



Revista

ESTUDIOS UNIVERSITARIOS

Universidad Nacional de Loja

LOJA - ECUADOR 2012



©Revista Estudios Universitarios

Universidad Nacional de Loja

Ciudad Universitaria "Guillermo Falconí Espinosa"

La Argelia

Loja- Ecuador

www.unl.edu.ec

E. mail: vrector@unl.edu.ec, oci@unl.edu.ec

Teléfono: +593 72547252, Ext. 106, 107, 136, 152

Tiraje: 1300 ejemplares

Diseño y Diagramación

Graficplus

Unidad de Comunicación E

Imagen Institucional

ISSN: 1390-4167

Impreso en Ecuador. Printed in Ecuador.

Imprimé en Equateur

Loja-Ecuador 2013

La Comisión Editorial de la Universidad Nacional de Loja, considerará para su publicación en la Revista Estudios Universitarios, trabajos de reflexión personal o ensayos sobre temas históricos, filosóficos, literarios, pedagógicos, psicológicos, deportivos, políticos, económicos, sociales, etc., cuya estructura sea coherente y su lenguaje claro y preciso.

La reproducción por terceros, traducción o ubicación en la red de los trabajos publicados en la Revista Universitaria, se ajustará a las normas de la Ley de la Propiedad Intelectual (Ley 83 - Registro Oficial 320, 19.05.1998) y su Reglamento (Decreto Ejecutivo 508 RO/120, 01.02.1999)



Revista

ESTUDIOS UNIVERSITARIOS

Universidad Nacional de Loja

LOJA - ECUADOR 2012



COMITÉ EDITORIAL

Dr. Gustavo Villacís Rivas,
RECTOR UNL

Dr. Ernesto González Pesantes,
VICERRECTOR UNL

Dr. Jorge Barnuevo Romero,
MIEMBRO DE LA COMISIÓN EDITORIAL,

Dr. Noé Bravo Vivar,
MIEMBRO DE LA COMISIÓN EDITORIAL

EDITOR
Noé Bravo Vivar

CONSEJO DE REDACCIÓN

- Anne-Marie Hocquenghem, Instituto de Estudios Andinos, IFEA, Lima
- Rafael Morales Astudillo, Universidad Nacional de Loja (UNL)
- Rómulo Chávez Valdivieso, UNL
- Carlos Valarezo M., UNL
- Robert Bonell
- Rafael Trujillo Codorniu, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Cuba
- Sonia Uquillas Vallejo, UNL
- Max González Merizalde, UNL
- Walter Apolo, UNL
- Edmigio Valdivieso, UNL
- V. Ramiro Castillo Bermeo
- Amable Ayora F., UNL
- José Ramírez R., UNL
- José Vicente Ureña



- Efraín González S., UNL.
- Héctor Maza Chamba, UNL
- Yovany Salazar Estrada, UNL
- Jorge Álvarez Toledo, UNL
- Diego S. Álvarez Sempértegui, UNL
- Humberto Games Oliva., Cuba
- Inés Pérez Braojo, Cuba
- María Rubio H., Cuba
- Ronald Rodríguez D., Cuba
- Ivonne Chon Rivas, Cuba
- Idania Sánchez V., Cuba
- Luis Vilau Prieto, Cuba
- Alicia Rodríguez A., Cuba
- Jesús Blanco Bouza, Cuba
- Carlomagno Chamba Tacuri, UNL
- Marco Rojas., UNL
- José Francisco Ochoa Alfaro, UNL
- Georgina Espinosa, Universidad de La Habana, Cuba
- Sara Vicente Ramón, UNL
- Rosa Rojas Flores, UNL
- Ketty Vivanco Criollo, UNL
- Lorena Vallejo Delgado, UNL
- Rebeca Aguirre de Espinoza, UNL
- Mílton Eduardo Andrade Tapia, UNL
- Zhofre Aguirre Mendoza, UNL
- Nikolay Aguirre Mendoza, UNL
- Helmut Blaschkey, Universidad Técnica de Muinich
- Sven Günter, Universidad Técnica de Munich
- Bernd Stimm, Universidad Técnica de Munich
- Ingrid Kottke, Universidad Técnica de Munich
- Margarita Samaniego, UNL
- Karen Wigby Nieto, UNL
- Nancy Mercedes Cartuche Zaruma, UNL



- Edison Ramiro Vázquez, UNL
- Aníbal Lozano Bravo, UNL, UTPL
- Raúl Rivas Pérez, Universidad de La Habana, Cuba
- Julio Cuenca Tinitana, UNL



AREAS ACADÉMICO-ADMINISTRATIVAS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

AREA JURÍDICA SOCIAL Y ADMINISTRATIVA (AJSA)

Dirección: Ciudadela Universitaria Guillermo Falconí Espinosa, La Aregelia.
Teléfono: (593) 7 2545114 - (593) 7 2545477. E. mail: direccionajsa@yahoo.es

AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES (AARNR)

Dirección Ciudadela Universitaria Guillermo Falconí Espinosa, La Aregelia.
Teléfono: (593) 7 2546097 - (593) 7 2546671. E. mail: agropecuaria@unl.edu.ec

AREA DE LA EDUCACIÓN, EL ARTE Y LA COMUNICACIÓN (AEAC)

Dirección Ciudadela Universitaria Guillermo Falconí Espinosa, La Aregelia.
Teléfono: (593) 7 2547234 - (593) 7 2547061. E. mail: educativa@unl.edu.ec

AREA DE LA SALUD HUMANA (ASH)

Dirección: Barrio Celi Román, junto al Hospital Docente Isidro Ayora.
Teléfono: (593) 7 2587681 - (593) 7 571379. E. mail: salud@unl.edu.ec

AREA DE LA ENERGÍA, LA INDUSTRIA Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES (AEIRNNR)

Dirección Ciudadela Universitaria Guillermo Falconí Espinosa, La Aregelia.
Teléfono: (593) 7 2545691 - (593) 7 2545689. E. mail: energia@unl.edu.ec



Índice

Créditos	2	Materiales y Métodos	74
Comité Editorial	4	Resultados	78
Consejo de Redacción	4	Discusión	83
Área Académico-Administrativo	8	Bibliografía	85
Índice	9	RECUPERACION DE SUELOS ACIDOS Y MEJORAMIENTO DEL POTENCIAL PRODUCTIVO DE UN SISTEMA SILVOPASTORIL	87
Editorial	11	Resumen	88
ANÁLISIS DE LOS INDICADORES DE PRODUCCIÓN DE LA REGIÓN 7 DEL ECUADOR	19	Introducción	90
Resumen	20	Objetivos	90
Motivación	20	Materiales y Métodos	90
Metodología	21	Resultados y Discusión	93
Datos y Variables	21	Conclusiones	100
Resultados	25	Bibliografía	101
ANÁLISIS REPRODUCTIVO DE HATOS LECHEROS Y MANEJO DE LOS POTREROS DE LAS GANADERÍAS DE LA HOYA DE LOJA	51	LAS ABEJAS SIN AGUIJÓN (APIDAE: MELIPONINI) DE LA REGIÓN SUR DEL ECUADOR	103
Resumen	52	Resumen	104
Introducción	54	Introducción	104
Materiales y Métodos	55	Metodología	105
Resultados y Discusión	56	Resultados y Discusión	107
Conclusiones	68	Referencias	110
Bibliografía	70	Agradecimiento	111
SEGURIDAD ALIMENTARIA EN EL MANEJO DE LA CALIDAD E INOCUIDAD DE PRODUCTOS PERECIBLES	71	ENERGÍAS RENOVABLES Y DESARROLLO SOSTENIBLE	113
Introducción	72	Introducción	114
		KYOTO	114



¿Qué hace Europa?	115	ASSESSING WRITING	141
¿Qué estamos haciendo nosotros?	115	LA HOGUERA BÁRBARA: ¿NOVELA HISTÓRICA O BIOGRAFÍA NOVELADA?	149
Conclusiones	117	Introducción	150
Bibliografía	118	Contexto Socio Histórico y Literario	150
DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL PREDICTIVO PARA LA DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN UN TRAMO DE UN CANAL PRINCIPAL DE RIEGO	119	Reseña Cronológica	154
Resumen	120	La Hoguera Bárbara	157
Introducción	120	Bibliografía	161
Materiales y Métodos	121	DIVERSIDAD ÉTNICA-CULTURAL DEL ECUADOR	163
Conclusiones	129	Introducción	164
Referencias	130	Patrimonio Cultural del Ecuador	164
Autores	130	Diversidad Étnica y Cultural	165
METODOLOGÍA PARA EL MODELADO MATEMÁTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE	131	Consideraciones Finales	172
Autores	132	Bibliografía	173
Introducción	132		
Conclusiones	139		
Bibliografía	139		



EDITORIAL

CIENCIA Y MÉTODO

La pregunta inicial de los pensadores de la Antigua Grecia: qué es el mundo, de verdad? qué son las cosas? supone una duda: que las cosas que vemos, tocamos, sentimos y que, más cercanas o lejanas, nos rodean, no son lo que aparentan ser, múltiples y diferentes entre sí. Cómo descubrir lo que realmente, de verdad, son las cosas? En su poema Sobre la Naturaleza, Parménides (515-514 a. C.) dice que el hombre dispone de dos vías para conocer el mundo. La primera, la de la razón, que le lleva a conocer la verdad; la segunda, la de los sentidos, que lo lleva a formarse opiniones sobre las mismas. De igual forma, en lo fundamental, pensarán, Heráclito (hacia 576-480 a. C) y, más tarde, Platón, sobre las vías o caminos de que dispone el hombre (el filósofo) para conocer el mundo, para descubrir la verdad que esconde, para hacer o construir lo que, más tarde, el mismo Platón, y Aristóteles, llamarían ciencia, y se esforzarían en definirla.

Resumiendo la historia del significado de la palabra ciencia (G. Epistémé, L. Scientia) el filósofo francés André Lalande (Vocabulaire technique et critique de la Philosophie, 1968, 2006), dice que Platón la emplea con sentidos diversos, pero que, en la clasificación del conocimiento (República) aplica la palabra epistémé al grado más elevado, al conocimiento perfecto, luego de diánoia, pensamiento discursivo; y, que reúne los dos, Diánoia y episteme, en nóesis.

Aristóteles, aplica la palabra epistémé a las ciencias sobre los diferentes campos de la realidad; pero afirma, en la Metafísica, que, ciencia propiamente tal, es la que tiene por objeto los principios y las causas de las cosas, del ser (del on). No hay ciencia, agrega Aristóteles en la Ética a Nicómaco, sino cuando sabemos que las cosas no pueden ser de otra manera, pues, la ciencia concierne a lo necesario y eterno.

El sentido platónico-aristotélico de ciencia, se mantiene en la Edad Media, con Tomás de Aquino, que, en la Summa contra gentiles (1264) la define como “assimilatio mentis ad rem scitam” (asimilación de la mente a la cosa conocida/objeto); y, domina en el siglo XVII, con F. Bacon, que, en el Novum Organum (1620) la define como “essentiae imago” (imagen de la esencia); y, René Descartes (1596.1650) que, en la primera parte de sus Réponses aux deuxième objections,



afirma que toute connaissance qui peut être rendue douteuse ne doit pas être appelée du nom de science” (a ningún conocimiento que puede ser convertido en dudoso, se debe aplicar el nombre de ciencia).

En el sentido aristotélico de la *Ética a Nicómaco*, Christian Wolf en el Discurso preliminar II de su *Philosophia rationalis, sive Logica* (1728), define la ciencia como el “hábito de demostrar las afirmaciones, es decir, de inferir por legítima consecuencia a partir de principios ciertos e inamovibles”.

En Igual forma, E. Kant considera como ciencia propiamente dicha (*eigentliche Wissenschaft*) al conocimiento que es objeto de una certeza apodíctica, es decir, necesariamente verdadero; pero, define como ciencia en general, a toda doctrina que forma un sistema, es decir, a todo conjunto de conocimientos ordenado según principios (*Metaphysische anfangsgründe der naturwissenschaft*, 1786, *Fundamentos metafísicos de la ciencia natural*).

Definición que se ha convertido en clásica; y que Herbert Spencer (*Primeros Principios*, 1862) coloca en el segundo lugar de su clasificación del conocimiento en vulgar (conocimiento no unificado) científico (conocimiento parcialmente unificado) y filosófico (conocimiento totalmente unificado).

Muchos filósofos y científicos contemporáneos, concluye Lalande, van aún más lejos y ven en la ciencia no más que un sistema de notaciones que permite clasificar y prever los fenómenos.

Apartándose de esta tradición, Anthony Carpi y Anne E. Egger (*TheScientificMethod*, 2003) se colocan en la iniciada por Leonardo da Vinci y continuada por Copérnico, Kepler, Galileo, F. Bacon..., al afirmar que es un error concebir a la ciencia como un conjunto o una colección de datos sobre los hechos o fenómenos de la naturaleza, o un ejercicio rígido para demostrar un punto de vista o una hipótesis preconcebidos; es un error pensar que hay poca creatividad o descubrimiento en la ciencia, que ésta es un ejercicio tedioso para demostrar algo que ya sabemos que es verdad.

Conciben a la ciencia como un proceso de investigación sobre hechos o fenómenos, y al conocimiento generado a través de ese proceso, que es no necesariamente lineal ni rígido sino dinámico, cambiante. Querer comprender la ciencia sin comprender el



proceso de su generación, agregan, es como tratar de aprender un idioma extranjero con un diccionario. En efecto, si no se entiende cómo los científicos reúnen y analizan los datos, cómo forman hipótesis, cómo se comunican las ideas entre ellos.... no se entiende el componente esencial de la ciencia, que es la respuesta a la pregunta: ¿cómo sabemos lo que sabemos?.

Al estudiar el proceso de generación de la ciencia, se entenderá que hay principios fundamentales que unen a las diversas disciplinas científicas dentro del todo llamado ciencia y que son, consciente o inconscientemente, seguidos y respetados por biólogos, químicos, geólogos, físicos y científicos de toda clase, que trabajan, cada vez más, en una comunidad global de individuos y organizaciones que contribuyen a construirla.

Como se ve, Carpi y Egger, identifican la ciencia con el proceso de su construcción, mientras que los autores de la Antigüedad citados y los de la Edad Media, en general, la deducen del razonamiento teórico, que se orienta a definir, más bien, se podría decir, a priori, lo que debería ser la ciencia. La concepción de Carpi y Egger, y otros autores de similar orientación, se fundamenta en la observación del proceso mediante el cual se hace, de hecho, la ciencia, y que se la obtiene de un razonamiento predominantemente a posteriori, que no excluye, como es obvio, el necesario recurso a lo a priori.

• • •

En los dos casos, se está dando respuesta a la inquietud inicial de los filósofos griegos sobre cómo se conoce lo que es en realidad el mundo, la naturaleza, las cosas, cómo se obtiene la “ciencia”, el conocimiento perfecto, como dicen Platón y Aristóteles; el conocimiento lo más perfecto posible, pero siempre perfectible, según los autores modernos y actuales. Perfectibilidad que descansa, según éstos, en dos pilares igualmente esenciales: la reproductibilidad de los experimentos y la falsabilidad de las teorías científicas.

En el caso de los filósofos griegos y medievales, el razonamiento teórico se dirige a obtener una definición teórica del conocimiento perfecto, a la cual deben acomodarse todos los conocimientos o ciencias que pretendan ser tales. A lograr tal definición, y la definición en general, se orienta, según Platón y Aristóteles, el método, que, entre los discípulos medievales, se llama silogismo y se ajusta a reglas ya precisadas por el



estagirita, su formulador inicial.

En el siglo 17, la *Logique de Port-Royal* (Antoine Arnaud, Pierre Nicole, 1662) habla de dos acepciones diferentes, aunque complementarias, de método.

Según la primera, método es el camino por el cual se ha llegado a un resultado, incluso si este camino no ha sido fijado de antemano de manera consciente y voluntaria. Se trata, dicen los autores de la *Logique...* (Introduction, p. 6-7) de “ordenar”, es decir, de “la acción del espíritu por la cual, teniendo sobre un mismo tema ...diversas ideas, diversos juicios y razonamientos, los dispone de la manera más apropiada para dar a conocer dicho tema.” Esta acción, prosiguen, “se llama también método”, y “se realiza naturalmente, y a veces mejor por aquellos que no han aprendido ninguna regla de la lógica que por aquellos que las han aprendido.”

Para la segunda, método es un programa que regula de antemano una serie de operaciones que se van a llevar a cabo, señalando errores que se deben evitar, a fin de alcanzar un resultado determinado. Operaciones a las cuales, en su *Discours de la Méthode* (1637, I, 3) Descartes califica de “consideraciones y máximas” con las cuales ha formado un “método” mediante el cual, dice, “me parece que tengo la posibilidad de aumentar por grados mi conocimiento, y elevarlo poco a poco al más alto nivel que la mediocridad de mi espíritu y la corta duración de mi vida le permitan alcanzar”.

Las dos acepciones se ven reunidas en las siguientes líneas de la *Logique...* (Premier discours, nº 15): “Reflexionando sobre sus pensamientos, los hombres pueden darse cuenta del método que han seguido cuando han razonado bien, de la causa de sus errores cuando se han equivocado; y, sobre estas reflexiones, formular reglas para evitar ser sorprendidos en el futuro”.

Ahora bien, como se sabe, los métodos –que se los fije de antemano o luego de la reflexión sobre qué y cómo se ha hecho– pueden ser, y de hecho son, diferentes, de conformidad con el objeto y particularidades de las investigaciones y las acciones que su ejecución implica. Y, sobre todo, con la calidad de conocimiento que se desea obtener. Es evidente, entonces que, si se desea obtener conocimientos científicos, en cualquier campo, se deberá utilizar un método adecuado a tal fin, es decir, un método científico.

Qué se entiende por método científico? El *Oxford English Dictionary*, lo define



como el: “método o procedimiento que ha caracterizado a la ciencia natural desde el siglo 17, que consiste en la observación sistemática, medición y experimentación, y la formulación, análisis y modificación de las hipótesis.”

Según otra definición, el método científico es un proceso destinado a explicar fenómenos o hechos de la naturaleza, establecer relaciones entre ellos y enunciar leyes que expliquen dichas relaciones y, en lo posible, su regularidad.

En este sentido y con esta significación, el método se ha ido construyendo, más explícitamente, como se ha visto, desde Leonardo da Vinci, y se basa, fundamentalmente, en la observación, la medición, la experimentación...y, aunque no se dice explícitamente en la definición del Oxford, tiene por objeto o propósito obtener conocimientos científicamente válidos sobre hechos o fenómenos de la naturaleza.

Se podría (se debería) decir que, el de esta definición, es el método científico propio de las ciencias naturales?.Y, de ser así, inferir que únicamente las ciencias naturales adquieren y construyen sus conocimientos sirviéndose de un método científico y gozan, por tanto, del privilegio de ser ciencias stricto sensu? Y se volvería a la pregunta ¿Qué se debe considerar como ciencia stricto sensu? ¿La que se ajusta a la concepción griega medieval inaugurada por Sócrates, Platón y Aristóteles? ¿O la que lo hace a la concepción moderna inaugurada por Leonardo da Vinci?

Una respuesta a estas inquietudes se encuentra, por ejemplo, en la Introducción General a la Crítica de la Economía Política (1857), en la cual Carlos Marx afirma que el análisis y la síntesis constituyen “el método científicamente exacto” cuando se trata de investigar en Economía Política. Si “se comenzase”, dice Marx, en el estudio de la economía, “por la población, uno se formaría una representación caótica del conjunto; luego después, por una determinación más precisa, procediendo por análisis, se llegaría a conceptos cada vez más simples; una vez en este punto, sería necesario hacer el camino contrario, y se llegaría de nuevo a la población. Esta vez, ya no se tendría ante los ojos un montón caótico, sino un todo rico en determinaciones y en relaciones complejas. Y concluye: “Este ha sido, históricamente, el camino seguido por la economía naciente”, citando luego a los economistas del siglo 17.

El análisis del que habla Carlos Marx, de los datos que, mediante diversos procedimientos, son tomados de la realidad, es un paso esencial del método científico, tal como se lo ha definido, de las ciencias naturales, como lo es la síntesis



de los mismos para poder formular hipótesis sobre la realidad que se estudia. Lo que significa que, al menos en este punto, no habría diferencia entre el método científico de las ciencias naturales y el de las ciencias no consideradas como tales. Y que, quizás, lo que se impone, es una reconsideración, una precisión, de lo que se debe entender por “natural”, tomando en cuenta que, para Carlos Marx, por ejemplo, el ser humano es naturaleza al mismo título que los otros fenómenos de ella (montañas, ríos, mares, otros seres vivos... y el universo en general) y que todo, en todos los seres, es observable, medible, aunque no experimentable con el requisito de la reproducibilidad...

Significa también y finalmente, que tanto las ciencias cuyo objeto de estudio es la naturaleza cuyos hechos o fenómenos son considerados aún como los únicos observables, tangibles, medibles, experimentables..., como aquellas cuyo objeto de estudio se considera aún que no lo es, o que lo es en menor grado, tienen el derecho y la obligación de buscar que los conocimientos que adquieren, si no perfectos y acabados –lo cual es, por definición, imposible- sean al menos altamente confiables y abiertos a la perfectibilidad permanente, a tono con la historia.

Para concluir, cabe recordar que, no existe –aunque sería deseable pensando sobre todo en los estudiantes que aprenden investigación- un empleo unívoco del término método, pues, hay quienes lo aplican por igual a diferentes acciones que se usan en el proceso de investigación. Así, se dice, por ejemplo, que el científico utiliza métodos definitorios, clasificatorios, hipotético-deductivos, de medición, de observación, de comparación, de experimentación...; y, que el método científico se refiere a todos estos “métodos” de constitución del conocimiento científico.

Aunque hay quienes prefieren reservar el nombre de método al conjunto de las acciones u operaciones indicadas; y, a éstas, el de procedimientos o técnicas. Otros, identifican el método científico con la inducción-deducción y los pasos que ella implica. Y otros, como Carlos Marx, acuerdan el calificativo de método científico, válido para el estudio de la economía, al constituido por el análisis y la síntesis.

En todo caso, sería conveniente generalizar el uso del nombre “método” para referirse al procedimiento general que engloba procedimientos y/o técnicas más limitados que son, de hecho, pasos del método. En igual forma, se debería evitar el nombre de “método científico” como diferente del “método inductivo”, pues, en realidad, el



propósito de los dos es el mismo, al igual que los pasos que los constituyen. Sería apropiado decir, extrapolando el pensamiento de Marx, que el método analítico-sintético se adecúa mejor a la investigación en el campo de las ciencias sociales o, al menos, a la de algunas de sus parcelas? Aunque, como se ha visto, el análisis y la síntesis constituyen momentos, pasos o componentes esenciales del llamado método científico.

En cuanto a la enseñanza-aprendizaje de la investigación, vale la pena recordar que, desde que se la introdujo en el sistema educativo formal ecuatoriano, en las décadas finales del siglo pasado, ha predominado en ella el estudio de los esquemas formales de la así denominada metodología de la investigación científica, estudio desligado o alejado de los procesos investigativos concretos. Aunque es cierto también que existe, en la actualidad y cada vez más, la tendencia a cubrir esta brecha, a través de mecanismos que integran a los estudiantes y a los investigadores noveles en programas y proyectos de investigación de problemas reales del entorno natural y/o social, con la tutoría de investigadores experimentados.

Loja, diciembre de 2012



DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL PREDICTIVO PARA LA DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN UN TRAMO DE UN CANAL PRINCIPAL DE RIEGO.

Cuenca-Tinitana Julio

Rivas-Pérez Raúl



DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL PREDICTIVO PARA LA DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN UN TRAMO DE UN CANAL PRINCIPAL DE RIEGO.

*Cuenca-Tinitana Julio¹
Rivas-Pérez Raúl²*

RESUMEN / ABSTRACT

En el presente trabajo se propone un controlador predictivo para el control efectivo de la distribución de agua en un tramo de un canal principal de riego, con el propósito de brindar una solución para mejorar la operación y reducir las pérdidas de agua. La investigación se desarrolló en base a ensayos desarrollados en el VI tramo del canal principal de riego “Güira de Melena”, ubicado en la Habana, Cuba. Se obtuvo un modelo matemático del tramo del canal mediante la aplicación de las herramientas de identificación de sistemas. Se diseñó el sistema de control utilizando un controlador predictivo generalizado (GPC). Finalmente, se desarrolló una propuesta de implementación de controlador diseñado utilizando las herramientas MATLAB-SIMULINK y mediante simulación se realizaron evaluaciones sobre el comportamiento dinámico del sistema desarrollado. Los resultados obtenidos mostraron la efectividad del sistema de control desarrollado.

Palabras claves: Canales de Riego, Control Predictivo, Control Predictivo Generalizado, Identificación de Sistemas.

In this paper we propose a predictive controller for the effective control of water distribution in a section of a main irrigation canal, in order to provide a solution to improve operations and reduce water losses. The research was developed based on the VI section of the main irrigation canal “Guira de Melena”, located in Havana, Cuba. We obtained a mathematical model of the stretch of the canal through the application of system identification tools. We designed the control system using a generalized predictive controller (GPC). Finally, we developed a proposal for implementation of the controller designed using the MATLAB-SIMULINK tools and assessments were conducted by simulating the dynamic behavior of the system developed. The results showed the effectiveness of the control system developed. Key words: Irrigation Canals, Generalized Predictive Control, Predictive Control, Systems Identification.

Título en Inglés: Development of a predictive control system for water distribution in a section of a main irrigation canal.

INTRODUCCIÓN

La escasez de agua a nivel mundial fundamenta la significativa actualidad e importancia que presentan las medidas encaminadas a lograr una eficaz gestión del uso de los recursos hidráulicos disponibles, especialmente en actividades de gran consumo como lo es el riego.

Las pérdidas de agua en los canales principales de riego son enormes, sin embargo, éstas pueden ser reducidas sustancialmente mediante la aplicación de sistemas de control efectivo y de ayuda a la toma de decisión [1], [2].

¹ Profesor Investigador AEIRNNR - UNL

² Profesor Investigador, Centro Universitario José Antonio Echeverría, La Habana - Cuba

Una de las medidas para conseguir una gestión adecuada de los recursos hídricos es el control de la distribución del agua en canales principales de riego. Se trata de distribuir de un modo adecuado las cantidades de agua que se manejan en el riego utilizando las herramientas tecnológicas proporcionadas por los sistemas de control.

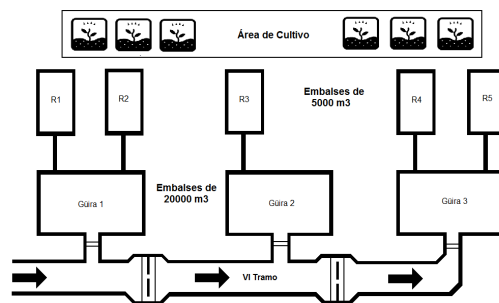
Diferentes conceptos, métodos y herramientas han sido desarrollados por varios autores para el control de canales principales de riego. Sin embargo, la necesidad existente de mejorar la efectividad de los sistemas de control y de introducir las ventajas de la automatización en estos sistemas complejos y exigentes, ha motivado un gran esfuerzo de investigación y desarrollo que se ha venido prolongando de manera creciente en los últimos años [3], [4], [5].

Es por ello que en este trabajo para mejorar la operación y control de la distribución del agua en un tramo de un canal principal de riego se propone un sistema de control predictivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del canal de riego

El tramo del canal de riego objeto de estudio es el VI tramo del canal principal Güira de Melena, ubicado en la provincia Habana, Cuba. Este tramo tiene una longitud de 10 Km, un caudal de descarga de $5 \text{ m}^3/\text{s}$, sección transversal trapezoidal y una pendiente promedio de 0.15 m/Km . El tramo del canal suministra agua a un embalse regulador de $20\,000 \text{ m}^3$, el cual a su vez abastece de agua a un embalse de 5000 m^3 utilizado en el suministro de agua para las áreas de cultivo. Una representación esquemática de este tramo se



muestra en la Fig. 1.

Figura 1. Esquema simplificado del VI tramo del canal principal de riego Güira de Melena

El tramo de canal es operado mediante el método de regulación aguas abajo con sensor de nivel alejado y controlador PID convencional.

Es conocido que los controladores PID convencionales no garantizan el control efectivo de la distribución de agua en canales de riego con grandes retardos de tiempo [2]. Es por ello que se propone el desarrollo de un controlador predictivo. Estos controladores disponen de conocimiento a priori del proceso y posibilitan controlar de forma efectiva procesos con comportamiento dinámico complejo (grandes retardos de tiempo, parámetros dinámicos variables, no linealidades, perturbaciones, entre otros) [6]. El tramo del canal posee una red de medida que transmite y permite almacenar y procesar los datos. Las variables almacenadas son el nivel aguas arriba y aguas abajo del tramo y la posición de la compuerta aguas arriba. Todas estas medidas son uniformemente muestreadas con un período de 15 s.

Identificación del sistema

Para la obtención de un modelo matemático



del tramo de canal objeto de estudio se utilizan las técnicas experimentales de Identificación de Sistemas [7]. El procedimiento es iterativo y comprende las etapas que se muestran en la Fig. 2 [1], [2], [8]:

Considerando el método de regulación aguas abajo con sensor alejado el modelo matemático del tramo del canal tendrá como señal de entrada el nivel de agua aguas abajo alejado y como señal de salida la magnitud de apertura total de la compuerta aguas arriba, la descarga lateral, así como los efectos de las interacciones de los tramos adyacentes aguas arriba y aguas abajo representan las perturbaciones que actúan sobre el tramo del canal.

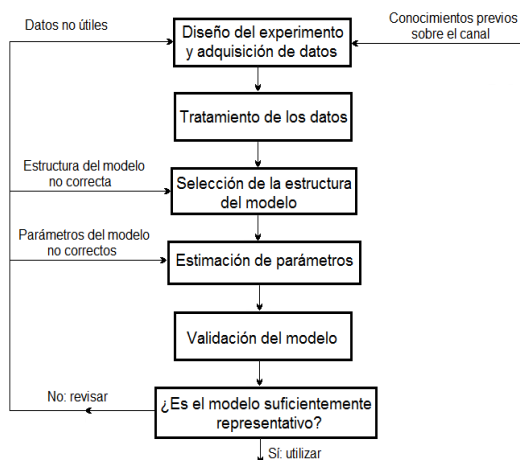


Figura 2. Procedimiento de Identificación de Sistemas

El modelo a obtener mediante el procedimiento experimental señalado solamente describirá el comportamiento dinámico de la variación del nivel del agua en el punto de medición, y no ofrece información sobre la variación del nivel de agua en otros puntos del tramo del canal [2], ello no constituye un inconvenien-

te, ya que para el diseño de sistemas efectivos de control sólo se requiere de modelos que describan la variación del nivel de agua en un punto del tramo del canal, el cual depende del método de regulación utilizado [1].

Experimento con señal escalón

El objeto de este experimento es obtener una estimación inicial del orden y de los parámetros del modelo que caracterizan el comportamiento dinámico del tramo de canal principal bajo análisis y luego utilizar estos resultados para diseñar un experimento más informativo donde la apertura de la compuerta siga una señal binaria.

La compuerta aguas arriba recibió un incremento en su magnitud de apertura de 30 cm. Los datos correspondientes a la variación del nivel aguas abajo, así como el incremento de la magnitud de apertura total de la compuerta fueron almacenados para su análisis posterior y se muestran en la Fig.3.

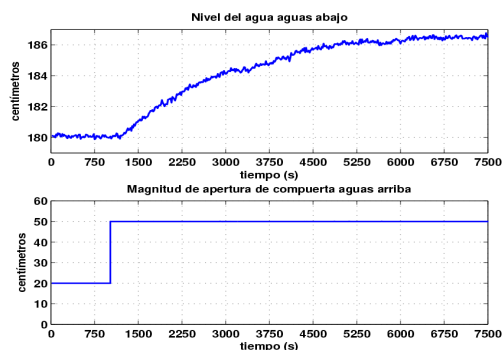


Figura 3. Resultados del experimento con señal escalón

De la Fig. 3, se aprecia que la respuesta temporal obtenida describe un sistema de segundo orden con retardo de tiempo, cuyo comportamiento dinámico se representa

mediante la expresión:

$$G_1(s) = \frac{K}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)} e^{-\tau s} \quad (1)$$

donde K es la ganancia estática, T_1 y T_2 son las constantes de tiempo y τ es el retardo de tiempo. A partir del procesamiento de los resultados gráficos se obtiene los siguientes valores de los parámetros de la función de transferencia (1): $K = 0.25$; $\tau = 345$ s; $T_1 = 1853.3$ s y $T_2 = 20.5$ s. El parámetro T_1 constituye la constante de tiempo dominante del sistema y representa la dinámica del tramo del canal y del sensor de nivel, mientras que T_2 representa la dinámica de la compuerta y del motorreductor.

Experimento con una señal binaria pseudo aleatoria SBSA

Para obtener datos más precisos para la identificación, el canal fue excitado con una señal de entrada persistente del tipo secuencia binaria de duración pseudoaleatoria [1], [2], [7], [8], la cual actúa sobre la compuerta aguas arriba del tramo del canal de riego objeto de estudio. En la Fig. 4, se presentan los resultados obtenidos de este experimento.

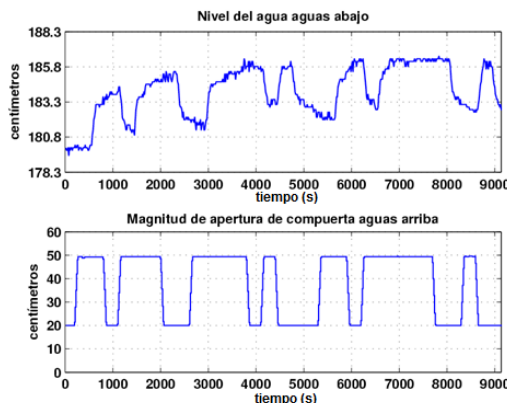


Figura 4. Resultados del experimento con SBSA

Se evaluaron tres posibles estructuras del modelo (ARX, ARMAX y OE), las cuales se representan mediante las expresiones polinomiales siguientes [8]:

$$A(q^{-1})\hat{y}_{ARX}(k) = B(q^{-1})q^{-d}u(k) + x(k) \quad (2)$$

$$A(q^{-1})\hat{y}_{ARMAX}(k) = B(q^{-1})q^{-d}u(k) + C(q^{-1})x(k) \quad (3)$$

$$\hat{y}_{OE}(k) = \frac{B(q^{-1})}{F(q^{-1})}q^{-d}u(k) + x(k) \quad (4)$$

donde \hat{y}_{ARX} , \hat{y}_{ARMAX} y \hat{y}_{OE} son las estimaciones del nivel aguas abajo alejado del tramo del canal, d es el retardo de tiempo y $\xi(k)$ representa las perturbaciones (secuencia de ruido blanco). Los polinomios A, B, C y F, se expresan en términos del operador q^{-1} y se determinan mediante las expresiones:

$$A(q^{-1}) = 1 + a_1q^{-1} + \dots + a_{na}q^{-na} \quad (5)$$

$$B(q^{-1}) = b_1q^{-1} + \dots + b_{nb}q^{-nb} \quad (6)$$

$$C(q^{-1}) = 1 + c_1q^{-1} + \dots + c_{nc}q^{-nc} \quad (7)$$

$$F(q^{-1}) = 1 + f_1q^{-1} + \dots + f_{nf}q^{-nf} \quad (8)$$

na, nb, nc, nf son los órdenes de los respectivos polinomios.

Para la estimación de los parámetros de las estructuras de modelo señaladas se utiliza el método de mínimos cuadrados [7], [8]. Para expresar la bondad del ajuste del modelo a los datos se utiliza el criterio:

$$J(\mathbf{q}) = \sum_{k=1}^N g(\mathbf{e}(k)) \quad (9)$$

donde J es la función de coste, θ es el vector de parámetros que se debe ajustar, $g(\cdot)$ es la función de ponderación, $\mathbf{e}(k)$ es el error y N es el número de datos disponibles.



Finalmente, mediante el método de validación cruzada se determina el mejor modelo en base a un índice de ajuste FIT [8]:

$$FIT = \left(1 - \frac{\|\hat{y}\| - y}{\|y - \bar{y}\|} \right) \times 100\% \quad , (10)$$

donde y es la salida medida, \hat{y} es la salida estimada. En la Fig. 5, se muestran los resultados de la validación del modelo obtenido sistema con el mejor ajuste porcentual (87.19%).

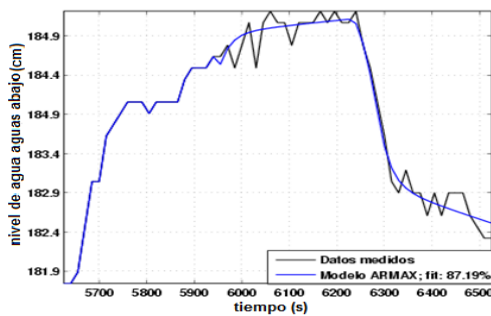


Figura 4. Resultados de validación del mejor modelo obtenido

Como resultado se obtuvo un modelo lineal discreto con estructura ARMAX de segundo orden, y con retardo de tiempo de 345 s, el cual de forma adecuada describe el comportamiento dinámico del tramo de canal de riego objeto de estudio. Los parámetros estimados del modelo obtenido se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros estimados del modelo con estructura ARMAX.

ARMAX	a1	a2	b1
	1.5090	-0.5136	0.005265
	b2	c1	c2
	-0.00511	-1.1330	0.2862

El modelo resultante se representa mediante la expresión:

$$y(k) = 1.509y(k-15) - 0.5136y(k-30) + 0.005265u(k-345) - 0.00511u(k-360) + x(k) - 1.133x(k-15) + 0.2862x(k-30)$$

(11)

El modelo ARMAX considera de forma explícita el efecto de las perturbaciones que actúan sobre el tramo del canal de riego objeto de estudio. El modelo en el dominio discreto (11) puede ser representado en el dominio continuo mediante las funciones de transferencia siguientes:

$$G_u(s) = \frac{0.34}{(1666.7s + 1)(2.8311s + 1)} e^{-345s} ; (12)$$

$$G_v(s) = \frac{s^2 + 0.07124s + 0.0009309}{s^2 + 0.04442s + 0.00002755} \quad , (13)$$

donde $G_u(s)$ es la función de transferencia que describe el comportamiento dinámico del tramo de canal bajo el efecto de la acción de control y $G_v(s)$ es la función de transferencia que describe el comportamiento del tramo debido a las perturbaciones.

Diseño del controlador GPC

Este método emplea una modelo ARIMAX (auto-regresión de media móvil con entrada controlada e integrador) para la predicción de la salida de la planta y la perturbación viene dada por un ruido blanco coloreado.

El GPC se fundamenta en el cálculo de una secuencia de acciones futuras de control de tal forma que minimice una función de coste J [6]:

$$J(N_1, N_2, N_u) = E \left\{ \sum_{j=N_1}^{N_2} d_j \overline{y(k+j|k)} - w(k+j) \overline{\sum_{j=1}^N \lambda_j \overline{u(k+j-1)}} \right\}, \quad (14)$$

donde $E \{ \cdot \}$ es el valor esperado (más deseado), \hat{y} es la salida predicha, $w(k)$ es la referencia, δ y λ son valores de ponderación y N_1 , N_2 y N_u son los horizontes de predicción y de control. Uno de los parámetros de sintonía del GPC es el factor de ponderación de la señal de control λ .

El modelo ARIMAX utilizado para describir la planta está dado por:

$$A(q^{-1})y(k) = q^{-d}B(q^{-1})u(k) + \frac{C(q^{-1})x(k)}{\Delta}, \quad (15)$$

donde $y(k)$ es la salida de la planta, $u(k)$ es la entrada de la planta, $\xi(k)$ es la señal de ruido, d es el retardo de tiempo del sistema y

$\Delta = 1 - q^{-1}$ Para calcular el predictor es necesario resolver la siguiente ecuación diofántica [6], [9]:

$$C(q^{-1}) = E_j(q^{-1})\Delta A(q^{-1}) + q^{-j}F_j(q^{-1}), \quad (16)$$

donde los polinomios E_j y F_j , tienen grados $j+1$ y na respectivamente. Esta ecuación puede resolverse para E_j y F_j , donde j es el intervalo de tiempo de predicción deseado. Para resolver (16) se utiliza una aproximación recursiva desde $j=N_1$ hasta $j=N_2$, la cual usa la solución de la ecuación (15) en j , para obtener la solución en $j+1$.

La solución recursiva se expresa mediante las expresiones [6], [9]:

$$\tilde{A}(q^{-1}) = \Delta A(q^{-1}) = (1 - q^{-1})A(q^{-1}) \quad ; \quad (17)$$

$$E_{j+1} = E_j + e_{j+1,j}q^{-j} \quad ; \quad (18)$$

$$e_{j+1,j} = \frac{f_{j,0}}{\tilde{A}(0)} \quad ; \quad (19)$$

$$f_{j+1,j} = f_{j,i+1} - \tilde{a}_{i+1}f_{j,0}, \quad (20)$$

donde $\tilde{A}(0) = 1$ Para empezar las iteraciones, E_1 y F_1 se definen en la forma:

$$E_1 = C(0) \quad ; \quad (21)$$

$$F_1 = q(C(q^{-1}) - \tilde{A}(q^{-1})C(0)) \quad ; \quad (22)$$

donde $C(0) = 1$.

Con los valores de E_j y F_j calculados, se define una nueva ecuación diofántica, la cual puede calcularse recursivamente desde $j=N_1$ hasta $j=N_2$:

$$E_j(q^{-1})B(q^{-1}) = G_j(q^{-1})C(q^{-1}) + q^{-j}G'_j(q^{-1}), \quad (23)$$

donde los polinomios G_j y G'_j , tienen grados $j-1$ y $máx(nc-1, nb)$ respectivamente. La expresión diofántica (23) toma la forma de una ecuación de división polinomial:

$$c = ax + by \quad ; \quad (24)$$

donde c es el dividendo, a es el divisor, x es el cociente y by es el residuo. Por lo que los valores de G_j y G'_j , necesarios para el cálculo del predictor pueden obtenerse a partir de (23). Para ello se debe definir:

$$c = E_j(q^{-1})B(q^{-1}) \quad ; \quad (25)$$

$$a = C(q^{-1}) \quad ; \quad (26)$$

$$by = G_j(q^{-1}) \quad ; \quad (27)$$

$$x = q^{-j}G'_j(q^{-1}) \quad ; \quad (28)$$

Es importante definir correctamente los valores de N_1 , N_2 y N_u debido a que el proceso está afectado por un retardo de tiempo de 345 s, los horizontes se definen de la siguiente forma [6]:



$$N_1 = d + 1 \quad ; (29)$$

$$N_2 = d + N_u \quad , (30)$$

$$N_u = N \quad . (31)$$

Con los resultados obtenidos se forman las matrices:

$$G = \begin{bmatrix} g_0 & 0 & \dots & 0 \\ g_1 & g_0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ g_{N-1} & g_{N-2} & \dots & g_0 \end{bmatrix} \quad ; (32)$$

$$F = \begin{bmatrix} F_{d+1} \\ F_{d+2} \\ \vdots \\ F_{d+N} \end{bmatrix} \quad ; (33)$$

$$G' = \begin{bmatrix} G'_{d+1} \\ G'_{d+2} \\ \vdots \\ G'_{d+N} \end{bmatrix} \quad (34)$$

El cálculo del predictor toma la forma:

$$\hat{y}(k + d + j) = Gu + G' \Delta u^f(k - 1) + Fy^f(k + d)$$

$$\text{donde, } \Delta u^f = \frac{\Delta u}{C(q^{-1})} \quad y^f = \frac{y}{C(q^{-1})} \quad (35)$$

Como los últimos términos dependen del pasado forman parte de la respuesta libre del sistema, por lo que:

$$\hat{y} = Gu + f \quad (36)$$

donde:

$$f = G' \Delta u^f(k - 1) + Fy^f(k + d) \quad . (37)$$

Una vez calculados los valores de las salidas predichas, es posible minimizar la función de coste a lo largo del horizonte de predicción, para conseguir la señal de control óptima.

La función de coste (14) se puede representar en la forma [6]:

$$J = (Gu + f - w)^T (Gu + f - w) + l u^T u, \quad (38)$$

donde:

$$w = \begin{bmatrix} w(k+d+1) \\ w(k+d+2) \\ \dots \\ w(k+d+N) \end{bmatrix} \quad , (39)$$

Para generar la trayectoria de referencia interna se utiliza un modelo de primer orden [6]:

$$w(k) = y(k) \quad ; (40)$$

$$w(k + j) = \alpha w(k + j - 1) + (1 - \alpha)r(k + j), \quad (41)$$

donde α es un parámetro comprendido entre cero y uno y constituye un valor ajustable que influye en la respuesta dinámica del sistema. Para pequeños valores de α se tendrá un seguimiento rápido, mientras que se tendrá una respuesta más suave si α aumenta [6]. $w(k + j)$ es la trayectoria de referencia interna, la cual se conoce con anterioridad, con lo que se evitan los efectos de retardo en la respuesta del proceso, $r(k + j)$ es la referencia externa del sistema.

Si:

$$H = 2(G^T G + l I) \quad ; (42)$$

$$b = 2(f - w)^T G \quad ; (43)$$

$$f_0 = (f - w)^T (f - w) \quad , (44)$$

se tiene:

$$J = \frac{1}{2} u^T H u + h u + f_0 \quad , (45)$$

Para minimizar la función de coste se iguala a cero su gradiente, siempre y cuando no existan restricciones en la señal de control, lo cual nos conduce a:

$$u = -H^{-1} b^T \quad , (46)$$

Sustituyendo (42), (43) y (44) en (46) se obtiene:

$$u = (G^T G + I)^{-1} G^T (w - f) = K(w - f) \quad , (47)$$

donde:

$$K = (G^T G + I)^{-1} G^T \quad , (48)$$

Debido a la estrategia de horizonte móvil, sólo se aplica el primer elemento del vector u , el cual es Δu , correspondiente a la primera fila de la matriz K .

$$K_p = 1 \begin{bmatrix} 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}_{1 \times N-1} K \quad , (49)$$

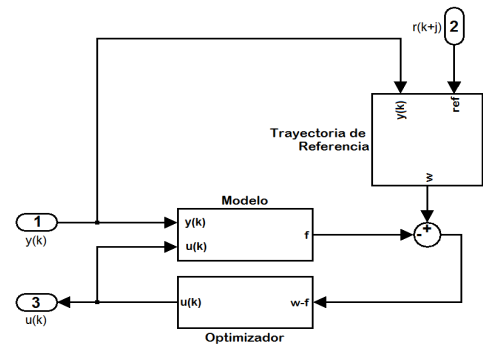
como resultado se obtiene:

$$\Delta u(t) = K_p (w - f) \quad , (50)$$

Finalmente, la señal de control se calcula mediante la expresión:

$$u(t) = u(t-1) + \Delta u(t) \quad , (51)$$

Para comprobar el funcionamiento del algoritmo de control predictivo desarrollado, este fue implementado en el ambiente MATLAB-SIMULINK para su simulación. En la Fig. 6, se muestra el diagrama en bloques implementado para el controlador GPC.



En la Fig. 7, se muestra el diagrama en bloques correspondiente al modelo del tramo de canal objeto de estudio..

Figura 6. Diagrama en bloques del controlador predictivo generalizado (GPC) diseñado.

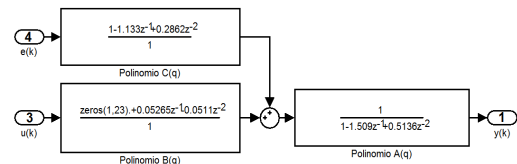
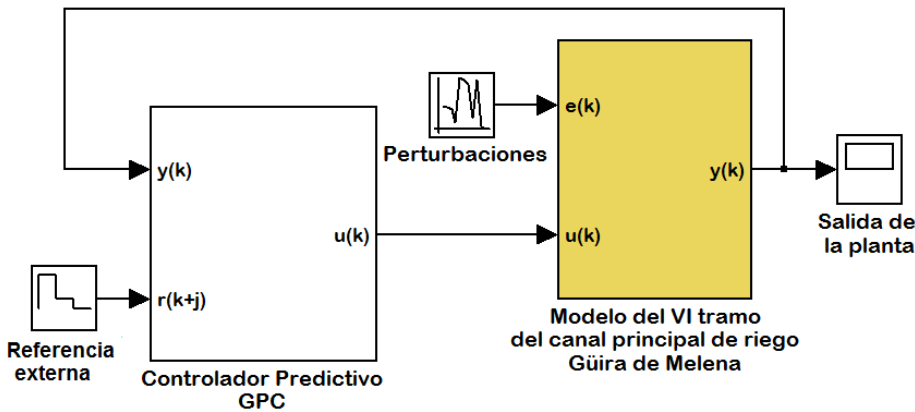


Figura 7. Diagrama en bloques del modelo del proceso bajo estudio

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la simulación del control predictivo diseñado se varían los parámetros α , λ , la varianza de la señal aleatoria que ingresa al modelo de perturbación del proceso para comprobar el funcionamiento del algoritmo de control. En la Fig. 8, se muestra el diagrama en bloques desarrollado para la simulación



del sistema de control.

Figura 8. Diagrama en bloques para la simulación del sistema de control

Los principales resultados de simulación del sistema de control diseñado se presentan en las Fig. 9, Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12 y Fig. 13.

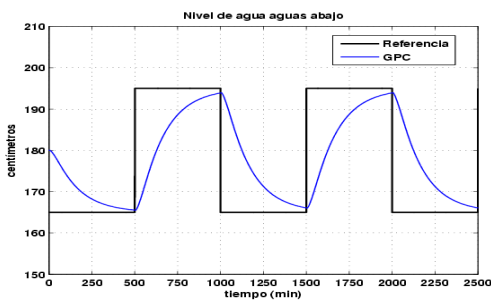
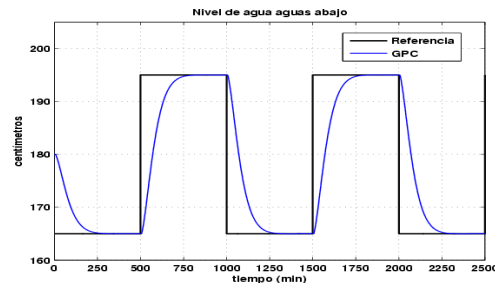


Figura 9. Resultados de simulación para $\alpha = 0.9$, $\lambda = 100$, $Nu = 10$ y sin varianza de ruido.

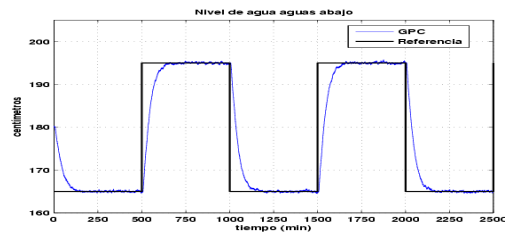


Para el caso que se muestra en la Fig. 10, la respuesta del sistema es muy lenta y no presenta variaciones bruscas.

Figura 10. Resultados de simulación para $\alpha = 0.99$, $\lambda = 1.5$, $Nu = 10$ y sin varianza de ruido.

Como se puede apreciar de la Fig. 10 con los nuevos valores de $\alpha=0.99$ y $\lambda=1.5$ la respuesta del sistema presenta mejores resultados que los obtenidos en la Fig. 9.

En las Fig. 11 y Fig. 12, se muestran los resultados de simulación del sistema de



control considerando el efecto de diferentes magnitudes de ruido.

Figura 11. Resultados de simulación para $\alpha = 0.99$, $\lambda = 1.5$, $Nu = 10$ y varianza de ruido de 0.1.

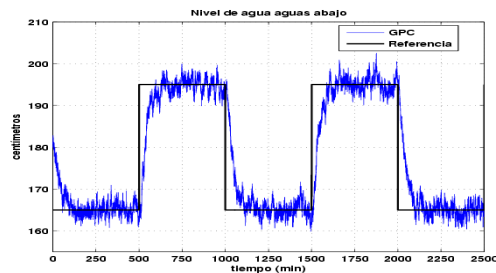


Figura 12. Resultados de simulación para $\alpha = 0.99$, $\lambda = 1.5$, $Nu = 10$ y varianza de ruido de 1.

De estas figuras se aprecia que el controlador no se desestabiliza ante la presencia de perturbaciones.

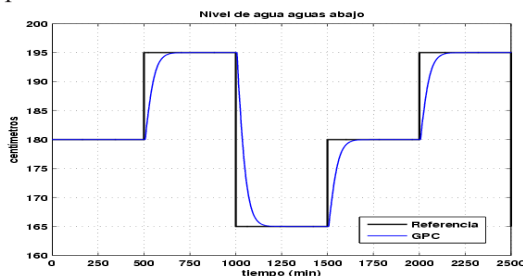


Figura 13. Resultados de simulación para $\alpha = 0.1$, $\lambda = 0.48$, $Nu = 10$, y referencia variable.

De la Fig. 13 se puede apreciar que la salida del sistema de control sigue de forma adecuada a la señal de referencia variable, lo cual demuestra la efectividad del sistema de control predictivo diseñado.

CONCLUSIONES

A partir de métodos experimentales se obtuvo un modelo matemático que representa con suficiente exactitud la dinámica del tramo de canal de riego objeto de estudio, aspecto fundamental para el desarrollo de un controlador predictivo basado en modelo. Mediante las técnica de validación cruzada se estableció que el modelo tiene un índice de ajuste del 87.19 % con los datos reales, por lo que se consideró como un buen modelo para el diseño de un controlador predictivo. Se desarrolló el algoritmo de control predictivo GPC para el proceso de variación de nivel aguas abajo del VI tramo del canal principal Güira de Melena. Mediante MATLAB y SIMULINK se implementó el algoritmo de control desarrollado y mediante simulación se evaluó su comportamiento obteniendo buenos resultados ante presencia de perturbaciones y referencias (variables).



REFERENCIAS

1. RIVAS-PERÉZ, R., FELIU-BATLLE, V., SÁNCHEZ, L., PEDREGAL, D., LINARES, A., AGUILA, J., Y LANGARITA, P.: "Identification of the first pool of the Imperial de Aragón main irrigation canal" en *Hydraulic engineering in Mexico*, Vol. XXIII. No. 1, 71-87, 2008.
2. RIVAS-PERÉZ, R., FELIU-BATLLE, V., Y SÁNCHEZ, L.: "Robust system identification of an irrigation main canal" en *Advances in Water Resources in USA*, No. 30, 1785-1796, 2007
3. MALATERRE, P., ROGERS, D., Y SCHUURMANS, J.: "Classification of canal control algorithms" en *Journal of irrigation and drainage engineering in USA*, Vol. 124. No. 1, 3-10, 1998.
4. LITRICO, X., Y FROMION, V.: Modeling and control of hydrosystems. Springer-Verlag. Londres, 2009.
5. FELIU-BATLLE, V., RIVAS-PERÉZ, R., SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, L., Y RUIZ-TORIJA, M.: "Robust fractional-order PI controller implement on a laboratory hydraulic canal" en *Journal of hydraulic engineering in USA*, Vol. 135. No. 4, 271-282, 2009.
6. CAMACHO, E., Y BORDONS, C.: "Control predictivo: pasado, presente y futuro" en *Revista iberoamericana de automática e informática industrial en España*, Vol. 1. No. 3, 5-28, 2004.
7. AGUADO, A.: Temas de Identificación de Sistemas y Control Adaptable. Instituto de Cibernética, Matemática y Física. Habana. 2000.
8. LJUNG, L.: System Identification-theory for the user. Segunda Edición. Prentice-Hall. New Jersey, 1999.
9. PLARRE, K., ROJAS, A., Y ROJAS, R.: "Analytical solution to the polynomial diophantine equation: Development and application to generalized predictive control analysis" en *International Conference on Control*. No. 455, 804-809, 1998.

AUTORES

Julio César Cuenca Tinitana, Ingeniero Electromecánico, Máster en Informática Industrial y Automatización, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador, julio.cuenca@unl.edu.ec.

Raúl Rivas Pérez, Ingeniero en Automática y Telemecánica, Doctor en Ciencias Técnicas, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", Ciudad Habana, Cuba, rivas@electronica.cujae.edu.cu.