o glicolípidos para orientarse en una interfaz aire/agua, entre la fase gaseosa (Wenda et al. 2017) y la líquida para minimizar su energía libre y formar una monocapa llamada película de Langmuir. Los materiales clásicos que forman las monocapas Langmuir son compuestos con dos regiones moleculares distintas: un grupo de cabeza hidrófilo que es fácilmente soluble en agua y una cola hidrófoba que es soluble en disolventes no polares. Cuando se aplican gotas de una solución diluida de una molécula anfífila en un disolvente volátil y no miscible en agua, como el cloroformo, sobre una superficie de agua pura o alguna subfase, las moléculas se extienden rápidamente sobre la interfaz para cubrir toda el área disponible.

^a<https://orcid.org/0000-0002-5362-252X>

^d<https://orcid.org/0000-0002-4985-6550>

^e<https://orcid.org/0000-0001-8594-7962>

[†]Email: cmcmfask@gmail.com

Después de la evaporación del disolvente, la película interfacial da como resultado una capa monomolecular, con los grupos de cabeza sumergidos en el agua y los grupos de cola que quedan fuera (apuntando hacia la fase de gas). Esta orientación específica está dictada por la naturaleza anfifílica de las moléculas (Girard-Egrot & Blum 2007).

La microscopía de fuerza atómica (AFM), es un tipo de microscopía con sonda de barrido con una resolución demostrada del orden de fracciones de un nanómetro, más de 1000 veces mejor que la difracción óptica límite. La información se recopila al tocar la superficie con una sonda mecánica. Los elementos piezoeléctricos que facilitan movimientos pequeños pero precisos y el comando (electrónico) permiten una exploración precisa. Lo que resulta ideal en el estudio de las membranas celulares y las moléculas biológicamente activas. El AFM, también es muy útil para la caracterización a nivel de topografía, dureza, adhesión, medidas in situ, entre otros, permite la resolución de problemas estructurales y la caracterización mecánica de proteínas, detectar el funcionamiento de proteínas (como el desplegamiento de proteínas) y manipular proteínas individuales (Atwood et al. 2013).

El objetivo del presente estudio es analizar la interacción del concentrado de saponinas de quinua real boliviana con un modelo de membrana de lípidos compuesto de L- α -fosfatidiletanolamina, L- α -fosfatidilglicerol y 1,2-Dipalmitoil-sn-glicero-3-fosfo-rac-(1-glicerol), empleando películas Langmuir-Blodgett y microscopía de fuerza atómica. La composición de estos lípidos refleja, en cierta medida, el contenido de lípidos de la membrana interna de bacterias Gram-negativas (Dowhan 1997) cargados negativamente, extraídos de la bacteria *Escherichia coli*.

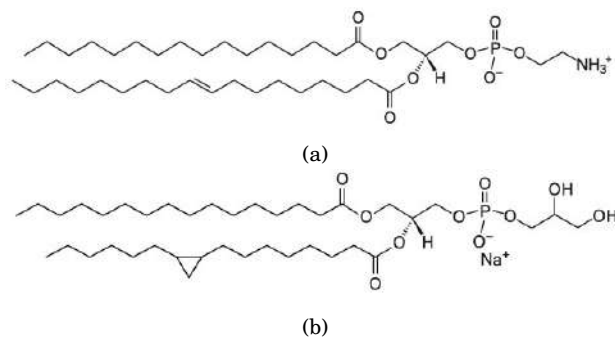


Fig. 2.— a) Estructura de L- α -fosfatidiletanolamina (*Escherichia coli*) (POPE), b) L- α -fosfatidilglicerol (POPG).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materiales, reactivos y preparación de la mezcla de lípidos

El concentrado de saponina utilizado en este estudio fue elaborado por el Instituto de Investigaciones Químicas de la Universidad Mayor de San Andrés, a partir de los residuos de quinua real del altiplano

boliviano (Madl et al. 2006). Para caracterizar este compuesto natural se obtuvo el espectro de masas, utilizando un espectrómetro de masas tipo Orbitrap de la marca Thermo Scientific. Las soluciones de concentrado de saponina se las preparó usando agua Milli-Q.

Los lípidos que se utilizaron para el modelo de membrana fueron:

- L- α -fosfatidiletanolamina (*Escherichia coli*) sal de sodio (>99 % pureza) (para futuras referencias POPE), con un masa molar de 718 g/mol (Wenda et al. 2017; Bogdanov et al. 2010), ver figura 2,
- L- α -fosfatidilglicerol (*Escherichia coli*) sal de sodio (>99 % pureza) (para futuras referencias POPG), con una masa molar de 771 g/mol (Bogdanov et al. 2010), ver la figura 2,
- 1,2-Dipalmitoil-sn-glicero-3-fosfo-rac-(1-glicerol) sal de sodio (>99 % pureza) (para futuras referencias DPPG), con una masa molar de 745 g/mol,

provenientes de *AvantiPolar Lipids*.

Los fosfolípidos POPE y POPG se disolvieron en cloroformo con una concentración final de 1.2 mg/ml (Wenda et al. 2017) y DPPG se disolvió en cloroformo/metanol/agua (65:35:8 v/v) con una concentración final de 1.12 mg/ml, con el fin de obtener la solución de lípidos utilizamos POPE/POPG/DPPG (8:1.5:0.5 v/v) con una concentración final de la mezcla 1.2 mg/ml. Se utilizó cloroformo al 98.5 % y metanol al 99.8 %, ambos solventes de procedencia Avantor performance material Poland S.A. (POCH S.A.). La capa de lípidos fue preparada en una interfaz aire/tampón fosfato salino (para futuras referencias PBS), con cloruro de potasio (KCl puro), fosfato hidrogenado disódico (Na_2HPO_4 puro), hidrógeno fosfato de sodio dihidratado ($NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$ puro). Estos últimos tres compuestos de procedencia POCH S.A., además de cloruro de sodio (NaCl) de procedencia Chempure S.A, toda la solución a una concentración final de 0.01 M. En todos los experimentos se utilizó agua ultrapura Milli-Q con una resistividad final de 18.2 M Ω .

2.2. Isotermas de compresión y medidas de la cinética de adsorción

La capa de lípidos fue preparada en una interface aire/PBS usando un equipo KSV NIMA L-LB (Biolin scientific) equipado con 2 barreras hidrofílicas en un canal de teflón de 130 ml de volumen. La presión superficial fue monitoreada con un papel filtro que cumplía la función de plato de Wilhelmy. La capa lipídica se preparó sobre la fase líquida PBS con un pH de 7.4 a 0.001 M. Para el monitoreo de las isotermas de compresión se esparció la mezcla de lípidos sobre la fase líquida y se aguardó un lapso de 10 a 15 minutos a que el solvente (cloroformo) se evapore. Se registró el cambio de la presión superficial con respecto al área de las moléculas, para esto se

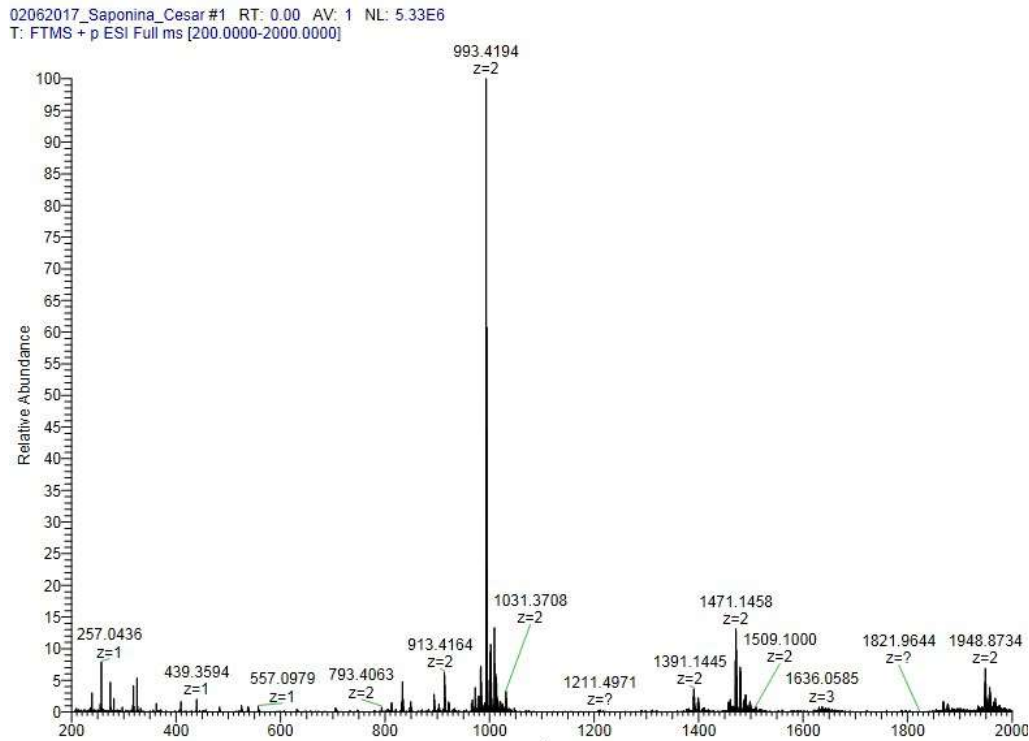


Fig. 3.— Espectro de masas del concentrado de saponinas de quinua real boliviana obtenida en un espectrómetro de masas tipo Orbitrap (Madl et al. 2006).

TABLE 1

Usando la técnica Langmuir obtenemos los valores característicos para las monocapas de POPE—POPG—DPPG en subfase PBS 0.01 M (ph 7.4) y subfase PBS con saponina a (0.1, 1.0, 3, 10, 25, 50, 100, 150) mg/L, datos necesarios para la caracterización de la membrana y su interacción con la saponina.

POPE—POPG—DPPG en PBS con saponina [mg/L]	Promedio del Área molecular [Å ²]	Área de colapso [Å ²]	Presión de colapso [mN/m]	módulo de compresión [mN/m]
0	88 ± 2	48 ± 2	44.6 ± 0.9	64 ± 4
0.1	89 ± 2	52 ± 1	45.1 ± 0.8	63 ± 5
1	89 ± 2	52 ± 1	44.7 ± 0.6	62 ± 4
3	112 ± 2	58 ± 2	40.7 ± 0.7	54 ± 4
5	105 ± 2	50 ± 2	41.2 ± 0.8	52 ± 5
10	96 ± 2	54 ± 1	40.1 ± 0.9	61 ± 5
25	107 ± 2	53 ± 2	40.6 ± 0.6	50 ± 4
50	128 ± 2	50 ± 1	33.2 ± 0.9	33 ± 3
100	135 ± 2	51 ± 2	33.6 ± 0.9	30 ± 5
150	109 ± 1	46 ± 2	36.2 ± 0.8	37 ± 5

comprimieron las barreras hidrofílicas a una velocidad constante de 10 mm/min a temperatura constante de 22.5 °C, se realizaron 3 medidas de todas las isothermas para realizar la correspondiente estadística. La resolución del equipo para las isothermas de compresión fue, ± 0.02 Å² en el área molecular y ± 0.004 mN/m en la presión superficial. Se registraron las isothermas con concentraciones de 0.1, 1, 3, 5, 10, 25, 50, 100, 150 mg/L de saponina en la subfase PBS.

Los experimentos de absorción se realizaron en un canal de teflón de 40 ml de volumen en la misma subfase líquida PBS. Esparciendo la mezcla de lípidos en la fase líquida con una jeringa Hamilton y comprimiendo las barreras hidrofílicas se obtuvieron di-

ferentes presiones superficiales. Inmediatamente alcanzada la presión superficial deseada, se inyectó saponina en la fase líquida, de tal manera que se obtuvo la concentración de saponina deseada en la subfase y se registró la variación de la presión superficial en función del tiempo. Todos los experimentos se los realizó en KSV NIMA L-LB (Biolin scientific) a una temperatura de 22.5 °C. Se registró la evolución temporal de la membrana para las presiones iniciales de 5, 10, 20, 25, y 30 mN/m a una concentración de 10 mg/L en la subfase. Por otra parte, se registró la evolución temporal de la membrana para dos presiones iniciales constantes 10 y 15 mN/m, con diferentes concentraciones de saponina en la subfase: 5,

10, 25, 50 mg/L para una presión inicial de 10 mN/m y 5, 10, 50 mg/L para una presión inicial de 15 mN/m.

2.3. Imágenes AFM

Se depositaron pequeñas vesículas unilaminares del lípido en una placa de mica que funcionó como base para tomar las imágenes en el AFM (SUVs) (Barenholz et al. 1977). Primero se preparó solución stock de mezcla de los lípidos POPE/POPG/DPPG, con una relación molar de 8:1.5:0.5 (v/v) a una concentración final de 1 mg/ml. Asumiendo que se usaría 200 microlitros de POPE, se calcularon los volúmenes necesarios para los otros dos lípidos. La mezcla de lípidos fue puesta en un par de tubos de ensayo y se la expuso a agitación bajo un flujo de gas Argón, con la finalidad de que los solventes se evaporarían.

Se mantuvo la mezcla en estas condiciones hasta que se formó una torta de lípidos en la parte inferior de los tubos. Posteriormente se expusieron los tubos de ensayo a un desecador al vacío durante una hora para que los solventes y residuos terminen de eliminarse.

Se añadió 5 ml de PBS a 0.01 M para que los lípidos se rehidraten, posteriormente las muestras se las puso en un baño sonicador por una hora a 37°C, con el fin de obtener una muestra homogénea y clara. Esta muestra se la diluyó 5 veces en PBS.

Paralelamente se prepararon los substratos de mica limpiándolos con cinta adhesiva especial, de tal manera, que una de las caras quedó completamente limpia. Estos substratos de mica se los dejó expuestos, por el lado limpio, a la dilución de PBS con las SUVs durante 3 días (lo recomendado es dejarlas por lo menos 12 horas) obteniendo las películas de lípidos por difusión de SUVs. Finalmente se removió los substratos de mica, los cuales estaban listos para la toma de imágenes en AFM.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El espectro de masas del concentrado de saponina, ver figura 3, revela que el peso molecular de la molécula con mayor abundancia es 993.4 uma. Para la medición del espectro, el equipo añade un protón a la muestra para ionizarla, por lo que se debe restar una unidad de masa atómica al valor obtenido para la molécula con mayor abundancia, quedando entonces 992.4 uma. Este valor cae en el rango de masas de la familia de las saponinas (Madl et al. 2006). Las demás moléculas son despreciables por su abundancia respecto a la saponina. Otra tarea prioritaria fue ver la solubilidad del concentrado de saponina en algunos solventes tales como cloroformo, etanol, metanol y agua. Resultando negativa para las primeras, lo que impidió evaluar el comportamiento de películas formadas por solo saponina.

3.1. Mediciones de presión superficial

Las películas lipídicas comprimidas en la interfaz aire/PBS se consideran modelos útiles para estudiar las interacciones entre los lípidos y la variedad de

compuestos, incluidas las proteínas, los péptidos y las drogas (Maget-Dana 1999). En el presente trabajo se utilizó un enfoque similar para investigar la influencia de las saponinas en la capa formada por POPE/POPG/DPPG. Con el fin de evaluar la afinidad del concentrado de saponina con la monocapa POPE/POPG/DPPG se realizaron experimentos donde los cambios de presión superficial de la película lipídica se controlaron durante la compresión en una subfase PBS de 0.01 M que contenía varias concentraciones de saponina, como se muestra en las figuras 4(a), 4(c) y 4(e), la presencia de saponina en la subfase causa un desplazamiento de las isotermas hacia valores más altos de área molecular. Esto demuestra que las saponinas se incorporan a la película interfacial durante su formación. Los parámetros característicos de las monocapas formadas en la subfase que contiene saponinas se muestran en la Tabla 1. Por su parte las figuras 4(b), 4(d) y 4(f) nos muestran los módulos de compresión, C_s^{-1} , para cada isoterma calculados a partir de:

$$C_s^{-1} = \frac{d\Pi}{dA} A, \quad (1)$$

donde Π es la presión superficial y A el área por molécula.

Los parámetros característicos de la monocapa en la subfase PBS y subfase PBS en disolución a varias concentraciones de saponina, se las puede ver en la tabla (1). Para un mejor análisis se separaron los resultados en 3 grupos importantes bajo el criterio de dos saltos evidentes en punto de colapso entre la concentración de 1 a 3 y 25 a 50 mg/L. Como consecuencia se obtuvo la siguiente clasificación: en las figuras 4(a) y 4(b) las concentraciones de 0.1, 1, y 3 mg/L, en las figuras 4(c) y 4(d) las concentraciones de 3, 5, 10 y 25 mg/L y en las figuras 4(e) y 4(f) las concentraciones de 25, 50, 100 y 150 mg/L. Para cada grupo se añadió la monocapa en subfase PBS pura.

Es evidente que el desplazamiento de las isotermas depende de la concentración del concentrado de saponina. Es decir, el área por molécula aumenta cuando aumenta la concentración de saponina en la subfase. En la figura 4(a) se pueden observar los resultados obtenidos para la interacción de bajas concentraciones de saponina (0.1, 1, 3 mg/L) con la monocapa. Los resultados muestran que no existen diferencias considerables entre las soluciones con baja concentración de saponina y la subfase de PBS puro, lo que sugiere que a estas concentraciones la saponina no está afectando de manera significativa en el ordenamiento de la monocapa. También es importante destacar que la presión de colapso para la mayoría de las monocapas de la figura 4(a) casi no ha cambiado, lo que indica que la estabilidad de las películas en la interface no se vería afectada por la presencia de saponinas a estas concentraciones. De igual manera, el módulo de compresión figura 4(b) no presenta cambios significativos para concentraciones por debajo de 3 mg/L en comparación con la membrana en subfase PBS pura. Lo que sugiere que a concentra-

ciones menores a 3 mg/L la monocapa casi no interactúa con la membrana. En síntesis, los parámetros característicos (tabla 1) de las monocapas formadas en la subfase que contenía saponina a concentraciones menores de 3 mg/L, no presentan variaciones significativas con respecto a la subfase PBS puro, siendo el intervalo 1 a 3 mg/L un salto en las interacciones de la membrana y la saponina.

Al incrementar la concentración de saponina se encontró un nuevo conjunto de isothermas, en las que el punto de colapso difiere significativamente en comparación con la subfase de PBS puro, pero no entre los puntos de colapso de este grupo. Es así que se puede reconocer una caída abrupta del punto de colapso de la monocapa entre una solución PBS con saponina de concentración 1 mg/L a una concentración y 3 mg/L (figura 4(a) y 4(c)). A su vez las isothermas se desplazan dependiendo del incremento de la concentración, indicando la no afinidad de la saponina con la monocapa, esto sugiere que la influencia de la saponina cada vez es más dramática aumentando la fluidez de la monocapa, lo que concuerda con la disminución significativa del módulo de compresión (figura 4(d)), lo que sugiere que la monocapa pasa de un estado líquido condensado a un estado líquido expandido. En consecuencia, la caída de la presión superficial en el punto de colapso y el desplazamiento de las isothermas muestran que no hay una buena penetración de la saponina en la monocapa.

Con el propósito de explorar aún más el comportamiento de la monocapa en función de la concentración, incrementamos nuevamente la concentración de saponina en la subfase PBS, obteniendo un nuevo grupo de concentraciones en las que el punto de colapso varía de forma significativa con el punto de colapso de la monocapa en subfase PBS pura. Pero, curiosamente, el punto de colapso no varía entre el grupo. De lo cual se puede reconocer una caída abrupta del punto de colapso de la monocapa entre una solución PBS con saponina de concentración 25 mg/L a una concentración de 50 mg/L (figuras 4(c) y 4(e)). Los desplazamientos y los módulos de compresión (figura 4(f)) de las isothermas para estas concentraciones no difieren mucho, lo que muestra que se llega a una repulsión máxima de la monocapa hacia las saponinas.

El análisis de los módulos de compresión máximos, junto con los cambios en el área molecular en presencia de saponinas disueltas en la subfase PBS, lleva a la conclusión de que las monocapas de POPE/POPG/DPPG no tienen buena afinidad con la saponina y no acomodan en su mayoría a las moléculas de saponina en la formación de la membrana. Esto sugiere que también se pueden esperar diferencias significativas cuando se considera la inserción espontánea de estas saponinas en la película lipídica. Con el fin de verificar esta suposición, se investigaron las interacciones de la monocapa de lípidos con la saponina disuelta e inyectada espontáneamente en la subfase, con el fin de estudiar las cinéticas de adsorción. Primero, se extendió una solución lipídica en la interfaz aire/PBS para obtener varias presiones

superficiales iniciales y se inyectó pequeños volúmenes de la solución de saponina concentrada en la subfase de PBS. Los resultados se ilustran en las figuras 5(a) y 5(b). Por otra parte, se realizaron experimentos a presión constante, pero variando la concentración de la saponina en la subfase PBS.

En las figuras 5(a) y 5(b) se puede observar que la evolución temporal de la presión superficial comienza al mismo tiempo que la inyección del concentrado de saponina en la subfase. Para estos experimentos la concentración final de saponina en la subfase fue de 10 mg/L. La figura 5(a) muestra cómo las presiones superficiales se incrementan en un rango de entre 6.5 y 5 mN/m, independiente de la presión inicial de los experimentos, aunque el sistema debería tender a una presión de absorción de equilibrio. Este sistema presenta un incremento relativamente bajo de la presión superficial en un tiempo muy similar (entre 2000 y 3000 segundos) para todas las presiones iniciales, a excepción de las presiones iniciales de 5 y 10 mN/m, que presentan un relativo equilibrio en el tiempo. Cabe resaltar que luego de alcanzar el máximo de incremento de presión superficial estas tienden a disminuir. Los resultados indican que el incremento de presión superficial es debido a la saponina, la cual forma una capa en la interface monocapa y subfase, por tanto, es muy probable que una vez se haya alcanzado este punto las saponinas colapsen la membrana. Esto se puede explicar bajo la hipótesis de que en este intervalo de tiempo, la monocapa adsorbe los triptenos o esteroides lipófilos de la saponina (soluble en grasas), ya que la parte hidrófila (glucósido) está interactuando con la subfase PBS. Sin embargo, la saponina no se disocia en la subfase, porque son tensoactivos no iónicos. La parte lipófila se adsorbe en la membrana e interactúa con la parte hidrofilia, teniendo como consecuencia alteraciones en la membrana. Estos resultados muestran un posible mecanismo por el cual las saponinas presentan actividad biológica.

Con base en las observaciones, se tomaron dos presiones iniciales (10 y 15 mN/m) constantes y se estudió el cambio de la presión superficial en el tiempo en función de las diferentes concentraciones (figuras 5(c) y 5(d)). Se pudo evidenciar que hay un incremento de entre 6 a 8 mN/m para concentraciones entre 10 y 50 mg/L, sugiriendo que este incremento es independiente de la concentración de saponinas en la subfase. El incremento para una concentración de 5 mg/L es del orden de 3 mN/m, lo que no representa un cambio significativo respecto a la presión inicial. Sucede un caso parecido para una presión inicial de 15 mN/m sugiriendo que el incremento es independiente de la concentración de la saponina en la subfase.

3.2. Estudios de Microscopía de Fuerza Atómica

La microscopía de fuerza atómica (AFM) se empleó para investigar las interacciones de las saponinas con la bicapa de POPE/POPG/DPPG con una relación molar de 8:1.5:0.5 (v/v) a una concentración final de 1 mg/ml. Los resultados más representativos se los

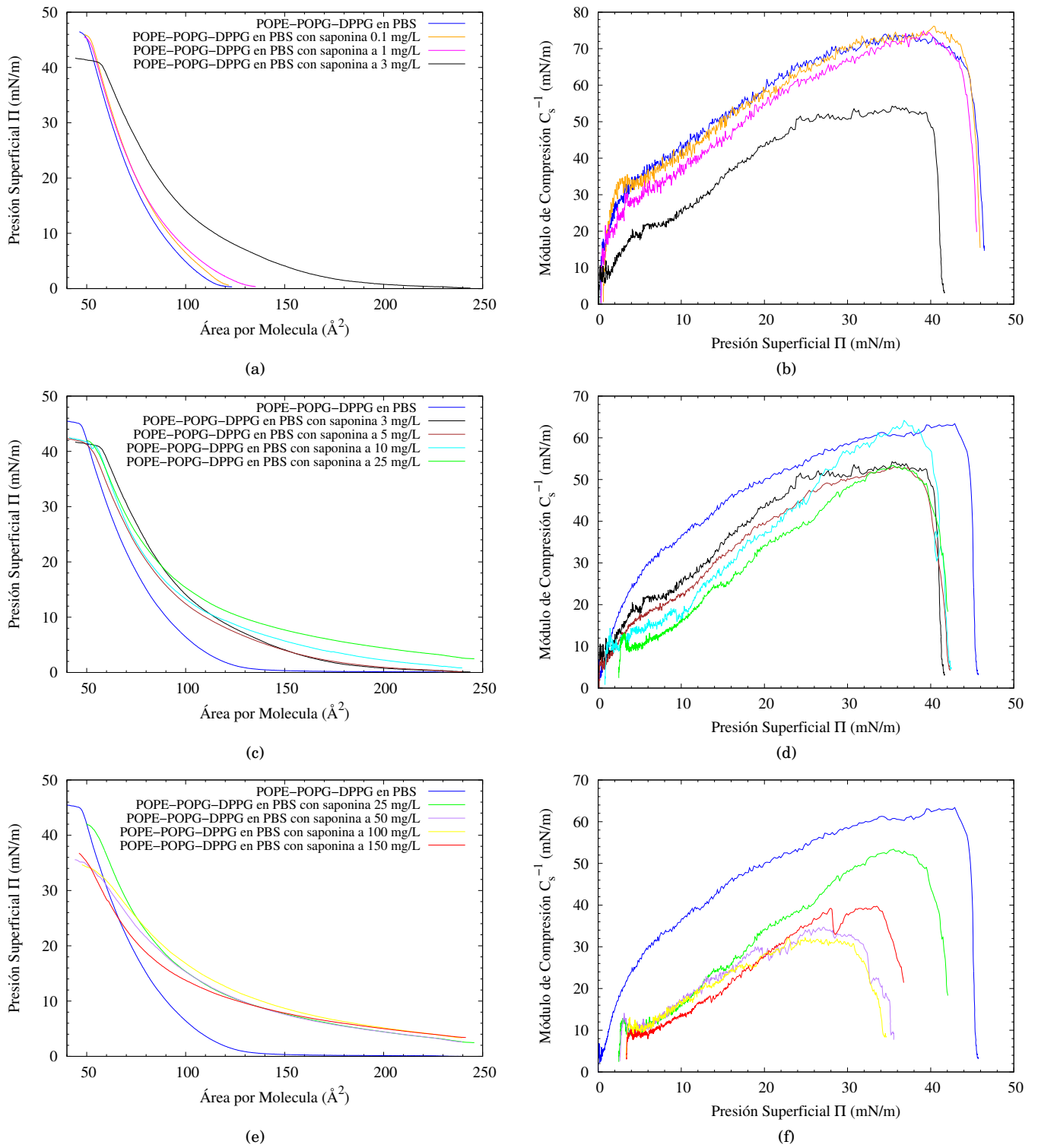


Fig. 4.— Ilustraciones obtenidas de las isothermas de compresión (figuras (a), (c) y (e)) y su respectivos módulos de compresión (figuras (b), (d) y (f)) para tres grupos de concentraciones de saponina en la subfase.

muestra en la figura 6. la primera fila nos muestra las 4 placas de mica con la bicapa depositada sobre ella sin exponer a saponina (muestra blanca). Se tomaron varias secuencias de imágenes de las placas con la bicapa, expuestas a diferentes concentraciones de saponina (10, 25, 50 mg/L). Cabe mencionar que las imágenes se tomaron inmediatamente se expuso la placa a las diferentes concentraciones de saponina. Para la concentración más elevada 50 mg/L, se tomaron imágenes de la placa con la bicapa inmediatamente expuesta a la saponina y posteriormente a la placa expuesta durante toda una noche. La segunda fila de la figura 6, ilustra la evolución temporal de la bicapa interactuando con una concentración de 50 mg/L de saponina inmediatamente se la expuso a esta. La tercera fila, por su parte, muestra la bicapa expuesta toda la noche a la concentración de 50 mg/L de saponina.

Las imágenes AFM de bicapas resultantes muestran dominios separados (figuras 6), que corresponden a regiones topográficamente más bajas y más altas. Estos pueden atribuirse a la presencia de una fase desordenada líquida ($L\alpha$) y una fase gel ($L\beta$), respectivamente. Los extractos de POPE y POPG, proveniente de la bacteria *Escherichia coli* utilizados en este trabajo, son mezclas de lípidos de donde la separación de fases es un fenómeno esperado. El análisis de las imágenes obtenidas para las series sin exposición a saponina reveló que el grosor medio de la fase $L\alpha$ y la fase $L\beta$ es de 3.1 ± 0.6 nm y 5.1 ± 0.4 nm, respectivamente, lo que concuerda con la literatura (Konarzewska et al. 2017). Curiosamente la exposición de la bicapa a concentraciones de 10 y 25 mg/L no muestran cambios significativos en la topografía de la bicapa, a excepción de pequeñas reducciones en la fase gel, y aparición de pequeñas micelas en los lugares de la placa de mica donde no se logró difundir la bicapa lipídica.

Por otra parte, la segunda fila de imágenes de la figura 6 nos muestra la bicapa depositada en mica expuesta a saponina con una concentración de 50 mg/L. Esta serie de imágenes fueron tomadas inmediatamente después de la exposición. A priori, es evidente que existen cambios del área en la fase gel, además de la aparición de micelas (puntos de color blanco salen de la escala de la imagen en degradé de color). Estas mismas características se evidenciaron en las muestras expuestas a menores concentraciones para un tiempo cero de la fase $L\alpha$ y la fase $L\beta$, las cuales tenían un espesor de 2.2 ± 0.8 nm y 6.2 ± 0.9 nm, respectivamente, y 190 minutos después no se registra un cambio significativo en el espesor de las fases.

La tercera fila de la figura 6, muestra los resultados más representativos de las secuencias de imágenes tomadas en AFM. A simple vista se puede observar la aparición de una nueva fase, un desorden de la fase $L\beta$. Para un tiempo cero, la fase $L\alpha$ y la fase $L\beta$, presentan un espesor de 3.8 ± 0.6 nm y 6.0 ± 0.3 nm, respectivamente, mientras que para el minuto 195 la fase $L\alpha$ y la fase $L\beta$ presentan un espesor de 2.1 ± 0.8 nm y 6.1 ± 0.4 nm, respectivamente. Nótese que entre estas dos fases aparece un nuevo valor re-

presentativo en la gráfica de distribución de valores de los datos que se coteja, de buena manera, con la imagen a simple vista, en ésta se ve una nueva fase con un espesor de 4.8 ± 0.7 nm. Lo que apoya la propuesta de que las saponinas, en primer lugar, son repelidas por la bicapa y posteriormente el tripteno o la parte lipófila es la que interactúa con los fosfolípidos del modelo de membrana. Esta última interacción se traduce en una alteración de la membrana.

4. CONCLUSIONES

El valor del peso molecular medido en el espectrómetro de masas, nos da 992.4 uma, como el componente con la mayor abundancia en el concentrado de saponinas provenientes de la quinua boliviana. A partir de esta medida y en base a la literatura (Madl et al. 2006), podemos afirmar que el componente de mayor abundancia pertenece a la familia de saponinas, ya que este grupo de moléculas tiene un rango de masas atómicas entre 600 a 1200 uma. Las pruebas de solubilidad del concentrado de saponina en diferentes solventes nos dieron resultados negativos, por lo cual no se pudo investigar en el sistema Langmuir, la formación de monocapas de la saponina en sí misma.

Los parámetros característicos de la monocapa en subfase PBS y subfase PBS en disolución a varias concentraciones de saponina se las puede ver en la tabla (1). Es evidente que el desplazamiento de las isotermas depende de la concentración de saponina. Es decir, el área por molécula aumenta cuando aumenta la concentración de saponina en la subfase como muestra la figura 4. El análisis de los módulos de compresión máximos, junto con los cambios en el área molecular en presencia de saponinas disueltas en la subfase PBS, lleva a la conclusión de que las monocapas de POPE/POPG/DPPG no tienen buena afinidad con la saponina y no acomodan, en su mayoría, a las moléculas de saponina en la formación de la membrana.

En este contexto, los estudios de la cinética de adsorción, mostraron que el sistema no cuenta con una presión de adsorción de equilibrio. Al inyectar espontáneamente saponina en la subfase el sistema simplemente presenta un incremento relativamente bajo. Interesantemente, luego de alcanzar el máximo de incremento de presión superficial, estas tienden a disminuir. Según los resultados obtenidos, se puede indicar que el incremento de presión superficial es debido a la formación de una capa por la saponina en la interface monocapa y subfase, por tanto, es muy probable que una vez que se haya alcanzado o se esté alcanzando este punto, las saponinas colapsen la membrana. Esto se puede explicar bajo la hipótesis de que en este intervalo de tiempo la monocapa adsorbe los triptenos o esteroides lipófilos de la saponina (soluble en grasas) ya que la parte hidrófila (glucósido) está interactuando con la subfase PBS. Sin embargo, la saponina no se disocia en la subfase, porque son tensoactivos no iónicos. La parte lipófila se adsorbe en la membrana e interactúa con la parte hidrófila, teniendo como consecuencia alteraciones

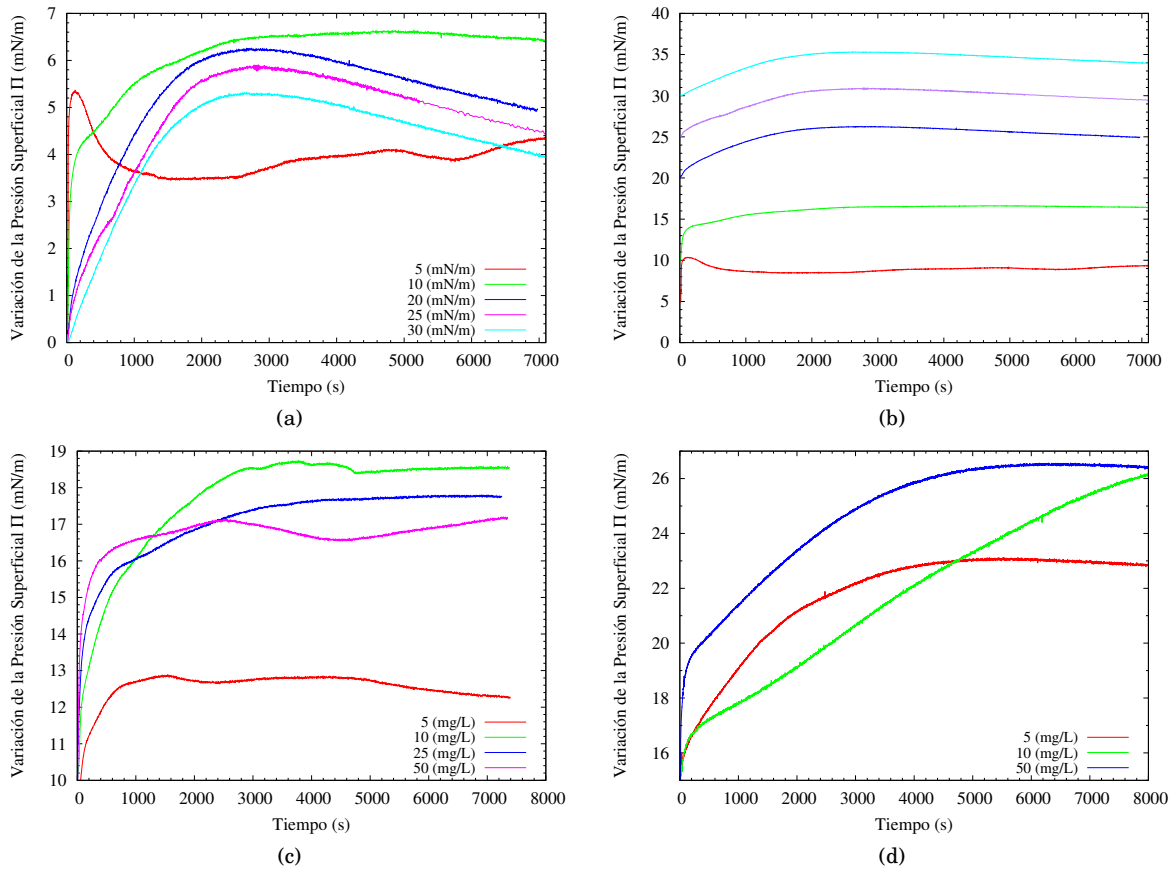


Fig. 5.— En (a) y (b) se muestra el incremento de la presión superficial a diferente presiones iniciales de la membrana lipídica, inyectando una disolución de saponina en la subfase PBS, de tal manera que la concentración final de la subfase será 10 mg/L. (c) muestra el incremento de la presión superficial a diferentes concentraciones de saponina en la subfase PBS para una presión superficial inicial de 10 mN/m. (d) muestra el incremento de la presión superficial a diferentes concentraciones de saponina en la subfase PBS para una presión superficial inicial de 15 mN/m.

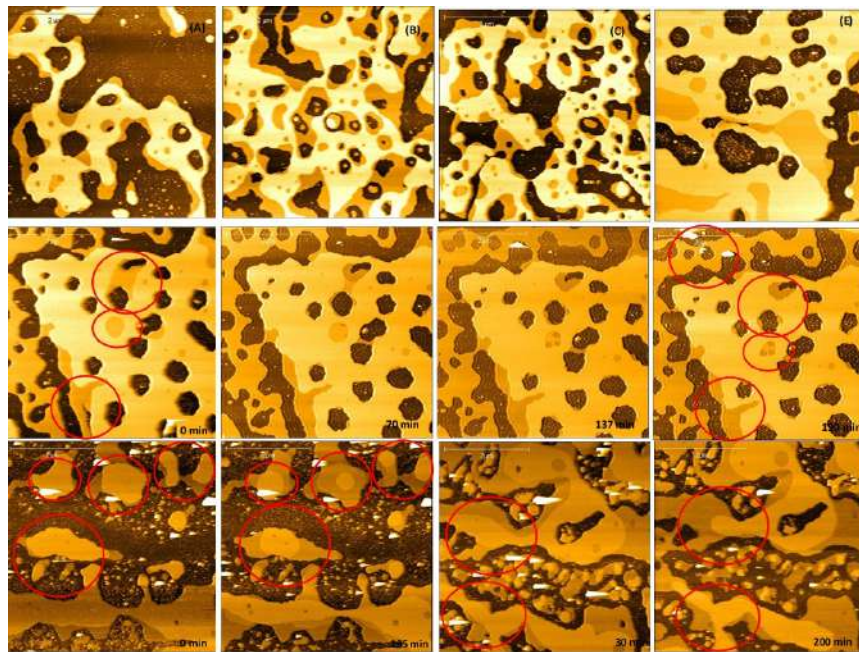


Fig. 6.— Secuencia de imágenes en el tiempo de una bicapa lipídica (primera fila) y su interacción con saponina a 50 mg/L de concentración (segunda y tercera fila). Obsérvese que los círculos rojos en las imágenes muestran los cambios en la topografía del sistema. La escala de color varía de 0 a más o menos 10 nanómetros, las imágenes tiene un área de 5 x 5 micrómetros.

en la membrana. Estos resultados muestran un posible mecanismo por el cual las saponinas presentan actividad biológica.

Por su parte, los estudios de AFM nos muestran la aparición de una nueva fase entre la fase líquida y gel, estos últimos son típicos de estos sistemas. Esta nueva fase se la puede atribuir a un aumento en la fluidez de la fase. Para un tiempo cero de exposición a saponina, la fase $L\alpha$ y la fase $L\beta$ presentan un espesor de 3.8 ± 0.6 nm y 6.0 ± 0.3 nm, respectivamente, mientras que para el minuto 195, la fase $L\alpha$ y la fase $L\beta$ presentan un espesor de 2.1 ± 0.8 nm y 6.1 ± 0.4 nm, respectivamente, se observa una nueva fase de un espesor de 4.8 ± 0.7 nm. Lo que apoya la propuesta de que las saponinas en primer lugar son repelidas por la bicapa y posteriormente el tripteno o

la parte lipófila es la que interactúa con los fosfolípidos del modelo de membrana. Esta última interacción se traduce en una alteración de la membrana a la membrana.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Professor Slawomir Sek y su grupo de la Faculty of Chemistry, Biological and Chemical Research Institute, University of Warsaw, Polonia, por el apoyo brindado durante el desarrollo de los experimentos.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses respecto a la publicación de este documento.

REFERENCIAS

- Atwood, S., Choi, Y., & Leonenko, Z. 2013, *Int. J. Mol. Sci.*, 14, 3514
- Bangham, A. & Horne, R. 1962, *Nature*, 196, 952
- Barenholz, Y., Gibbes, D., Litman, B., Goll, J., Thompson, T., & Carlson, R. 1977, *Biochemistry*, 16, 2806
- Bogdanov, M., Heacock, P., Guan, Z., & Dowhan, W. 2010, *Proc Natl Acad Sci U S A*, 107(34), 15057
- Böttger, S. & Melzig, M. 2013, *Bioorg. Med. Chem.*, 21, 7118
- Dowhan, W. 1997, *Annu. Rev. Biochem.*, 66, 199
- Dubreil, L., Vie, V., Beauflis, S., Marion, D., & Renault, A. 2003, *Biophys. J.*, 85, 2650
- Francis, G., Kerem, Z., Makkar, H., & Becker, K. 2002, *Br. J. Nutr.*, 88, 587
- Fuchs, H., Bachran, D., Panjideh, H., Schellmann, N., Weng, A., Melzig, M., Sutherland, M., & Bachran, C. 2009, *Curr. Drug Targets*, 10, 140
- Furche, C., Salcedo, S., Krivonos, E., Rabczuk, P., Jara, B., Fernandez, D., & Correa, F. *International Quinoa Trade*, ed. C. N. D. Bazile, D. Bertero (FAO CIRAD), 316–329
- Girard-Egrot, A. & Blum, L. *Langmuir-Blodgett Technique for Synthesis of Biomimetic Lipid Membranes*, ed. D. Martin (Springer, Boston, MA), 23–74
- Glauert, A., Dingle, J., & Lucy, J. 1962, *Nature*, 196, 953
- Hu, M., Konoki, K., & Tachibana, K. 1996, *Biochim. Biophys. Acta, Lipids Lipid Metab.*, 1299, 252
- Keukens, E., Vrije, T. D., Jansen, L., Boer, H. D., Janssen, M., Kroon, A. D., Jongen, W., & Kruijff, B. D. 1996, *Biochim. Biophys. Acta Biomembr.*, 1279, 243
- Konarzewska, D., Juhaniwicz, J., Guzeloglu, A., & Sek, S. 2017, *Biochim. Biophys. Acta, Biomembr.*, 1859, 475
- Lin, F. & Wang, R. 2010, *J. Mol. Model.*, 16, 107
- Lozano, M., Ticona, E., Carrasco, C., Flores, Y., & Almanza, G. 2012, *Rev. Boliviana de Química*, 29(2), 131
- Madl, T., Sterk, H., Mittelback, M., & Rochberger, G. 2006, *J. Am. Soc. Mass Spectrom*, 17, 795
- Maget-Dana, R. 1999, *Biochim. Biophys. Acta, Biomembr.*, 1462, 109
- Osborn, A. 1996, *Trends Plant Sci.*, 1, 4
- Podolak, I., Galanty, A., & Sobolewska, D. 2010, *Phytochem. Rev.*, 9, 425
- Schulman, J. & Rideal, E. 1937a, *Proc. R. Soc. Lond. Ser. B Biol. Sci.*, 122, 29
- . 1937b, *Proc. R. Soc. Lond. Ser. B Biol. Sci.*, 122, 46
- Siu, F., Ma, D., Cheung, Y., Lok, C., Yan, K., Yang, Z., Yang, M., Xu, S., Ko, B., He, Q., & Che, C. 2008, *Proteomics*, 8, 3105
- Szakiel, A., Pażczkowski, C., & Henry, M. 2011, *Phytochem. Rev.*, 10, 493
- Wenda, J., Juhaniwicz, J., Tymecka, D., Konarzewska, D., & Sek, S. 2017, *Langmuir*, 33, 4619
- Windaus, A. 1909, *Ber. Dtsch. Chem. Ges.*, 42, 238

APÉNDICE

A. SOBRE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LAS MONOCAPAS

A partir de las isotermas se determinaron todos los parámetros característicos de la monocapas Langmuir. El punto de colapso se obtuvo, delimitando la región de la isoterma donde esta presenta una “rodilla” que es la región en la que la monocapa colapsa. A partir de esta región, se busca una recta que pase por la menor cantidad de puntos de la región (no menor a 10 puntos). La parte media de esta recta definirá el punto de colapso. El promedio del área molecular se obtuvo, tomando la intersección de una recta con el eje x , de tal forma que esta recta tenga la mayor cantidad de puntos sobre sí y que inicie muy próximo al punto de colapso. Para determinar el módulo de compresión, se realizó una derivada numérica de los datos, posteriormente se les aplicó un suavizado exponencial con un factor $\alpha = 0.9$. A partir de la

curva suavizada se obtiene el máximo del módulo de compresión proyectando el valor máximo de la curva sobre el eje y .

B. SOBRE LAS IMÁGENES AFM

Para el procesamiento de las imágenes AFM se utilizó el software libre Gwyddion. El espesor de la bicapa se determinó a partir de la distribución de alturas en cada imagen, se determinaron los picos de mayor repetición como los espesores de las fases a estudiar. Para el cálculo del error se tomó el ancho de la distribución de alturas. Aproximadamente a 2/3 partes a partir del valor del ancho de la tabla de distribución de alturas se tomó la mitad de este valor como el error de la media. Primero se procesaron las imágenes de las muestras blancas sin exposición a saponina, posteriormente las imágenes de bicapa expuesta a saponina (para esta última se estudiaron las fotos a intervalos de tiempo de entre 15 y 20 minutos).

DEPROJECTION METHOD AND ARMS STRUCTURE OF SPIRAL GALAXIES.
RESULTS FOR NGC 4939, NGC 5247 AND NGC 157

MÉTODO DE DEPROYECCIÓN Y ESTRUCTURA DE BRAZOS DE GALAXIAS ESPIRALES.
RESULTADOS PARA NGC 4939, NGC 5247 Y NGC 157

DETERLINO URZAGASTI^{a†}

Carrera de Física, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia
(Recibido 2 de julio de 2023; aceptado 28 de noviembre de 2023)
<https://doi.org/10.53287/qarh3525zj77f>

ABSTRACT

A numerical method is presented for the deprojection of disk images of normal spiral galaxies and for obtaining their arm structure using the logarithmic spiral model. The method is based on obtaining the points of local maxima and minima of the galactic image intensity fluctuations through a smoothing process with the Savitzky-Golay filter. These points then serve to determine the galactic disk inclination angles as well as the pitch angle of its spiral arms. The method is applied to three galaxies: NGC 4939, NGC 5247 and NGC 157, finding reasonable agreement with other results from the literature.

Subject headings: Galactic structure – numerical methods – image processing

RESUMEN

Se presenta un método numérico para la deproyección de imágenes de discos de galaxias espirales normales y para la obtención de su estructura de brazos usando el modelo de espirales logarítmicas. El método se basa en la obtención de los puntos de máximos y mínimos locales de las fluctuaciones de la intensidad en las imágenes galácticas a través de un proceso de suavizado con el filtro de Savitzky-Golay. Estos puntos luego sirven para determinar los ángulos de inclinación del disco galáctico así como el *pitch angle* de sus brazos espirales. El método se aplica a tres galaxias: NGC 4939, NGC 5247 y NGC 157, encontrándose un acuerdo razonable con otros resultados de la literatura.

Palabras clave: Estructura galáctica – métodos numéricos – procesamiento de imágenes

1. INTRODUCTION

Before the application of analysis methods to the structure of galactic disks, it is essential the determination of its orientations with respect to some given coordinate system, or, in other words, its deprojection. Different methods are proposed for this effect, which are divided into two main groups: kinematic and photometric methods. In the former method, the only thing considered is the rotation of the galactic gas and its emission, thus determining an asymmetric velocity field that allows to determine the orientation angles under the assumption that the gas flows in a uniform circular motion and that the disk is an extremely thin system. Among the photometric methods, the following are relevant: those based on Fourier analysis of galactic images, such as, for example, that of García-Gómez et al. (2004), and those based on the application of least squares to the image points, which chosen with some suitable filter, correspond to the galactic arms; this is the case,

for example, of the works of Ma (2001) and Ma et al. (1999). In general, the proposed methods allow also to determine the pitch angle, which is the angle between the tangent to an arm and the tangent to a circumference that passes through the same point and that is centered at the galactic center. This angle allows to characterize the curling degree of the arms and is strongly related to the galaxy morphological type (see e.g. Ma et al. 1999). Given its simplicity, the logarithmic spiral model is usually adopted to represent arms (see Binney & Tremaine 1987). However, it is possible to obtain very reliable results without any imposition for the arms shape, as in the method described by Poltorak & Fridman (2007), where only a monotonous behavior is required.

In this work we develop an alternative method that consists of obtaining both the inclination angles of a galactic disk, assumed to be thin, and the pitch angle of its arms, assuming the logarithmic spiral model. The method is based in determining local maxima and minima of intensity fluctuations, with which, through an iterative adjustment process, it is possible to obtain the required parameters. Below

^a<https://orcid.org/0000-0001-7387-9499>

[†]Email: durzagasti@fcpn.edu.bo

we describe both the model and method used, and finally we apply the algorithm to three galaxies from the OSUBSGS (*Ohio State University Bright Spiral Galaxy Survey*).

2. DISK MODEL

For the mass density in the galactic disk we use the following functional form:

$$\rho_D(r, \phi) = f_1(r) \{1 + f_2(r) \cos [f_3(r, \phi)]\}, \quad (1)$$

where (r, ϕ) are polar coordinates in the disk plane.

In turn, for the arms structure the following model of logarithmic spirals is adopted:

$$f_3(r, \phi) = -\gamma \ln r + m(\phi + \phi_0), \quad (2)$$

where m is the number of arms and γ is a parameter of winding degree. However, in order to characterize the winding degree of spiral galaxies it is most useful the pitch angle, μ , which is related to the later parameters according to:

$$\tan \mu = q = \frac{m}{\gamma}. \quad (3)$$

3. LOGARITHMIC SPIRALS

Curves called logarithmic spirals are obtained from the equality

$$f_3(r, \phi) = \text{const.}, \quad (4)$$

and thus, the corresponding parametrization in the (x, y) plane is given by:

$$x = e^{q\phi} \cos(\phi - \phi_0), \quad y = e^{q\phi} \text{sen}(\phi - \phi_0). \quad (5)$$

Hereinafter these curves will be called simply arms because they describe the different branches corresponding to different values of the constant in Equation (4).

In addition, the orthogonal curves to the arms have the following parametric representation:

$$x = e^{-\phi/q} \cos(\phi - \Delta\alpha), \quad y = e^{-\phi/q} \text{sen}(\phi - \Delta\alpha) \quad (6)$$

Both families of curves are shown in Fig. 1a for $q = 1$, whereas Fig. 1b shows the arms for different values of q . Note that the arms are more winded up for smaller values of q , that is, for smaller values of the pitch angle μ .

4. GRID CONSTRUCTION

By using the families of curves described in the previous Section, an orthogonal curvilinear grid is constructed in order to have a better pixel position representation than those that are given by the other systems such as the cartesian and the polar ones. We call this grid as the spiral grid.

As a first step we adopt the criterion that the arc element length over an arm or over an orthogonal line be of the order of a pixel:

$$\Delta s \simeq (1 + p^2)^{1/2} \Delta r \simeq 1 \text{ pixel}, \quad (7)$$

where $p = 1/q$ in the case of arms and $p = -q$ in the case of orthogonal lines. This is a convenient choice

because it is not possible to obtain more information on scales smaller than the width of a pixel.

Given that according to Eqs. (5) and (6) we have $\Delta\phi = p \Delta r/r$, the angular step corresponding to an arc on an orthogonal line ($\Delta\phi$) is $-q$ times the angular step corresponding to an arc on an arm ($\Delta\phi_b$), that is

$$\Delta\phi = -q \Delta\phi_b. \quad (8)$$

Moreover, when considering the variation of the angle ϕ along an orthogonal line, we have that its minimum value is $\phi_{min} = -q \ln r_{max}$ and its maximum value is $\phi_{max} = -q \ln r_{min}$, where r_{max} and r_{min} are the values of the maximum and minimum considered radius (in pixels units). If based on Eq. (7) we define $r_{min} = \Delta r \simeq (1 + q^2)^{-1/2}$ and also

$$\Delta\phi \simeq \frac{q}{r_{max}(1 + q^2)^{1/2}}, \quad (9)$$

then the number of segments of angular width $\Delta\phi$ on an orthogonal line, $N = (\phi_{max} - \phi_{min})/\Delta\phi$, is

$$N \simeq r_{max}(1 + q^2)^{1/2} \ln[r_{max}(1 + q^2)^{1/2}]. \quad (10)$$

The ends of these segments constitute sampling points throughout an orthogonal line; hence N is also the number of these points throughout the same line. r_{max} is measured from a center that is chosen from the position of the brightest pixel in the galactic center image.

Finally, it remains to define the number of orthogonal lines in the array. Making use of Eq. (8), it is evident that this number can be defined as:

$$N_o \simeq \frac{2\pi}{\Delta\phi_{min}}. \quad (11)$$

Typical values in this work are $N \approx N_o \approx 500$.

5. GRID ROTATION

The plane of the galactic disc is rotated with respect to the plane of the sky (image plane) using Euler angles $(\theta_E, \phi_E, \psi_E)$:

$$\begin{aligned} x &= x' \cos \phi_E - y' \text{sen} \phi_E \cos \theta_E, \\ y &= x' \text{sen} \phi_E + y' \cos \phi_E \cos \theta_E, \end{aligned} \quad (12)$$

where (x', y') are cartesian coordinates in the disk plane and (x, y) are the corresponding coordinates in the image plane.

Given the form of the parametric equations for the arms and their orthogonal lines, the rotation by ψ_E can be directly introduced in the phase. Hence we can write:

$$\begin{aligned} x' &= n e^{-\phi/q} \cos(\phi - \Delta\alpha + n\psi_E), \\ y' &= e^{-\phi/q} \text{sen}(\phi - \Delta\alpha + n\psi_E), \end{aligned} \quad (13)$$

where the factor n was added to give account of the sense in which the arms in the galactic image develop: $n = 1$ (-1) if the arms develop clockwise (counterclockwise). An example of a rotated spiral grid is shown in Fig. 2.

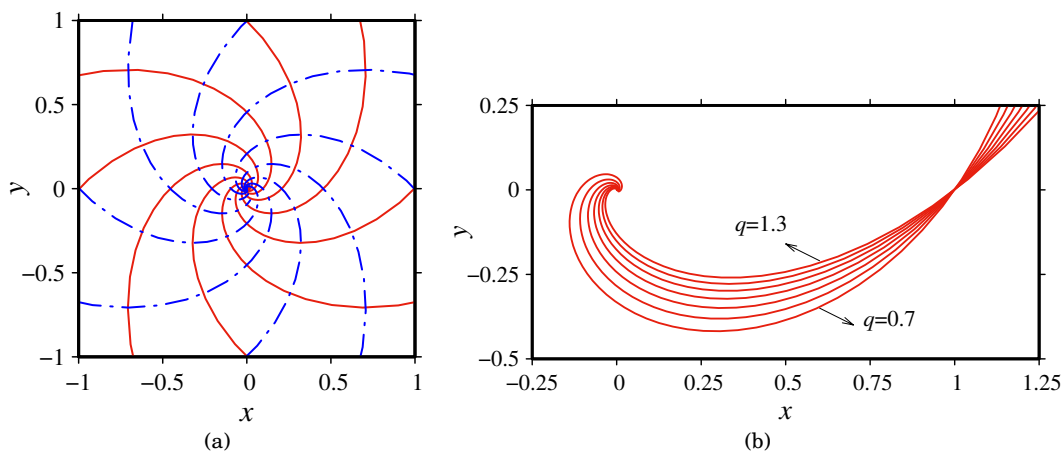


Fig. 1.— (a) Arms (continuous red) and orthogonal (dashed blue) lines for $q = 1$. (b) Arms for different values of q .

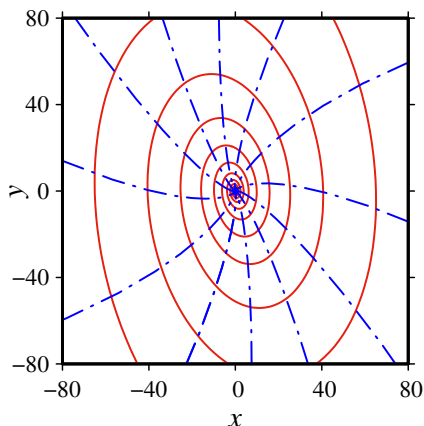


Fig. 2.— Example of a rotated grid of logarithmic spirals. (Red continuous lines are arm lines and blue dashed lines correspond to orthogonal lines.) The rotation and degree of coiling were obtained for the NGC 4939 image.

6. MINIMUM RADIUS

The studied images consist of uniform cartesian pixel arrays. Each pixel has assigned to a position and to a value of intensity. Since spiral grid does not have this uniformity, because the density of arms and orthogonal lines is greater towards the center, we must choose a minimum working radius to avoid the exaggerated repetition of intensity values, or, in other words, to avoid that a given pixel be used more than once by different arms and orthogonal lines. It is evident that this radius must be much greater to the previously chosen one, r_{min} , because this is used only to construct the spiral grid that must be rotated. In the following, the process of selection of this new minimal radius is described: First we make a mapping of intensity with the rotated spiral grid, that is, to each sampling point of the spiral grid the value of intensity corresponding to its position is assigned. The experience with the images that were used in this work indicates that a reasonable criterion to define the minimal radius, R_{min} , is that at this radius the number of contiguous points of equal intensity is equal to twenty times the number of contiguous points of different intensity. The count of these numbers of points is performed for all the orthogonal li-

nes (i.e., for all the directions in the plane (x', y')). The number of sampling points in each of these lines is increasing towards the galactic center since $\Delta\phi = -q\Delta r/r$, that is, $\Delta\phi > 0$ for $\Delta r < 0$.

As an example, Figure 3a shows the count of the number of contiguous points for the image of NGC 4939. In this Figure, one sees that the number of points of different intensity is greater than the number of points of the same intensity (multiplied by a factor of twenty) for numbers of sampling points smaller than the corresponding to the intersection of the two curves (near 300). Moreover, the election of twenty factor is clearly justified in Fig. 3b, where for the same galaxy and for a typical orthogonal line, it is observed that for numbers of sampling points greater than 300, the repetition of intensity values originates a staggered structure towards the galactic center, which is not suitable for the filtering process to be described in the next Section. This is why the inner region to the minimal radius has been removed as shown in Fig. 2.

7. OBTAINING OF THE MAXIMA AND MINIMA OF THE INTENSITY FLUCTUATIONS

To obtain the maximum and minimum fluctuations in intensity, the intensity data is smoothed on each of the orthogonal lines of the spiral grid. To do this, the Savitsky-Golay filter is used (Press et al. 1992), which consists of fitting a polynomial function to a set of neighboring points close to a given point where you want to estimate the value of the function. This method then makes it possible to eliminate noise as well as the effect of sudden variations of the aforementioned function. In the present work, the filter is applied to the data set of intensity versus number of sampling points on each orthogonal line and two types of smoothing are introduced: the first, called coarse smoothing, with a number of neighbors $N_g/2$ to the left and $N_g/2$ to the right of each point on an orthogonal line; and the second, fine smoothing, with $N_f/2$ neighbors to the left and $N_f/2$ to the right of each sampling point. In both cases, the fitting polynomial is quadratic, following the suggestion of the implementation in Press et al. (1992). In turn, the

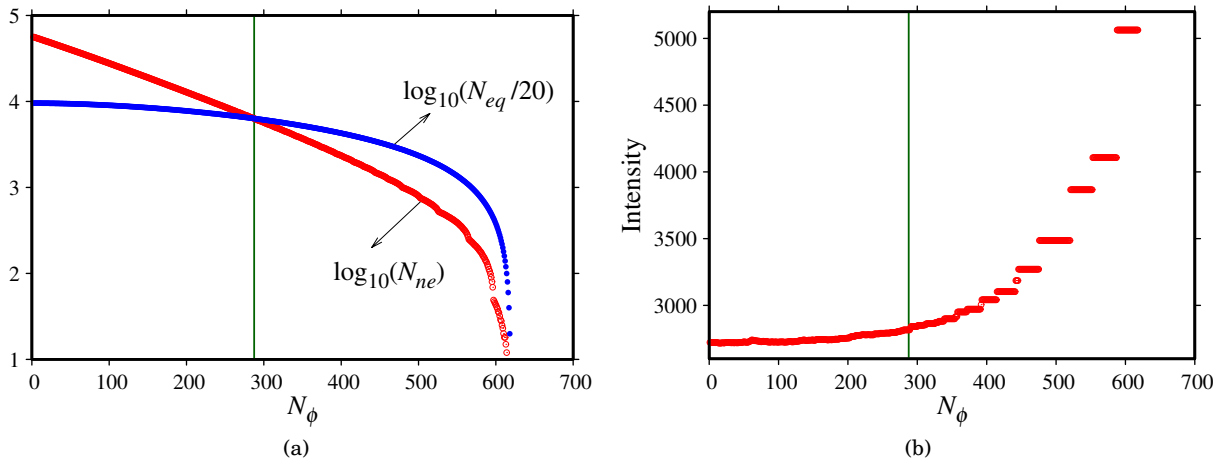


Fig. 3.— (a) Total counts of the number of contiguous sampling point pairs along all orthogonal lines (401 lines) constructed for NGC 4939 as a function of the sampling point number along an orthogonal line, N_ϕ , which is increasing toward the galactic center. The count is performed cumulatively from the galactic center. N_{eq} (N_{ne}) is the number of pairs of sampling points of equal (different) intensity. (b) Intensity plot for a typical orthogonal line of the same galaxy. The factor 20 is chosen so that the intersection of the two curves in (a), represented by the vertical line in (a) and (b), separates the inner galactic region where there are too many sampling points for the same pixel, or for the same pixel intensity, as seen in the step-like structure of the data to the right of the vertical line in (b).

choice of the number of neighbors arises from the experience of trying different numbers in the images used in this work. Figure 4a shows the application of this method to a typical orthogonal line of the galaxy NGC 4939.

Once the coarse and fine smoothing has been carried out, the corresponding resulting intensity values are subtracted to obtain the fluctuations in intensity. Then a fine smoothing is performed on these fluctuations and finally a fine smoothing with fourth degree polynomials is applied to the result of this last process to obtain the derivative of the fluctuations. The results are shown in Fig. 4b for the same orthogonal line as Fig. 4a. Here it should be noted that although fine smoothing of fluctuations is not necessary, it allows for better visualization of them.

With the aid of the obtained derivative, the points of local maxima and minima of the intensity fluctuations can be obtained. These points constitute the database for obtaining the degree of coiling of the arms and the Euler angles of a galaxy under study. However, it may happen that certain points in this set are spurious, that is, that the absolute value of the corresponding intensity fluctuation is not high enough. To correct this effect, those points whose absolute fluctuation is less than a certain lower limit δI_{min} are discarded. At the other extreme, there may be fluctuations with very high local values due to the presence of globular clusters or small satellite galaxies, for which the criterion of discarding from the set the points whose absolute fluctuations exceed the value of three times the root mean square deviation is chosen. Figure 5 shows the images of NGC 4939, NGC 5247 and NGC 157 and their corresponding maxima and minima of the intensity fluctuations found with the method above described.

8. OBTAINING OF THE WINDING DEGREE

By using the parametric Eqs. (5), the curves that describe the maximum fluctuations of the intensity

are given by:

$$\begin{aligned} x &= e^{q\phi} \cos(\phi - \phi_0 + 2k\pi/m), \\ y &= e^{q\phi} \text{sen}(\phi - \phi_0 + 2k\pi/m), \end{aligned} \quad (14)$$

$$k = 0, 1, \dots, m - 1,$$

where k indicates the number of arm of the galaxy under study. For the minimum intensity fluctuations we just have to write $(2k + 1)$ instead of $2k$ in the above equation.

Therefore, for successive maxima or minima over the same orthogonal line, we have:

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{m} \frac{q^2}{1 + q^2}. \quad (15)$$

Hence, obtaining the N_q differences $\Delta\phi$ for all the successive minima and maxima over all the orthogonal lines, and then applying a simple statistics, the parameter q can be obtained.

9. ITERATIVE PROCEDURE

For the calculations, a FORTRAN language program is used that is executed on a Linux platform. An iterative procedure is carried out starting with a non-rotated spiral grid and with a value $q = 1$ for the degree of winding. During the first cycle of iterations, the Euler angles are estimated using the diagonalization method of a matrix similar to the inertia tensor used in mechanics for rigid bodies. In this case, the points of local maxima and minima of the intensity fluctuations play the role of particles of mass equal to the square root of the absolute value of the fluctuation in density: $\sqrt{|\delta I|}$ ¹. In any case, this first

¹ There is no qualitative explanation for this choice, as it arises from having carried out tests with different powers of $|\delta I|$ so that both the inner and outer regions of the galactic image are represented in a more or less balanced way in the equivalent inertia tensor.

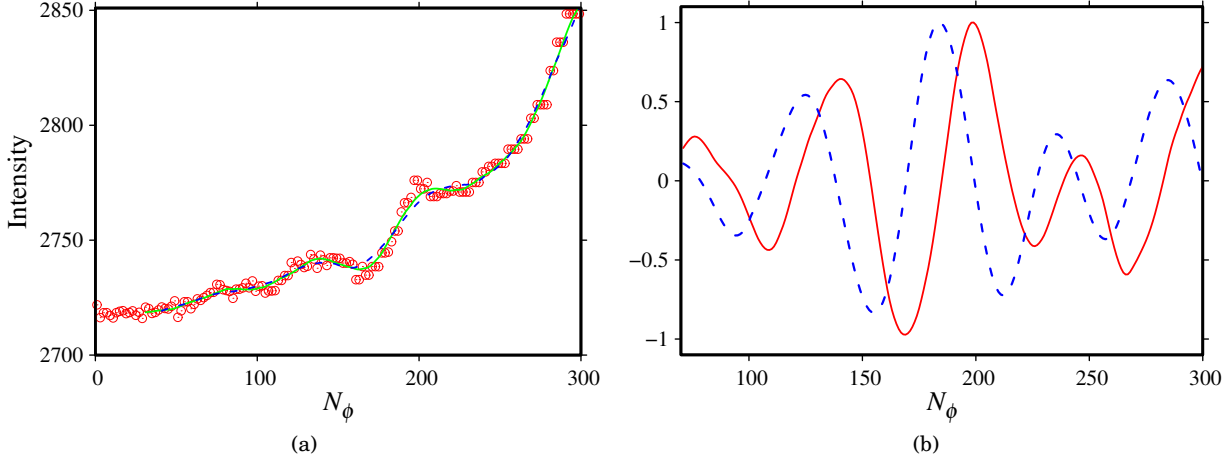


Fig. 4.— (a) Sampling points (circles) and the coarse (blue dashed line) and fine (green continuous line) smoothing on a typical orthogonal line of NGC 4939. (Graph of the Intensity as a function of the sampling point number along an orthogonal line, N_ϕ , which is increasing toward the galactic center.) (b) Result of the difference between the fine smoothing and the coarse smoothing (continuous red curve normalized to its maximum value) of (a) and its corresponding derivative (dashed blue curve normalized to its maximum value).

TABLE 1

Parameters obtained through the application of the method (variables without superscript) to the artificial galaxy described in Section 10 for different values of the number of arms, the pitch angle and the orientation angles with respect to the plane of the sky (variables with superscript a). Euler angles are expressed in degrees.

No	m	q^a	θ_E^a	ϕ_E^a	q	θ_E	ϕ_E
1	2	0.2	15	30	0.195 ± 0.003	14 ± 1	32 ± 2
2	2	0.2	25	60	0.196 ± 0.002	24.9 ± 0.1	59.8 ± 0.5
3	2	0.2	45	50	0.197 ± 0.002	44.9 ± 0.2	50.0 ± 0.2
4	2	0.2	75	185	0.196 ± 0.005	74.8 ± 0.1	185.00 ± 0.01
5	4	0.4	32	0	0.39 ± 0.01	32.05 ± 0.01	-0.10 ± 0.03
6	4	0.4	60	135	0.39 ± 0.01	60.000 ± 0.003	135.00 ± 0.02
7	2	0.1	30	120	0.101 ± 0.001	30.2 ± 0.1	120.2 ± 0.1

choice constitutes only a first approximation that is introduced in order to not manually enter the initial Euler angles. In subsequent cycles, the Euler angles are found by using a SIMPLEX (Press et al. 1992). The SIMPLEX used here is a geometric figure in a four-dimensional space that encloses the three angular parameters, the Euler angles. This changes its shape and reduces its volume until a certain function of the parameters reaches its minimum value within an established error tolerance order. The function chosen for this purpose is the root mean square deviation (σ) of the minimum distances between the maximum and minimum points and the sampling points on the arms of the model.

The steps followed in the iterations are roughly described below:

- i. The spiral grid is generated.
- ii. Savitzky-Golay filtering is applied to the dataset.
- iii. Local maxima and minima of the intensity fluctuations are found.
- iv. q parameter is calculated.
- v. Euler angles are calculated using a SIMPLEX.
- vi. A new spiral grid is generated and the entire process is repeated until convergence is achieved within the required error tolerance range in a number of N_{iter} iterations.

Once the iterative process is finished, the program returns the winding degree parameter and the three Euler angles. The error in the Euler angles is estimated by performing the subtraction between the values obtained in the first and last applications of SIMPLEX (with a tolerance of 10^{-3} for σ). In this last iteration, the Euler angles reach a stable situation, no longer suffering significant changes with respect to the previous iteration. Note that in some cases one must modify the range of sampling points on the spiral arms of the model so that they cover all the points of maxima and minima. Experience with the actual galaxies studied in this work shows that the effect of this modification introduces a maximum error of the order of one degree.

10. APPLICATION TO NGC 4939, NGC 5247 AND NGC 157

Before applying the method to three galaxies from the OSUBSGS sample, we have applied it to an artificial galaxy with different pitch angles and different orientations with respect to the plane of the sky. This artificial galaxy (300x300 pixels) is built from the model given by Eq. (1) with $\log_{10} f_1(r) = 3.6 \exp[-0.1 \log_{10}^2 r]$, and $f_2(r) = 20/r$ for $r > 20$ and $f_2(r) = 1$ for $r \leq 20$. The corresponding results for different numbers of arms, pitch angles, and orientation angles are shown in Table 1, where we can

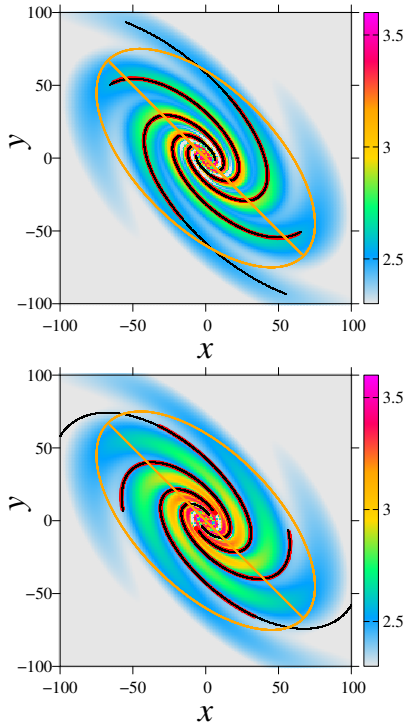


Fig. 5.— Images of the artificial galaxy No 6 of Table 1 (in terms of logarithm of the intensity), their maximum (upper panel) and minimum (lower panel) points, and the curves of the corresponding model adjustment (black lines). Also shown is the ellipse that comes from the projection of the galactic disk on the plane perpendicular to the line of sight, whose semi-major axis has an inclination with respect to the y axis (North Galactic Pole) equal to the position angle PA .

see that a good agreement is found between the parameters of the artificial galaxy and those obtained with our method. An example of the application of the method for parameter set No. 6 of this artificial galaxy is shown in Fig. 5.

The method is applied to the images of three galaxies from the OSUBSGS set and for the H filter: NGC 4939, NGC 5247 and NGC 157, which are shown in Fig. 5. The corresponding results are shown in Tables 1, 2 and 3 and in Fig. 6. In order to make the comparison with the results found in the literature for these three galaxies, the angles must be expressed in terms of the inclination angle IA and the position angle PA , as well as the degree of coiling in terms of the pitch angle, μ . In the present case:

$$IA = \theta_E, \quad PA = \phi_E - 90 \pm \ell 180 \quad (\ell = 1, 2, 3, \dots). \quad (16)$$

Thus, IA is the angle between the axis of the galactic disk and the line of sight, and PA indicates the orientation of the line of the nodes of the projected disk and is the angle between this line and North, measured towards the East. Since the position angle PA is the angle between the north galactic pole (y axis in Fig. 6) and the major axis of the ellipse resulting from the projection of the galactic disk onto the plane of the sky, and since the intersection of this ellipse with that axis has two vertices, terms that are multiples of 180 degrees can be added to the position angle. For this reason we chose ℓ to have a positive

TABLE 2

Parameters obtained through the application of the method. Euler angles are expressed in degrees.

Galaxy	NGC 4939	NGC 5247	NGC 157
n	-1	1	-1
N_{iter}	9	9	9
N	618	734	712
N_o	401	462	451
R_{min}	13.5	15	15
N_g	40	60	80
N_f	30	50	60
δI_{min}	0.1	0.1	0.1
N_{max}	1531	960	693
N_{min}	1578	1016	783
m	2	4	2
q	0.16 ± 0.02	0.49 ± 0.05	0.28 ± 0.02
N_q	2252	984	566
θ_E	52 ± 1	19 ± 4	50 ± 2
ϕ_E	101 ± 1	76 ± 30	-56 ± 4
ψ_E	18 ± 24	-47 ± 32	90 ± 2

TABLE 3

Comparison between the values of IA and PA obtained in the present work (UD) and by García-Gómez et al. (2004) (G-G) for NGC 4939, NGC 5247 and NGC 157. (Values expressed in degrees.)

NGC 4939	UD	G-G
IA	52 ± 1	59 ± 3
PA	11 ± 1	8 ± 5
NGC 5247	UD	G-G
IA	19 ± 4	24 ± 5
PA	-14 ± 30	22 ± 14
NGC 157	UD	G-G
IA	50 ± 2	46 ± 3
PA	34 ± 4	38 ± 4

TABLE 4

Comparison between the pitch angle values obtained in this work (UD) and by other authors: Ma (2001) (MJ), Ma et al. (1999) (MZ), and Patsis et al. (1991) (PCG). (Values expressed in degrees.)

NGC 4939	UD	MJ
μ	9 ± 1	$8.1(A) - 10.8(B)$
NGC 5247	UD	PCG
μ	26 ± 3	30
NGC 157	UD	MZ
μ	16 ± 1	9 ± 1

value less than 180 degrees for the position angle.

11. CONCLUSIONS

The acceptable precision of the obtained results could indicate that the logarithmic spiral model is both simple and adequate to describe the arm structure of barless spiral galaxies, despite the approach that these are considered as flat objects.

However, a delicate aspect of the application of the model to galaxy image data is the process of obtaining the points of local maxima and minima of the local intensity fluctuations with which the degree of coiling and the orientation angles are obtained. The precision of the results is sensitive to the number

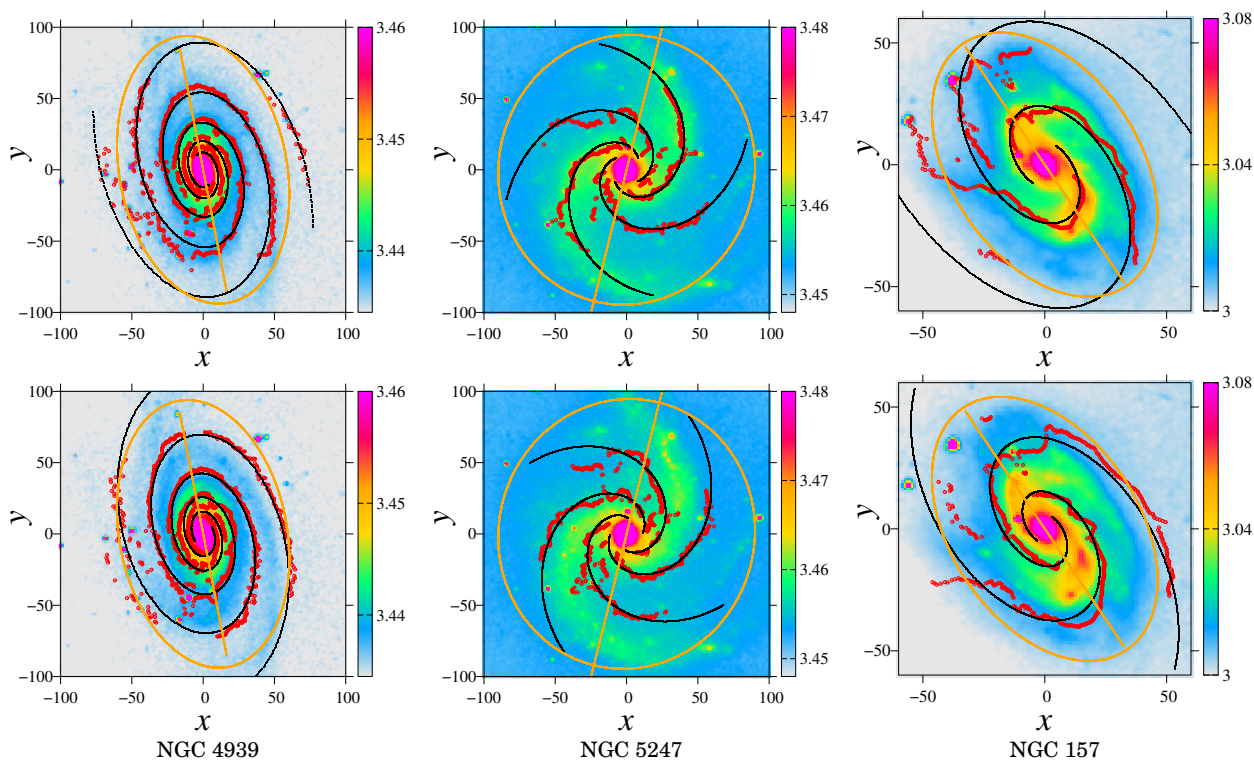


Fig. 6.— Images of the galaxies under study (in terms of logarithm of the intensity), their maximum (upper panels) and minimum (lower panels) points, and the curves of the corresponding model adjustment (black lines). Also shown is the ellipse that comes from the projection of the galactic disk on the plane perpendicular to the line of sight, whose semi-major axis has an inclination with respect to the y axis (North Galactic Pole) equal to the position angle PA .

of neighbors considered in the Savitzky-Golay filtering. Given the intrinsic irregularities of the images, smoothing is better for a relatively large number of neighbors, but this decreases the extent of the analysis region. At the other extreme, if the number of neighbors is relatively small, the extent of the analysis region is greater, but the dispersion in the positions of the maxima and minima is also greater. Additionally, in the later case, the appearance of modes with a greater number of arms is evident; but the limitation on the number of pixels in the images prevents obtaining precise results from them.

When comparing the results obtained for the orientation angles and pitch angle of the three galaxies studied with the values obtained by other authors, an acceptable agreement is found, indicating that the method developed in this work could be applied to a larger sample of spiral galaxies. However, there are large discrepancies with the results of other authors for the position angle of NGC 5247 and for the pitch angle of NGC 157. This indicates that a larger sample of galaxies must be taken to better test the algorithm (work in progress). Moreover, ideas arise to improve its efficiency that should be tested in

the first instance. One of them is to use not only the maximum and minimum points of the fluctuations but also other nearby points and assigning a statistical weight to all the points considered, thus probably improving the sample and consequently the results. Another is to carry out a Fourier analysis of the intensity fluctuations obtained with the Savitzky-Golay smoothing along the lines perpendicular to the arms, in order to obtain the angular parameters through the corresponding spectra.

ACKNOWLEDGMENTS

This work has made use of data in fits format belonging to the Ohio State University Bright Spiral Galaxy Survey (OSUBSGS) project, which was funded by the budgets AST-9217716 and AST-9617006 of the United States National Science Foundation, with additional support from the Ohio State University. We thank this project and these institutions with the greatest consideration for allowing us to use these data.

Conflicts of interest

The author declares no conflicts of interest with respect to the publication of this document.

REFERENCES

- Binney, J. & Tremaine, S. 1987, Galactic dynamics (Princeton University Press)
- García-Gómez, C., Barberà, C., Athanassoula, E., Bosma, A., & Whyte, L. 2004, *A&A*, 421, 595
- Ma, J. 2001, *Chinese Journal of Astronomy and Astrophysics*, 1, 395
- Ma, J., Zhao, J. L., Shu, C. G., & Peng, Q. H. 1999, *A&A*, 350, 31
- Patsis, P. A., Contopoulos, G., & Grosbol, P. 1991, *A&A*, 243, 373
- Poltorak, S. G. & Fridman, A. M. 2007, *Astron. Rep.*, 51, 460
- Press, W. H., Teukolsky, S. A., Vetterling, W. T., & Flannery, B. P. 1992, *Numerical Recipes in FORTRAN: The Art of Scientific Computing*, 2nd edn. (Cambridge University Press)
- Río, M. S. d. & Cepa, J. 2003, *A&A*, 400, 421
- Schlosser, W. & Musculus, D. 1984, *A&A*, 131, 367

11ra OLIMPIADA CIENTÍFICA ESTUDIANTIL PLURINACIONAL BOLIVIANA – ETAPA NACIONAL
27ma OLIMPIADA BOLIVIANA DE FÍSICA – EXAMEN DE PRESELECCIÓN PARA LA XXVIII OLIMPIADA
IBEROAMERICANA DE FÍSICA

11th BOLIVIAN PLURINATIONAL SCIENTIFIC OLYMPIAD – NATIONAL STAGE
27th BOLIVIAN PHYSICS OLYMPIAD – PRESELECTION TEST FOR THE XXVIII IBEROAMERICAN
PHYSICS OLYMPIAD

MAMANI E.^{a†}, SANJINÉS D.^b, RALJEVIC M.^c, & SUBIETA V.^d

Carrera de Física, Universidad Mayor de San Andrés,
c. 27 Cota-Cota, Casilla de Correos 8635, La Paz, Bolivia
<https://doi.org/10.53287/kmfm8230re78x>



RESUMEN

Se reporta los exámenes con soluciones correspondientes a los eventos indicados en el título: para la Olimpiada Científica Estudiantil Plurinacional Boliviana se aplicaron en cada departamento y de manera presencial (diciembre 2022) exámenes para los cursos 3ro, 4to y 5to de secundaria. Hubo 18 ganadores con medallas de oro, plata y bronce de un total de 66 participantes clasificados. Para la Olimpiada Boliviana de Física se aplicó de manera virtual (5/06/2023) un examen de preselección para elegir a la delegación boliviana que acudirá a la XXVIII Olimpiada Iberoamericana de Física que tendrá lugar en Costa Rica en septiembre de 2023. Hubo 4 estudiantes seleccionados de un total de 13 estudiantes convocados. Sobre la relevancia del programa de la Olimpiada Boliviana de Física y la Olimpiada Boliviana de Astronomía y Astrofísica como incentivo al estudio de la física en Bolivia se puede consultar el artículo publicado en la *Rev. Bol. Fis.* **39** (2021). En este artículo se reporta sólo los exámenes del área de física del programa referido.

Palabras clave: Olimpiadas de Física – Enseñanza de la Física

ABSTRACT

We report the tests and solutions corresponding to the Olympiad events referred to in the Article title. For the Bolivian Plurinational Scientific Olympiad 3rd, 4th and 5th grade secondary school students took presential traditional tests in each Bolivian department in December 2022. Of the 66 classified students, a total of 18 medals (gold, silver, bronze) were awarded. For the Bolivian Physics Olympiad, a preselection test was taken by 13 shortlisted students of whom 4 were selected to conform the delegation for the XXVIII Ibero-American Physics Olympiad held in Costa Rica in September 2023. The relevance of the Bolivian Physics Olympiad and the Bolivian Astronomy and Astrophysics Olympiad program, as an incentive for the study of physics in Bolivia, can be consulted in the *Rev. Bol. Fis.* **39** (2021). In the present article we report only those tests corresponding to the physics section of the program.

Subject headings: Physics Olympiads – Physics Education

^a<https://orcid.org/0000-0002-3484-8582>

^b<https://orcid.org/0000-0001-6832-9513>

^c<https://orcid.org/0000-0003-4496-316X>

^d<https://orcid.org/0000-0002-2609-993X>

[†]Email: evaristomamanicarlo@gmail.com



11ª OLIMPIADA CIENTÍFICA ESTUDIANTIL PLURINACIONAL BOLIVIANA - ETAPA NACIONAL

26a OLIMPIADA BOLIVIANA DE FÍSICA
3ro SECUNDARIA

LLENAR OBLIGATORIAMENTE TODOS LOS CAMPOS

--	--

APELLIDO PATERNO

APELLIDO MATERNO

--	--	--

NOMBRES

Nº CÉDULA DE IDENTIDAD

DEPARTAMENTO

--	--

UNIDAD EDUCATIVA

DISTRITO EDUCATIVO

CÓDIGO DE PRUEBA

COPIA ESTE CÓDIGO EN TODAS TUS HOJAS (PREGUNTAS Y RESPUESTAS)



CÓDIGO DE PRUEBA

NO USAR EL REVERSO DE LA HOJA

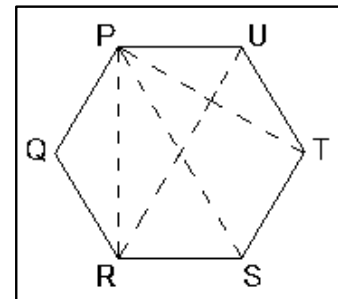
DURACIÓN DE LA PRUEBA: 2 horas para la prueba teórica y 1 hora para la prueba experimental.

MATERIAL PERMITIDO: Regla graduada en mm, calculadora científica, hojas adicionales para cálculos. No se permite la consulta de textos, apuntes, formularios o consultas por internet.

PRUEBA TEÓRICA

- Un cubito de aluminio flota en mercurio a temperatura ambiental. Si se eleva la temperatura en una cantidad ΔT , deducir si el cubito flotará más o se hundirá más. El coeficiente de dilatación lineal del aluminio es $\alpha = 24 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, y el coeficiente de dilatación volumétrica del mercurio es $\gamma = 18 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

- Considere el hexágono regular PQRSTU de la figura adjunta. Calcule el resultado de $\overline{PR} + \overline{PS} + \overline{UP} + \overline{TP}$ en términos de \overline{PQ} .



- Dados los vectores $\mathbf{A} = 4\mathbf{i} - 8\mathbf{j}$ y $\mathbf{B} = 4\mathbf{i} + 8\mathbf{j}$, encontrar el vector \mathbf{R} tal que $2\mathbf{R} - 4\mathbf{A} = \mathbf{B}$.
- Un joven en un barco mira las ondas en un lago que pasan con una pausa de medio segundo entre cada cresta, si a una onda le toma 1,5 s pasar los 4,5 m de longitud de su barco, calcule su velocidad, frecuencia, período y la longitud de onda.

PRUEBA EXPERIMENTAL

Colisión de dos cuerpos sobre una superficie plana con fricción

Dos cuerpos idénticos puntuales chocan sobre una superficie plana horizontal. El proyectil (P) se impulsa con una velocidad inicial y choca contra el blanco (B) en reposo. Después de la colisión (B) se dispersa hacia el lado izquierdo del plano y (P) se dispersa hacia el lado derecho, deteniéndose cada cuerpo por la fricción en las posiciones indicadas por los puntos; cada par de puntos correspondientes a cada colisión se indican por los mismos números. En el gráfico se muestra los resultados de 7 colisiones; debes medir las distancias en mm del blanco (L_B) y del proyectil (L_P) para cada par de puntos con respecto a la línea segmentada, así como sus distancias D_B y D_P con respecto a (B). Estas mediciones las anotarás en las primeras cuatro columnas de la tabla a continuación. A manera de ejemplo se incluye en la tabla y en el gráfico un caso de datos (que pueden variar según la escala con la que se imprima el gráfico).

n° de colisión i	L_B	L_P	D_B	D_P	$x_i = \frac{D_B}{D_P}$	$y_i = \left(\frac{L_B}{L_P}\right)^2$	$z_i = \frac{x_i}{y_i}$
ejemplo	36	31	58	41	1.41	1.35	1.04
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							

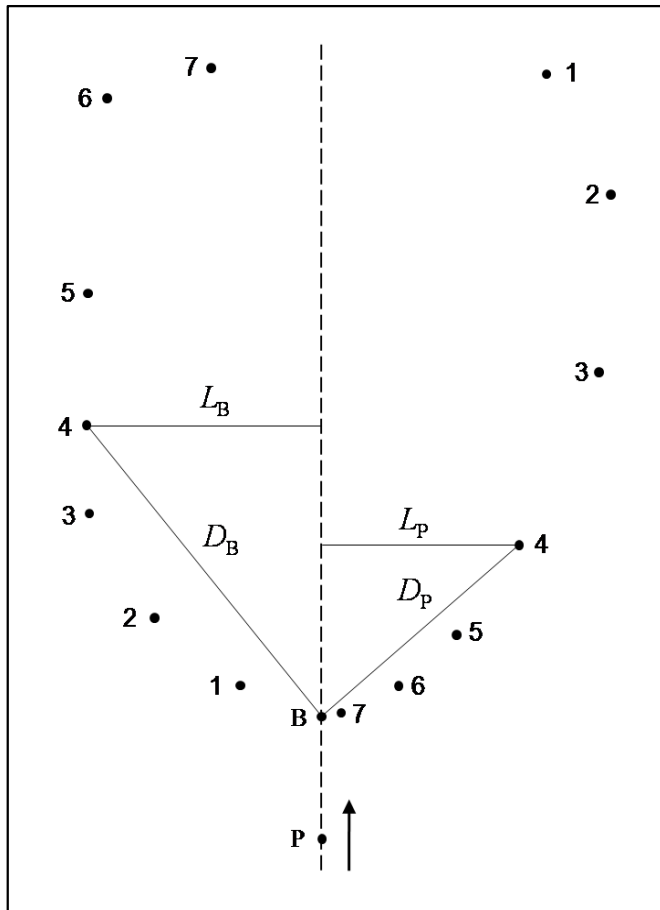
En las tres últimas columnas de la tabla debes usar tu calculadora para obtener los valores que se indican de x_i, y_i, z_i . Finalmente, obtendrás el promedio \bar{z} y error $\Delta\bar{z}$ de los $N=7$ valores de z_i y lo anotarás en el cuadro al final de esta página.

Las fórmulas que usarás son:

$$\bar{z} = \frac{\sum z_i}{N}$$

$$\Delta\bar{z} = \frac{1}{N} \sqrt{\sum (z_i - \bar{z})^2}$$

Promedio \bar{z} y error $\Delta\bar{z}$:



1. SOLUCIONES DEL EXAMEN DE TERCERO DE SECUNDARIA

1.1. Prueba teórica

1. El volumen final V de un cuerpo que se dilata por efecto de un incremento de temperatura ΔT a partir de un volumen inicial V_0 es $V = V_0(1 + \gamma\Delta T)$; en el caso del aluminio $\gamma = 3\alpha$ es su coeficiente de dilatación volumétrica. Luego, el incremento de volumen es $\Delta V = V - V_0 = V_0\gamma\Delta T$. Así, si suponemos que los volúmenes iniciales de aluminio y mercurio son iguales, el cociente de sus respectivos incrementos de volumen es

$$\Delta V_{Al}/\Delta V_{Hg} = 3\alpha/\gamma = 72 \times 10^{-6}/180 \times 10^{-6} < 1,$$

de donde concluimos que el mercurio se dilata más que el aluminio, es decir, se vuelve menos denso que el aluminio dilatado. Luego, por el principio de Arquímedes, se concluye que el cubito de aluminio se hunde más en el mercurio.

2. Dado que el polígono es un hexágono regular, se

cumple que $2\overline{PQ} = \overline{UR}$, $\overline{TS} = \overline{PQ}$. De los triángulos PRU y PST se tiene que $\overline{UP} + \overline{PR} = \overline{UR}$ y $\overline{TP} + \overline{PS} = \overline{TS}$, respectivamente. Luego,

$$\begin{aligned} & \overline{PR} + \overline{PS} + \overline{UP} + \overline{TP} \\ &= (\overline{UP} + \overline{PR}) + (\overline{TP} + \overline{PS}) \\ &= \overline{UR} + \overline{TS} = 2\overline{PQ} + \overline{PQ} = 3\overline{PQ}. \end{aligned}$$

3. \mathbf{R} se despeja como $\mathbf{R} = (\mathbf{B} + 4\mathbf{A})/2$. Sustituyendo valores:

$$\mathbf{R} = (4\mathbf{i} + 8\mathbf{j})/2 + 2(4\mathbf{i} - 8\mathbf{j}) = 10\mathbf{i} - 12\mathbf{j}.$$

4. El periodo de la onda es $T = 0.5$ s. Su frecuencia y velocidad son $f = 1/T = 2$ Hz y $v = 4.5/1.5 = 3$ m/s, respectivamente. Finalmente, su longitud de onda es $\lambda = v/f = 1.5$ m.

1.2. Prueba experimental

n° de colisión i	L_B	L_P	D_B	D_P	$x_i = \frac{D_B}{D_P}$	$y_i = \left(\frac{L_B}{L_P}\right)^2$	$z_i = \frac{x_i}{y_i}$
ejemplo	36	31	58	41	1.41	1.35	1.04
1	12	35	13	116	0.11	0.12	0.92
2	26	45	30	93	0.32	0.33	0.97
3	36	43	48	68	0.71	0.70	1.01
4	36	31	58	41	1.41	1.35	1.04
5	36	21	75	24	3.13	2.94	1.06
6	33	12	102	13	7.85	7.56	1.04
7	17	3	103	3	34.33	32.11	1.07

Promedio $\bar{z} = 1.02$. Error del promedio $\Delta\bar{z} = 0.02$.



11ª OLIMPIADA CIENTÍFICA ESTUDIANTIL PLURINACIONAL BOLIVIANA - ETAPA NACIONAL

26a OLIMPIADA BOLIVIANA DE FÍSICA
4to SECUNDARIA



LLENAR OBLIGATORIAMENTE TODOS LOS CAMPOS

APELLIDO PATERNO	APELLIDO MATERNO
NOMBRES	Nº CÉDULA DE IDENTIDAD
UNIDAD EDUCATIVA	DISTRITO EDUCATIVO

CÓDIGO DE PRUEBA **COPIA ESTE CÓDIGO EN TODAS TUS HOJAS (PREGUNTAS Y RESPUESTAS)**



CÓDIGO DE PRUEBA **NO USAR EL REVERSO DE LA HOJA**

DURACIÓN DE LA PRUEBA: 2 horas para la prueba teórica y 1 hora para la prueba experimental.
MATERIAL PERMITIDO: Regla graduada en mm, calculadora científica, hojas adicionales para cálculos. No se permite la consulta de textos, apuntes, formularios o consultas por internet.

PRUEBA TEÓRICA

1. Un cubito se desliza sobre un plano inclinado a 45° . El coeficiente de fricción estático entre el cubito y el plano es $\mu_s = 0.25$. Calcular los valores de la fuerza horizontal necesaria para mantener al cubito en reposo.
2. Calcule la aceleración centrípeta del planeta Tierra en su trayectoria alrededor del Sol. Para ello suponga que dicha trayectoria es circular. La distancia media entre el Sol y la Tierra es tal que a la luz le toma 8 minutos en recorrer esa distancia. La velocidad aproximada de la luz es 300.000 km/s.
3. Una piedra atada a una cuerda de 2 m gira como un péndulo cónico. Calcule el ángulo formado entre la cuerda y el eje de rotación vertical si la velocidad angular de la piedra es $\sqrt{10}$ rad/s.
4. Con el fin de encontrar la aceleración de un cuerpo, un estudiante mide la velocidad inicial v_i y la velocidad final v_f y determina la diferencia $v_f - v_i$. Los datos que obtiene en dos experimentos diferentes se muestran en la siguiente tabla (todos los errores son del 1%):

	v _i (m/s)	v _f (m/s)
Experimento 1	14.0	18.0
Experimento 2	19.0	19.6

- a) Calcular los errores absolutos de las cuatro mediciones
- b) Determinar $v_f - v_i$ y su error absoluto para cada experimento
- c) Calcular el error relativo y porcentual de los dos valores de $v_f - v_i$

(LA PRUEBA EXPERIMENTAL ES LA MISMA QUE LA DE 3RO. DE SECUNDARIA)

2. SOLUCIONES DEL EXAMEN DE CUARTO DE SECUNDARIA

2.1. Prueba teórica

1. El diagrama de cuerpo libre se muestra en la figura adjunta. \mathbf{F} es la fuerza horizontal aplicada para equilibrar al cubito. \mathbf{W} es el peso, $N = W \cos \phi + F \sin \phi$ es la magnitud de fuerza normal y $F_f = \mu_S N$ es la máxima magnitud de la fuerza de fricción. Cuando \mathbf{F} tiene un valor mínimo \mathbf{F}_{min} , el cubito tiende a deslizarse hacia abajo y \mathbf{F}_f está orientada hacia arriba del plano inclinado; cuando \mathbf{F} tiene un valor máximo \mathbf{F}_{max} , el cubito tiende a deslizarse hacia arriba y \mathbf{F}_f está orientada hacia abajo del plano inclinado (línea segmentada). La condición de equilibrio a lo largo del plano inclinado para el caso de \mathbf{F}_{min} es

$$W \sin \phi = F_{min} \cos \phi + \mu_S (W \cos \phi + F_{min} \sin \phi),$$

de donde se despeja

$$F_{min} = W \frac{\sin \phi - \mu_S \cos \phi}{\cos \phi + \mu_S \sin \phi}.$$

De manera similar, La condición de equilibrio a lo largo del plano inclinado para el caso de \mathbf{F}_{max} es

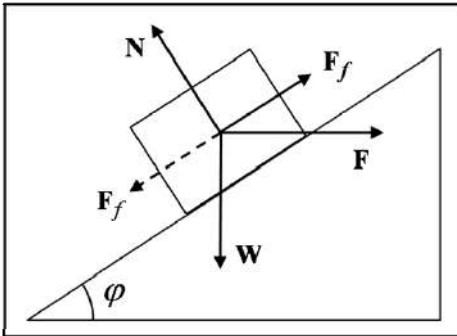
$$W \sin \phi + \mu_S (W \cos \phi + F_{max} \sin \phi) = F_{max} \cos \phi,$$

de donde se despeja

$$F_{max} = W \frac{\sin \phi + \mu_S \cos \phi}{\cos \phi - \mu_S \sin \phi}.$$

Sustituyendo $\mu_S = 0.25$ y $\phi = 45$, se tiene finalmente que los valores de la magnitud de \mathbf{F} varían en el intervalo $F_{min} < F < F_{max}$:

$$0.6W < F < 1.67W.$$



2. La expresión para la aceleración centrípeta es $a_c = v^2/r$, donde $v = 2\pi R/T$ es la velocidad media de la Tierra cuando su trayectoria anual ($T = 1$ año) se aproxima por una órbita circular de radio $R = ct$, que es la distancia que recorre la luz entre el Sol y la Tierra en un tiempo $t = 8$ min. Combinando las anteriores expresiones se tiene que $a_c = 4\pi^2 ct/T = 6 \times 10^3 \text{ m/s}^2$.
3. Definimos el eje Y como el eje de rotación vertical del péndulo; la piedra se encuentra sobre el eje X (perpendicular al eje Y) en algún instante, entonces para diferentes instantes consecutivos el eje X gira en torno al eje Y, por lo tanto la piedra está sujeta a una fuerza centrípeta tal que $F_x = ma_c$, donde F_x es la componente horizontal (perpendicular a Y) de la tensión T : $F_x = T \sin \theta$ y $a_c = \omega^2 R$, donde $R = L \sin \theta$ es la distancia de la piedra al eje Y y $L = 2$ m. A lo largo del eje Y la piedra está en equilibrio: $F_y = T \cos \theta - mg = 0$. Combinando las anteriores expresiones se obtiene $\cos \theta = g/(\omega^2 L)$, cuya evaluación numérica da $\theta = 60.66$.
4. Los errores relativo (ϵ_r) y absoluto (ϵ_a) se relacionan por $\epsilon_a = \bar{x}\epsilon_r$, donde \bar{x} es el valor medio. El error porcentual es $\epsilon_p = \epsilon_r \times 100\%$. Las soluciones están en la tabla de la figura adjunta.

		Exp. 1	Exp. 2
(a)	ϵ_{ai}	0.14	0.19
	ϵ_{af}	0.18	0.196
(b)	$v_f - v_i$	4.0	0.6
	ϵ_a	0.32	0.386
(c)	$v_f - v_i$	4.0	0.6
	ϵ_a	0.32	0.386
	ϵ_r	0.08	0.643
	ϵ_p	8 %	64.3 %

2.2. Prueba experimental

(La solución de la prueba experimental es la misma que la de 3ro. de secundaria).



11ª OLIMPIADA CIENTÍFICA ESTUDIANTIL PLURINACIONAL BOLIVIANA - ETAPA NACIONAL

26a OLIMPIADA BOLIVIANA DE FÍSICA
5to SECUNDARIA



LLENAR OBLIGATORIAMENTE TODOS LOS CAMPOS

APELLIDO PATERNO										APELLIDO MATERNO																			
NOMBRES										Nº CÉDULA DE IDENTIDAD										DEPARTAMENTO									
UNIDAD EDUCATIVA										DISTRITO EDUCATIVO																			

CÓDIGO DE PRUEBA

COPIA ESTE CÓDIGO EN TODAS TUS HOJAS (PREGUNTAS Y RESPUESTAS)



CÓDIGO DE PRUEBA

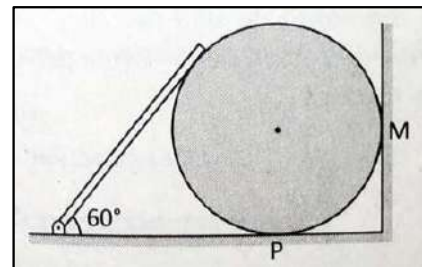
NO USAR EL REVERSO DE LA HOJA

DURACIÓN DE LA PRUEBA: 2 horas para la prueba teórica y 1 hora para la prueba experimental.
MATERIAL PERMITIDO: Regla graduada en mm, transportador, calculadora científica, hojas adicionales para cálculos. No se permite la consulta de textos, apuntes, formularios o consultas por internet.

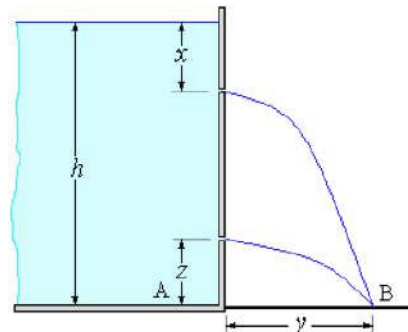
PRUEBA TEÓRICA

- Una pelota de fútbol tiene una masa de 0.40 kg e inicialmente se mueve hacia la izquierda a 20 m/s, luego se patea y adquiere una velocidad con magnitud de 30 m/s y dirección de 45° hacia arriba y a la derecha. Calcule el impulso de la fuerza neta y la fuerza neta media, suponiendo que el choque dura 0.01 s.
- Una bala de 10 g se dispara horizontalmente con una rapidez de 200 m/s contra un bloque de 90 g que está inicialmente en reposo. Después de la colisión la bala queda incrustada en el bloque y éste se desliza sobre una superficie plana; la fuerza de fricción sobre el bloque es 10 N. Calcule la distancia que recorre el bloque.

- Considere una esfera sólida de 10 kg apoyada en los puntos P y M. Sobre la esfera reposa una barra homogénea de 20 kg (figura adjunta). Determine el cociente de las reacciones en el piso y en la pared (todas las superficies son lisas).



- En la pared vertical de un depósito de agua de altura h hay dos pequeños orificios (figura adjunta). Uno está a la distancia x debajo de la superficie, y el otro está a una altura z sobre el fondo. Los chorros de agua se encuentran en el mismo punto (B). Determine si $x > z$, $x < z$ o $x = z$.



PRUEBA EXPERIMENTAL

Colisión de dos cuerpos sobre una superficie plana con fricción

Dos cuerpos idénticos puntuales chocan sobre una superficie plana horizontal. El proyectil (P) se impulsa con una velocidad inicial y choca contra el blanco (B) en reposo. Después de la colisión (B) se dispersa hacia el lado izquierdo del plano y (P) se dispersa hacia el lado derecho, deteniéndose cada cuerpo por la fricción en las posiciones indicadas por los puntos; cada par de puntos correspondientes a cada colisión se indican por los mismos números. En el gráfico se muestra los resultados de 7 colisiones; debes medir los ángulos (en grados) de cada par de puntos con respecto a la línea segmentada, así como sus distancias (en mm) con respecto a (B). Estas mediciones las anotarás en las primeras cuatro columnas de la tabla a continuación. A manera de ejemplo se incluye en la tabla y en el gráfico el caso de la colisión $i = 4$. A manera de ejemplo se incluye en la tabla y en el gráfico un caso de datos (que pueden variar según la escala con la que se imprima el gráfico).

n° de colisión i	ángulo de B (φ_B)	ángulo de P (φ_P)	distancia de B (D_B)	distancia de P (D_P)	$x_i = \log\left(\frac{D_B}{D_P}\right)$	$y_i = \log\left(\frac{\sin \varphi_P}{\sin \varphi_B}\right)$
ejemplo	40°	50°	54	42	0.15	0.08
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						

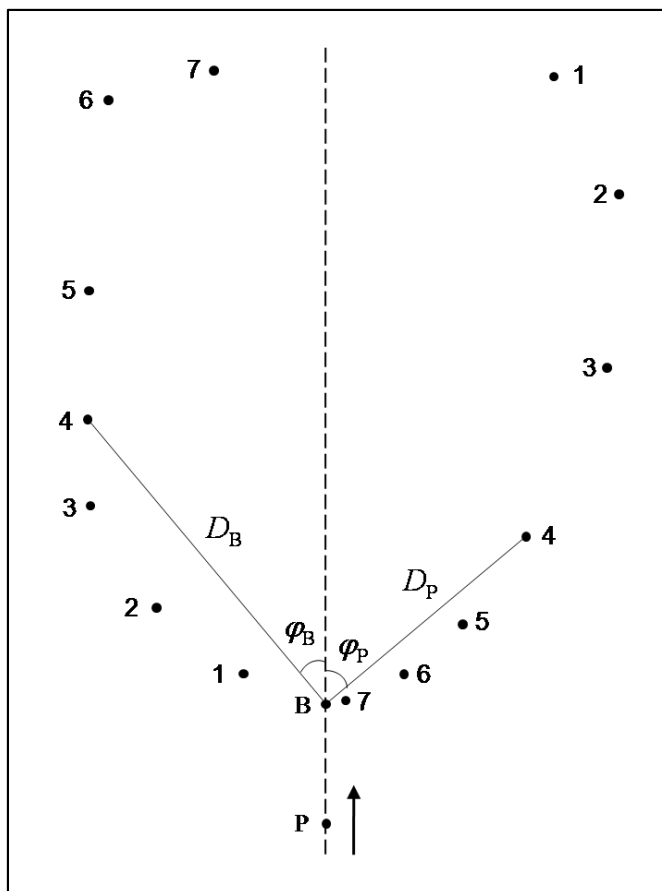
En las dos últimas columnas de la tabla debes realizar los cálculos que se indican para obtener los valores de x_i, y_i . Luego debes realizar en tu calculadora una interpolación lineal con los $N = 7$ valores de (x_i, y_i) calculados en la tabla. Finalmente, debes obtener la pendiente m de la recta $y(x) = mx + b$ y anotar tu resultado al final de esta página.

Las fórmulas involucradas en este cálculo son:

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

$$b = \frac{\sum y_i - m \sum x_i}{N}$$

Puedes usarlas directamente en el caso de que tu calculadora no contenga la función de interpolación lineal (conocida también como ajuste o regresión lineal).



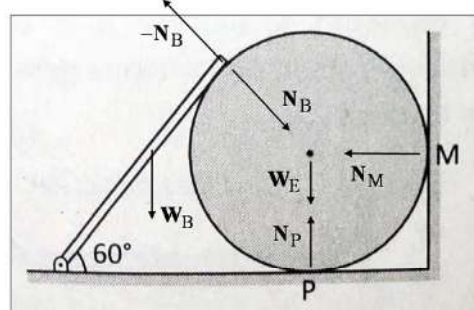
Pendiente de la recta $y(x)$:

3. SOLUCIONES DE QUINTO DE SECUNDARIA

3.1. Prueba teórica

- El impulso $\Delta \mathbf{p} = \mathbf{p}_f - \mathbf{p}_0$ es la variación del momentum lineal. Las componentes de las velocidades inicial y final son: $v_{x0} = -20$ m/s, $v_{y0} = 0$ m/s, $v_{xf} = v_{yf} = 30 \cos 45 = 21.2$ m/s. Luego, las componentes de $\Delta \mathbf{p}$ son: $\Delta p_x = p_{xf} - p_{x0} = m(v_{xf} - v_{x0}) = 16.5$ kg m/s, $\Delta p_y = p_{yf} - p_{y0} = m(v_{yf} - v_{y0}) = 8.5$ kg m/s. La magnitud de $\Delta \mathbf{p}$ es $\Delta p = \sqrt{\Delta p_x^2 + \Delta p_y^2} = 18.56$ kg m/s. La magnitud de la fuerza media es $F = \Delta p / \Delta t = 1856$ N.
- La colisión entre la bala (b) y el bloque (B) es inelástica pues se pierde energía por fricción, pero las fuerzas de fricción son internas y se cancelan vectorialmente, por lo que se conserva el momentum total. Así: $m_b v_b = (m_b + m_B) v_f$, de donde se evalúa la velocidad final del bloque con la bala incrustada: $v_f = 20$ m/s. Por otra parte, por el teorema de trabajo-energía, la energía cinética inicial del bloque con la bala incrustada se pierde totalmente por fricción después de recorrer una distancia D : $(m_b + m_B) v_f^2 / 2 = F_f D$, de donde se evalúa la distancia $D = 20$ m.
- Ya que las superficies son lisas, las fuerzas que actúan sobre la esfera ($\mathbf{W}_E, \mathbf{N}_B, \mathbf{N}_M, \mathbf{N}_P$) convergen en el centro de tal forma que la condición de equilibrio se expresa por las ecuaciones escalares $W_E + N_B \cos 60 = N_P$ y $N_B \sin 60 = N_M$. Asimismo, ya que la barra de longitud L está en equilibrio, las fuerzas que provocan el torque nulo con respec-

to al pivote del piso son \mathbf{W}_B y \mathbf{N}_B , de tal forma que $(W_B \cos 60/2 - N_B)L = 0$. No se incluye la fuerza de reacción del pivote sobre la barra pues no se necesita. Combinando las expresiones anteriores se encuentra que $N_P/N_M = (8W_E/W_B + 1)/\sqrt{3} = 5/\sqrt{3} = 2.87$.



- Si v_1 es la velocidad de salida del fluido por el orificio superior y t_1 es el tiempo que tarda un elemento del fluido en alcanzar el punto B, entonces $y = v_1 t_1$. Luego, por la ley de Torricelli, $v_1 = \sqrt{2gx}$. Así, ya que $h - x = gt_1^2/2$, entonces $h - x = gy^2/(2v_1^2) = y^2/(4x)$. De manera similar, para el orificio inferior se tiene: $y = v_2 t_2$, $v_2 = \sqrt{2g(h - z)}$, $z = gt_2^2/2$, así que $z = gy^2/(2v_2^2) = y^2/(4(h - z))$. Combinando las anteriores expresiones se tiene finalmente que $x(h - x) = z(h - z)$, de donde $x = z$.

3.2. Prueba experimental

n° de colisión i	ángulo de B (φ_B)	ángulo de P (φ_P)	distancia de B (D_B)	distancia de P (D_P)	$x_i = \log \left(\frac{D_B}{D_P} \right)$	$y_i = \log \left(\frac{\sin \varphi_P}{\sin \varphi_B} \right)$
ejemplo	40°	50°	54	42	0.15	0.08
1	69°	20°	14	108	-0.89	-0.44
2	60°	30°	31	95	-0.49	-0.24
3	50°	40°	49	71	-0.16	-0.08
4	40°	50°	60	42	0.15	0.08
5	30°	60°	77	25	0.49	0.24
6	20°	69°	104	14	0.87	0.44
7	10°	78°	104	3	1.54	0.75

Pendiente de la recta $y(x)$: 0.49.

**EXAMEN DE PRESELECCION
OLIMPIADA IBEROAMERICANA DE FISICA 2023**

Nombre:..... **C.I.:**.....

1. Un péndulo simple oscila con un periodo $T = 2\pi\sqrt{L/g}$, donde L es la longitud y g es la aceleración de la gravedad. Se realizó un experimento en el que se midió la longitud $L = 1.043 \pm 0.001$ m y el tiempo de 5 oscilaciones completas (14 veces): 10.49 s, 10.45 s, 10.75 s, 10.46 s, 10.61 s, 10.67 s, 10.22 s, 10.11 s, 10.26 s, 9.89 s, 10.75 s, 10.60 s, 10.45 s, 10.29 s.
 - a) Calcular el valor promedio, la desviación estándar y el error estadístico de la serie de datos reportada.
 - b) La apreciación del instrumento con la que se midió el tiempo de estas 5 oscilaciones es 0.01 s. De acuerdo a los cálculos realizados en (a) escribir el resultado final del tiempo de las 5 oscilaciones.
 - c) Del resultado obtenido en (b) y aplicando propagación de errores, calcular el periodo T de cada oscilación con su respectivo error.
 - d) Con el valor del periodo T , la longitud L y aplicando propagación de errores, calcular el valor de la aceleración de la gravedad con su respectivo error.

2. Dos barras se cruzan formando un ángulo 2α (ver Fig. 2) y se mueven con velocidades iguales v perpendiculares a sí mismas. ¿Cuál será la velocidad del punto de cruce de las barras?

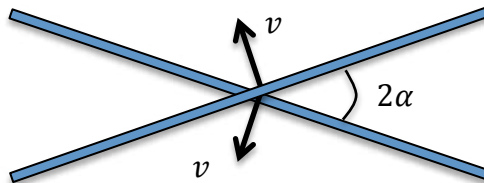


Fig. 2. Problema 2

3. Sobre una cuña, cuyo plano forma un ángulo α con la horizontal, colocaron el cuerpo A (ver Fig. 3). Calcule la aceleración horizontal de la cuña para que el cuerpo A caiga libremente en dirección vertical hacia abajo.

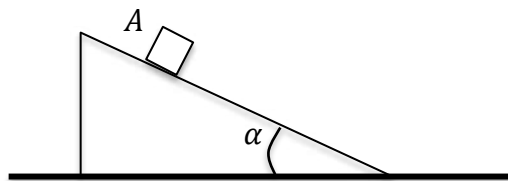


Fig. 3. Problema 3

4. Una bobina que consta de un eje cilíndrico y dos discos iguales rueda sin deslizarse con velocidad constante v sobre una tabla horizontal (ver Fig. 4). Los radios del eje y de los discos son r y $R > r$, respectivamente. ¿Qué velocidades tienen los puntos A y B que se encuentran sobre la circunferencia de uno de los discos?

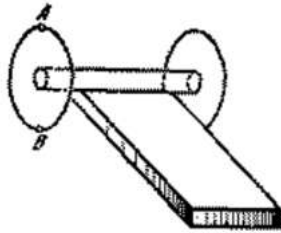


Fig. 4. Problema 4

5. En un cilindro macizo de masa m se enrolla una cuerda con masa despreciable (ver Fig. 5). Calcular la fuerza mínima F y el ángulo α con los que se debe jalar la cuerda para que el cilindro, girando, se mantenga en su lugar. Considere el coeficiente de fricción entre el cilindro y la superficie horizontal igual a μ .

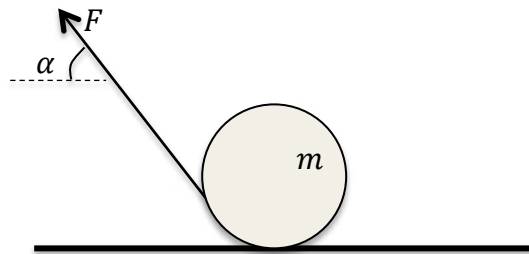


Fig. 5. Problema 5

6. Dos condensadores planos con capacitancias C_1 y C_2 están cargados con voltajes V_1 y V_2 , respectivamente ($V_1 \neq V_2$). Luego se conectan estos condensadores en paralelo. Calcule si la energía final del sistema aumentará, disminuirá o se mantendrá constante.
7. Considere un sistema masa-resorte en una dimensión que oscila con una amplitud x_0 . Calcule el cociente de los tiempos que le toma al oscilador recorrer una pequeña distancia Δx cuando éste se encuentra a una distancia x de la posición de equilibrio y cuando x es muy pequeña.
8. Se mezcla en un recipiente 10 g de hielo a -20°C con 50 g de agua a 80°C . La temperatura final de la mezcla es 51.6°C . Calcule el calor latente de solidificación del agua.
9. Un automóvil recorre una distancia D a velocidad $v > 0$ constante y luego frena con una aceleración $a < 0$ hasta detenerse. Calcule el valor de v necesario para que el tiempo total de movimiento del automóvil sea mínimo.
10. Se lanza una piedra con una velocidad v y un ángulo φ (respecto a la horizontal). ¿En cuánto tiempo la velocidad formará un ángulo $\alpha < \varphi$?
11. Dos cuerpos de masas m_1 y m_2 yacen sobre una superficie horizontal sin fricción y están unidos por un hilo que soporta una tensión máxima T . Si a los

cuerpos se les aplica fuerzas dependientes del tiempo $F_1 = at$ y $F_2 = 2at$, respectivamente y en sentidos opuestos, calcule el instante en que el hilo se romperá.

12. Un automóvil con velocidad inicial v sube por la ladera cubierta de hielo de una montaña. Si la inclinación de la ladera con respecto a la horizontal es α , tal que el coeficiente cinético de fricción entre las llantas y la ladera es menor que $\tan \alpha$, calcule hasta qué altura llegará el automóvil (con respecto al lugar donde inició el ascenso).
13. Un cubo de madera de arista 0.5 m flota en un lago de tal manera que $2/3$ de su volumen están sumergidos. Calcule el trabajo necesario para hundir la totalidad del cubo.
14. Tres partículas con cargas eléctricas q_1 , q_2 y q_3 están unidas por dos hilos de longitud L a lo largo de una recta. Calcule las tensiones de los hilos.
15. Considere una sucesión infinita de cargas eléctricas puntuales con valores alternados $\pm Q$, alineadas sobre una recta y separadas entre sí por una distancia mínima D . Si alguna de estas cargas se extrae de la sucesión, calcule el valor del potencial eléctrico en el sitio donde estaba la carga.

4. SOLUCIONES DEL EXAMEN DE PRESELECCIÓN PARA LA OLIMPIADA IBEROAMERICANA DE FÍSICA 2023

1. a) Aplicando las fórmulas conocidas para el tratamiento estadístico de datos, para 5 oscilaciones se obtiene: promedio, $\bar{t} = 10.428571$ s; desviación estándar: $\sigma = 0.241360937$ s; error estadístico, $\epsilon = 0.064506$ s.
- b) El tiempo reportado de 5 oscilaciones considerando la apreciación del instrumento es $t = \bar{t} \pm \epsilon = 10.429 \pm 0.065$ s.
- c) El periodo para una oscilación es $T = t/5 = 2.086 \pm 0.013$ s.
- d) El periodo es $T = 2\pi\sqrt{L/g}$, de donde se despeja la aceleración de la gravedad, $g = 4\pi^2 L/T^2$. Por propagación de errores de tiene que:

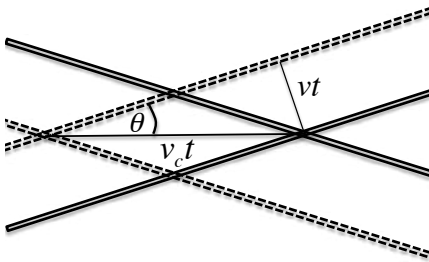
$$\Delta g = \frac{4\pi^2}{T^2} \Delta L + \frac{8\pi^2 L}{T^3} \Delta T = g \frac{\Delta L}{L} + 2g \frac{\Delta T}{T}$$

$$= 9.463 \left(\frac{0.001}{1.043} + 2 \frac{0.013}{2.086} \right) = 0.127 \text{ s.}$$

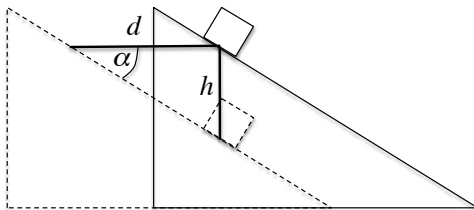
Luego, el valor experimental de la aceleración de la gravedad se reporta finalmente como

$$g = (9.46 \pm 0.13) \text{ m/s}^2.$$

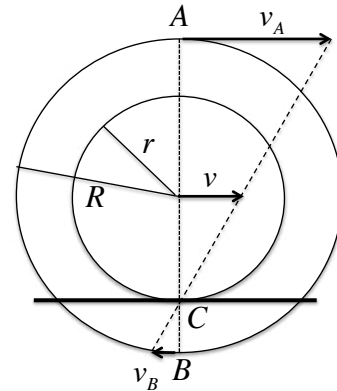
2. Sea t un instante posterior al instante inicial y v_c la velocidad del punto de cruce de las barras (ver figura adjunta). Luego, del triángulo formado se tiene que $\sin \theta = vt/(v_c t)$, o bien, $v_c = v/\sin \theta$.



3. Consideremos un instante t posterior al inicio del movimiento: el cuerpo A en caída libre recorre la distancia $h = gt^2/2$. Durante el mismo intervalo de tiempo, la cuña con aceleración a se desplaza horizontalmente la distancia $d = at^2/2$. Para que el cuerpo A caiga libremente en la dirección vertical estando en contacto todo el tiempo con la cuña, necesariamente se cumple $\tan \alpha = h/d$, o bien, $a = g \cot \alpha$.

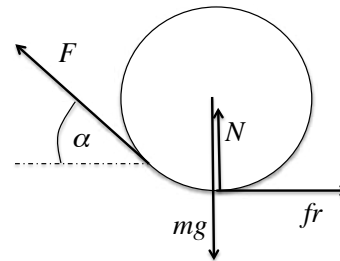


4. La vista lateral de la bobina es:



Como la bobina rueda sin deslizar, por el punto C pasa el eje instantáneo de rotación, así, el punto A tiene una velocidad $v_A = v(R+r)/r$ y la velocidad del punto B es $v_B = v(R-r)/r$.

5. Las fuerzas que actúan sobre el cilindro son:



Como el cilindro no tiene movimiento de traslación, de la segunda ley de Newton se tiene:

$$fr - F \cos \alpha = 0,$$

$$F \sin \alpha + N - mg = 0.$$

Además, la fuerza de rozamiento cinético entre la superficie y el cilindro está dada por

$$fr = \mu N.$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones para F , se tiene:

$$F = \frac{\mu mg}{\cos \alpha + \mu \sin \alpha} = \frac{\mu mg}{A \cos(\alpha - \theta)},$$

donde $A = \sqrt{1 + \mu^2}$ y $\theta = \tan^{-1} \mu$. Por lo tanto, la fuerza mínima con que se debe jalar de la cuerda es $F_{\min} = \mu mg / \sqrt{1 + \mu^2}$.

6. La energía total de los condensadores antes de conectarlos en paralelo es $U_0 = (C_1 V_1^2 + C_2 V_2^2) / 2$. Después de la conexión la capacitancia equivalente es $C_{\text{eq}} = C_1 + C_2$; este condensador equivalente tiene una la carga total $C_1 V_1 + C_2 V_2$. Luego, la energía total después de la conexión será

$U_f = (C_1V_1 + C_2V_2)^2 / (2(C_1 + C_2))$. La diferencia de energías es

$$U_0 - U_f = \frac{C_1C_2}{2(C_1 + C_2)}(V_1 - V_2)^2 > 0.$$

Luego, vemos que la energía eléctrica total del sistema disminuye. Esto se debe a que no se tomó en cuenta la energía disipada en forma de calor cuando la carga eléctrica se transmite entre los condensadores a través de los hilos.

7. Sean $\Delta x/\Delta t$ y $\Delta x/\Delta t'$ las aproximaciones para las velocidades del cuerpo cuando éste se halla lejos y cerca, respectivamente, de la posición de equilibrio ($x = 0$). Por conservación de la energía se tiene que

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}Kx_0^2 &= \frac{1}{2}Kx^2 + \frac{1}{2}m\left(\frac{\Delta x}{\Delta t}\right)^2, \\ &\cong 0 + \frac{1}{2}m\left(\frac{\Delta x}{\Delta t'}\right)^2, \end{aligned}$$

de donde se despejan

$$\begin{aligned} \Delta x/\Delta t &= \sqrt{K(x_0^2 - x^2)/m}, \\ \Delta x/\Delta t' &= \sqrt{Kx_0^2/m}. \end{aligned}$$

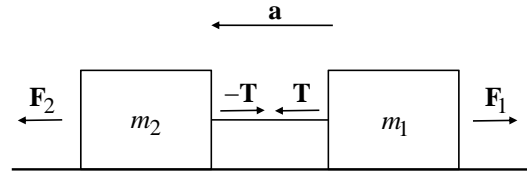
Combinando las anteriores se obtiene

$$\frac{\Delta t}{\Delta t'} = \frac{x_0}{\sqrt{x_0^2 - x^2}}.$$

8. La cantidad de calor transferida para que un cuerpo de masa m gramos cambie su temperatura en ΔT grados centígrados es $Q = mc\Delta T$ calorías, donde c es el calor específico del cuerpo. Para el agua, $c_a = 1$ cal/(g °C), y para el hielo podemos aproximar $c_h \cong 0.5$ cal/(g °C). Así, la masa $m_1 = 50$ g de agua a 80 °C se enfría hasta 51.6 °C, cediendo entonces $Q_1 = 50 \times (80 - 51.6) = 1420$ cal que absorberá la masa $m_2 = 10$ g, inicialmente de hielo, para que eleve su temperatura hasta 0 °C, se funda a 0 °C y luego, ya en estado líquido, alcance 51.6 °C. Esto es: $Q_1 = Q_2 + m_2L + Q_3$, donde $Q_2 = m_2c_h\Delta T = 10 \times 0.5 \times (0 - (-20)) = 100$ cal, y $Q_3 = m_2c_a\Delta T = 10 \times 1 \times (51.6 - 0) = 516$ cal. De aquí se despeja el calor latente de fusión del hielo, $L = (1420 - 100 - 516)/10 \cong 80$ cal/g, que es igual al calor latente de solidificación del agua.
9. Sean t_1 y t_2 los tiempos durante los cuales el automóvil avanza con velocidad constante y frena, respectivamente. Luego, el tiempo total hasta detenerse es $T = t_1 + t_2$. Ya que $vt_1 = D$ y $v - |a|t_2 = 0$, entonces $T = D/v + v/|a|$. El valor mínimo de T se halla estableciendo que $dT/dv = -D/v^2 + 1/|a| = 0$, de donde se despeja $v = \sqrt{D|a|}$.
10. Como en todo tiro parabólico, las componentes horizontal y vertical de la velocidad son $v_x(t) =$

$v_0 \cos \phi$ y $v_y(t) = v_0 \sin \phi - gt$. El ángulo α que forma $\mathbf{v}(t)$ con la horizontal se determina por $v_y/v_x = \tan \alpha$, de donde se despeja $t = (v_0/g)(\sin \phi - \cos \phi \tan \alpha)$.

11. Las magnitudes de \mathbf{F}_1 y \mathbf{F}_2 son $F_1 = \alpha t$ y $F_2 = 2\alpha t$.



Del diagrama de cuerpo libre se tiene que:

$$\begin{aligned} 2\alpha t - T &= m_2a, \\ T - \alpha t &= m_1a, \end{aligned}$$

de donde se despeja la magnitud de la aceleración:

$$a = 2\alpha m_1t - m_1T = m_2T - \alpha m_2t.$$

Luego, cuando la magnitud de la tensión T alcanza su valor máximo, el tiempo es

$$t = \left(\frac{m_1 + m_2}{2m_1 + m_2}\right) \frac{T}{\alpha}.$$

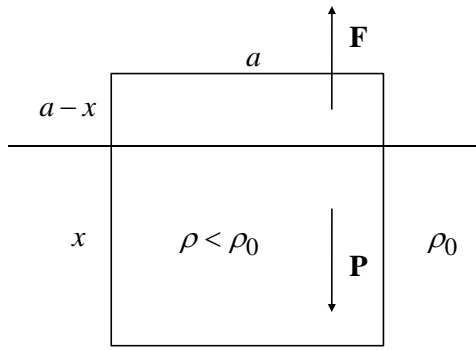
12. Ya que el coeficiente de fricción μ_k es menor que $\tan \alpha$ entonces se sabe que el automóvil resbalará sobre la ladera y que la componente del peso hacia abajo es mayor que la fuerza de fricción hacia arriba, entonces el automóvil ascenderá sólo hasta cierta altura, se detendrá y luego resbalará hacia abajo. Así, éste es un movimiento acelerado rectilíneo (tomamos la dirección positiva hacia arriba de la ladera) cuyas ecuaciones son:

$$\begin{aligned} D &= v_0T - aT^2/2, \\ v_0 &= aT, \end{aligned}$$

donde D es la distancia que el automóvil avanza hacia arriba hasta detenerse después de un tiempo T . La aceleración dirigida hacia abajo es $a = g \sin \alpha - \mu_k g \cos \alpha$. La altura H es la proyección vertical de la distancia D , $H = D \sin \alpha$. Combinando las expresiones anteriores se obtiene

$$H = \frac{v_0^2/2g}{1 - \mu_k \cot \alpha}.$$

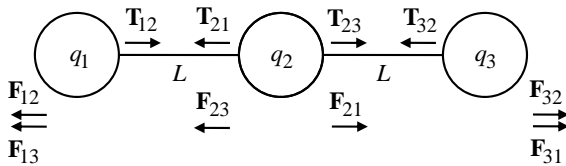
13. En equilibrio, cuando $x = x_0$, se cumple $\mathbf{F} + \mathbf{P} = 0$. Si $x > x_0$, entonces las magnitudes de \mathbf{F} y \mathbf{P} satisfacen $F > P$ con $F = a^2x\rho_0g$ y $P = a^3\rho_0g$. Evaluando esta última relación en equilibrio, $F = P$, se obtiene $3\rho = 2\rho_0$.



Así, para hundir el cubo, el valor de x debe variar de x_0 hasta a . Luego, de la definición de trabajo, se tiene que

$$\begin{aligned} W &= \int_{x_0}^a (F - P) dx \\ &= \int_{x_0}^a (a^2 x \rho_0 g - a^3 \rho g) dx \\ &= \frac{a^4 g \rho_0}{18} = 34.06 \text{ J.} \end{aligned}$$

14. Ya que todas las fuerzas electrostáticas \mathbf{F}_{ij} y tensiones \mathbf{T}_{ij} son recíprocas con magnitudes iguales y sentidos opuestos, se cumple $\mathbf{F}_{ij} = -\mathbf{F}_{ji}$ y $\mathbf{T}_{ij} = -\mathbf{T}_{ji}$ ($i, j = 1, 2, 3$). Para que el sistema esté en equilibrio es necesario que las cargas sean positivas.



Del diagrama de cuerpo libre para cada carga se tiene las relaciones para las magnitudes de las fuerzas electrostáticas:

$$\begin{aligned} F_{12} &= F_{21} = \frac{Kq_1q_2}{L^2}, \\ F_{13} &= F_{31} = \frac{Kq_1q_3}{4L^2}, \\ F_{23} &= F_{32} = \frac{Kq_2q_3}{L^2}. \end{aligned}$$

Luego, las tensiones son:

$$\begin{aligned} T_{12} &= F_{12} + F_{13} = \frac{Kq_1q_2}{L^2} + \frac{Kq_1q_3}{4L^2} = \frac{Kq_1}{4L^2}(4q_2 + q_3), \\ T_{23} &= F_{13} + F_{23} = \frac{Kq_1q_3}{4L^2} + \frac{Kq_2q_3}{L^2} = \frac{Kq_3}{4L^2}(4q_2 + q_1). \end{aligned}$$

15. La distribución de cargas en torno al sitio de donde se extrae una carga (de cualquier signo) es simétrica en torno a ese sitio, sólo varía el signo del potencial total de la distribución sobre el sitio: $+|V|$ si la carga extraída es negativa y $-|V|$ si la carga extraída es positiva. Luego, de la definición del potencial de una carga puntual $Q > 0$:

$$\begin{aligned} \pm \frac{|V|}{2} &= \frac{KQ}{d} - \frac{KQ}{2d} + \frac{KQ}{3d} - \frac{KQ}{4d} + \dots, \\ \pm \frac{|V|d}{2KQ} &= 1 - \frac{1}{2} + \frac{1}{3} - \frac{1}{4} + \dots = \ln 2, \\ \pm |V| &= \frac{2KQ}{d} \ln 2. \end{aligned}$$

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses respecto a la publicación de este documento.

REVISTA BOLIVIANA DE FÍSICA

COMITÉ EDITORIAL

Sociedad Boliviana de Física

Lic. Alfonso Velarde Chávez

Email: alfonso.velarde@gmail.com

Instituto de Investigaciones Físicas

Dr. Wilfredo Tavera Llanos

Email: witavera@fiumsa.edu.bo

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.
- 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

La Revista Boliviana de Física recibe trabajos escritos en castellano, inglés o portugués y deben contar con un resumen en castellano y su correspondiente traducción en inglés.

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.

CONTENIDO

EDITORIAL *Editor* 1

A. ARTÍCULOS

BOLIVIAN/U.S STUDENT ATMOSPHERIC FIELD CAMPAIGN IN
THE BOLIVIAN ANDES *David N. Whiteman et al.* 3

UN ESTUDIO EXPERIMENTAL DE PROPIEDADES FÍSICAS
DE SAPONINAS Y SU INTERACCIÓN CON UN MODELO DE
MEMBRANA DE BACTERIAS GRAM-NEGATIVAS EMPLEANDO
PELÍCULAS LANGMUIR-BLODGETT Y MICROSCOPIA DE FUER-
ZA ATÓMICA *César M. Cornejo Mejía et al.* 12

DEPROJECTION METHOD AND ARMS STRUCTURE OF SPIRAL
GALAXIES. RESULTS FOR NGC 4939, NGC 5247 AND NGC 157
Deterlino Urzagasti 22

D. ENSEÑANZA DE LA FÍSICA

11ra OLIMPIADA CIENTÍFICA ESTUDIANTIL PLURINACIONAL
BOLIVIANA – ETAPA NACIONAL. 27ma OLIMPIADA BOLIVIA-
NA DE FÍSICA – EXAMEN DE PRESELECCIÓN PARA LA XXVIII
OLIMPIADA IBEROAMERICANA DE FÍSICA *Mamani E. et al.* 29