



Universidad Nacional de Salta

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS

Avda. Bolivia 5150 – 4400 SALTA
REPUBLICA ARGENTINA

SALTA, 27 de Agosto de 2008

Expediente N° 8.311/07

RES. C.D. N° 346/08

VISTO:

La presentación efectuada por el representante de la Comisión de Enlace, Mag. Fernando Tilca, en el marco del Protocolo de Acuerdo suscripto entre la Universidad Nacional de Salta y la Universidad Nacional de la Patagonia "San Juan Bosco", solicitando la aprobación del programa de la asignatura "ENERGÍA GEOTÉRMICA", para la Carrera de Maestría en Energías Renovables - Plan 1998;

CONSIDERANDO:

Que se cuenta con el V° B° del Comité Académico de la Maestría en Energías Renovables (fs. 184);

Que Comisión de Docencia e Investigación a fs. 184 vta., aconseja aprobar el programa propuesto;

POR ELLO y en uso de las atribuciones que le son propias;

EL CONSEJO DIRECTIVO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS

(En su sesión ordinaria del día 13/08/08)

R E S U E L V E:

ARTÍCULO 1°: Aprobar el programa de la asignatura "ENERGÍA GEOTÉRMICA", para la Carrera de Maestría en Energías Renovables - Plan 1998, que como Anexo I forma parte de la presente resolución.

ARTÍCULO 2°: Hágase saber a la Dra. Beatriz Coira, Dra. Cristina Pomposiello, Dra. Cristina Dapeña, Dr. Héctor O. Panarello y Dra. Graciela Lesino, a la Comisión de Enlace (Mag. Fernando Tilca), al Comité Académico de la Maestría en Energías Renovables, al Departamento Administrativo de Posgrado, al Departamento Archivo y Digesto y a la Universidad Nacional de la Patagonia "San Juan Bosco" (Dra. Adriana Nillni). Cumplido, ARCHÍVESE.

mxs


Dr. JORGE FERNANDO YAZLLL
SECRETARIO ACADEMICO
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS




Ing. NORBERTO ALEJANDRO BONINI
DECANO
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS



Universidad Nacional de Salta

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS

Avda. Bolivia 5150 – 4400 SALTA

REPUBLICA ARGENTINA

ANEXO I – RES. CD N° 346/08 – Expediente 8311/07

Asignatura: ENERGÍA GEOTÉRMICA

Carrera: Maestría en Energías Renovables - Plan 1998 (Convenio con la Universidad Nacional de la Patagonia “San Juan Bosco”).

Docente Responsable: Dra. Beatriz Coira

Docentes que dictan clases: Dra Cristina Pom posiello, Dra Cristina Dapeña, Dr Hector O. Panarello, Dra Graciela Lesino, Dra Beatriz Coira

Objetivos: El objetivo central del curso es introducir a los profesionales en el conocimiento de los recursos geotérmicos, su naturaleza, tipologías, así como en la prospección, evaluación y aplicación de los mismos en un marco de sustentabilidad ambiental. Este objetivo será alcanzado tras el logro, a lo largo del módulo, de varios objetivos particulares que contemplan :

- Comprender la naturaleza y origen de los sistemas geotermiales.
- Analizar los componentes de un campo geotérmico y el rol de los mismos.
- Conocer y evaluar los métodos de prospección y exploración de los recursos geotérmicos.
- Manejar pautas de evaluación del potencial de un campo geotérmico.
- Conocer los campos de aplicación de los recursos geotermiales y estar en condiciones de ponderar su adecuación y conveniencia a las necesidades regionales.

Cantidad de Horas: 40 (cuarenta)

Dirigido a: Graduados universitarios. Se aceptan alumnos a punto de graduarse, en cuyo caso la certificación de curso de postgrado la emitirá la Universidad Nacional de la Patagonia (UNP).

Evaluación: Con evaluación final (a distancia).

Programa Analítico:

I- Energía geotérmica. Flujo de calor. Gradiente geotérmico. Anomalías geotérmicas. Dinámica litosférica y la geotermia de alta y baja entalpía. Campos geotérmicos. Sus variables. Sistemas geotermiales. Tipos. Sistemas geotermiales convectivos. Sistemas geotermiales conductivos. Sistemas geotermiales de alta y baja entalpía, vapor dominante, vapor húmedo, agua caliente dominante.

II- Hidrogeología. Conceptos Básicos y Definiciones. Situación y movimiento del agua en la hidrosfera. El ciclo hidrológico: conceptos y componentes. Precipitación. Evaporación, transpiración y evapotranspiración real y potencial. Infiltración. Escurrimiento superficial e hipodérmico. Escurrimiento subterráneo. Métodos de medición. El agua en la superficie. Ciclo del escurrimiento. Concepto de Cuenca. El agua en el suelo. Distribución vertical del agua en el suelo: zona no saturada y saturada. El agua en el subsuelo. Propiedades de los sedimentos portadores (porosidad, retención específica). Permeabilidad. Transmisividad. Concepto de acuífero. Tipos de acuífero. Relación aguas superficiales/aguas subterráneas Balance hidrológico. Definición y Fórmula. Movimiento del agua subterránea: nociones generales de hidrodinámica. Ley de Darcy. Parámetros hidrológicos fundamentales. Porosidad. Permeabilidad Transmisividad. Almacenamiento. Ensayos de Bombeo. Perforaciones. Registros de pozos. Protección de pozos. Principios de modelación de aguas superficiales y subterráneas. Hidrogeología Ambiental. Calidad de aguas e hidrogeoquímica. Contaminación y orígenes de la contaminación. Tipos de fuentes contaminantes. Dispersión de los contaminantes en acuíferos. Detección de la contaminación. Elementos para evaluar el riesgo de contaminación. Vulnerabilidad. Provincias y Regiones hidrogeológicas: Conceptos. Regiones Hidrogeológicas de Argentina.



ANEXO I - RES. CD N° 346/08 - Expediente 8311/07

III- Hidroquímica. Procesos de mineralización del agua. Procesos de mineralización a temperaturas existentes en los campos geotérmicos. Entalpía de un campo. Diagramas de tipificación y diagramas entálpicos. Geotermómetros. Geotermómetros en fase líquida. Geotermómetros de gases. Fraccionamiento Isotópico. Procesos de Rayleigh. Hidrología isotópica. El ciclo hidrológico desde del punto de vista isotópico. Isótopos estables del Hidrógeno, carbono, oxígeno y azufre. El tritio. Su distribución y como indicador de recarga reciente. Fraccionamiento isotópico en campos geotérmicos de alta entalpía. Campos en rocas carbonáticas. Corrimiento isotópico del oxígeno en campos geotérmicos. Geotermómetros isotópicos: validez y su tiempo de equilibración. Aplicaciones a casos concretos de la geoquímica y la geotermia isotópica. Copahue, Domuyo y El Tuzgle-Tocomar. Otros ejemplos internacionales.

IV- Prospección y exploración geotérmica. Etapas de desarrollo de una Proyecto Geotérmico: Fases de reconocimiento. Prefactibilidad y factibilidad. Sus objetivos particulares

Métodos de prospección y exploración:

a) Geológicos: (Estratigrafía, estructura, magmatismo, estudios de alteración hidrotermal y depósitos termales).

b) Hidrogeológicos (tratados en II)

c) Geoquímicos (tratados en III)

d) Geofísicos: Conceptos generales. Fundamentos físicos de los distintos métodos que se utilizan. Medición del flujo de calor en la superficie de la tierra. Gradiente de temperatura. Conductividad térmica de las rocas. Ecuaciones que describen la generación y transmisión del calor. Métodos eléctricos, propiedades eléctricas de las rocas. Conductividad rocas. Concepto. Factores que modifican la conductividad eléctrica. Actividad electroquímica. Métodos electromagnéticos con fuente natural: Conceptos generales del comportamiento del campo electromagnético. Ecuaciones de Maxwell. Campo electromagnético terrestre de origen externo. Modelos de conductividad eléctrica. Observaciones Sísmicas (atenuación de las ondas sísmicas en áreas geotérmicas). Estudios de Microsismicidad. Estudios con Sísmica de Refracción y Reflexión. Métodos Gravimétrico y Magnético. Descripción. Casos Históricos: Ejemplos de aplicación de los distintos métodos distintas regiones del mundo.

V- Evaluación del recurso: estimaciones preliminares del potencial de un campo geotérmico: a) método del flujo;

b) método del volumen. Recurso de base accesible e inaccesible.

VI.- Usos de los Recursos geotermiales :

-Generación de energía eléctrica. Tipos de plantas de energía geotermal (plantas de energía de vapor seco, de tipo flash y de ciclo binario).

-Usos directos (no eléctricos) de aguas geotermiales (balneología, agricultura, acuicultura, industria, calefaccionamiento, bombas de calor geotermal).

-Uso energético de reservorios de roca seca y caliente.

Bibliografía:

APARICIO M. ,F.C. (2001), Fundamentos de Hidrología de Superficie. Limusa y Grupo Noriega Editores. México.

ARMSTEAD, H.C.H., 1983. Geothermal Energy. E & F.N. Spon, London, 404 pp.

BARBIER, E. and FANELLI, M., 1977. Non-electrical uses of geothermal energy. Prog. Energy Combustion Sci., 3, 73-103.

BENDERITTER, Y. and CORMY, G., 1990. Possible approach to geothermal research and relative costs. In. DICKSON, M.H. and FANELLI, M., eds., Small Geothermall Resources: A guide to Development and Utilization, UNITAR, New York, pp. 59-69.

CAMPOS A., D.F. (1992), Procesos del ciclo hidrológico, UASLP, San Luis Potosí, México.

COIRA, B. and S., MALHBURG KAY, 1993. Implications of Quaternary volcanism at Cerro Tuzgle for crustal and mantle evolution of the Puna plateau, Central Andes, Argentina. Contribution to Mineralogy and Petrology,



ANEXO I - RES. CD N° 346/08 - Expediente 8311/07

113: 40—58.

- COIRA, B. 1995. Cerro Tuzgle Geothermal Prospect, Jujuy, Argentina. Proceeding of the World Geothermal Congress, 2:1161-1165.
- COMBS, J. and MUFFLER, L.P.J., 1973. Exploration for geothermal resources. In :Kruger, P. and Otte, C., eds., Geothermal Energy, Stanford University Press, Stanford, pp.95-128.
- CHOW, V.T. (Editor in chief; 1964), Handbook of Applied Hydrology. A. Compendium of Water Resources Technology, Mc. Graw-Hill Book Company, New York.
- EDWARDS, L.M., ET AL., 1982. Handbook of Geothermal energy. 613 pp. Gulf Publishing Co. Houston.
- ENTINGH, D.J., Easwaran, E. and McLarty, L., 1994. Small geothermal electric systems for remote powering. U.S. DoE, Geothermal Division, Washington, D.C., 12pp.
- FAVETTO, A., POMPOSIELLO, C., SAINATO, C., DAPENA, C. Y GUIDA, N. 2005. "Estudio geofísico aplicado a la evaluación del recurso geotermal en el sudeste de Entre Ríos". Asociación Geológica Argentina, Revista. 60 (1) 197-206.
- FRIDLEIFSSON, I.B., 2001. Geothermal energy for benefit of the people. Renewable and Sustainable Energy reviews, 5, 299-312.
- GARNISH, J.D., ed., 1987. proceeding of the First EEC/US Workshop on Geothermal Hot-Dry Rock Technology, Geothermics 16, 323-461.
- GONZALEZ MARCANO, V., 1982. Notas sobre: Potencial de un yacimiento geotérmico. Métodos de cálculo. Ministerio de Energías y Minas. Dirección de Electricidad, Carbón y otras energías. Comité Nacional Geotérmico, 42pp.
- GUDMUNDSSON, J.S., 1988. The elements of direct uses. Geothermics, 17, 119-136.
- GUTIERREZ NEGRÍN, L.C., 1991. Desarrollo geotérmico internacional 1985-1990 e Indices de productividad. Geothermics, Rev. Mx. Geoenergía, 7(2):231-253.
- HOCHSTEIN, M.P., 1990. Classification and assessment of geothermal resources. In: Dickson, M.H. and Fanelli, M., eds., Small Geothermal Resources: A guide to development and Utilization, UNITAR, New York, pp.31-57.
- Huttrer, G.W., 2001. The status of world geothermal power generation 1995-2000. GEOTHERMICS, 30, 7-27.
- Kruger, P. and C., Otte, 1973 Geothermal energy. Resources, production, stimulation., Stanford University Press. Stanford, 1:94.
- LINDAL, B., 1973. Industrial and other applications of geothermal energy. In: Armstead, H.C.H., eds., Geothermal Energy, UNESCO, Paris, pp.135-148.59.
- LUMB, J.T., 1981. Prospecting for geothermal resources. In: Rybach, L. and Muffler, L.J.P., eds., New York, pp.77-108.
- LUMD, J.W., SANNER, B., RYBACH, L., CURTIS, R., HELLSTROM, G., 2003. Ground-source heat pumps. Renewable Energy World, Vol.6, no.4, 218-227.
- LUND, J.W., and BOYD, L.T., 2001. Direct use of geothermal energy in the U.S.- *Geothermal Resources Council Transactions*, 25, 57-60.
- LUMD, J.W., and FREESTON, D., 2001. World-wide direct uses of geothermal energy. *Geothermics* 30, 29-68.
- MADEREY RASCON, L.E. y JIMENEZ ROMAN, A., 2007. Principios de Hidrogeografía estudio del Ciclo Hidrológico, Instituto de Geografía UNAM, 95pp, Mexico.
- MEIDAV, T., 1998. Progress in geothermal exploration technology. *Bulletin Geothermal Resources Council*, 27, 6, 178-181.
- MAIDMENT, D.R. (Editor in Chief; 1993), Handbook of Hydrology, Mc Graw-Hill, Inc., New York.
- MUFFLER, P. And CATALDI, R., 1978. Methods for regional assessment of geothermal resources. *Geothermics*, 7, 53-89.
- NICHOLSON, K., 1993. Geothermal Fluids. Pringer Verlag, Berlin, XVIII - 264 pp.
- OLADE, 1978. Metodología de exploración geotérmica. Fase de reconocimiento y prefactibilidad. Serie Documentos OLADE, 1.
- OLADE, 1979. Metodología de exploración geotérmica. Fase de factibilidad. Serie Documentos OLADE, 5:1-79
- OLADE, 1983. Geothermal exploration methodology: the reconnaissance and prefeasibility stages. Serie Documentos OLADE, 1: 1-34



Universidad Nacional de Salta


FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS

Avda. Bolivia 5150 - 4400 SALTA
REPUBLICA ARGENTINA

.../// - 4 -

ANEXO I - RES. CD N° 346/08 - Expediente 6311/07

- PANARELLO, H. O., SIERRA, J.L., PEDRO, G., 1992 Flow patterns at the Tuzgle Tocomar Geothermal system, Salta Jujuy, Argentina. Iaea Technical Document Tecdoc. Viena, Austria: v.641, p.57 -75.
- PANARELLO, H. O., SIERRA, J.L., D AMORE, F., PEDRO, G., 1992 . Isotopic and geochemical study of the Domuyo Geothermal field, Neuquén. Argentina. Iaea Technical Document Tecdoc. Viena, Austria, v.641, p.31-56
- POLLACK, H.N., HURTER,S.J. and JOHNSON, JR.R., 1993. Heat flow from the Earth's interior: Analysis of the global data set. *Ref. Geophys.* 31, 267-280
- POPOVSKY, K. 1998. Geotermally heated greenhouses in the world. Guideline and proc. International Workshop on Heating Greenhouse Geothermal Energy, Ponta Delgada, Azores: 42
- RYBACH, L, and L.J.P., MUFFLER (EDS), 1981. Geothermal systems: Principles and case histories. Wiley, J. And Sons.
- SAINATO C., FEBRER J.M., POMPOSIELLO M.C., MAMANÍ M., MAIDANA A., J. 1993. "Magnetotelluric Study of the Tuzgle Volcano zone", *Geomag. Geoelectr.* 45, Pág. 787-803
- SAINATO, C., POMPOSIELLO M.C. 1997, "Bidimensional MT and Gravity model of Tuzgle volcano zone (Jujuy Province, N-Argentina)", *Jornal of South-America Earth Sciences*, vol 10 N3-4 247-261
- SAINATO, C., POMPOSIELLO, M.C., GALINDO, G., PICICELLI, R., 2001. "Estudio Audiomagnetotélúrico de los acuíferos geotermales del sudeste de Tucumán y la zona limítrofe de Santiago del Estero" *Revista del Instituto de Geología y Minería de la Universidad Nacional de Jujuy* vol. 14 1-2, 45-58
- SANNER, B., KARYTSAS, C., MENDRINOS, D. And RYBACH, L., 2003. Current status of ground source heat pumps and underground thermal energy storage. *Geothermics*, Vol, 32, 579-588
- SKINNER, J.B. and PORTER S., 1989. *The Dynamic Earth, an introduction to physical geology*, 495 pp. J. Wiley and Sons.
- STEFANSSON, V., 2000. The renewability of geothermal energy. *Proc. World Geothermal Energy, Japan*. On CD-ROM
- TARBUCK Y LUTGENS, 2000. *Ciencias de la Tierra. Una Introducción a la Geología Física*, 540pp. Prentice Hall.
- TENZER, H, 2001. Development of hot dry rock technology. *Bulletin Geo-Heat Center*, 32, 4, 14-22
- UNESCO, 2003. *Geothermal energy: utilization and technology* M. Dickson and M. Fanelli (Eds) 205pp. UNESCO Publishing.
- WERES, O., 1984. Environmental protection and the chemistry of geothermal fluids. *Lawrence Berkeley Laboratory, Calif.* LBL 14403, 44pp
- WHITE, D.E., 1973. Characteristics of geothermal resources. In: Kruger, P. And Otte, C, eds., *Geothermal Energy*, Stanford University Press, Standord, pp, 69-94.
- WILEY, J. AND SONS, 1981. *Geothermal systems: Principles and case histories*. Edited: Rybach, L. And L.J.P., Muffler.
- WOHLETZ, K. AND G., HEIKEN, 1992. *Volcanology and Geothermal Energy*. University of California Press: 432.
- WRIGHT, P.M., 1998. The sustainability of production from geothermal resources. *Bull. Geo-Heat Center*, 19,2, 9-12.


Dr. JORGE FERNANDO YAZLLE
SECRETARIO ACADEMICO
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS




Ing. NORBERTO ALEJANDRO BONINI
DECANO
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS