

**PROPUESTA PEDAGÓGICA PARA LA ASIGNATURA CONTROL I  
(SISTEMAS DE CONTROL ANALÓGICO) BASADA EN EL ESTUDIO DE  
COMPETENCIAS**

**GRUPO DE INVESTIGACIÓN  
CEMOS**

**MARLON AUGUSTO VILLAMIZAR MORALES**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA**

**2005**

**PROPUESTA PEDAGÓGICA PARA LA ASIGNATURA CONTROL I  
(SISTEMAS DE CONTROL ANALÓGICO) BASADA EN EL ESTUDIO DE  
COMPETENCIAS**

**GRUPO DE INVESTIGACIÓN  
CEMOS**

**MARLON AUGUSTO VILLAMIZAR MORALES**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de  
Ingeniero Electrónico**

**Director: Daniel Alfonso Sierra Bueno, Ing. M.Sc.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA**

**2005**

## RESUMEN

Palabras Clave:

**Competencia, análisis funcional, niveles de competencia, saberes, estrategia de enseñanza-aprendizaje, taller.**

Con base en la observación de tres problemas principales: la existencia de una brecha entre la teoría (educación universitaria) y la práctica (realidad industrial), la necesidad de definir los objetivos formativos para la asignatura Sistemas de Control Analógico (SCA) que permitan el diseño de actividades pedagógicas y, finalmente la baja aplicación de los conceptos teóricos en actividades de final de semestre, se propone diseñar y ejecutar una estrategia de enseñanza-aprendizaje con base en el estudio de competencias utilizando las herramientas del análisis funcional.

Para alcanzar este objetivo se identifican las competencias u objetivos formativos generados en el aula de clase (SCA) representados en tablas de saberes por medio de la adaptación al entorno universitario del análisis funcional propuesto por el Sistema de Competencias, además se clasifican los objetivos formativos obtenidos en niveles de competencia utilizando una taxonomía de Bloom adaptada a las ingenierías propuesta por el profesor Miguel Valero del departamento de arquitectura de computadores de la Universidad Politécnica de Cataluña. Posteriormente se identifican las competencias en el entorno laboral por medio de una consulta a profesionales de diferentes ingenierías practicantes en el área de control.

A partir de las competencias identificadas en el entorno universitario y en el entorno laboral, se propone la realización de dos prácticas: la primera es el control de nivel de líquido en un tanque por medio de un controlador industrial ON-OFF, realizado junto con los estudiantes de control de la Escuela de Ingeniería Química; la segunda es el control de presión de un sistema óleo-hidráulico realizado en los laboratorios del SENA - Girón. Finalmente se propone la realización de talleres (ejercicios teóricos) dentro del aula de clase con la participación directa de los estudiantes y la asesoría del profesor de la asignatura, como estrategia para el desarrollo de competencias.

## SUMMARY

Keywords:

**Competence, functional analysis, levels of competence, knowledgement, learning-teaching strategy.**

Based on the observation of three main problems: the existence of a gap between the theory (universitary education) and the practice (industrial reality), the need of defining the formative objectives for the subject Systems of Analogic Control (SAC) which allow the design of pedagogic activities and, finally the few application of the theoretical concepts in the activities of the end of semester, it is proposed to design and execute a learning-teaching strategy based in the study of competences using the tools of the functional analysis.

To reach this objective are identified the formative objectives and competences generated in the classroom (SAC) represented in the tables of knowledgement by means of the adaptation to the university environment of the functional analysis proposed by the system of competences, in addition, the formative objectives obtained are classified in the levels of competence using the taxonomy of Bloom adapted to the engineering proposed by the professor Miguel Valero of the Computer Architecture Department of the Polytechnic University of Catalunya. Subsequently, the competences are identified in the laboral environment through a consultation to professionals of different engineering working in the area of control.

Beginning with the competences identified in the university environment and in the laboral environment, it is proposed the realization of two practices: the first is the level control of liquid in a tank using an industrial controller ON-OFF, made with the students of control of the school of chemistry engineering; the second is the pressure control of an oil-hydraulics system made in the laboratories of the SENA-Giron. Finally it is proposed the realization of work (theoretical exercises) in the classroom with the direct participation of the students and the support of the subject teacher, as a strategy for the development of competences.

*Los resultados de esta investigación se los dedico a Dios todopoderoso por que gracias a su fuerza divina he podido culminar este trabajo, además por haber realizado la creación, la cual es y será ejemplo para el desarrollo de la ingeniería en control.*

*A Jesucristo, ejemplo de vida, y gran docente por naturaleza.*

*A la Virgen María por protegerme en los momentos de duda e incertidumbre.*

*A mi madre Flor María y a mi padre Julio quienes me han dado la oportunidad de educarme profesionalmente y me han enseñado los verdaderos valores de la vida.*

*A mis hermanas Mónica y Juliana por su apoyo, alegría y gran compañía.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo fue patrocinado por COLCIENCIAS y el SENA a través del grupo de investigación Resolución de Problemas (RESPROM) de la Universidad Industrial de Santander. Agradecemos a su director Claude Ewert y a todos sus integrantes por su colaboración y apoyo.

Gracias al profesor Daniel Alfonso Sierra Bueno quien ha sido un verdadero maestro, por permitirme trabajar junto a él en este proyecto, ofrecerme su conocimiento para enseñarlo a los demás, y darme consejos para el ejercicio profesional. Al profesor Roberto Martínez por brindarme la oportunidad de trabajar con él y sus estudiantes, por su valioso aporte conceptual y por su amistad. Agradezco también a Wilson Giraldo Picon, M.Sc., por su apoyo metodológico y profesional, además de ser guía en los momentos más cruciales de esta investigación, tanto en el desarrollo como en la socialización.

Gracias a los directivos del SENA-Girón, especialmente al Ingeniero Carlos Horacio Robles por abrirme las puertas del SENA y por su apoyo conceptual en la realización de la práctica. También agradezco a los ingenieros practicantes quienes atendieron la consulta realizada para este trabajo, porque gracias a su colaboración fue posible la planeación de las prácticas.

A mis padres, hermanas y familia porque es el núcleo de todo mi desarrollo personal y académico. También a mis grandes amigos Harbey, Eduard, Carlos Acosta, Marcela, Pedro, Jhon, Santiago, Carlos Giraldo, Tiz, Claudia, Sonia, Sandra, Dania, por su paciencia y apoyo incondicional.

Finalmente agradezco a los alumnos de la asignatura Sistemas de Control Analógico y Digital del primer y segundo semestre del 2004, porque de cada uno de ellos he aprendido una lección para mi trabajo actual y futuro.

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1. ELEMENTOS DEL SISTEMA DE COMPETENCIAS .....</b>	<b>4</b>
1.1. DEFINICIÓN DE COMPETENCIA.....	6
1.2. PROCESO DE IDENTIFICACIÓN DE COMPETENCIAS Y DISEÑO DE ESTRATEGIAS DE ENSEÑANZA.....	9
1.2.1. Características del análisis funcional.....	10
1.2.2. Diseño curricular.....	15
1.2.3. Equipo de trabajo.....	16
<b>2. ANÁLISIS DE LA ASIGNATURA CONTROL I.....</b>	<b>18</b>
2.1. EQUIPO DE TRABAJO.....	18
2.2. ELABORACIÓN DE UN ESQUEMA TEMÁTICO.....	19
2.3. IDENTIFICACIÓN DE COMPETENCIAS.....	24
2.4. CLASIFICACIÓN DE LOS NIVELES DE COMPETENCIA.....	28
2.4.1. Taxonomía de bloom.....	29
2.4.2. Clasificación de las competencias de la asignatura control i.....	32
2.4.3. Consideraciones sobre las estrategias pedagógicas y los niveles de competencia.....	33
2.4.4. Ventajas de la identificación de competencias.....	35
<b>3. RESULTADOS DE LA IDENTIFICACIÓN DE COMPETENCIAS .....</b>	<b>37</b>
3.1. HISTORIA DE LOS SISTEMAS DE CONTROL.....	37
3.2. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL.....	38
3.3. MODELADO MATEMÁTICO.....	39
3.3.1. Representación matemática entrada – salida.....	39
3.3.1.1. Función de transferencia.....	39
3.3.1.2. Diagrama de bloques.....	40
3.3.1.3. Gráficos de flujo de señal (grafos).....	40
3.3.1.4. Espacio de estados.....	41
3.3.2. Sistemas físicos.....	42
3.4. ESTABILIDAD Y COMPORTAMIENTO DE SISTEMAS EN LAZO CERRADO.....	43
3.4.1. Respuesta en el tiempo.....	43
3.4.1.1. Señales de prueba típicas.....	43
3.4.1.2. Error en estado estable.....	43
3.4.1.3. Características de desempeño.....	44
3.4.2. Frecuencia compleja “s”.....	45
3.4.2.1. Localización de polos.....	45
3.4.2.1.1. Routh Hurwitz.....	45
3.4.2.1.2. Lugar de las raíces.....	45
3.4.2.1.3. Formas de respuesta.....	46
3.4.2.2. Límites de estabilidad.....	46
3.4.3. Respuesta en frecuencia.....	47
3.4.3.1. Trazas de frecuencia.....	47
3.4.3.1.1. Nyquist.....	47
3.4.3.1.2. Bode.....	48
3.4.3.1.3. Nichols.....	49

3.4.3.2. Márgenes de estabilidad.....	50
3.4.3.3. Características de desempeño.....	51
3.5. DISEÑO DE SISTEMAS DE CONTROL.....	52
3.5.1. Especificaciones de diseño.....	52
3.5.2. Tipos de controladores.....	53
3.5.2.1. Función de transferencia del compensador.....	53
3.5.2.2. Diseño en frecuencia.....	53
3.5.2.3. Diseño en el lugar de las raíces.....	54
3.5.3. Verificación de resultados.....	55
<b>4. CONSULTA A PROFESIONALES EN EL AREA DE SISTEMAS DE CONTROL.....</b>	<b>56</b>
4.1. RESULTADOS DE LA CONSULTA.....	57
4.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA CONSULTA.....	67
4.2.1. Descripción de los resultados.....	67
4.2.2. Observaciones.....	69
4.3. COMPETENCIAS IDENTIFICADAS EN EL MEDIO LABORAL.....	71
<b>5. PROPUESTAS DESARROLLADAS.....</b>	<b>75</b>
5.1. CONTROL DE NIVEL DE LÍQUIDO EN UN TANQUE.....	75
5.1.1. Descripción de la actividad.....	75
5.1.2. Competencias a desarrollar.....	82
5.2. CONTROL DE PRESIÓN EN UNA TUBERÍA.....	85
5.2.1. Dispositivos utilizados.....	85
5.2.2. Descripción de la actividad.....	88
5.2.3. Competencias a desarrollar.....	92
5.3. REALIZACIÓN DE TALLERES DENTRO DEL ESPACIO DE CLASE.....	95
5.4. COMENTARIOS.....	96
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>98</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>101</b>
<b>ANEXO A. ESQUEMA TEMÁTICO PARA LA ASIGNATURA.....</b>	<b>105</b>
<b>ANEXO B1. TALLER DE RESPUESTA EN EL TIEMPO.....</b>	<b>106</b>
<b>ANEXO B2. TALLER DISEÑO DE COMPENSADOR EN ADELANTO ....</b>	<b>109</b>
<b>ANEXO B3. DISEÑO DE COMPENSADOR ADELANTO - ATRASO.....</b>	<b>110</b>
<b>ANEXO C. FORMATO CONSULTA A PROFESIONALES.....</b>	<b>112</b>
<b>ANEXO D. GUÍA PRÁCTICA SENA.....</b>	<b>116</b>
<b>ANEXO E. CONSULTA A ESTUDIANTES.....</b>	<b>129</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 .	Desglose del análisis funcional. Fuente [Zúñiga03].....	13
Figura 2 .	Esquema de mapa funcional. Fuente [Giraldo02].....	14
Figura 3 .	Esquema de trabajo.....	19
Figura 4 .	Porción del esquema temático. ....	22
Figura 5 .	Relación común entre contenidos. ....	23
Figura 6 .	Relación de dependencia. ....	24
Figura 7 .	Esquema de identificación.....	25
Figura 8 .	Relación de dependencia entre “haceres” y “saberes” .....	28
Figura 9 .	Clasificación de los niveles de competencia.....	33
Figura 10 .	Sistema de control de nivel de líquido .....	76
Figura 11 .	Esquema del sistema de control de nivel de líquido.....	77
Figura 12 .	Sensor de Presión .....	79
Figura 13 .	Indicador de Nivel .....	79
Figura 14 .	Esquema del montaje del sistema de control .....	81
Figura 15 .	Diagrama de bloques del sistema.....	81
Figura 16 .	Banco de trabajo para la práctica .....	85
Figura 17 .	Dispositivos hidráulicos utilizados.....	86
Figura 18 .	Dispositivos electrónicos utilizados.....	87

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Definiciones de Competencia desde el punto de vista pedagógico.....	7
Tabla 2.	Metodologías para la identificación de competencias. ....	10
Tabla 3.	Diseño del controlador en el dominio de la frecuencia. ....	27
Tabla 4.	Niveles de competencia en el campo cognoscitivo. ....	29
Tabla 5.	Niveles de competencia en el campo cognoscitivo adaptado al área de ingeniería.....	30
Tabla 6.	Historia de los sistemas de control .....	37
Tabla 7.	Clasificación de los sistemas de control .....	38
Tabla 8.	Función de transferencia .....	39
Tabla 9.	Diagrama de bloques.....	40
Tabla 10.	Gráficos de flujo de señal .....	40
Tabla 11.	Espacio de estados.....	41
Tabla 12.	Sistemas físicos .....	42
Tabla 13.	Señales de prueba típicas .....	43
Tabla 14.	Error en estado estable.....	43
Tabla 15.	Características de desempeño .....	44
Tabla 16.	Routh Hurwitz .....	45
Tabla 17.	Lugar de las raíces .....	45
Tabla 18.	Formas de respuesta .....	46
Tabla 19.	Límites de estabilidad .....	46
Tabla 20.	Trazas en Frecuencia (Nyquist).....	47

Tabla 21.	Trazas en Frecuencia (Bode) .....	48
Tabla 22.	Trazas en Frecuencia (Nichols) .....	49
Tabla 23.	Márgenes de estabilidad .....	50
Tabla 24.	Características de desempeño .....	51
Tabla 25.	Especificaciones de diseño .....	52
Tabla 26.	Función de transferencia del compensador .....	53
Tabla 27.	Diseño en frecuencia .....	53
Tabla 28.	Diseño en el lugar de las raíces .....	54
Tabla 29.	Verificación de resultados .....	55

## INTRODUCCIÓN

La Universidad, entendida como eje de desarrollo y progreso cultural, social y productivo de una región o país, centra sus esfuerzos en la formación profesional integral formando profesionales con capacidad de aplicar en el contexto laboral los conocimientos y habilidades desarrollados en su proceso de formación [UIS00].

Como motor de desarrollo nacional, la Universidad debe interactuar con el sector productivo<sup>1</sup> cuyas exigencias cambian constantemente debido al modelo de desarrollo imperante a nivel mundial caracterizado por la globalización y la internacionalización de la economía. Nos enfrentamos a una era de problemas abiertos, complejos y dinámicos que requieren pensamientos correlacionados y concurrentes [Lewis]. En esta perspectiva, es necesaria la aplicación de los conceptos obtenidos en la universidad dentro de un sector productivo; en otras palabras, “llevar la teoría a la práctica”.

En la actualidad el vínculo que existe entre la educación universitaria y la industria es muy débil. No existe un verdadero canal de comunicación que permita una realimentación de información entre estas dos partes, lo cual es vital a la hora de formar profesionales con un enfoque práctico; esta situación ha generado como consecuencia estudiantes con un nivel teórico alto pero con un bajo nivel experimental, y en muchas ocasiones alejado de la realidad de la industria nacional.

---

<sup>1</sup> Se entiende como todo el conjunto de instituciones, empresas u organizaciones, nacionales e internacionales, sean públicas o privadas, que contribuyen al flujo económico y componentes del PIB de un país.

En concordancia con esto, la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander se encuentra en la tarea de reducir cada vez más la brecha que existe entre la teoría y la práctica; para este proyecto se trabajó específicamente en el desarrollo de la asignatura **Control I** (Sistemas de Control Analógico). Para lograr esto es necesario conocer las habilidades reales que debe adquirir un profesional en esta área, e implementar estrategias de enseñanza-aprendizaje que permitan su desarrollo en el ambiente académico, además de incentivar y motivar al estudiante en el estudio y aplicación de los conceptos teóricos.

La iniciativa de este trabajo de grado surge de la participación del autor (como auxiliar de investigación) y el director (como investigador), en el proyecto patrocinado por COLCIENCIAS “Del sector productivo al aula: La resolución de problemas en el desarrollo de Competencias para una nueva organización del trabajo” desarrollado por el grupo de investigación **Resolución de Problemas (RESPROM)** de la Universidad Industrial de Santander. El grupo está integrado por profesores y estudiantes de las ingenierías Eléctrica, Electrónica, Civil, Mecánica y Química, quienes han desarrollado trabajos en donde aplican nuevas estrategias de enseñanza-aprendizaje en el aula de clase, como herramienta para el mejoramiento de las actividades académicas.

Se espera que con este trabajo se presenten alternativas pedagógicas dentro del desarrollo de la asignatura Control I, que permitan al profesor identificar las necesidades de formación cognitiva y estrategias de enseñanza – aprendizaje en la asignatura Control I, a su vez que los estudiantes tomen conciencia acerca de la razón de ser de la presentación o elaboración en el

aula de dichos conocimientos, y su articulación en un futuro desempeño profesional.

El texto se encuentra dividido en cinco capítulos y cinco anexos. En el capítulo uno se presentan las características del sistema de competencias, realizando énfasis en el análisis funcional como característica principal en el proceso de identificación de competencias. En el capítulo dos se presenta la adaptación al entorno pedagógico del análisis funcional y el proceso de identificación de competencias realizado para la asignatura Control I. Los resultados de la identificación se ven reflejados en las tablas de saberes presentadas en el capítulo tres. Además, en el capítulo cuatro se encuentran las competencias identificadas por medio de la consulta a los profesionales practicantes en el área de control, y finalmente en el capítulo cinco se presentan las propuestas pedagógicas desarrolladas junto con los estudiantes de la asignatura durante el segundo semestre académico del 2004, a partir del análisis de las competencias identificadas en la asignatura y las competencias identificadas por medio de la consulta a profesionales.

## 1 ELEMENTOS DEL SISTEMA DE COMPETENCIAS

En los últimos años se ha venido aplicando en el entorno laboral y educativo el concepto de Sistema de Competencias [Gonczi96], el cual pretende identificar requerimientos conceptuales, procedimentales y actitudinales como herramienta fundamental para fomentar acciones de formación y desarrollo productivo.

El Sistema de Competencias permite establecer parámetros de desempeño y evaluación para cada uno de los actores involucrados en un entorno, ya sea laboral o educativo. Sin embargo, se implementó inicialmente en el entorno laboral, como base para mejorar los procedimientos de producción y capacitación de los trabajadores con el fin de incrementar la competitividad de las empresas [Zúñiga04].

En el contexto educativo se pretende implementar con el fin de formar al estudiante universitario para que su desempeño en el campo profesional sea satisfactorio y pueda cumplir con las necesidades del área laboral y científica, además de servir para disminuir la brecha que existe entre la teoría y la práctica.

Desde luego, el sistema de competencias visto desde la perspectiva de competitividad laboral difiere de la perspectiva de formación universitaria, pero comparten el objetivo común de preparar al individuo para que aplique sus conocimientos de tal forma que se obtengan resultados favorables en el desarrollo de sus proyectos u oficios. Es decir, en el contexto laboral el punto de referencia para la definición de competencias es el objetivo principal de la

empresa, el cual a su vez se encuentra delimitado por la sub-área de desempeño<sup>2</sup> en el cual se encuentra enmarcada la misma. Por otra parte el punto de referencia para la definición de competencias en el contexto universitario no se encuentra limitado solo hacia una sub-área de desempeño, ya que la aplicación del conocimiento generado en la universidad es de carácter general y aplicable a diversas áreas productivas. Por ejemplo, el área de control encuentra aplicación no solo en el sector industrial, sino también en las áreas de medicina, bioingeniería y economía por citar algunas.

A pesar de las diferencias de perspectiva entre el entorno laboral y el educativo, es posible tomar como base los elementos del Sistema de Competencias para reconocer las competencias en el entorno educativo, teniendo en cuenta las características del contexto de formación profesional universitaria.

Cabe anotar que con este trabajo no se pretende determinar un estándar para el desarrollo de la asignatura Control I (Sistemas de Control analógico) sino aprovechar las ventajas del análisis funcional para realizar una propuesta pedagógica con base en la definición de competencias u objetivos planteados para la asignatura. Es claro que el sistema de competencias no soluciona todos los interrogantes en los procesos de formación y su aplicación en el contexto universitario se encuentra en constante evaluación y desarrollo. Algunas discusiones acerca del Sistema de Competencias se encuentran en [Gonczy96].

---

<sup>2</sup> Subconjunto de un área de desempeño donde las funciones que desarrollan los trabajadores tienen como propósito común producir un grupo homogéneo de bienes o servicios. [SENA03]

En esta sección se describen los elementos del Sistema de Competencias utilizados para la elaboración de la estrategia pedagógica para la asignatura Control I. La aplicación al entorno educativo se presentará en el capítulo siguiente.

## 1.1 DEFINICIÓN DE COMPETENCIA

En [Vargas01a] se describen diversas definiciones acerca del concepto de competencia desde el punto de vista laboral.

Tres de las más representativas se describen a continuación:

*“La competencia es una capacidad laboral, medible, necesaria para realizar un trabajo eficazmente, es decir, para producir los resultados deseados por la organización. Está conformada por conocimientos, habilidades, destrezas y comportamientos que los trabajadores deben demostrar para que la organización alcance sus metas y objetivos”<sup>3</sup>*

*“la capacidad productiva de un individuo que se define y mide en términos de desempeño en un determinado contexto laboral, y no solamente de conocimientos, habilidades o destrezas en abstracto; es decir, la competencia es la integración entre el saber, el saber hacer y el saber ser”<sup>4</sup>*

---

<sup>3</sup> Marelli, Anne. Introducción al análisis y desarrollo de modelos de competencia. Documento de trabajo fotocopiado. 1999.

<sup>4</sup> Ibarra, Agustín. Formación de Recursos Humanos y Competencia Laboral. Boletín Cinterfor/OIT No. 149. Montevideo. 2000.

*“Capacidad de una persona para desempeñar funciones productivas en contextos variables, con base en los estándares de calidad establecidos por el sector productivo”<sup>5</sup>*

Por otra parte, en el contexto pedagógico se encuentran las definiciones:

<b>Referente de autoridad</b>	<b>Definición</b>
Ministerio de Educación Nacional <sup>6</sup>	La competencia es un “saber hacer” o conocimiento implícito en el campo del actuar humano, acción situada que se define en relación con determinados instrumentos mediadores.
Manfred Max Neef <sup>6</sup>	La competencia se concibe desde el desarrollo de la escala humana manifestada en un ser, hacer, tener y estar.
Rómulo Gallego <sup>8</sup>	Son construcciones de cada cual, de conformidad con los retos que se plantea y en relación con un colectivo determinado.
Rodolfo Posada Alvarez <sup>7</sup>	Las competencias son capacidades complejas que se expresan en los diferentes ámbitos de la vida humana, personal y social.
Chomsky <sup>8</sup>	Las competencias son capacidades y disposición para la actuación y la interpretación y, por tanto, actividades cognoscitivas abiertas al futuro, a lo “inesperado”.

**Tabla 1. Definiciones de Competencia desde el punto de vista pedagógico.**

<sup>5</sup> [SENA03].

<sup>6</sup> Tomado de M. E. Quijano, “Propuesta Modelo de evaluación por Competencias,” Revista Escuela de Administración de Negocios, No. 48 mayo-Agosto, pp. 54-71. Colombia. 2003.

<sup>7</sup> Tomado de Memorias encuentro “Del sector productivo al aula: un enfoque pedagógico basado en competencias”, octubre de 2004, Bucaramanga, Colombia.

<sup>8</sup> Tomado de [Gallego99]

Se puede observar que existe un punto en común entre las definiciones desde el punto de vista laboral y el entorno pedagógico las cuales recalcan la importancia en el desarrollo de la persona del “saber”, “hacer” y “ser”.

El “saber” hace referencia a los conocimientos que deben desarrollar las personas para cumplir sus objetivos de desempeño. El “hacer” se interpreta como los procedimientos, destrezas y habilidades, y el “ser” como la iniciativa, cooperación, disciplina, trabajo en equipo y motivación hacia lo que se encuentra realizando [Zuñiga04].

Cabe resaltar que el concepto de competencia difiere de únicamente observar la capacidad que tiene el individuo para efectuar un “hacer mecánico”<sup>9</sup>, es decir, no solo utilizar la información en términos de algoritmos, apartada de su contexto conceptual y actitudinal lo cual generaría como consecuencia separar lo teórico de lo práctico. [Gallego99]

Para ilustrar de una mejor forma lo descrito anteriormente, en [Escobedo03] se presenta el siguiente caso:

*“Cuando en un restaurante se pide una carne asada y el mesero pregunta qué termino, el mesero entiende si le responde  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$  o bien asada. Pero qué pasa si el cliente respondiera que la quiere  $\frac{3}{8}$ : el hombre queda paralizado pues no tiene idea de lo que le están diciendo. Y sin embargo en el colegio él también ha estudiado fraccionarios desde el sexto grado hasta décimo...”*<sup>10</sup>

---

<sup>9</sup> Realización de actividades acudiendo al conocimiento para realizar eficazmente tareas, sin requerir reflexionar sobre el por qué o el cómo de lo que se lleva a cabo. [Gallego99]

<sup>10</sup> [Escobedo03] H. Escobedo, “El desarrollo curricular en torno a Problemas. Estrategia para lograr profesionales competentes”. Revista Escuela de Administración de Negocios, No. 48 Mayo-Agosto, pp. 18-27. Colombia. 2003.

En el desarrollo de este trabajo, la definición de competencia que se ajusta al contexto educativo con respecto a la realidad de la industria, la presenta [Gonzci02] de la siguiente manera:

*“El desarrollo de una competencia es una actividad cognitiva compleja que exige a la persona establecer relaciones entre la práctica y la teoría, a fin de estar en capacidad de transferir el aprendizaje a diferentes situaciones, de demostrar la capacidad de aprender a aprender, así como el desarrollo concreto de la experiencia y los conocimientos técnicos.”<sup>11</sup>*

## **1.2 PROCESO DE IDENTIFICACIÓN DE COMPETENCIAS Y DISEÑO DE ESTRATEGIAS DE ENSEÑANZA**

Según [Vargas01b] la identificación de competencias es un proceso de análisis cualitativo del trabajo que se lleva a cabo con el propósito de establecer los conocimientos, habilidades, destrezas y comprensión que el trabajador moviliza para desempeñar efectivamente una función laboral.

Actualmente se cuenta con diversas metodologías para identificar competencias, de las cuales se describen las más utilizados en la Tabla 2.

---

<sup>11</sup> [Gonzci96] A. Gonzci, “Análisis de las tendencias internacionales y de los avances en educación y capacitación basadas en normas de competencia”, página 38.

<b>ANÁLISIS</b>	<b>OBJETO DE ANÁLISIS</b>
Análisis ocupacional	El puesto de trabajo y la tarea
Análisis DACUM, AMOD, SCID	El puesto de trabajo y la tarea para definir el currículum de formación
Análisis Funcional	La función productiva, con base en su propósito clave.
Análisis Constructivista	La actividad trabajo, el trabajo estudiado en su dinámica

**Tabla 2. Metodologías para la identificación de competencias. Fuente [Zúñiga04]**

Para el presente trabajo se pretende analizar un área del conocimiento más no un área con una función productiva oficialmente determinada. La implementación de los Sistemas de Control es de carácter interdisciplinario y es posible realizarlo en diversas aplicaciones.

Por esta razón no es posible utilizar el análisis que involucre como punto de partida una ocupación u oficio en particular para el proceso de identificación. Sin embargo, es posible definir un propósito clave para la asignatura Control I, permitiendo la aplicación del análisis funcional.

### **1.2.1 Características del análisis funcional**

Según [Giraldo02], el análisis funcional es una metodología que permite identificar competencias necesarias para la realización de una función productiva. Parte de la identificación del propósito clave de una actividad productiva<sup>12</sup> para posteriormente correlacionar las funciones indispensables que deben realizar los integrantes de la misma en pro del cumplimiento de dicho propósito clave.

---

<sup>12</sup> El propósito clave define la actividad fundamental, misión crítica o razón de existencia de la sub-área de desempeño en el sistema productivo.

Algunos ejemplos de propósito clave se encuentran en [SENA03] y se enuncian a continuación:

*"Proveer los servicios de agua potable y saneamiento básico, logrando los estándares de calidad y eficiencia empresarial definidos y cumpliendo la normatividad ambiental vigente".*

*"Producir textiles satisfaciendo los requerimientos actuales y futuros de los mercados y garantizando la protección del medio ambiente".*

Partiendo del propósito clave o función principal de la actividad se crea una estructura de tipo árbol para ir identificando funciones cada vez más detalladas en diferentes niveles de especificidad. El desglose se realiza hasta llegar a las funciones elementales realizables (tareas individuales) para el cumplimiento del propósito clave. Además en el análisis funcional las funciones no se asocian con estructuras ocupacionales particulares de las empresas, se describe *Qué funciones se realizan* y no *Quién las hace* [SENA03].

Otra característica importante del análisis funcional es que permite construir como resultado un Mapa Funcional que representa en forma gráfica y ordenada cada uno de los procesos que se realizan para el cumplimiento del propósito clave del área en análisis. Las recomendaciones metodológicas para la elaboración del mapa funcional se encuentran descritas en [SENA99] y se destacan las siguientes:

- Para enunciar las funciones de cada nivel en el mapa funcional, se mantiene una estructura gramatical uniforme VERBO + OBJETO + CONDICIÓN.

El verbo especifica la acción que realiza el trabajador para obtener el resultado descrito en la función.

Por ejemplo: comprender, aprender, determinar, analizar, etc.

El objeto es el elemento en el cual ocurre la acción del verbo.

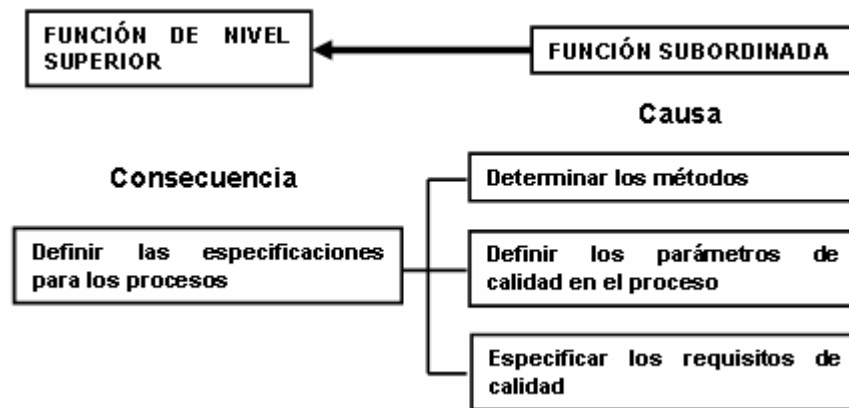
La condición hace referencia a la definición del alcance de la función laboral.

Un ejemplo de función es *“Alimentar el equipo para la molienda de acuerdo con el cronograma de trabajo”*

En este ejemplo el verbo es la acción de alimentar, el objeto es el equipo para la molienda y la condición es la realización de esta actividad de acuerdo al cronograma de trabajo.

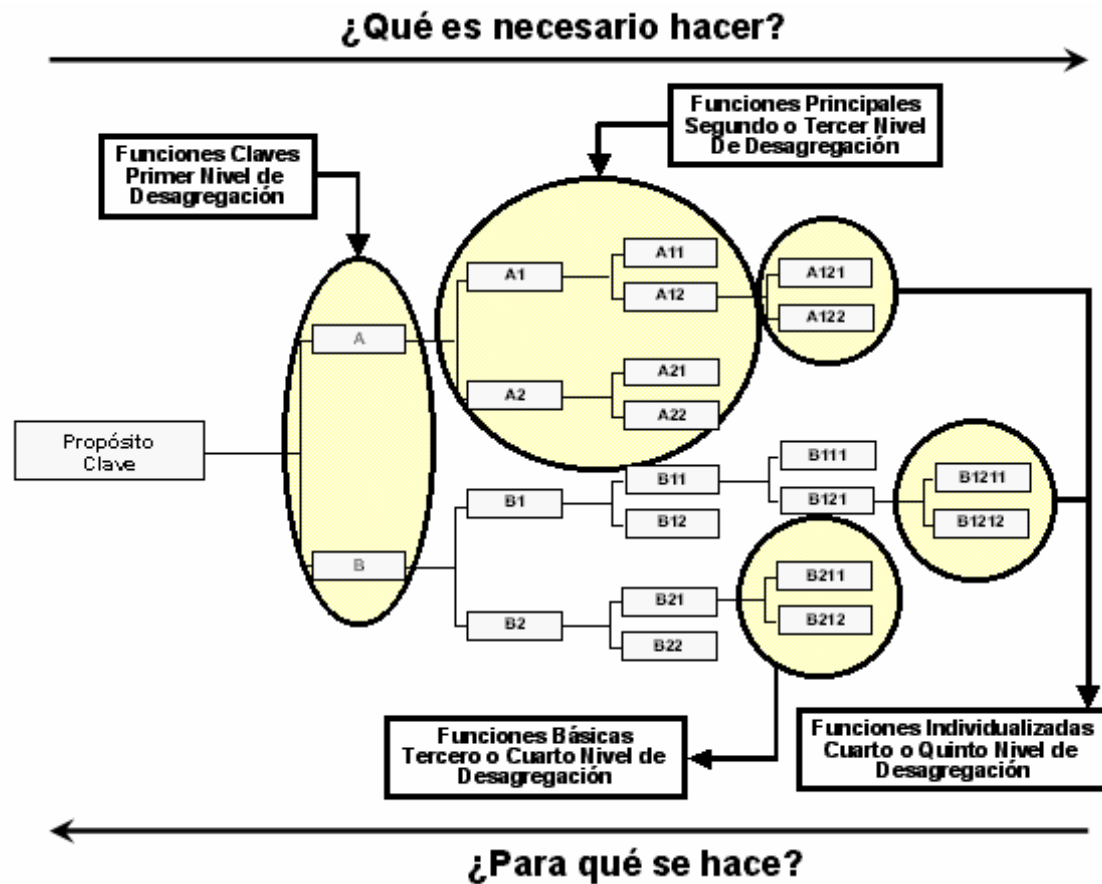
- Cada función se desglosa en las funciones subordinadas necesarias y suficientes que en conjunto permiten lograr la función de nivel superior, manteniendo una relación CONSECUENCIA ← CAUSA donde la sumatoria de las funciones subordinadas corresponde al resultado expresado en la función de nivel superior.
- La desagregación o desglose de funciones llega hasta enunciar funciones que pueden ser cumplidas individualmente, denominadas contribuciones individuales.

En la Figura 1 se muestra la característica de desglose en el análisis funcional, donde la suma de funciones de nivel inferior permite cumplir la función de nivel superior.



*Figura 1 . Desglose del análisis funcional. Fuente [Zúñiga03]*

En la Figura 2 se presenta un esquema del mapa funcional, en el cual se observan las funciones partiendo del propósito clave y terminando en funciones de último nivel que corresponden a actividades que un solo individuo puede realizar. Además, en la misma figura se describe otra característica del mapa funcional: si se lee en el sentido izquierda a derecha, se responde a la pregunta ¿qué es necesario hacer para cumplir el propósito clave o función de nivel superior?, y si se lee en sentido derecha a izquierda se responde la pregunta ¿para qué se realizan estas funciones?, permitiendo un mayor entendimiento del esquema desde el propósito clave hasta las funciones de último nivel.



*Figura 2. Esquema de mapa funcional. Fuente [Giraldo02]*

Una vez construido el mapa funcional e identificadas las funciones de último nivel que hacen referencia a actividades que un individuo puede realizar, se analizan estas últimas con el fin de determinar componentes normativos<sup>13</sup> para establecer un elemento de competencia. Es decir, un elemento de competencia describe el resultado laboral que un trabajador debe lograr en el desempeño de una contribución individual, mediante componentes normativos [SENA03]

<sup>13</sup> Los componentes normativos explicitan al hacer del trabajador de manera integral, es decir, identifican el hacer, el saber y el ser del comportamiento laboral, con el propósito de lograr un desempeño con niveles de competitividad bajo los estándares de calidad deseados por la empresa. [Morantes04]

Los componentes normativos son los siguientes:

- **Criterios de desempeño:** expresan el cómo y el qué se espera de una persona para ser considerada competente frente a una actividad que desarrolla. Tienen una estrecha relación con el “hacer”.
- **Conocimiento y comprensión:** principios, leyes, conceptos que la persona tiene que saber para lograr el desempeño competente. Tienen una estrecha relación con el “saber”
- **Rango de aplicación:** escenarios de aplicación y demostración de la competencia.
- **Evidencias requeridas:** Pruebas que demuestran la competencia de la persona.

### 1.2.2 Diseño curricular

En [Zúñiga04] se definen los parámetros para orientar el diseño curricular, de los cuales se mencionan los utilizados para este trabajo de grado.

#### i. Definición de objetivos

Consiste en la delimitación de los alcances del diseño del mapa educativo a ejecutar, que deben incluir la totalidad de los contenidos y procesos a desarrollar, expresando actividades reales, medibles y evaluables. Se deben

identificar claramente la intención de los objetivos y el dominio al que va dirigido: cognoscitivo, psicomotriz y afectivo.

El objetivo general hace referencia a las competencias que el alumno alcanzará al finalizar el proceso de formación.

Los objetivos específicos se derivan del objetivo general, se refieren a los contenidos de los procesos encontrados en los elementos de competencia, son objetivos parciales que contribuyen al logro del objetivo general y debe existir una relación causa-consecuencia entre estos y el objetivo general.

## **ii. Construcción de la tabla de “saberes”**

La tabla de saberes es una herramienta tipo tabla que describe el Saber, el Hacer y el Ser que se encuentran en relación directa con dos de los componentes normativos: Los criterios de desempeño y, los conocimientos y comprensiones. En el saber se incluyen teorías, principios, conceptos y hechos que permitan desarrollar las habilidades intelectuales. En el hacer se tienen los procedimientos motrices y cognitivos que relacionan las destrezas y habilidades intelectuales requeridas para el aprendizaje y posterior desempeño. En el ser se relacionan las actitudes y los valores requeridos, los cuales garantizan el posterior desempeño integral de la persona.

### **1.2.3 Equipo de trabajo**

Para la identificación de competencias es necesario constituir un equipo de trabajo conformado por:

- Expertos en los procesos de la subárea de desempeño.
- Representantes de los empresarios y trabajadores.
- Asesor metodológico.

Los expertos en los procesos y los representantes de los empresarios y trabajadores, junto con el asesor metodológico quien es la persona que más conoce acerca de los procesos en el sistema de competencias, se encargan de definir las funciones y determinar a partir de ellas los elementos de competencia y componentes normativos para la subárea de desempeño a analizar.

Para el diseño curricular se cuenta con el mismo equipo de trabajo, asesorado además por docentes quienes se encargan de definir las estrategias para el aprendizaje de cada una de las actividades y definir módulos de formación.

## 2 ANÁLISIS DE LA ASIGNATURA CONTROL I

Se propone identificar las competencias en el curso Control I por medio del análisis funcional. Este trabajo se centra en la identificación de competencias solo desde el punto de vista del “saber” y el “hacer”, es decir, los conocimientos y actividades necesarios para desarrollar las competencias planteadas.

### 2.1 EQUIPO DE TRABAJO

Para el análisis de la asignatura Control I, se cuenta con el siguiente equipo de trabajo:

- **Asesor metodológico**<sup>14</sup>: experto en sistemas de competencias, encargado de dirigir los procedimientos de identificación.
- **Expertos**: Profesores del área de sistemas automáticos de control<sup>15</sup> junto con el auxiliar del curso<sup>16</sup>.
- **Estudiantes de la asignatura.**

En la Figura 3 se presenta el esquema de trabajo del equipo:

---

<sup>14</sup> M.Sc. Wilson Giraldo Pico. Grupo de Investigación GISEL, Universidad Industrial de Santander.

<sup>15</sup> M.Sc. Daniel Alfonso Sierra Bueno, D.Tech. Roberto Martínez Angel. Profesores de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones.

<sup>16</sup> Autor de este trabajo de grado



*Figura 3. Esquema de trabajo*

El asesor metodológico se encarga de suministrar y proponer a los expertos estrategias que permitan la identificación de las competencias, y asimismo los expertos presentan sus resultados al asesor para su verificación. A su vez los expertos se encargan de identificar las competencias para la asignatura basados en la experiencia del docente, la revisión de literatura de la asignatura [Kuo96] [Ogata98] [Friedland86] y la realización de actividades con los estudiantes con el fin de obtener información adecuada para la identificación.

## **2.2 ELABORACIÓN DE UN ESQUEMA TEMÁTICO**

La primera modificación en la metodología propuesta por el análisis funcional, es que desde el propósito clave hasta las funciones de último nivel,

son actividades que desarrolla el estudiante que cursa la asignatura, mientras que en el análisis funcional solo las funciones de último nivel son actividades que desarrolla una persona.

Teniendo en cuenta la anterior característica se desarrolla un mapa funcional para la asignatura siguiendo los lineamientos del análisis funcional. Sin embargo, al determinar las funciones en el mapa, se presentó dificultad al definir los verbos para cada una de ellas, pues verbos como analizar, evaluar y diseñar pertenecen a un nivel de desarrollo cognitivo más elevado que verbos como describir, representar, recordar, etc., causando confusión a la hora de definir los niveles dentro del esquema del mapa. Además, en el desarrollo de la asignatura, los conocimientos y actividades se presentan de forma secuencial pues debe ir acorde al proceso de aprendizaje de la materia. Por ejemplo, en el caso de Control I, no es posible entrar al contenido de diseño de compensadores sin antes haber obtenido el conocimiento del lugar de las raíces o de las trazas en frecuencia. Esta característica no es posible de implementar en el esquema propuesto por el mapa funcional descrito en el capítulo anterior.

Con la colaboración del asesor metodológico se plantea en lugar de elaborar el mapa funcional, construir un **esquema temático**<sup>17</sup> a partir de los contenidos de la asignatura, los cuales se encuentran definidos en la literatura y son el mecanismo tradicional utilizado para la ejecución de la materia por medio de los profesores (en este caso los expertos) y mecanismo de estudio por parte de los estudiantes facilitando su construcción y análisis por parte de los expertos.

---

<sup>17</sup> Figura tipo árbol el cual se desglosa en término de contenidos y no en funciones como lo hace el mapa funcional.

El esquema temático mantiene en algunas partes la característica de lectura descrita en el mapa funcional, pero modificada al contexto educativo. Es decir, se hace la pregunta *¿qué se debe conocer para aprender... (determinado tema)?* para identificar los subniveles en el esquema y la sumatoria de subniveles responden a la pregunta *¿para qué se conocen....(determinados subniveles)?*. La adaptación que se hace para el contexto educativo consiste en que ya no se pregunta qué se debe hacer sino *qué se debe conocer*. Entendiéndose que los resultados del aprendizaje se presentan en tres categorías: cognitivo, procedimental y actitudinal<sup>18</sup>.

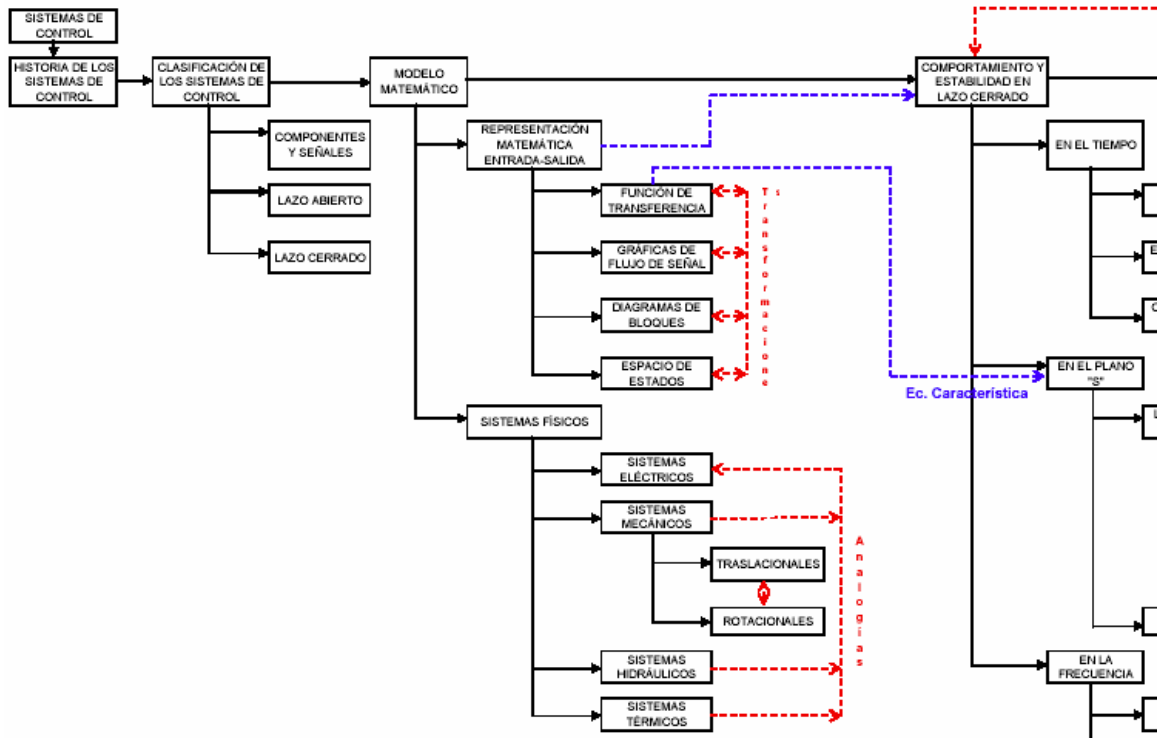
Otra característica a tener en cuenta es no repetir contenidos en el esquema temático, esto para evitar traslapes en los procesos de aprendizaje dentro de la asignatura, esto permite que una actividad de aprendizaje no se repita en otra, para hacer más efectivo el diseño de estrategias, sin desconocer la relación entre las mismas actividades. En la Figura 4 se presenta una porción del esquema temático realizado. El esquema temático completo se encuentra en el Anexo A.

La característica de dependencia y asociación de contenidos se observa mediante las flechas de color azul y rojo. Las flechas de color azul indican una dependencia de temas de acuerdo a la dirección de la misma, es decir, para la ejecución de un contenido temático (final de la flecha) es necesario tener claro un contenido temático anterior (inicio de la flecha). Las flechas de color rojo indican una relación de temas entre contenidos. Para este caso, los contenidos se desarrollan de forma independiente y, aparentemente no tienen una relación restrictiva como en el caso anterior. Sin embargo existe un tema en común entre los dos contenidos. Un ejemplo es la relación entre

---

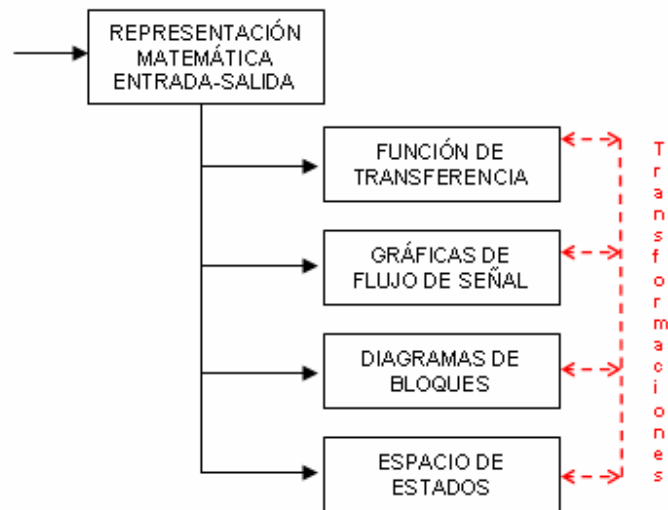
<sup>18</sup> I. Pozo, *“Aprendices y maestros, la nueva cultura del aprendizaje,”* Alianza editorial. Madrid 1996

el lugar de las raíces de un sistema prototipo de segundo orden y la respuesta en frecuencia del mismo.



**Figura 4 .** Porción del esquema temático.

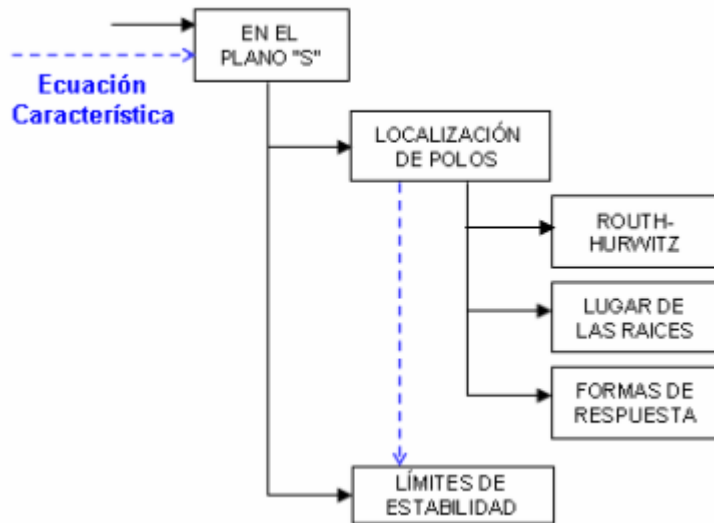
A manera de ejemplo, si se toma un contenido del mapa que se muestra en la Figura 5 , y se hace la pregunta *¿qué se debe conocer para manejar o establecer representaciones matemáticas entrada – salida?*, se responde con los contenidos: *función de transferencia, gráficas de flujo de señal, diagrama de bloques y espacio de estados*. Si se suman estos cuatro contenidos, se puede cuestionar *¿para qué se conocen la función de transferencia, las gráficas de flujo de señal, los diagramas de bloques y el espacio de estados?*, ofreciendo como respuesta: *para poder hacer representaciones matemáticas entrada – salida de un sistema*.



**Figura 5. Relación común entre contenidos.**

A su vez, las flechas rojas indican que existe una relación entre cada uno de los contenidos, que para este caso son las transformaciones entre cada una de las representaciones matemáticas.

Ahora, en la Figura 6 es posible observar la relación de dependencia entre el análisis en el plano “s” (final de la flecha) y la ecuación característica del sistema por medio de la flecha de color azul, pues es necesario inicialmente tener en claro la definición de ecuación característica determinada en el concepto de función de transferencia (inicio de la flecha). También se observa que el cálculo de los límites de estabilidad (final de la flecha) depende de la localización de los polos del sistema en el plano “s” (inicio de la flecha).



**Figura 6 . Relación de dependencia.**

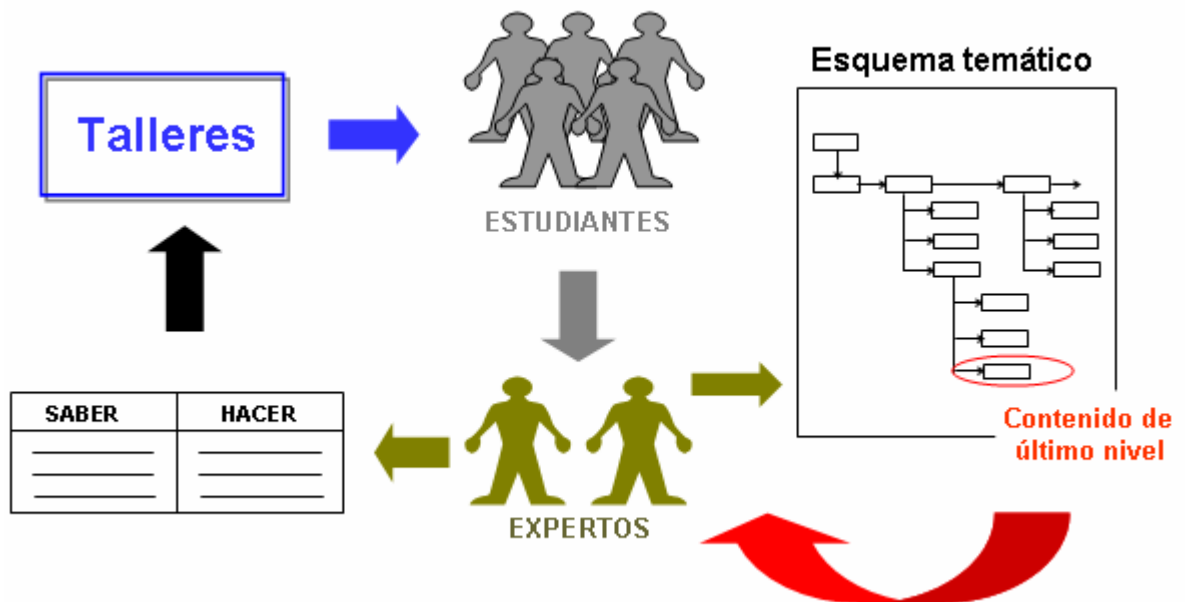
### 2.3 IDENTIFICACIÓN DE COMPETENCIAS

Una vez definido el esquema temático para la asignatura Control I, se procede a identificar los “saberes” y “haceres” para cada uno de los contenidos de último nivel descritos en el mapa. Los “haceres” se encuentran directamente relacionados con los “saberes”, es decir, para poder realizar un “hacer” es necesario aplicar determinados “saberes”.

El procedimiento utilizado para la identificación de los “saberes” y “haceres” se muestra en la Figura 7 y se describe de la siguiente forma:

Para cada uno de los contenidos descritos en el último nivel del esquema temático, los expertos plantean los “saberes” y “haceres”, y por medio de ellos se desarrollan ejercicios tipo taller para ser resueltos durante la clase por los estudiantes con la ayuda de los expertos. Es por medio de este tipo

de sesiones tipo taller en donde se verifica si los “saberes” corresponden con los “haceres” y se observan las dificultades que tienen los estudiantes, para complementar la identificación. Una muestra de los talleres se encuentra en los Anexos B1, B2 y B3.



**Figura 7. Esquema de identificación**

Como resultado de la identificación se obtiene una tabla de “saberes” y “haceres” para cada uno de los contenidos de último nivel presentados en el esquema temático de la asignatura. La tabla completa se presenta en el capítulo 3.

Para la redacción de los “saberes” y “haceres” (en especial los verbos en su estructura gramatical) se toma como base la taxonomía de dominios de

aprendizaje o taxonomía de Bloom propuesta por Benjamín Bloom<sup>19</sup>, la cual busca establecer un léxico común de términos descriptivos, que permitir promover el intercambio entre los educadores, de materiales de evaluación e ideas de cómo llevarlo a cabo [Irahola].

Tanto el esquema temático como las tablas de “saberes” y “haceres” se encuentran sujetos a una constante evaluación por parte de los expertos y la intención final es presentarla a otros expertos (profesores del área de Sistemas de Control) con el fin de realizar un análisis complementario y realizar los cambios necesarios para una construcción más completa.

Como ejemplo se presenta el siguiente caso:

Para el tema de diseño del controlador en el dominio de la frecuencia (ubicado en el esquema temático), se encuentran en la literatura las características para cada uno de tipos de controladores, con sus algoritmos de construcción correspondiente, y a partir de estos tópicos se definen determinados “saberes” y “haceres”. Se plantea un taller (Anexo B3) cuyo objetivo es diseñar un compensador para que cumpla con ciertas especificaciones de diseño, y es posible elegir para su respuesta entre un compensador de adelanto, atraso ó adelanto – atraso. Al ejecutar el taller con los estudiantes se observa que muchos de ellos inicialmente no encuentran cuál compensador elegir, debido a que simplemente toman como referencia el algoritmo de diseño y no las características del compensador necesarias para modificar la dinámica del sistema, especialmente su respuesta en frecuencia. Con base a estos detalles observados, se modifica la tabla de saberes haciendo un mayor énfasis en el reconocimiento de los efectos del

---

<sup>19</sup> Doctor en educación de la Universidad de Chicago.

compensador tanto en el dominio de la frecuencia, como en el dominio del tiempo.

En la Tabla 3 se muestran los “saberes” y “haceres” asociados al diseño del controlador en el dominio de la frecuencia.

<b>SABER</b>	<b>HACER</b>
<p>a. Identificar el propósito de utilizar el compensador en un sistema realimentado.</p> <p>b. Identificar las características de respuesta en frecuencia del compensador.</p> <p>c. Interpretar la forma de la traza de Bode del compensador, y la incidencia de sus parámetros en la forma de la misma.</p> <p>d. Identificar las características de respuesta en frecuencia del compensador que permiten su uso en la compensación de sistemas realimentados.</p> <p>e. Identificar el procedimiento de diseño del compensador.</p> <p>f. Reconocer la influencia del compensador en la respuesta del sistema realimentado en la frecuencia y en el tiempo.</p> <p>g. Identificar las limitaciones de la implementación del compensador.</p>	<p>Calcular el valor de los parámetros que determinan la función de transferencia del compensador que permitan el cumplimiento de las condiciones de diseño requeridas (a, b, c, d, e, f)</p> <p>Determinar los casos en donde posiblemente la implementación del compensador no permita cumplir con las características de desempeño requeridas (f, g)</p>

**Tabla 3. Diseño del controlador en el dominio de la frecuencia.**

Se observa en cada uno de los “haceres” definidos, la dependencia con cada uno de los “saberes” para cada uno de los contenidos de último nivel en el esquema temático, identificados por medio de letras y encerrados entre paréntesis, como muestra la Figura 8 .

#### 4.3.1.2. Bode

SABER	HACER
a. Definir el concepto de traza de Bode.	Construir trazas de Bode para un sistema por medio de aproximaciones asintóticas del modelo del sistema
b. Identificar las características de las trazas de Bode.	(a, b, c, d)
c. Reconocer gráfica y analíticamente los aportes en las trazas de Bode de cada uno de los factores implicados en el modelo de un sistema (ganancia, factor integral y derivada, factor de primer orden y factor cuadrático).	Interpretar la lectura de la traza de Bode de un sistema (a, b)
d. Identificar el procedimiento general para graficar trazas de Bode.	Determinar la forma de la función de transferencia de un sistema a partir de su traza de Bode (c, d)
e. Identificar las ventajas y desventajas del uso de las trazas de Bode en el análisis del comportamiento de un sistema.	

**Figura 8 . Relación de dependencia entre “haceres” y “saberes”**

## 2.4 CLASIFICACIÓN DE LOS NIVELES DE COMPETENCIA

En el numeral anterior se mencionó el uso de la taxonomía de Bloom para representar los verbos que definen la actividad de cada uno de los “saberes” y “haceres” identificados. Si se toma cada uno de los elementos identificados como objetivos formativos para la asignatura, la taxonomía permite

clasificarlos según su nivel de competencia, o descrito de otra forma según el grado de complejidad en el aprendizaje de los mismos.

### 2.4.1 TAXONOMÍA DE BLOOM

La taxonomía de Bloom identifica tres (3) áreas o campos de aprendizaje [Irahola]: campo cognoscitivo, campo psicomotriz y campo afectivo. Para cada uno de ellos existen propuestas para clasificar los objetivos de aprendizaje. En este trabajo se presta atención al campo cognoscitivo sin desconocer la importancia del campo de las habilidades y actitudes.

La taxonomía de Bloom propone seis (6) niveles de competencia para el campo cognoscitivo, los cuales se presentan en la Tabla 4 en orden creciente de competencia con su respectiva definición. Cada nivel de orden superior incluye a los anteriores. Es decir, para adquirir la competencia de aplicación es necesario haber desarrollado la competencia de comprensión, y anteriormente, la de conocimiento.

<b>Nivel</b>	<b>Descripción</b>
<b>Conocimiento</b>	Ser capaz de recordar palabras, hechos, fechas, convenciones, clasificaciones, principios, teorías, etc.
<b>Comprensión</b>	Ser capaz de trasponer, interpretar y extrapolar a partir de ciertos conocimientos
<b>Aplicación</b>	Ser capaz de usar conocimientos o principios para resolver un problema.
<b>Análisis</b>	Ser capaz de identificar los elementos, las relaciones y los principios de organización de una situación.
<b>Síntesis</b>	Ser capaz de producir una obra personal después de haber trazado un plan de acción.
<b>Evaluación</b>	Ser capaz de emitir un juicio crítico basado en criterios internos o externos.

*Tabla 4. Niveles de competencia en el campo cognoscitivo. Fuente [Valero01]*

Sin embargo, este tipo de clasificación, varía según el área de conocimiento (ingeniería, medicina, economía, etc.) y en ocasiones las definiciones presentadas en la taxonomía de Bloom llegan a ser ambiguas y puede provocar un gran debate para la clasificación en niveles de competencia. [Valero01]

En [Valero01] se presenta una propuesta de aplicación de la clasificación de los niveles de competencia a través de la taxonomía de Bloom adaptada al área de ingeniería específicamente. Se conservan los niveles de competencia definidos por Bloom, pero cambia la descripción para cada uno de ellos. Lo anterior se puede observar en la Tabla 5.

<b>Nivel</b>	<b>Descripción</b>
<b>Conocimiento</b>	Ser capaz de recordar información que le ha sido suministrada con anterioridad.
<b>Comprensión</b>	Ser capaz de aplicar un procedimiento conocido (una "receta") para resolver el problema, dado que existe una solución única.
<b>Aplicación</b>	Ser capaz de elegir el procedimiento (o combinación de procedimientos) adecuado para resolver el problema dado, que puede tener diferentes soluciones válidas.
<b>Análisis</b>	Construir un modelo que permita caracterizar todos los elementos de un problema para tomar una decisión sobre la estrategia a seguir para obtener soluciones óptimas.
<b>Síntesis</b>	Crear una estrategia, método o "receta" nueva para resolver determinado problema.
<b>Evaluación</b>	Dar un juicio de valor (en función de criterios externos o criterios propios) de la solución a un problema dado, entendiendo que esta solución es el resultado de un ejercicio de síntesis.

**Tabla 5. Niveles de competencia en el campo cognoscitivo adaptado al área de ingeniería.**

También de forma general, en [Valero01] se proponen procedimientos o técnicas utilizadas para la aplicación de las competencias en el aula de clase dependiendo del nivel de clasificación, de las cuales se citan las siguientes:

- **Nivel de Conocimiento:**

Métodos docentes que presenten al estudiante información en forma organizada.

Por ejemplo: la clase expositiva, lectura de libros, materiales multimedia, etc.

- **Nivel de Comprensión:**

En este nivel el estudiante debe aplicar un algoritmo paso a paso tal como lo realiza el profesor para dar solución al problema, por esta razón se utiliza la clase expositiva complementada con clases de problemas o de laboratorios en las que los alumnos practiquen con ejemplos concretos. El docente puede indicar los resultados parciales esperados, verificar que se han obtenido los resultados y ofrecer aclaraciones respecto a las dificultades que se presentan en el desarrollo de los ejercicios.

- **Nivel de Aplicación:**

Planteamiento de ejercicios donde se presenten múltiples soluciones para el desarrollo de la actividad. El profesor debe hacer una guía más individualizada ofreciendo la ayuda particular a cada caso que se requiera. Debido a esta situación los ejercicios deben desarrollarse en grupos, ya que servir de guía especializada para cada uno de los alumnos es una tarea que se dificulta debido a la cantidad de alumnos en un curso.

Los niveles de **Análisis, Síntesis y Evaluación** se adquieren en procesos como el desarrollo del proyecto final de carrera y estudios de pos-grado debido al poco tiempo disponible en las asignaturas, en nuestro caso Control I.

#### **2.4.2 Clasificación de las competencias de la asignatura control I**

Con base a lo planteado por la taxonomía de Bloom adaptada al área de ingeniería, se clasifican los “saber” y “hacer” identificados de acuerdo al nivel de competencias de la siguiente manera:

- a. Los “saber” pertenecen al nivel de competencia de *conocimiento* pues son la base teórica y conceptos fundamentales en el análisis de los Sistemas de Control y en particular son la base del nivel de comprensión.
- b. Dentro de los “hacer” existen competencias de diversos niveles de clasificación, por lo tanto se adiciona una etiqueta en frente de cada uno de ellos indicando el nivel de clasificación, como se muestra en la Figura 9 .

SABER	HACER
a. A partir de las especificaciones de desempeño proporcionadas, determinar la ubicación deseada para los polos dominantes en lazo cerrado.	Calcular la posición deseada de los polos dominantes en lazo cerrado a partir de las especificaciones de desempeño requeridas en el dominio del tiempo (a) <b>Comprensión</b>
b. Identificar el propósito de utilizar el compensador en un sistema realimentado.	Calcular el valor de la ganancia, y posición de los polos y ceros del compensador que permitan cumplir las condiciones de diseño deseadas (b, c, d, e) <b>Aplicación</b>
c. Identificar la influencia de los parámetros del compensador sobre el lugar de las raíces de un sistema.	
d. Identificar el procedimiento de diseño del compensador.	Determinar los casos en donde posiblemente la implementación del compensador no permita cumplir con las características de desempeño requeridas (e, f) <b>Aplicación</b>
e. Identificar la influencia del compensador sobre el comportamiento del sistema en el tiempo.	
f. Identificar las limitaciones de la implementación del compensador.	

**Figura 9. Clasificación de los niveles de competencia.**

Por medio de la clasificación en niveles de competencia es posible determinar la estrategia pedagógica posible a implementar para desarrollar en el estudiante la competencia respectiva.

### **2.4.3 Consideraciones sobre las estrategias pedagógicas y los niveles de competencia**

[Valero01] describe ciertas consideraciones acerca del proceso de enseñanza semejante a lo encontrado en el desarrollo del curso Control I. A continuación se mencionan las más importantes:

Respecto al nivel de conocimiento, destaca la poca importancia que se le da en las evaluaciones y la utilización de prácticas docentes orientadas hacia este:

*“... nuestras evaluaciones prestan mucha mayor atención a niveles de competencia superiores. Esta circunstancia contrasta con el hecho de que, en general, la mayor parte del tiempo de clase se dedica a clases expositivas, que no es el método más efectivo para desarrollar competencias superiores a las de conocimiento. Por otra parte, hay que decir que los métodos alternativos a las clases expositivas para la obtención de información (libros, materiales multimedia, etc.) se utilizan con mucha menos frecuencia, a pesar de que son precisamente estos métodos (y no las clases expositivas) los que deberán usar los alumnos una vez titulados para mantener sus conocimientos al día.”*

Otro factor que influye sobre el proceso de educación universitario es la disponibilidad de poco tiempo para llegar a un lugar alto dentro de los niveles de competencia:

*“Una dificultad añadida es el hecho de que en una asignatura cuatrimestral típica de nuestros planes de estudio (especialmente si tiene pocos créditos) no es fácil reunir una cantidad de conocimientos y métodos suficientes para que la fase de toma de decisiones, característica del nivel de competencia de aplicación, tenga una cierta entidad. Por ello, una asignatura cuatrimestral que se plantee objetivos de este nivel de competencia debería apoyarse necesariamente en los conocimientos y métodos que los alumnos han visto en un número amplio de asignaturas previas, idealmente de materias diferentes, lo cual exige unos niveles de coordinación y colaboración entre asignaturas y departamentos muy superior al que estamos habituados a ver en nuestro contexto actual.”*

Cabe aclarar que no es solo el docente quien actúa en el proceso de aprendizaje, también es necesario el interés del estudiante por aprender y despegarse del paradigma de la nota cuantitativa. Sin embargo, es posible que por medio de la presentación de la asignatura por medio de competencias en general (“saber”, “hacer” y “ser”) el estudiante tenga más claro los objetivos de aprendizaje de la asignatura, además de servir como herramienta de reflexión para los docentes sobre sus estrategias de enseñanza y resultados esperados por medio de la instrucción de la asignatura.

#### **2.4.4 Ventajas de la identificación de competencias**

- Permite generar un espacio de discusión en donde se plantea por parte del equipo de trabajo, los objetivos de formación en el estudiante y estrategias docentes utilizadas para alcanzar los mismos.
- Identifica la aplicación de conceptos obtenidos en cursos anteriores con el desarrollo de la asignatura en cuestión, permitiendo generar un plan de coordinación en donde cada uno de los profesores presenta las necesidades conceptuales para su asignatura a profesores de asignaturas de niveles previos.
- Para los docentes, es una herramienta para el diseño de estrategias de enseñanza, aprendizaje y evaluación, siendo transparente al estudiante.
- Para los estudiantes sirve de herramienta de estudio, puesto que ya no se presenta el tema solo como un conjunto de títulos, sino

específicamente como un conjunto de conocimientos y habilidades, lo cual permite que el estudiante no se preocupe por “qué va a salir en el previo” sino por adquirir determinado conocimiento o habilidad.

### 3 RESULTADOS DE LA IDENTIFICACIÓN DE COMPETENCIAS

De acuerdo a la metodología utilizada para la identificación de competencias, se obtiene como resultado los siguientes “saberes” y “haceres” para cada uno de los temas definidos en el esquema temático propuesto para la asignatura.

De acuerdo a los niveles de clasificación descritos en el capítulo anterior, los “saberes” se entienden como los conceptos que deben obtener los estudiantes por lo cual cada uno de ellos pertenecen al nivel de conocimiento, y los “haceres” implican en su mayoría niveles de clasificación superior tales como comprensión y aplicación.

Para una mayor comprensión de las tablas de saberes se recomienda ubicar primero cada uno de los contenidos en el esquema temático (Anexo A) para no perder de vista la relación entre contenidos.

#### 3.1 HISTORIA DE LOS SISTEMAS DE CONTROL

SABER	HACER
a. Reconocer el origen de los Sistemas de Control como área tecnológica de estudio.	Describir el origen de los Sistemas de Control como área tecnológica de estudio (a) <a href="#">Conocimiento</a>
b. Identificar procesos reales que involucren el análisis de sistemas de control.	Describir situaciones reales en donde se implementen sistemas de control (b) <a href="#">Conocimiento</a>

*Tabla 6. Historia de los sistemas de control*

### 3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL

SABER	HACER
<p>a. Identificar las señales presentes en un sistema de Control.</p> <p>b. Definir el concepto de Planta, Proceso, Controlador, Perturbación y Sensor.</p> <p>c. Definir el concepto de Sistema en Lazo Abierto y Lazo Cerrado.</p> <p>d. Describir las características de un esquema de control en Lazo Abierto.</p> <p>e. Reconocer los elementos utilizados en la implementación de un esquema de control en Lazo Abierto.</p> <p>f. Describir las características de un esquema de control en Lazo Cerrado.</p> <p>g. Reconocer los elementos utilizados en la implementación de un esquema de control en Lazo Cerrado.</p> <p>h. Identificar el efecto de la realimentación sobre las variables de un sistema. (Ganancia global, estabilidad, sensibilidad, perturbaciones)</p>	<p>Describir en un sistema cada uno de sus componentes y el proceso asociado al mismo (a, b, c) <b>Conocimiento</b></p> <p>Explicar el funcionamiento de cada uno de los componentes en un sistema de Control (a, b, c) <b>Conocimiento</b></p> <p>Clasificar un sistema de acuerdo al esquema utilizado en su implementación (lazo abierto o lazo cerrado) (c, d, e, f, g) <b>Comprensión</b></p> <p>Comparar las características de un sistema de Control en lazo abierto con un sistema de Control en lazo cerrado (c, d, e, f, g, h) <b>Comprensión</b></p>

**Tabla 7. Clasificación de los sistemas de control**

### 3.3 MODELADO MATEMÁTICO

#### 3.3.1 Representación matemática entrada – salida

##### 3.3.1.1 Función de transferencia

SABER	HACER
a. Definir el concepto de función de transferencia. (Relación entrada/salida, Transformada de Laplace)	Calcular la función de transferencia de un sistema real (a, b) <a href="#">Comprensión</a>
b. Definir el concepto de función de transferencia propia e impropia.	Extraer la ecuación característica, los polos y ceros de una función de transferencia (c, d) <a href="#">Comprensión</a>
c. Identificar la ecuación característica de un sistema a partir de la función de transferencia.	Localizar en el plano “s” los polos y ceros de un sistema (c, d) <a href="#">Comprensión</a>
d. Reconocer los conceptos de polos y ceros de un sistema.	Calcular la respuesta en el tiempo de un sistema a partir de su función de transferencia (e) <a href="#">Comprensión</a>
e. Identificar la relación entre la respuesta en el tiempo de un sistema y su función de transferencia.	

*Tabla 8. Función de transferencia*

### 3.3.1.2 Diagrama de bloques

SABER	HACER
a. Definir el concepto de diagrama de bloques.	Construir el diagrama de bloques de un sistema (a, b, c, d) <a href="#">Comprensión</a>
b. Describir las características de los diagramas de bloques.	Reducir diagramas de Bloques (e) <a href="#">Comprensión</a>
c. Describir las características del diagrama de bloques de un sistema de control realimentado. (Función de transferencia en Lazo Abierto, Trayectoria Directa y Lazo Cerrado)	Calcular la función de transferencia de un sistema a partir de su diagrama de Bloques (c, e, f) <a href="#">Comprensión</a>
d. Describir los procedimientos para realizar diagramas de bloques.	Calcular la ecuación característica del sistema a partir de su diagrama de Bloques (c, f) <a href="#">Comprensión</a>
e. Reconocer las reglas del álgebra de bloques.	
f. Identificar la ecuación característica de un sistema de control realimentado.	

*Tabla 9. Diagrama de bloques*

### 3.3.1.3 Gráficos de flujo de señal (grafos)

SABER	HACER
a. Definir el concepto de gráficos de flujo de señal (GFS).	Construir el GFS de un sistema (a, b, c) <a href="#">Comprensión</a>
b. Describir los elementos básicos de una gráfica de flujo de señal (GFS). (Nodos, Ramas, Mallas, Trayectorias, Ganancia)	Extraer la función de transferencia de un sistema a partir de su GFS (d) <a href="#">Comprensión</a>
c. Describir las reglas de construcción de un GFS.	Calcular la ecuación característica del sistema partir de su GFS (d) <a href="#">Comprensión</a>
d. Describir la fórmula de ganancia (Mason) para el GFS.	

*Tabla 10. Gráficos de flujo de señal*

### 3.3.1.4 Espacio de estados

SABER	HACER
<p>a. Reconocer la historia del análisis en espacio de estados de un sistema.</p>	<p>Reconocer las variables de estado involucradas en un sistema (a, b) <b>Comprensión</b></p>
<p>b. Definir el concepto de Espacio de Estados.</p>	<p>Representar en forma matricial las ecuaciones de estado de un sistema (b) <b>Comprensión</b></p>
<p>c. Describir los componentes de un espacio de estados. (Vector de estados, Ecuaciones de estado)</p>	<p>Calcular la función de transferencia de un sistema partir de su representación en el espacio de estados (d, e) <b>Comprensión</b></p>
<p>d. Identificar el procedimiento para obtener la función de transferencia de un sistema a partir de su representación en espacio de estados.</p>	<p>Calcular la ecuación característica de un sistema a partir de su representación en espacio de estados (e) <b>Comprensión</b></p>
<p>e. Identificar el procedimiento para obtener la ecuación característica de un sistema a partir de su representación en espacio de estados.</p>	<p>Representar un sistema en espacio de estados a partir de la función de transferencia (f, g) <b>Comprensión</b></p>
<p>f. Identificar las formas canónicas existentes para la representación en espacio de estados de un sistema.</p>	
<p>g. Identificar la utilidad de las formas canónicas para la representación en espacio de estados de un sistema.</p>	

**Tabla 11. Espacio de estados**

### 3.3.2 Sistemas físicos

Los “saberes” y “haceres” identificados en el análisis de Sistemas Físicos (Sistemas Eléctricos, Mecánicos Rotacionales y Traslacionales, Térmicos, Hidráulicos y Neumáticos), tienen características comunes. Por esta razón, se identifican las siguientes competencias para cada uno de ellos:

SABER	HACER
<p>a. Reconocer las leyes físicas que gobiernan cada uno de los sistemas físicos.</p> <p>b. Reconocer los componentes físicos y las ecuaciones dinámicas que determinan el comportamiento de los mismos en un sistema.</p> <p>c. Identificar las configuraciones más comunes para cada uno de los tipos de sistemas físicos.</p> <p>d. Identificar las analogías eléctricas para cada una de los componentes involucrados en los demás sistemas físicos.</p> <p>e. Reconocer las unidades de las variables involucradas en cada uno de los sistemas físicos.</p> <p>f. Reconocer las características de respuesta en el tiempo para cada uno de los sistemas físicos.</p>	<p>Calcular la ecuación diferencial que caracteriza el comportamiento dinámico de las configuraciones más comunes para cada uno de los sistemas físicos (a, b, c)</p> <p><b>Comprensión</b></p> <p>Interpretar el comportamiento de un sistema físico a partir de su curva de respuesta en el tiempo (e, f)</p> <p><b>Conocimiento</b></p> <p>Construir el equivalente eléctrico para cada una de las representaciones físicas analizadas (d) <b>Comprensión</b></p>

**Tabla 12. Sistemas físicos**

### 3.4 ESTABILIDAD Y COMPORTAMIENTO DE SISTEMAS EN LAZO CERRADO

#### 3.4.1 Respuesta en el tiempo

##### 3.4.1.1 Señales de prueba típicas

SABER	HACER
<p>a. Identificar la forma y características de cada una de las señales de prueba típicas (escalón, rampa, parábola).</p> <p>b. Identificar la característica física posible a evaluar en un sistema con la aplicación de cada una de las entradas de prueba típicas (escalón, rampa y parábola).</p>	<p>Relacionar la gráfica de la señal de salida de un sistema ante señales de entrada de prueba típicas con el comportamiento físico del mismo (a, b) <a href="#">Comprensión</a></p>

*Tabla 13. Señales de prueba típicas*

##### 3.4.1.2 Error en estado estable

SABER	HACER
<p>a. Definir el concepto de error en estado estable.</p> <p>b. Relacionar el valor del error en estado estable con la cantidad de polos en el origen de la función de transferencia de un sistema (tipo del sistema).</p> <p>c. Identificar el error en estado estable como medida de precisión de un sistema</p>	<p>Calcular analíticamente el valor del error de seguimiento de un sistema ante cada uno de los tipos de señales de prueba típicas (a, b, c) <a href="#">Comprensión</a></p> <p>Calcular gráficamente el error de seguimiento de un sistema ante cada uno de los tipos de señales de prueba típicas (a, c) <a href="#">Comprensión</a></p>

*Tabla 14. Error en estado estable*

### 3.4.1.3 Características de desempeño

SABER	HACER
<p>a. Reconocer la respuesta al escalón de un sistema como medio de caracterización de la respuesta transitoria del mismo.</p>	<p>Calcular gráficamente el valor de las medidas de desempeño que caracterizan la respuesta transitoria de un sistema (a, b) <b>Comprensión</b></p>
<p>b. Definir las medidas de desempeño que caracterizan la respuesta transitoria de un sistema (Sobrepaso máximo, Tiempo de retardo, Tiempo de levantamiento y Tiempo de asentamiento)</p>	<p>Calcular analíticamente el valor de las medidas de desempeño que caracterizan la respuesta transitoria de un sistema prototipo de orden dos a partir de su función de transferencia (a, b, c, d) <b>Comprensión</b></p>
<p>c. Describir las ecuaciones en tiempo y función de transferencia de la respuesta transitoria de un sistema prototipo de primer y segundo orden.</p>	<p>Asociar la forma de la señal de salida de un sistema ante entrada escalón con sistemas prototipo de orden uno y dos (c, d) <b>Comprensión</b></p>
<p>d. Identificar la influencia de parámetros como el factor de amortiguamiento relativo, la frecuencia natural no amortiguada y la frecuencia natural amortiguada en la forma de respuesta transitoria de un sistema prototipo de orden dos.</p>	<p>Identificar formas de respuesta para un sistema de control consideradas como características de desempeño favorables (b, d) <b>Conocimiento</b></p>

**Tabla 15. Características de desempeño**

### 3.4.2 Frecuencia compleja “s”

#### 3.4.2.1 Localización de polos

##### 3.4.2.1.1 Routh hurwitz

SABER	HACER
a. Identificar las características de la tabla de Routh.	Construir la tabla de Routh a partir de la ecuación característica del sistema en lazo cerrado. (a, b) <a href="#">Comprensión</a>
b. Identificar los casos especiales en donde la tabulación de Routh termina prematuramente.	Calcular la cantidad de polos en lazo cerrado que se encuentran en el semiplano derecho del plano “s” mediante el criterio de Routh-Hurwitz (a, b, c) <a href="#">Comprensión</a>
c. Definir el criterio de estabilidad de Routh-Hurwitz.	

*Tabla 16. Routh Hurwitz*

##### 3.4.2.1.2 Lugar de las raíces

SABER	HACER
a. Interpretar la condición de Magnitud y Angulo para sistemas con realimentación negativa.	Construir el lugar de las raíces de un sistema de control realimentado (a, b, c) <a href="#">Comprensión</a>
b. Definir el concepto de Lugar de las raíces.	Demostrar que un punto en el plano “s” pertenece al lugar de las raíces de un sistema en análisis (a, b) <a href="#">Comprensión</a>
c. Identificar las reglas generales para la construcción del lugar de las raíces de un sistema.	Calcular el valor de ganancia de trayectoria directa “k” que permite la localización de los polos en una posición determinada del lugar de las raíces (a, d) <a href="#">Comprensión</a>
d. Identificar el movimiento de los polos en lazo cerrado en el plano “s” de un sistema de control realimentado conforme varía la ganancia de lazo directo “k”.	Calcular el valor de un parámetro variable en un sistema de control realimentado que permita llevar los polos del sistema a una posición determinada en el lugar de las raíces. (e) <a href="#">Comprensión</a>
e. Identificar el movimiento de los polos en lazo cerrado en el plano “s” de un sistema de control realimentado conforme varía un parámetro que no aparece como factor multiplicativo en la ganancia de lazo directo.	

*Tabla 17. Lugar de las raíces*

### 3.4.2.1.3 Formas de respuesta

SABER	HACER
<p>a. Identificar el efecto sobre las medidas de desempeño de la respuesta en el tiempo de un sistema prototipo de orden dos, al añadir polos y ceros en su función de transferencia de lazo abierto y de lazo cerrado.</p> <p>b. Identificar el concepto de Polos dominantes de un sistema en lazo cerrado.</p> <p>c. Identificar el efecto de la localización de polos dominantes sobre la respuesta transitoria de un sistema realimentado.</p>	<p>Asociar la localización de un par de polos dominantes en lazo cerrado de un sistema con el valor de la frecuencia natural no amortiguada y el factor de amortiguamiento relativo del sistema (a) <a href="#">Comprensión</a></p> <p>Asociar las formas de respuesta en el tiempo para una determinada ubicación de polos de lazo cerrado (a, b, c) <a href="#">Comprensión</a></p>

*Tabla 18. Formas de respuesta*

### 3.4.2.2 Límites de estabilidad

SABER	HACER
	<p>Calcular el(los) valor(es) crítico(s) de uno o dos parámetros variables en un sistema realimentado con los cuales se llegue al límite de estabilidad del mismo (3.4.2.1) <a href="#">Comprensión</a></p>

*Tabla 19. Límites de estabilidad*

### 3.4.3 Respuesta en frecuencia

#### 3.4.3.1 Trazas de frecuencia

##### 3.4.3.1.1 Nyquist

SABER	HACER
a. Definir el concepto de traza polar.	Construir la traza polar (traza de Nyquist) de un sistema (a, b) <a href="#">Comprensión</a>
b. Definir los conceptos de contorno cerrado, punto encerrado y rodeo.	Interpretar la lectura de la traza de Nyquist de un sistema (a, b, c) <a href="#">Comprensión</a>
c. Definir el teorema del mapeo (principio del argumento).	Hallar la cantidad de polos inestables en lazo cerrado del sistema (c, e, f, g). <a href="#">Comprensión</a>
d. Identificar las características y formas generales de las trazas polares (traza de Nyquist) para diferentes sistemas.	Determinar la estabilidad de un sistema en lazo cerrado utilizando el criterio de Nyquist (c, d, e, f, g). <a href="#">Comprensión</a>
e. Definir el concepto y características de la trayectoria de Nyquist.	Realizar un bosquejo rápido de la traza de Nyquist de un sistema a partir de la función de transferencia del mismo (a, b) <a href="#">Comprensión</a>
f. Reconocer el uso del teorema del mapeo en sistemas de lazo cerrado.	Determinar la forma de la función de transferencia de un sistema a partir de su traza de Nyquist e información de su estabilidad (b, c, d, e) <a href="#">Comprensión</a>
g. Reconocer el uso del criterio de Nyquist para el análisis de la estabilidad de sistemas en lazo cerrado.	
h. Identificar las ventajas y desventajas del uso de las trazas de Nyquist en el análisis del comportamiento de un sistema.	

*Tabla 20. Trazas en Frecuencia (Nyquist)*

### 3.4.3.1.2 Bode

SABER	HACER
a. Definir el concepto de traza de Bode.	Construir trazas de Bode para un sistema por medio de aproximaciones asintóticas del
b. Identificar las características de las trazas de Bode.	modelo del sistema (a, b, c, d) <b>Comprensión</b>
c. Reconocer gráfica y analíticamente los aportes en las trazas de Bode de cada uno de los factores implicados en el modelo de un sistema (ganancia, factor integral y derivada, factor de primer orden y factor cuadrático).	Interpretar la lectura de la traza de Bode de un sistema (a, b) <b>Comprensión</b>  Determinar la forma de la función de transferencia de un sistema a partir de su traza de Bode (c, d) <b>Comprensión</b>
d. Identificar el procedimiento general para graficar trazas de Bode.	
e. Identificar las ventajas y desventajas del uso de las trazas de Bode en el análisis del comportamiento de un sistema.	

*Tabla 21. Trazas en Frecuencia (Bode)*

### 3.4.3.1.3 Nichols

SABER	HACER
a. Reconocer las propiedades de las trazas de magnitud – fase (Carta de Nichols).	Dibujar la respuesta en frecuencia del sistema en lazo abierto en la carta de Nichols (a) <a href="#">Comprensión</a>
b. Identificar los lugares geométricos de magnitud constante en las trazas de magnitud - fase (círculos M).	Dibujar la respuesta en frecuencia del sistema en lazo cerrado por medio de la carta de Nichols (a, b, c, d) <a href="#">Comprensión</a>
c. Identificar los lugares geométricos de ángulo de fase constante en las trazas de magnitud – fase (círculos N)	
d. Interpretar la respuesta en frecuencia del sistema en lazo cerrado a partir de la respuesta en frecuencia en lazo abierto por medio de la carta de Nichols.	
e. Identificar las ventajas y desventajas del uso de la carta de Nichols en el análisis del comportamiento de un sistema	

*Tabla 22. Trazas en Frecuencia (Nichols)*

### 3.4.3.2 Márgenes de estabilidad

SABER	HACER
<p>a. Definir el concepto de Margen de fase y Margen de ganancia de un sistema.</p> <p>b. Identificar de forma gráfica el Margen de fase y margen de ganancia en cada una de las trazas en frecuencia (Bode, Nyquist y Nichols).</p> <p>c. Identificar la influencia del margen de fase y margen de ganancia en la estabilidad de un sistema.</p> <p>d. Identificar la relación entre el Margen de fase y la respuesta en el tiempo de un sistema prototipo de orden dos.</p>	<p>Calcular el margen de fase y margen de ganancia de un sistema en cada una de las trazas en frecuencia (Bode, Nyquist y Nichols) (a, b)</p> <p>Comprensión</p> <p>Determinar la estabilidad del sistema por medio de los valores del Margen de fase y margen de ganancia (c)</p> <p>Comprensión</p>

*Tabla 23. Márgenes de estabilidad*

### 3.4.3.3 Características de desempeño

SABER	HACER
<p>a. Definir los criterios de desempeño que caracterizan la respuesta en frecuencia de un sistema (Magnitud del pico de resonancia, frecuencia de resonancia y ancho de banda)</p>	<p>Calcular el valor de los criterios de desempeño en frecuencia de un sistema en lazo abierto y lazo cerrado, por medio de la carta de Nichols (a, b) <a href="#">Comprensión</a></p>
<p>b. Identificar los criterios de desempeño que caracterizan la respuesta en frecuencia de un sistema por medio de la carta de Nichols.</p>	<p>Calcular el valor de los criterios de desempeño que caracterizan la respuesta en frecuencia de un sistema a partir de la función de transferencia de un sistema prototipo de orden dos (a, c, d) <a href="#">Comprensión</a></p>
<p>c. Identificar de forma general las relaciones entre los criterios de desempeño en frecuencia y los parámetros que identifican el comportamiento en el tiempo de un sistema.</p>	
<p>d. Identificar las relaciones entre los criterios de desempeño en frecuencia y los parámetros que identifican el comportamiento en el tiempo de un sistema prototipo de orden dos.</p>	

**Tabla 24. Características de desempeño**

### 3.5 DISEÑO DE SISTEMAS DE CONTROL

En el análisis de las competencias que conciernen al tema de compensación, se encuentra que para cada uno de los métodos de compensación presentados durante el desarrollo del curso (PD, PI, PID, Adelanto, Atraso, Adelanto – Atraso), el propósito principal es proporcionarle al estudiante la habilidad de reconocer los efectos de los mismos sobre el desempeño del sistema (gráficas de Bode, lugar de las raíces y respuesta en el tiempo) para poder identificar el compensador que permite cumplir las especificaciones de diseño propuestas.

De forma general, los “saberes” y “haceres” para cada uno de los compensadores son similares, por lo tanto no se especifica las características de cada uno por aparte.

#### 3.5.1 Especificaciones de diseño

SABER	HACER
	<p>Comparar el desempeño (tiempo – frecuencia) original del sistema con las condiciones de desempeño requeridas. <a href="#">Conocimiento</a></p> <p>Interpretar las especificaciones de diseño requeridas para el sistema de control (tiempo o frecuencia) <a href="#">Conocimiento</a></p> <p>Seleccionar el método de compensación a utilizar, de acuerdo a las especificaciones de diseño requeridas. <a href="#">Aplicación</a></p>

*Tabla 25. Especificaciones de diseño*

### 3.5.2 Tipos de controladores

#### 3.5.2.1 Función de transferencia del compensador

SABER	HACER
a. identificar los parámetros que determinan la función de transferencia del compensador.	Representar la función de transferencia del compensador (a) <a href="#">Conocimiento</a>

*Tabla 26. Función de transferencia del compensador*

#### 3.5.2.2 Diseño en frecuencia

SABER	HACER
<p>a. Identificar el propósito de utilizar el compensador en un sistema realimentado.</p> <p>b. Identificar las características de respuesta en frecuencia del compensador.</p> <p>c. Interpretar la forma de la traza de Bode del compensador, y la incidencia de sus parámetros en la forma de la misma.</p> <p>d. Identificar las características de respuesta en frecuencia del compensador que permiten su uso en la compensación de sistemas realimentados.</p> <p>e. Identificar el procedimiento de diseño del compensador.</p> <p>f. Reconocer la influencia del compensador en la respuesta del sistema realimentado en la frecuencia y en el tiempo.</p> <p>g. Identificar las limitaciones de la implementación del compensador.</p>	<p>Calcular el valor de los parámetros que determinan la función de transferencia del compensador que permitan el cumplimiento de las condiciones de diseño requeridas (a, b, c, d, e, f) <a href="#">Aplicación</a></p> <p>Determinar los casos en donde posiblemente la implementación del compensador no alcance para cumplir con las características de desempeño requeridas (f, g) <a href="#">Aplicación</a></p>

*Tabla 27. Diseño en frecuencia*

### 3.5.2.3 Diseño en el lugar de las raíces

SABER	HACER
<p>a. A partir de las especificaciones de desempeño proporcionadas, determinar la ubicación deseada para los polos dominantes en lazo cerrado.</p>	<p>Calcular la posición deseada de los polos dominantes en lazo cerrado a partir de las especificaciones de desempeño requeridas en el dominio del tiempo (a) <a href="#">Comprensión</a></p>
<p>b. Identificar el propósito de utilizar el compensador en un sistema realimentado.</p>	<p>Calcular el valor de la ganancia, y posición de los polos y ceros del compensador que permitan cumplir las condiciones de diseño deseadas</p>
<p>c. Identificar la influencia de los parámetros del compensador sobre el lugar de las raíces de un sistema.</p>	<p>(b, c, d, e, f) <a href="#">Aplicación</a></p>
<p>d. Identificar el procedimiento de diseño del compensador.</p>	<p>Determinar los casos en donde posiblemente la implementación del compensador no alcance para cumplir con las características de desempeño requeridas (e, f)</p>
<p>e. Identificar la influencia del compensador sobre el comportamiento del sistema en el tiempo.</p>	<p><a href="#">Aplicación</a></p>
<p>f. Identificar las limitaciones de la implementación del compensador.</p>	

**Tabla 28. Diseño en el lugar de las raíces**

### 3.5.3 Verificación de resultados

SABER	HACER
	<p>Verificar en el lugar de las raíces que por medio del compensador diseñado, se cumplen las características de desempeño deseadas para el sistema de control. <a href="#">Comprensión</a></p> <p>Verificar en el dominio de la frecuencia que por medio del compensador diseñado, se cumplen las características de desempeño deseadas para el sistema de control. <a href="#">Comprensión</a></p> <p>Contrastar el cumplimiento de las condiciones de diseño requeridas (lugar de las raíces / dominio de la frecuencia), con la forma de respuesta en el tiempo del sistema compensado. <a href="#">Aplicación</a></p>

**Tabla 29. Verificación de resultados**

#### **4 CONSULTA A PROFESIONALES EN EL AREA DE SISTEMAS DE CONTROL**

Con motivo de complementar las competencias identificadas para la asignatura SAC, se realiza una consulta a profesionales practicantes en el área de Control y Automatización de procesos. La intención de dicha consulta, además de identificar los conocimientos y habilidades necesarias para el desempeño en el contexto laboral, es reconocer cuáles conceptos vistos en la asignatura son los más utilizados en el desarrollo de su profesión.

La consulta fue realizada a ocho (8) profesionales de diferentes ingenierías quienes están relacionados directamente con el ejercicio de sistemas de control o han realizado proyectos industriales relacionados con esta área del conocimiento.

Cabe recordar que con los resultados de la entrevista no se pretende generalizar el estado del arte del control en la industria sino dar una muestra que permite visualizar características para este trabajo de grado en específico.

Además, el propósito de la encuesta no es en ningún momento evaluar el nivel de conocimiento que tienen los practicantes en el área de Control, sino reconocer la aplicación de los conceptos que actualmente se imparten en el aula de clase, para fines de mejora de propósitos, estrategias e indicadores en la materia. El formato de la consulta se encuentra en el Anexo C.

#### 4.1 RESULTADOS DE LA CONSULTA

1. ¿Utiliza con frecuencia la realimentación en la implementación de sus proyectos?

SI	NO
62,5 %	37,5 %

**Principales aplicaciones:**

Control de Presión en una tubería.

Control de temperatura en calderas.

Control de nivel de líquido en un tanque.

Control de velocidad de un conjunto turbina-bomba.

Control de posición de una válvula.

Control de nivel y flujo de catalizador en un reactor por medio de una válvula de tapón.

2. ¿Ha utilizado el control en lazo abierto para la implementación de sus proyectos?

SI	NO
100 %	0 %

**Principales aplicaciones:**

Prueba y ajuste de válvulas.

Variadores de velocidad.

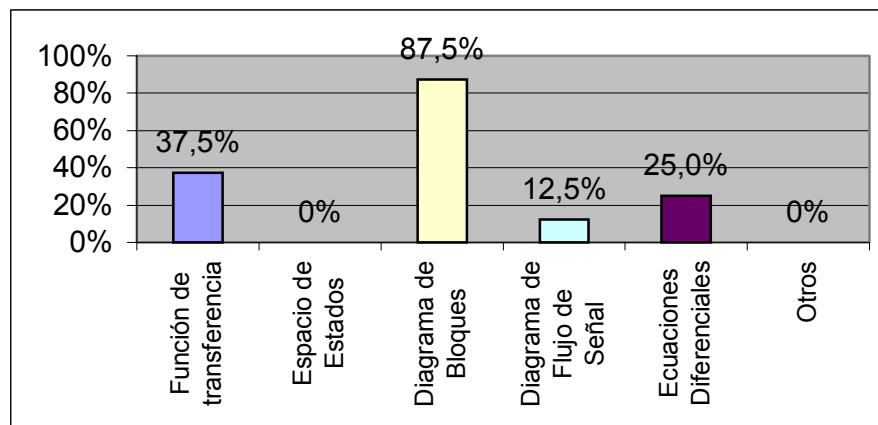
Sistemas de temporización.

**3. En los proyectos que ha desarrollado ¿el punto de partida para el análisis ha sido un modelo matemático del proceso?**

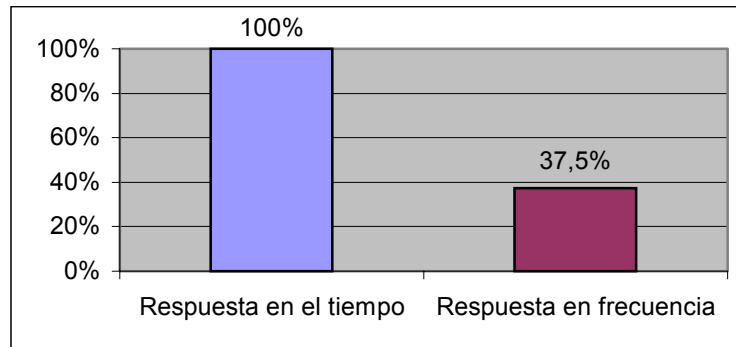
SI	NO
37,5 %	62,5 %

- Algunas veces se utilizan como referencia montajes que la empresa ya ha realizado anteriormente.
- Se realizan pruebas y ensayos a los equipos utilizados.
- Algunas veces se tiene en cuenta el modelo matemático sólo de algunos elementos. Por ejemplo válvulas.

**4. ¿Qué tipo de herramientas matemáticas utiliza en el desarrollo de sus proyectos?**



**5. Para el análisis del comportamiento del sistema utiliza:**



**6. ¿Utiliza analogías entre los diferentes sistemas físicos para el desarrollo de sus proyectos?**

SI	NO
50 %	50 %

**Principalmente:**

Analogía Mecánico – Eléctrico.

Analogía Térmico – Eléctrico.

Analogía Hidráulico – Eléctrico.

**7. ¿Aplica entradas de prueba típicas (escalón, rampa, parábola, senoidal) al sistema para identificar las características de respuesta del mismo?**

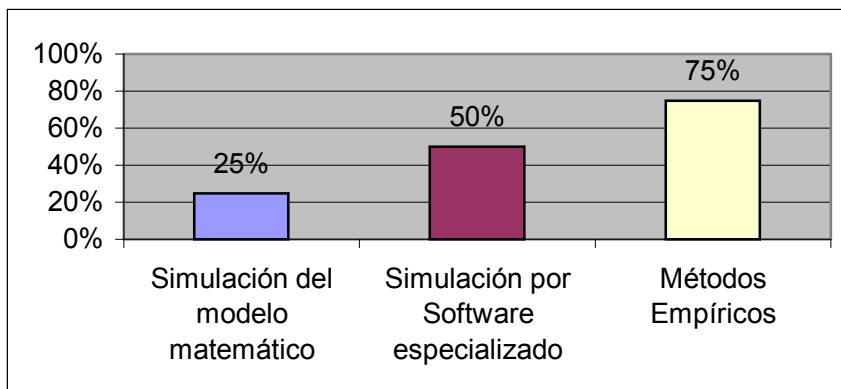
SI	NO
62,5 %	37,5 %

La entrada de prueba típica más utilizada es la entrada escalón, debido a que la mayoría de sistemas descritos por los profesionales consultados operan como reguladores.

**8. En su trabajo, ¿cuál es su concepto de estabilidad para un sistema?**

- Baja variación en la posición o velocidad de un equipo cuando se le ha asignado un “set point”.
- Un sistema es estable cuando los parámetros que rigen su comportamiento se encuentran dentro de las normas establecidas.

**9. ¿Cuáles herramientas utiliza para determinar la estabilidad del sistema?**



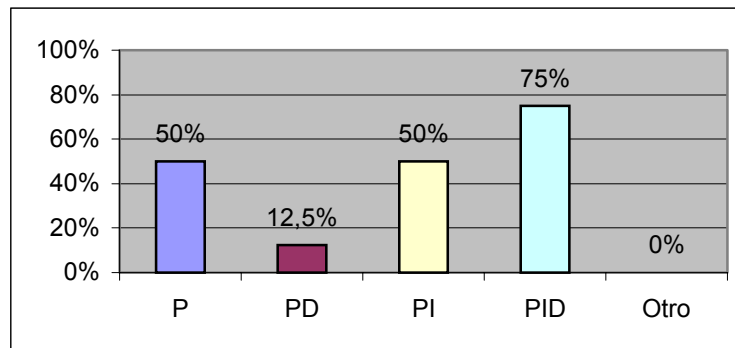
**10. En la realización de sus proyectos, ¿ha sido necesario tener en cuenta el análisis de la respuesta transitoria?**

SI	NO
62,5 %	37,5 %

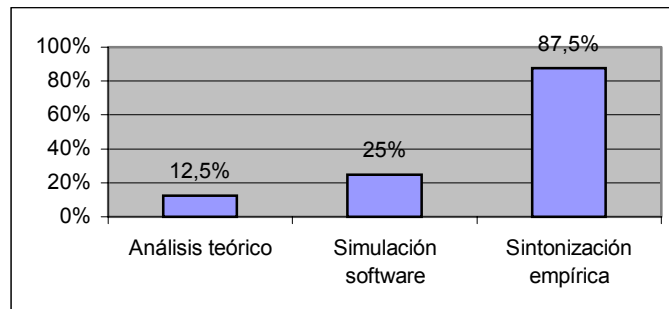
**11. ¿Cuál es el concepto de compensación (regulación) asociado con los proyectos que ha desarrollado?**

- Mantener el proceso con sus variables asociadas en puntos de operación óptimos que permitan obtener beneficios económicos, conservar en buen estado los equipos y minimizar el daño al medio ambiente.
- Obtener los resultados esperados del comportamiento del proceso.
- Balance del sistema para obtener una respuesta deseada.

**12. ¿Cuáles de los métodos de compensación (regulación) descritos a continuación ha utilizado para cumplir las especificaciones de diseño?**



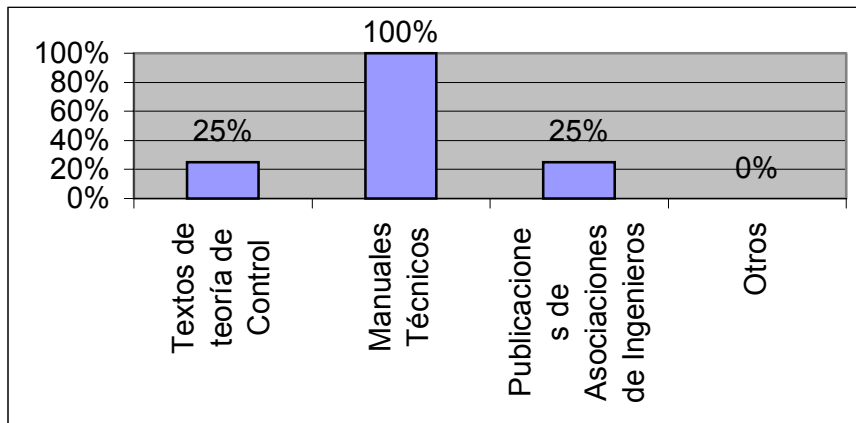
**13. ¿Cuáles herramientas utiliza para el diseño del sistema de compensación?**



#### 14. ¿Cuáles son los principales problemas al ajustar el controlador?

- Se cuenta con poco tiempo para el ajuste del controlador.
- Definir cuál variable (P, I y D) es necesario modificar y en qué medida, para mejorar el lazo de control, además teniendo en cuenta las perturbaciones propias del sistema.
- “El comportamiento de cada proceso es diferente, un control PI que funciona eficientemente en un acueducto, puede no funcionar en una cervecería o en un gasoducto, incluso en otro sistema similar de agua.”

#### 15. La bibliografía que utiliza para desarrollar sus proyectos es:



Lo más utilizado son los catálogos de los equipos e información propia de la empresa (montajes anteriores).

**16. ¿Cree que existe distancia entre los conceptos obtenidos en la asignatura sistemas de control y su aplicación en la industria?**

SI	NO
100 %	0 %

En realidad lo que existe es dificultad para aplicar los conocimientos teóricos en casos prácticos.

**17. ¿Cuáles factores considera son la causa de la distancia que existe entre la teoría y la práctica en el área de Sistemas de Control?**

- Por lo general en Colombia se realizan solo montaje y ajuste de equipos más no se hace diseño y fabricación de controladores, además cada equipo viene con los valores recomendados para la operación y tienen ya implementados internamente los algoritmos de control.
- Para la realización de un proyecto se cuenta con poco tiempo en el montaje y ajuste, además de que no se da el suficiente espacio para la investigación en el ambiente empresarial, salvo algunos casos como el Instituto Colombiano de Petróleo en donde existe una planta piloto para realizar pruebas.
- El manejo de la terminología utilizada en la industria difiere en cuanto a la utilizada en el análisis teórico de sistemas, esto algunas veces puede ser determinante a la hora de laborar.
- Poca inversión por parte de las Universidades para la adquisición de equipos para pruebas de sistemas de control.

- Existe una gran diferencia entre la teoría y la práctica en cuanto al modelo de los sistemas, porque siempre es necesario rediseñar el modelo de acuerdo a resultados empíricos, debido a la existencia de parámetros que difícilmente se pueden tener en cuenta matemáticamente.

**18. ¿Podría identificar una o varias habilidades logradas en la asignatura (Sistemas de Control), que le son útiles para su desempeño laboral?**

- Facilidad para identificar los sistemas de control que se emplean en la industria, que aunque son un poco más complejos mantienen la misma filosofía.
- Identificación del efecto de las variables como presión, nivel y flujo en un proceso, al asociarlo con las analogías eléctricas.
- Manejo e interpretación de diagramas de bloques.
- Responsabilidad en el cumplimiento de las actividades programadas para la asignatura.
- Búsqueda de información bibliográfica necesaria para llevar a cabo una tarea.
- Manejo de programas de simulación.
- Habilidad matemática y nivel de intuición.

**19. ¿Cree que existen algunas habilidades propias y particulares del mundo laboral necesarias para el desempeño satisfactorio de su labor?**

- Relaciones humanas y trabajo en equipo interdisciplinario (Mecánicos, Electricistas, Electrónicos, Químicos, Operarios, Administradores, etc.)
- Toma de decisiones y entrega de resultados en corto tiempo.
- Conocimiento de equipos como PLC's, sensores y electrónica de potencia (incluyendo marcas y referencias), necesarios para el montaje de un proceso o para el reemplazo en caso de fallas.
- Lectura de Manuales en otros idiomas especialmente el inglés.
- Calibración y ajuste de los equipos electrónicos de instrumentación.
- Identificación de fallas en un proceso.
- Conocimientos comerciales y administrativos.
- Realización de pruebas empíricas.
- Conocimiento de características de procesos tal como tiempos de respuesta para la toma de datos.

**20. ¿Cómo cree que se podría mejorar el proceso de enseñanza en la asignatura para preparar de una mejor manera al estudiante para el entorno laboral?**

- Trabajos en grupo con coordinación del profesor.
- Llevar a clase información sobre dispositivos electrónicos (PLC's, controladores, sensores, etc.) utilizados en el montaje de sistemas de control.
- Participación en el aula de personas que trabajan en el área de control como medio de motivación hacia la aplicación de los conceptos recibidos, y la importancia en la formación para facilitar la solución de situaciones que involucre toma de decisiones.
- Visitas técnicas a empresas en donde se encuentren sistemas de control automático.
- Presentar en clase casos reales en donde se pueda ilustrar el funcionamiento de un proceso.
- Estar en contacto con estudiantes de otras ingenierías.
- Inversión en compra de equipos para realización de pruebas empíricas y corroboración de la veracidad de los modelos matemáticos.
- Identificar situaciones problemáticas en los sectores industrial, residencial y rural en las cuales se pueda dar una solución desde el punto de vista de control automático.

## **4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA CONSULTA**

### **4.2.1 Descripción de los resultados**

De los anteriores resultados se destaca lo siguiente:

**a.** La realimentación es una herramienta indispensable para el diseño y funcionamiento de muchos procesos industriales, sin embargo, en aplicaciones que no requieren una alta precisión es posible implementar sistemas automatizados en lazo abierto confiando en la precisión que dan los equipos utilizados en el montaje.

**b.** No es muy frecuente tomar como punto de partida el modelo matemático del sistema, ya que se prefieren los métodos empíricos para la realización del montaje y prueba de los sistemas. En muchos casos el punto de partida para la realización de proyectos son modelos (no matemáticos) de montajes de procesos similares ejecutados anteriormente por el practicante o por la empresa en donde labora.

**c.** La herramienta matemática más utilizada para la realización de proyectos industriales es el diagrama de bloques, ya que permite de una forma rápida la interpretación del funcionamiento de los sistemas, además de ser la más utilizada en las hojas de datos de los equipos (Pregunta 4). Sin embargo, en las hojas de datos de algunos elementos como servo-válvulas o válvulas dinámicas se encuentran modelos matemáticos como la función de transferencia y la respuesta al escalón para describir el comportamiento de las mismas (Preguntas 3 y 9).

**d.** El estudio de las analogías entre de los sistemas eléctricos, mecánicos, hidráulicos, neumáticos permite un rápido entendimiento del funcionamiento de un proceso, teniendo en cuenta que los tiempos de respuesta para cada uno de ellos difiere (Pregunta 6).

**e.** En la mayoría de los casos, la estabilidad del proceso se mide empíricamente o mediante software especializado suministrado por los fabricantes de los equipos.

**f.** La respuesta al escalón del sistema se utiliza como medida de desempeño del comportamiento de un proceso (Pregunta 7).

**g.** La respuesta en el tiempo es la característica más utilizada para evaluar el comportamiento del sistema por encima de la respuesta en frecuencia del mismo (Pregunta 5).

**h.** La definición de regulación dada por los consultados (Pregunta 11) implica factores como beneficio económico, vida útil de los equipos e influencia en el medio ambiente.

**i.** El controlador más utilizado es el controlador PID, y su ajuste se realiza por medio de prueba y error directamente sobre el proceso en funcionamiento (Preguntas 14 y 15).

**j.** Todos los practicantes consultados afirman que existe una gran diferencia entre los conceptos teóricos recibidos en la asignatura y su aplicación en la industria (Pregunta 16).

**k.** La sugerencia más significativa para la disminución de la distancia que existe entre la teoría y la práctica en los sistemas de control automático es un mayor contacto con el ambiente industrial por medio de prácticas empresariales, presentación de casos en las clases, e identificación y solución de problemas propios de la industria.

**l.** La bibliografía utilizada para el desarrollo de proyectos, incluye en un porcentaje muy bajo el uso de textos especializados en teoría de control (pregunta 15).

#### **4.2.2 Observaciones**

• Según los resultados de la consulta, los contenidos de la asignatura menos utilizados por los practicantes son:

- Espacio de Estados.
- Diagramas de Flujo de Señal.
- Modelo por ecuaciones diferenciales.
- Respuesta en Frecuencia.
- Simulación software del modelo matemático.
- Diseño de reguladores por medio del análisis teórico.

Estos resultados no implican que sea obligatorio modificar los contenidos de la asignatura eliminando los temas que no se utilizan actualmente en la industria según la consulta a profesionales, pues temas como espacio de estados, diagramas de flujo de señal, modelo por ecuaciones diferenciales y respuesta en frecuencia no sólo son propios del análisis de los sistemas de control sino de otras áreas de conocimiento tales como eléctrica, electrónica, mecánica, química y bioingeniería entre otras. Asimismo la utilización del

análisis teórico de los modelos, diseño analítico de controladores y el uso de herramientas para simulación permite que se genere un punto de partida para el entendimiento del comportamiento real de los mismos utilizando los recursos disponibles en el medio académico (tutoriales, elementos de cómputo, Internet, simuladores) [Schmid00], sin dejar al lado la corroboración experimental de los resultados teóricos [Bernstein98].

- Dentro de los comentarios realizados por los practicantes consultados, resalta la influencia del factor tiempo como limitante en el desarrollo de sus proyectos, debido a que en la industria se trabaja “contra el tiempo” razón por la cual en muchas ocasiones no es posible realizar una identificación del sistema y llegar a un modelo que permita aplicar las técnicas de diseño de sistemas de control descritas por la teoría de control clásico. A nivel general este tipo de metodologías son usadas en entornos de investigación académica, a donde llegarán algunos de nuestros egresados.

- La problemática de la distancia entre la teoría y la práctica, no solo se presenta en la realidad de nuestra región, sino que es una preocupación en países desarrollados como Estados Unidos en donde se presenta como solución un balance entre la teoría y las aplicaciones prácticas [Lewis] [Bernstein99a]. Específicamente para el área de Sistemas de Control el profesor de la Universidad de Michigan *Dennis Bernstein* realiza en [Bernstein99a] una descripción acerca de los problemas de la aplicación e investigación de la teoría de control en la industria, donde se resaltan las siguientes ideas:

*“Desafortunadamente, las constantes de tiempo para la investigación básica y su aplicación son generalmente muy diferentes. De hecho las nuevas ideas pueden requerir un largo tiempo desde su concepción hasta su desarrollo,*

*mientras que las aplicaciones con presión en el tiempo pueden desviar la atención de soluciones potencialmente valiosas a largo término.”*

*“Mucho esfuerzo en la academia está dirigido a la publicación en revistas, las cuales están estrictamente limitadas a demostrar nuevas ideas. Como consecuencia, los artículos son extremadamente concisos y son generalmente escritos para otros investigadores, no practicantes. Los autores de los artículos en pocas ocasiones proveen exposición pedagógica que podría hacer sus escritos más legibles por practicantes...”*

Además, en el mismo artículo y en [Bernstein99b], el profesor Dennis Bernstein propone sugerencias para reducir la distancia entre la teoría y la práctica en el área de Sistemas de Control.

### **4.3 COMPETENCIAS IDENTIFICADAS EN EL MEDIO LABORAL**

La descripción de las competencias encontradas se divide en tres grupos:

- *Competencias cognitivas* que hacen referencia a tareas que implican la utilización de conceptos teóricos relacionados con los sistemas de control.
- *Competencias prácticas* asociadas con habilidades para el montaje experimental y funcionamiento de los sistemas de control en un proceso.
- *Competencias transversales* que son de naturaleza general y aplicables a otros contextos.

### ***Competencias Profesionales Cognitivas. (CPC)***

**CPC1.** Identificar los parámetros o variables necesarios para caracterizar completamente el sistema, y su influencia en el funcionamiento del mismo.

**CPC2.** Describir e interpretar el comportamiento del proceso por medio de la lectura de la curva de respuesta en el tiempo de las entradas y salidas involucradas en el mismo.

**CPC3.** Representar gráficamente el funcionamiento del proceso por medio de diagramas de bloques.

**CPC4.** Identificar la influencia de factores externos o perturbaciones en el funcionamiento del sistema y corregir sus efectos.

**CPC5.** Reconocer la incidencia de la variación de los coeficientes proporcional, derivativo e integral en el desempeño del proceso.

**CPC6.** Ajustar el valor de los coeficientes proporcional, derivativo e integral del controlador para alcanzar las condiciones de diseño deseadas.

### ***Competencias Profesionales Prácticas. (CPP)***

**CPP1.** Manejar software especializado para el diseño de procesos que involucren el manejo de Sistemas de Control.

**CPP2.** Reconocer la terminología utilizada en la industria para referirse a los equipos de trabajo.

**CPP3.** Reconocer el funcionamiento de equipos tales como PLC's, variadores de velocidad, bombas y en general equipos de instrumentación.

**CPP4.** Evaluar y seleccionar los equipos necesarios en la implementación del sistema de control.

**CPP5.** Calibrar y configurar los instrumentos y equipos electrónicos, además de identificar las posibles causas de las fallas en los mismos.

**CPP6.** Reconocer las características de los equipos de instrumentación y control existentes en el mercado.

**CPP7.** Aplicar normas de seguridad industrial en el diseño y montaje de los sistemas de control.

***Competencias Profesionales Transversales.***

**CPT1.** Utilizar las unidades y dimensiones para cada una de las variables físicas involucradas en el funcionamiento del proceso.

**CPT2.** Obtener e interpretar material bibliográfico. En especial manuales técnicos de los equipos.

**CPT3.** Plantear en forma clara el problema a desarrollar y la solución a implementar.

**CPT4.** Trabajar de forma interdisciplinaria como medio de desarrollo eficiente en las empresas en diferentes contextos.

**CPT5.** Trabajar en grupo y distribuir el trabajo de acuerdo a las capacidades y conocimientos de cada integrante del equipo de trabajo.

**CPT6.** Manejar las situaciones problemáticas y de conflicto con serenidad.

**CPT7.** Desarrollar la comunicación y relaciones laborales con los integrantes de la empresa.

**CPT8.** Realizar las actividades laborales con sentido de responsabilidad y pertenencia hacia la empresa.

**CPT9.** Tomar decisiones y entregar de resultados en el menor tiempo posible.

**CPT10.** Dominar idiomas extranjeros. En especial el inglés.

## **5 PROPUESTAS DESARROLLADAS**

A continuación se describen las actividades realizadas con base en la puesta en común de las competencias cognitivas identificadas para el desarrollo del curso (tabla de saberes) y las competencias identificadas mediante la consulta a profesionales practicantes. Uno de los objetivos de este trabajo es disminuir la brecha entre la teoría y la práctica, lo cual se alcanza por medio de la interacción con sistemas de control reales con el fin de observar su comportamiento y aplicar los conceptos desarrollados en la asignatura, principalmente. Asimismo se plantea la estrategia de talleres como forma de trabajo dentro del aula de clase que permite el desarrollo de los niveles de competencias identificados en el capítulo 3.

### **5.1 CONTROL DE NIVEL DE LÍQUIDO EN UN TANQUE**

#### **5.1.1 Descripción de la actividad**

Una de las aplicaciones más comunes que se encuentran tanto en la literatura como en la industria <sup>20</sup> es el control de nivel de líquido en un tanque. Se propone realizar una práctica demostrativa en el módulo de control de nivel ubicado en las instalaciones del laboratorio de ingeniería química.

La actividad se realiza con la colaboración de un ingeniero químico<sup>21</sup> y el profesor de la asignatura de control en la escuela de ingeniería química<sup>22</sup>. Se

---

<sup>20</sup> Capítulo 4. Consulta a profesionales.

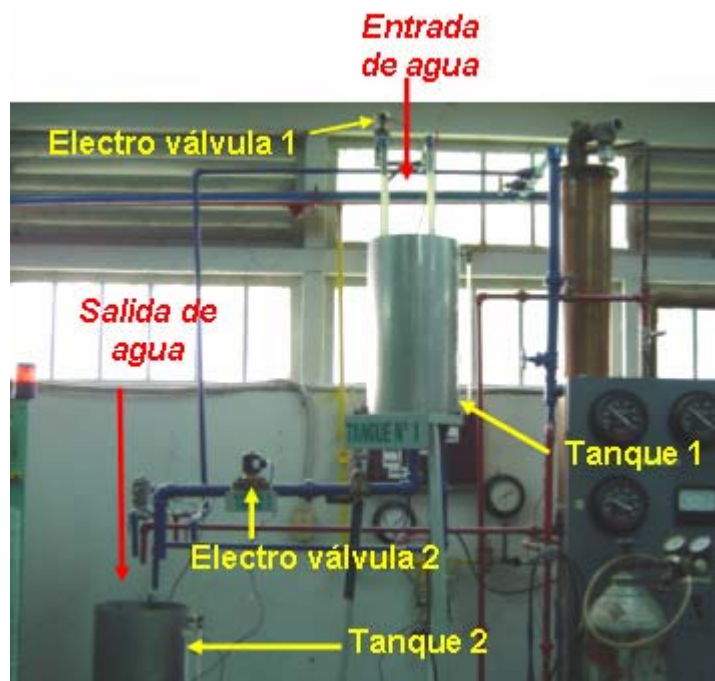
<sup>21</sup> Néstor Contreras. Ingeniero químico.

cuenta con la asistencia de estudiantes de ingeniería química e ingeniería eléctrica / electrónica. La duración de la práctica es de dos horas.

Este ejercicio se desarrolla de manera demostrativa por lo tanto se espera que se desarrollen competencias del nivel de conocimiento, pues en realidad los estudiantes no tienen un contacto individualizado con el sistema.

Sin embargo, para esta actividad es posible implementar ejercicios (prácticos) que permitan desarrollar determinadas competencias identificadas en la tabla de saberes (mostrando su aplicación), junto con las competencias identificadas en la consulta a profesionales.

En la Figura 10 se presenta el sistema a analizar.



**Figura 10.** Sistema de control de nivel de líquido

---

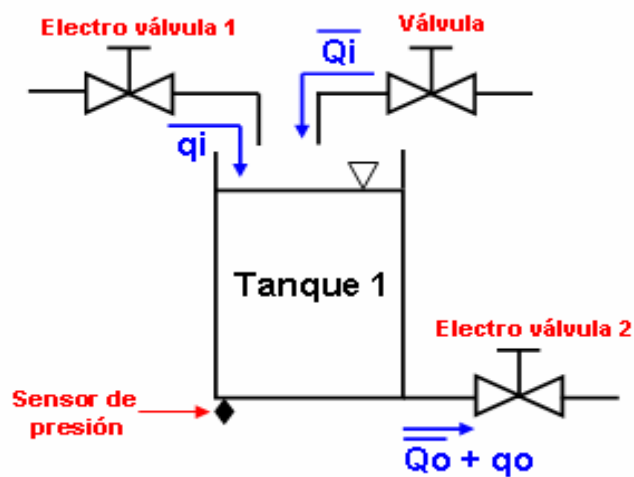
<sup>22</sup> Profesor Edgar Castillo. Escuela de Ingeniería Química. Universidad Industrial de Santander.

Se analizará solo el sistema de llenado del tanque 1. En la entrada del tanque se encuentran dos vías por donde ingresa el agua; el flujo en una de estas vías se controla con una válvula (tipo llave de paso) y en la otra se encuentra la electro válvula 1. Por medio de la válvula (tipo llave de paso) se ajusta una entrada de flujo de agua constante, y la electro válvula 1 servirá para ajustar el nivel del tanque en el nivel deseado.

A la salida del tanque se encuentra la electro válvula 2, junto con otra válvula (tipo llave de paso) en la misma tubería. Para este ejercicio no se utilizará la electro válvula 2, es decir, se dejará completamente abierta y se ajusta el flujo de salida con la válvula tipo llave de paso.

Además se encuentra un sensor de presión en el fondo del tanque, el cual genera una señal de corriente de 4 – 20 mA que indica el nivel de agua en el tanque.

Un esquema alternativo se presenta en la Figura 11 .



*Figura 11 . Esquema del sistema de control de nivel de líquido.*

La realización de la actividad se divide en los siguientes ejercicios:

### **A. *Análisis teórico del sistema***

A partir del esquema del sistema, representar las ecuaciones que describen el comportamiento del mismo con el fin de obtener su función de transferencia.

En este punto se destaca que dentro del curso de control de ingeniería química, uno de los temas de la asignatura es la linealización de sistemas, por lo cual el modelo inicial que toman es el no lineal, para posteriormente llegar a uno lineal. En el curso de control de ingeniería eléctrica / electrónica, el punto de partida es el modelo ya linealizado. Sin embargo al realizar el proceso de planteamiento de las ecuaciones diferenciales y la obtención de la función de transferencia, se llega al mismo resultado (función de transferencia de primer orden) desde cualquiera de los dos enfoques, permitiendo a los estudiantes de ingeniería electrónica una visión más completa del sistema, sin necesidad de entrar en demasiado detalle respecto al tema de linealización.

### **B. *Obtención de la curva de respuesta en lazo abierto***

El objetivo de este ejercicio es identificar las condiciones necesarias para obtener experimentalmente la curva de respuesta del sistema, con el fin de caracterizar su comportamiento. Además de identificar la importancia del sensor dentro del sistema.

## B.1. Caracterización del sensor de presión

Se realiza la medición de la corriente del sensor versus el nivel de agua en el tanque. La medición de la corriente se realiza por medio de un multímetro digital conectado en serie con el circuito de alimentación del sensor, y la lectura del nivel se toma mediante una manguera instalada entre el extremo inferior y superior del tanque, etiquetada con una cinta que indica la longitud en centímetros. En la Figura 12 y Figura 13 se observa la ubicación del sensor de presión y el indicador de nivel respectivamente.



*Figura 12 . Sensor de Presión*

*Figura 13 . Indicador de Nivel*

Como resultado se obtiene la curva característica del sensor y se visualiza el rango en el cual tiene un comportamiento lineal, identificando así el rango de niveles de altura del tanque que se pueden controlar en el sistema.

Dentro de esta actividad cabe resaltar el trabajo realizado por los estudiantes de ingeniería electrónica quienes explicaron a sus

compañeros de ingeniería química la forma de conexión para tomar los datos de corriente y el uso del multímetro digital para su lectura, además de la diferencia entre tensión y corriente en un circuito. A su vez se observó la dependencia de la cantidad de flujo de salida del tanque con el nivel del mismo.

## **B.2. Curva de respuesta en el tiempo**

Se describen las condiciones necesarias para obtener la curva del sistema, tal como definir un punto de equilibrio, es decir, en donde el flujo de entrada al tanque sea igual flujo de salida del mismo, para obtener un nivel de agua constante. En el sistema no se encuentran sensores para medir el flujo a la entrada y a la salida del tanque, por esta razón el punto de equilibrio se obtiene de forma empírica (prueba y error).

Una vez alcanzado este punto, se aumenta la apertura de la válvula (tipo llave de paso) de entrada de líquido simulando una entrada escalón al sistema e inmediatamente se toman los datos de nivel de agua en el tanque versus tiempo recorrido, obteniendo una figura que se puede aproximar a la respuesta de un sistema con función de transferencia de primer orden (respuesta monotónica).

## **C. Montaje del sistema de control**

Una vez identificado el comportamiento del sistema, se dispone a realizar el montaje del sistema de control de nivel con un controlador ON / OFF. Para el dispositivo controlador se cuenta con un OMRON E5CK, el cual tiene entradas y salidas analógicas, y permite el establecimiento de un nivel de referencia deseado por parte del usuario.

El esquema del montaje del sistema de control se muestra en la Figura 14 , junto con el diagrama de bloques en la Figura 15 .

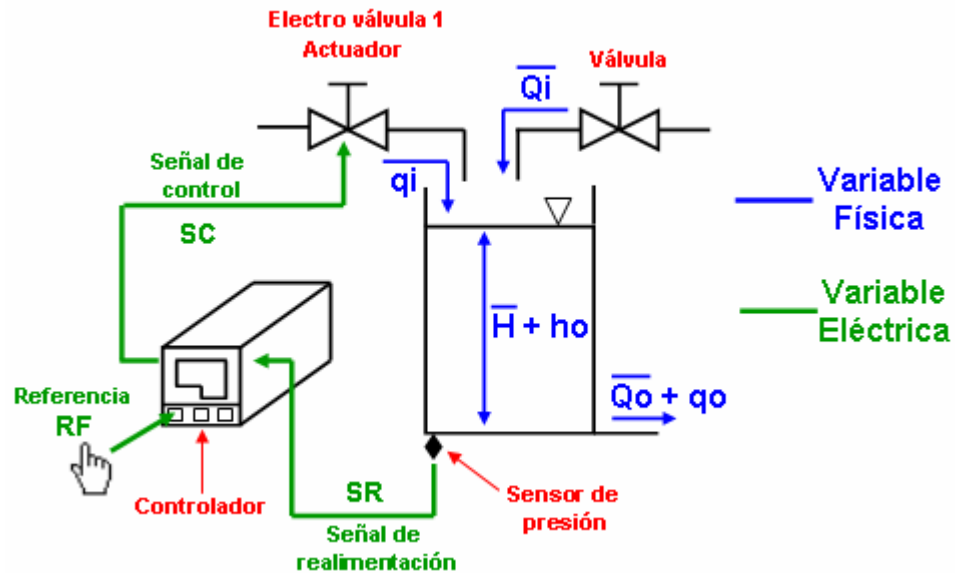


Figura 14. Esquema del montaje del sistema de control

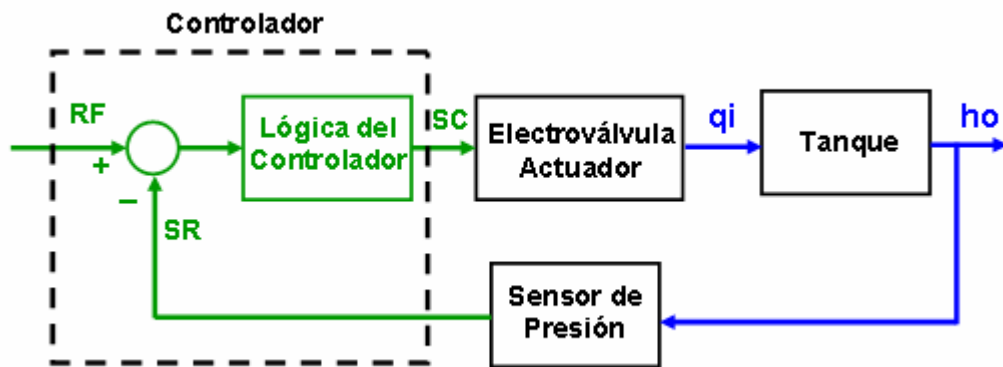


Figura 15. Diagrama de bloques del sistema

En este ejercicio se describen las características del montaje del sistema de control de nivel de líquido en el tanque, y se identifican los

componentes físicos y señales involucradas dentro del sistema realimentado, haciendo énfasis en el reconocimiento de las señales eléctricas y señales físicas, así como entradas y salidas asociadas.

Además se describe en forma general el funcionamiento y la programación del controlador, y los pasos necesarios para calibrar el controlador de acuerdo al comportamiento del sensor y los niveles de corriente que se manejan en el circuito.

#### ***D. Puesta en marcha del sistema de control***

Inicialmente el sistema se encuentra en un nivel de agua constante por medio del ajuste de flujo igual a la entrada y la salida. Por medio del teclado del controlador se ingresa un nivel deseado. Posteriormente se abre la válvula (tipo llave de paso) en un porcentaje más alto que el actual, y se verifica si por medio del controlador se mantiene el nivel deseado ingresado anteriormente.

En este ejercicio es posible identificar el funcionamiento del controlador, sin embargo también se identifican factores externos que afectan el comportamiento del sistema, ya que por defectos de fabricación del módulo, las lecturas del sensor en algunos casos no es la correcta debido a la fuerza con la que el agua cae al fondo del tanque, provocando mal funcionamiento del sistema.

### **5.1.2 Competencias a desarrollar**

De los “saberes” y “haceres” identificados para el curso del curso, es posible desarrollar los siguientes:

<b>3.1. HISTORIA DE LOS SISTEMAS DE CONTROL</b>	
<b>SABER</b>	<b>HACER</b>
b. Identificar procesos reales que involucren el análisis de Sistemas de Control.	Describir situaciones reales en donde se implementen sistemas de control (b) <a href="#">Conocimiento</a>
<b>3.2. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL</b>	
<b>SABER</b>	<b>HACER</b>
a. Identificar las señales presentes en un sistema de Control.	Describir en un sistema cada uno de sus componentes y el proceso asociado al mismo (a, b, c) <a href="#">Conocimiento</a>
b. Definir el concepto de Planta, Proceso, Controlador, Perturbación y Sensor.	Explicar el funcionamiento de cada uno de los componentes en un sistema de Control (a, b, c) <a href="#">Conocimiento</a>
c. Definir el concepto de Sistema en Lazo Abierto y Lazo Cerrado.	
<b>3.3.2. SISTEMAS FÍSICOS.</b>	
<b>SABER</b>	<b>HACER</b>
a. Reconocer las leyes físicas que gobiernan cada uno de los sistemas físicos.	
b. Reconocer los componentes físicos y las ecuaciones dinámicas que determinan el comportamiento de los mismos en un sistema.	
c. Identificar las configuraciones más comunes para cada uno de los tipos de sistemas físicos.	
e. Reconocer las unidades de las variables involucradas en cada uno de los sistemas físicos.	
<b>3.4.1.3. CARACTERÍSTICAS DE DESEMPEÑO.</b>	
<b>SABER</b>	<b>HACER</b>
a. Reconocer la respuesta al escalón de un sistema como medio de caracterización de la respuesta transitoria del mismo.	

De las competencias identificadas por medio de la consulta a profesionales, es posible desarrollar las siguientes:

**CPC1.** Identificar los parámetros o variables necesarios para caracterizar completamente el sistema, y su influencia en el funcionamiento del mismo.

**CPC2.** Describir e interpretar el comportamiento del proceso por medio de la lectura de la curva de respuesta en el tiempo de las entradas y salidas involucradas en el mismo.

**CPC4.** Identificar la influencia de factores externos o perturbaciones en el funcionamiento del sistema y corregir sus efectos.

**CPP3.** Reconocer el funcionamiento de equipos en este caso sensores y controladores.

**CPT4.** Trabajar de forma interdisciplinaria como medio de desarrollo eficiente en las empresas en diferentes contextos.

La identificación de las competencias posibles a desarrollar mediante este ejercicio permite determinar indicadores de evaluación para saber si efectivamente la práctica ha contribuido a desarrollar en los estudiantes las competencias deseadas.

Anteriormente se mencionó que las competencias desarrolladas en esta actividad son de tipo conocimiento, por no existir un contacto individual de los estudiantes hacia el montaje del sistema de control. Sin embargo, como las competencias identificadas dentro del nivel de comprensión dependen de las del nivel de conocimiento, es posible desarrollar ejercicios en clase tomando como referencia las competencias desarrolladas en esta actividad.

## 5.2 CONTROL DE PRESIÓN EN UNA TUBERÍA

Otra aplicación de los sistemas de control en la industria es el control de presión en una tubería. Con base en lo anterior, se desarrolla una actividad cuyo objetivo principal es controlar la presión en una manguera que hace parte de un sistema óleo-hidráulico.

La actividad se realiza en los laboratorios de Hidráulica del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) sede Girón, con la colaboración de un instructor experto en el área de hidráulica<sup>23</sup>.

### 5.2.1 Dispositivos utilizados

Se dispone de cuatro bancos de trabajo, como el mostrado en la Figura 16

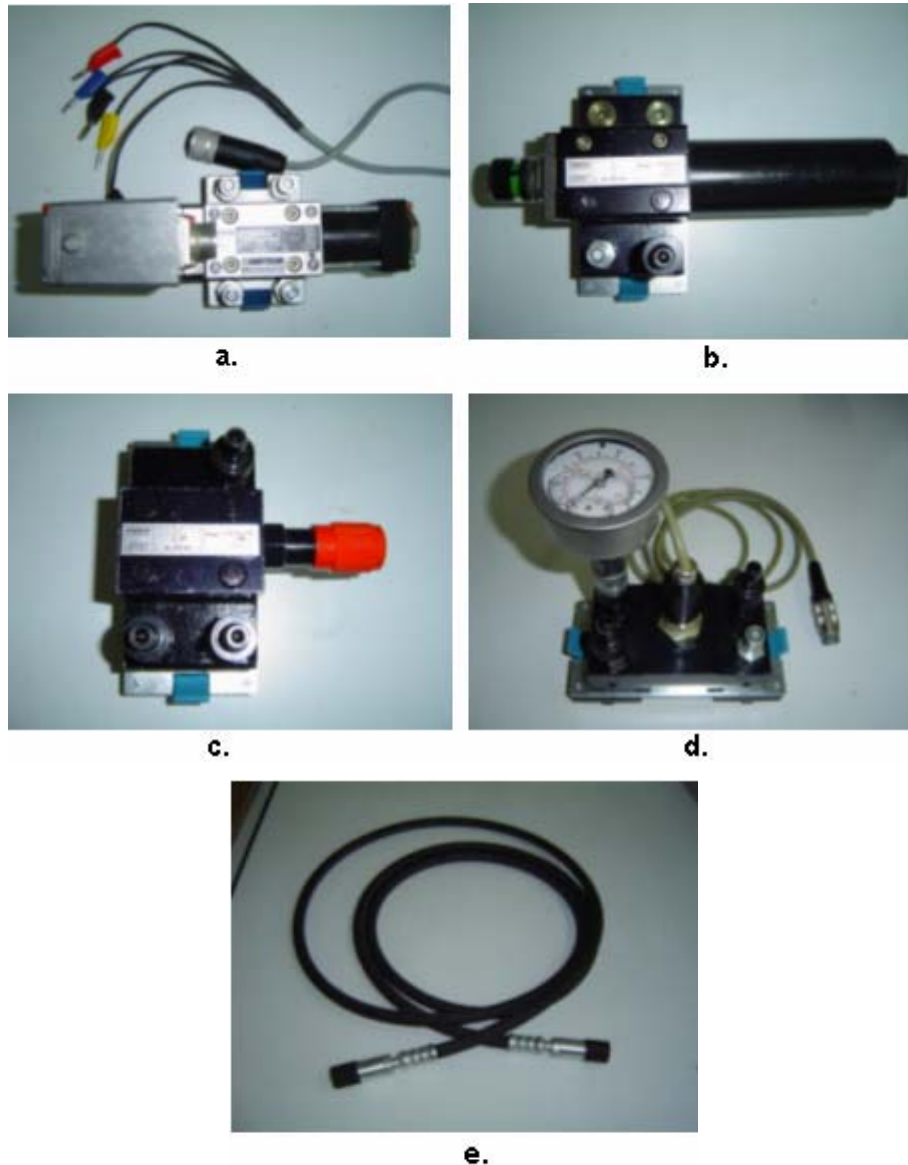


*Figura 16 . Banco de trabajo para la práctica*

<sup>23</sup> Carlos Horacio Robles. Ingeniero Mecánico.

Para cada uno de los bancos se encuentran dispositivos hidráulicos y electrónicos para la realización de la práctica.

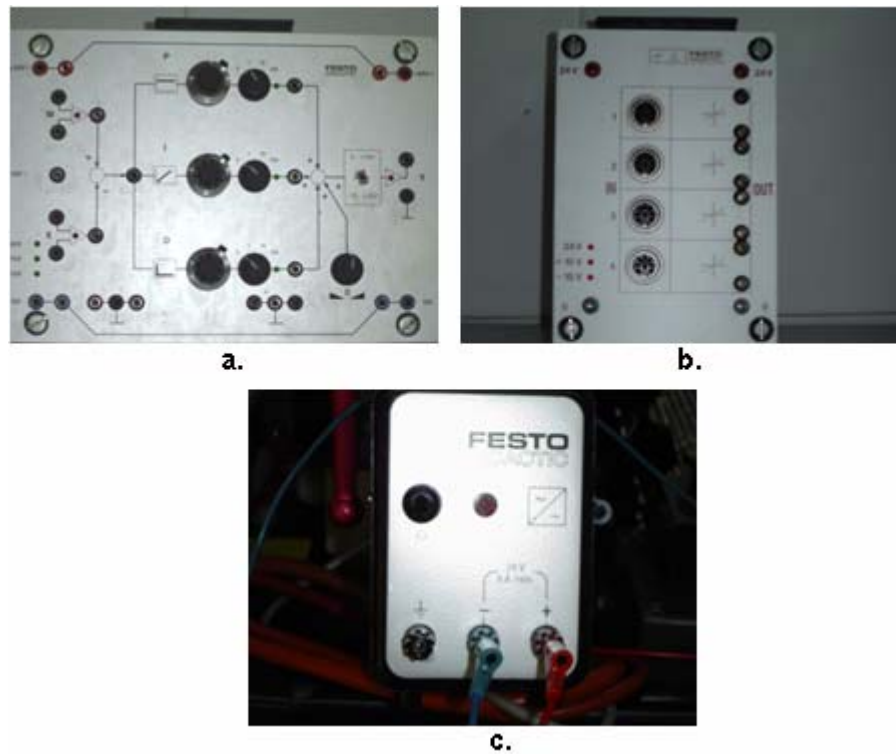
En la Figura 17 se presentan los elementos hidráulicos utilizados.



**Figura 17. Dispositivos hidráulicos utilizados.**

**a.** Servo – válvula de 4/3 vías. **b.** Filtro hidráulico. **c.** Válvula limitadora de presión. **d.** Sensor de presión con manómetro analógico acoplado. **e.** Manguera.

En la Figura 18 se presentan los dispositivos electrónicos utilizados.



**Figura 18. Dispositivos electrónicos utilizados.**

- a. Tarjeta reguladora PID.
- b. Tarjeta acondicionadora de señal para el sensor de presión.
- c. Fuente de tensión de 24 V DC para los elementos.

Además es necesario utilizar fuentes variables de tensión y generadores de señal.

Los detalles de la práctica tales como simbología de cada uno de los dispositivos utilizados, esquemas y procedimientos realizados durante el ejercicio se encuentran en la guía completa de la práctica en el Anexo D.

En la siguiente sección se describen las actividades realizadas durante la práctica, y su relación con los objetivos formativos planteados a través de la tabla de saberes y las competencias identificadas por medio de la consulta a profesionales.

### **5.2.2 Descripción de la actividad**

La práctica se divide en una sesión de introducción a los sistemas hidráulicos y cuatro ejercicios, los cuales se describen a continuación:

#### ***A. Introducción a los sistemas hidráulicos***

Se realiza una clase expositiva<sup>24</sup> cuyo objetivo es presentar a los estudiantes los elementos que generalmente son utilizados en el montaje de un sistema hidráulico y su simbología, con énfasis en la interpretación de simbología de válvulas. Se describen las variables que influyen en el comportamiento del sistema con sus respectivas unidades.

También se plantea el problema de regulación de presión propuesto en la guía de trabajo, se presentan los elementos a utilizar en el ejercicio, y se muestran de forma general las características de los equipos y precauciones a tener en cuenta.

#### ***B. Ejercicio 1. Caracterización del sensor de presión***

Los objetivos de este ejercicio son inicialmente familiarizarse con los equipos de trabajo mediante el montaje para la medición de la

---

<sup>24</sup> Dirigida por el instructor del SENA

característica de comportamiento del sensor de presión a utilizar, identificar la importancia del sensor en un sistema de control y caracterizar el sensor para determinar el rango lineal de medida, con su respectiva ganancia.

### ***C. Ejercicio 2. Primera posible solución al problema***

Se plantea como primera solución para el problema de regulación de presión, la implementación del sistema en lazo abierto, controlando la presión en la manguera de salida por medio de la servo – válvula de 4/3 vías, ajustando la tensión de entrada a la servo – válvula para obtener la presión deseada a la salida. Es posible identificar que el rango de tensiones en el cual la servo – válvula tiene un comportamiento lineal es pequeño, sin embargo, con un ajuste fino en la señal de tensión de entrada a la válvula, se puede llegar al valor de presión deseado.

Posteriormente, se verifica el comportamiento del sistema ante perturbaciones, que en este caso se realiza variando la presión de alimentación del circuito hidráulico por medio de la válvula limitadora de presión.

Además se cuestiona la eficiencia del sistema y se ubica la situación dentro del marco empresarial, identificando la función que debería hacer un operario en el esquema de implementación en lazo abierto sujeto a perturbaciones.

#### ***D. Ejercicio 3. Segunda posible solución al problema***

Se plantea el esquema de regulación de presión en lazo cerrado, realimentando la señal de salida del sensor de presión hacia la tarjeta reguladora PID, la cual se encargará de realizar el control al sistema de regulación.

En este ejercicio se identifican los componentes y señales asociados a un esquema de control de presión en lazo cerrado, junto con el efecto de la realimentación sobre la regulación del valor deseado de presión.

También se observa el comportamiento del sistema, especialmente el error en estado estable que se presenta, a medida que se varía la ganancia del sistema hasta llegar a la ganancia crítica para la estabilidad. Este ejercicio permite a los estudiantes identificar que efectivamente existen rangos de estabilidad para los sistemas reales y analizar el efecto de disminución de error en estado estable a medida que se aumenta la ganancia del sistema. Además, presenta una oportunidad para hacer referencia al lugar de las raíces y la posición de los polos a medida que se aumenta la ganancia en lazo directo del sistema, junto con el concepto de constantes de error estático.

Posteriormente se plantea la evaluación del desempeño del sistema ante perturbaciones con la variación de la presión de alimentación del circuito hidráulico, por medio de la válvula limitadora de presión, y la comparación de los resultados con los obtenidos en el esquema de lazo abierto realizado en el ejercicio anterior.

#### ***E. Ejercicio 4. Variación de los parámetros del controlador y sintonización del lazo de control***

En este ejercicio se pretende identificar el comportamiento del sistema ante cambios del nivel de referencia en la señal de presión deseada. Inicialmente se cuestiona acerca de cuál es la entrada de referencia más apropiada para observar tal comportamiento, generando como respuesta por parte de los estudiantes, la señal escalón como entrada de prueba típica.

Se ajusta por medio del generador de señales una entrada tipo onda cuadrada en niveles de tensión que permitan llevar el sistema desde un punto de operación, hacia otro nivel deseado [Anexo D]. Por medio del osciloscopio FLUKE se observa la onda de salida y se verifican de nuevos los resultados de estabilidad y error en estado estable observados en el ejercicio anterior.

A continuación se plantean modificaciones a las constantes proporcional, derivativa e integral de la tarjeta reguladora PID, con el fin de observar la influencia de cada uno de estos tres parámetros sobre el comportamiento dinámico del sistema.

Por último, se plantea un esquema de compensación empírico variando gradualmente las constantes del regulador PID hasta obtener una onda de respuesta favorable sobre el sistema, teniendo en cuenta aspectos como tiempo de establecimiento, sobrepaso máximo y vibraciones sobre las mangueras.

La práctica además de permitir observar las características descritas anteriormente, también sirve para que los estudiantes identifiquen las diferencias entre los sistemas, ya que a pesar de utilizar los mismos componentes, en cada banco de prueba se dan características de respuesta diferente.

### 5.2.3 Competencias a desarrollar

De los “saberes” y “haceres” identificados para el curso del curso, es posible desarrollar los siguientes:

<b>3.1. HISTORIA DE LOS SISTEMAS DE CONTROL</b>	
<b>SABER</b>	<b>HACER</b>
b. Identificar procesos reales que involucren el análisis de Sistemas de Control.	Describir situaciones reales en donde se implementen sistemas de control (b) <a href="#">Conocimiento</a>
<b>3.2. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL</b>	
<b>SABER</b>	<b>HACER</b>
a. Identificar las señales presentes en un sistema de Control.	Describir en un sistema cada uno de sus componentes y el proceso asociado al mismo (a, b, c) <a href="#">Conocimiento</a>
b. Definir el concepto de Planta, Proceso, Controlador, Perturbación y Sensor.	Explicar el funcionamiento de cada uno de los componentes en un sistema de Control (a, b, c) <a href="#">Conocimiento</a>
c. Definir el concepto de Sistema en Lazo Abierto y Lazo Cerrado.	Explicar el funcionamiento de cada uno de los componentes en un sistema de Control (a, b, c) <a href="#">Conocimiento</a>
d. Describir las características de un esquema de control en Lazo Abierto.	Clasificar un sistema de acuerdo al esquema utilizado en su implementación (lazo abierto o lazo cerrado) (c, d, e, f, g) <a href="#">Comprensión</a>
e. Reconocer los elementos utilizados en la implementación de un esquema de control en Lazo Abierto.	
f. Describir las características de un esquema de control en Lazo Cerrado.	Comparar las características de un sistema de Control en lazo abierto con un sistema de Control en lazo cerrado (c, d, e, f, g, h) <a href="#">Comprensión</a>
g. Reconocer los elementos utilizados en la implementación de un esquema de control en Lazo Cerrado.	

h. Identificar el efecto de la realimentación sobre las variables de un sistema. (Ganancia global, estabilidad, sensibilidad, perturbaciones)	
<b>3.3.2. SISTEMAS FÍSICOS.</b>	
<b>SABER</b>	<b>HACER</b>
c. Identificar las configuraciones más comunes para cada uno de los tipos de sistemas físicos.  e. Reconocer las unidades de las variables involucradas en cada uno de los sistemas físicos.  f. Reconocer las características de respuesta en el tiempo para cada uno de los sistemas físicos.	Interpretar el comportamiento de un sistema físico a partir de su curva de respuesta en el tiempo (e, f) <a href="#">Conocimiento</a>
<b>3.4.1.2. ERROR EN ESTADO ESTABLE.</b>	
<b>SABER</b>	<b>HACER</b>
a. Definir el concepto de error en estado estable.  c. Identificar el error en estado estable como medida de precisión de un sistema	Calcular gráficamente el error de seguimiento de un sistema ante cada uno de los tipos de señales de prueba típicas (a, c) <a href="#">Comprensión</a>
<b>3.4.1.3. CARACTERÍSTICAS DE DESEMPEÑO.</b>	
<b>SABER</b>	<b>HACER</b>
a. Reconocer la respuesta al escalón de un sistema como medio de caracterización de la respuesta transitoria del mismo.  b. Definir las medidas de desempeño que caracterizan la respuesta transitoria de un sistema (Sobrepaso máximo, Tiempo de retardo, Tiempo de levantamiento y Tiempo de asentamiento)	Calcular gráficamente el valor de las medidas de desempeño que caracterizan la respuesta transitoria de un sistema (a, b) <a href="#">Comprensión</a>  Identificar formas de respuesta para un sistema de control consideradas como características de desempeño favorables (b) <a href="#">Conocimiento</a>
<b>3.4.2.2. LÍMITES DE ESTABILIDAD.</b>	
<b>SABER</b>	<b>HACER</b>
	Calcular el(los) valor(es) crítico(s) de uno o dos parámetros variables en un sistema realimentado con los cuales se conserve la estabilidad del mismo (4.2.1) <a href="#">Comprensión</a>

Se observa que en este ejercicio es posible desarrollar competencias del nivel de comprensión, ya que los estudiantes tienen acceso al sistema de manera individual y se enfrentan al problema por sí mismos, con la asistencia del profesor.

De las competencias identificadas por medio de la consulta a profesionales, es posible desarrollar las siguientes:

**CPC1.** Identificar los parámetros o variables necesarios para caracterizar completamente el sistema, y su influencia en el funcionamiento del mismo.

**CPC2.** Describir e interpretar el comportamiento del proceso por medio de la lectura de la curva de respuesta en el tiempo de las entradas y salidas involucradas en el mismo.

**CPC4.** Identificar la influencia de factores externos o perturbaciones en el funcionamiento del sistema y corregir sus efectos.

**CPC5.** Reconocer la incidencia de la variación de los coeficientes proporcional, derivativo e integral en el desempeño del proceso.

**CPC6.** Ajustar el valor de los coeficientes proporcional, derivativo e integral del controlador para alcanzar las condiciones de diseño deseadas.

**CPP2.** Reconocer la terminología utilizada en la industria para referirse a los equipos de trabajo.

**CPP7.** Aplicar normas de seguridad industrial en el diseño y montaje de los sistemas de control.

**CPT1.** Utilizar las unidades y dimensiones para cada una de las variables físicas involucradas en el funcionamiento del proceso.

**CPT5.** Trabajar en grupo y distribuir el trabajo de acuerdo a las capacidades y conocimientos de cada integrante del equipo de trabajo.

### **5.3 REALIZACIÓN DE TALLERES DENTRO DEL ESPACIO DE CLASE**

En el capítulo 2 se mencionan los talleres en clase como medio de obtener información por parte de los estudiantes de las dificultades que se presentan al desarrollar un ejercicio de determinado contenido. Además de esta característica, la realización de talleres permite enfrentar al estudiante a la realidad de la aplicación de los conceptos, ya que en ocasiones por medio de las clases expositivas se presenta la solución de los ejercicios de forma tal que el estudiante “entiende” y puede llegar a asumir que el proceso de solución del problema es sencillo; sin embargo, al enfrentarse por sí mismo a la solución del problema, surgen dudas acerca de la aplicación de los conceptos para solucionar el problema. Por medio de los talleres en clase, es posible generar las dudas en el aula, lo cual permite al estudiante un cuestionamiento inmediato hacia él mismo y posteriormente hacia el docente, quien se encuentra disponible para guiar en el proceso o proveer aclaraciones en el momento indicado.

Así mismo, por medio de la realización de talleres con el acompañamiento del profesor, es posible identificar falencias conceptuales respecto a temas desarrollados anteriormente durante el curso, y no es necesario esperar hasta la evaluación parcial para identificarlos (evaluación formativa). Al

mismo tiempo, es posible discutir dichas falencias en el salón de clase con todos los estudiantes, ofreciendo la oportunidad de buscar una solución en común con toda la clase.

Con lo expuesto anteriormente, se puede afirmar que los talleres fomentan el desarrollo de competencias de los niveles de conocimiento, comprensión y aplicación.

#### **5.4 COMENTARIOS**

Se observa que en el desarrollo de las prácticas de control de nivel de líquido y control de presión en una tubería no se alcanza un nivel de desarrollo matemático riguroso, es decir, temas como lugar de las raíces, estabilidad de Nyquist, Bode, etc. pueden llegar a ser difíciles de implementar en el ejercicio práctico. Sin embargo de estas situaciones reales (prácticas) se pueden desarrollar problemas teóricos que involucren el desarrollo de habilidades matemáticas, generando un empalme entre situaciones de aplicación real y el análisis teórico del curso, lo cual conlleva a disminuir la brecha entre la teoría y la práctica, y permite ofrecer a los estudiantes alternativas de solución de problemas por medio de la aplicación de los conceptos teóricos desarrollados en el curso.

Además, la realización de prácticas y contextualización de los conceptos teóricos en entornos prácticos, son una herramienta que motiva al estudiante hacia el estudio de la materia.

Finalmente, se evalúa por parte de los estudiantes las estrategias utilizadas en el desarrollo del curso por medio de una consulta, de la cual se observa la

que efectivamente las propuestas desarrolladas han colaborado con el desarrollo de los conceptos de la asignatura. Los resultados se encuentran en el Anexo E. En cuanto al desempeño de los estudiantes se encontró que durante este curso se lograron resolver problemas más estructurados por parte de los estudiantes que en cursos anteriores (por ejemplo, diseño de compensadores adelanto – atraso).

## 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Por medio de la adaptación al entorno pedagógico de la metodología de identificación de competencias propuesta por el análisis funcional en el sistema de competencias, es posible identificar los “saberes” y “haceres” que permiten el aprendizaje de la asignatura, los cuales se convierten en objetivos de formación para el estudiante de la misma.
- La aplicación de la metodología de identificación de competencias en el entorno pedagógico, la realización de un esquema temático, la construcción de la tabla de saberes y la clasificación en niveles de competencia, es un proceso dinámico y colaborativo. Dinámico en cuanto a que se encuentra en constante evaluación y desarrollo por parte del equipo de trabajo, y colaborativo ya que es el resultado del trabajo en conjunto de un grupo de expertos basados en sus conocimientos y experiencias, con soporte metodológico y abierto al debate en la comunidad académica y profesional.
- La clasificación de los niveles de competencia desarrollados en este trabajo no es de carácter restrictivo. Es decir, es posible aplicar otra clasificación diferente de acuerdo al criterio del docente y al contexto de aplicación. Sin embargo, es importante definir algún tipo de clasificación, ya que esta permite determinar la estrategia o estrategias pedagógicas a implementar para el desarrollo de las competencias u objetivos formativos en el estudiante.

- La realización de prácticas y contextualización de los conceptos teóricos en entornos prácticos, son una herramienta que motiva al estudiante hacia el estudio de la materia.
- La realización de talleres es una práctica que sacrifica tiempo de la clase expositiva convencional, para dedicarlo al desarrollo en clase de los objetivos formativos de los temas del curso en compañía del profesor, generando una relación alumno – maestro más fuerte, en donde se identifican de una forma más fácil las falencias conceptuales de los estudiantes, y pueden ponerse a consideración del curso para su solución, haciendo al estudiante protagonista de su proceso de aprendizaje.
- La identificación de competencias es una herramienta que permite definir criterios de evaluación para el desarrollo del curso. Sin embargo es necesario diseñar nuevas estrategias de evaluación en armonía con las estrategias de enseñanza.
- La realización de prácticas similares a las realizadas en los laboratorios de ingeniería química y en el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) permiten al estudiante reconocer algunas de las aplicaciones del estudio de los sistemas de control y motivar su estudio.
- El esquema temático, la tabla de saberes y las competencias identificadas por medio de la consulta a profesionales, realizadas en este trabajo, deben ser presentadas y discutidas por otros profesores del área de control, ya que se encuentran sujeta a la observación de

particular de los expertos, actividades desarrolladas con los estudiantes y experiencias de los profesionales practicantes. La intención es realizar una puesta en común para definir en conjunto los objetivos formativos para los estudiantes del curso Control I (Sistemas de control analógico), teniendo en cuenta las necesidades de la industria en el área de sistemas de control automático. Este trabajo de grado es una referente inicial para realizar este ejercicio.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

[Bernstein98] D. S. Bernstein, “*Control experiments, and what i learned from them: a personal journey*,” IEEE Control systems magazine, Abril 1998, pp. 81-88.

[Bernstein99a] D. S. Bernstein, “*On bridging the Theory/Practice gap*,” IEEE Control Systems Magazine, Vol. 19, pp. 64-70. Diciembre, 1999.

[Bernstein99b] D. S. Bernstein, “*Enhancing Undergraduate Control Education*,” IEEE Control Systems Magazine, Vol. 19, pp. 40-43. Octubre, 1999.

[Escobedo03] H. Escobedo, “*El desarrollo curricular en torno a Problemas. Estrategia para lograr profesionales competentes*”. Revista Escuela de Administración de Negocios, No. 48 Mayo-Agosto, pp. 18-27. Colombia. 2003.

[Friedland86] B. Friedland, “*Control Systems Design. An Introduction to Space State Methods*,”. Editorial Mc. Graw Hill. 1986.

[Gallego99] R. Gallego, R. Pérez, “*La construcción de competencias: una intencionalidad curricular*,” Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá. Colombia. 1999.

Disponible en:

<http://cidipmar.fundacite.arg.gov.ve/Doc/Paradigma991/Art1Gallego.htm>

[Giraldo02] W. Giraldo, J. Jaimes, G. Carrillo, "*Identificación de Competencias Laborales: Análisis Funcional*," Paper. Universidad Industrial de Santander – Interconexión Eléctrica S.A. E.S.P. 2002.

[Gonczi96] A. Gonczi, "*Formación basada en competencia laboral*," Oficina Internacional del Trabajo. CINTERFOR.1996.

[Irahola] J. Irahola, "*Evaluación por competencias*,".2002

Disponible en:

<http://www.cudenver.edu/irahola/evalua.pdf>

[Kuo96] B. C. Kuo, "*Sistemas de Control Automático*," Séptima edición, Prentice Hall Hispanoamericana S.A. 1996.

[Lewis] K. Lewis, "*Bridging the Gap Between Education and Practice in the Design and Development of Engineering Systems*," University at Buffalo, Department of Mechanical and Aerospace Engineering Buffalo, NY 14260.

Disponible: <http://fie.engrng.pitt.edu/fie97/papers/1507.pdf>

[Morantes04] O. Morantes, "*Guía básica en competencias*," Seminario de competencias laborales. Universidad Industrial de Santander. 2004.

[Ogata98] K. Ogata, "*Ingeniería de Control Moderna*," Tercera edición, Prentice Hall Hispanoamericana S.A. 1998.

[Schmid00] C. Schmid, A. Ali, “*A Web based system for control engineering education,*” Proceedings of the American control conference, Chicago Illinois- June 2000..pp.3463-3467

[SENA99] “*Guía para la elaboración de unidades de competencia y titulaciones, con base en el análisis funcional,*” SENA, División de estudios ocupacionales. Bogotá 1999.

[SENA03] L. E. Zúñiga, “*Metodología para la Elaboración de Normas de Competencia Laboral,*” Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Colombia, 2003.

[UIS00] “*Proyecto Institucional de la Universidad Industrial de Santander,*” División Editorial y de Publicaciones UIS, pp. 78 , 2000.

[Valero01] M. Valero, J. Navarro, “*Niveles de competencia de los objetivos formativos en las ingenierías,*” Departamento de Arquitectura de Computadores, Universidad Politécnica de Cataluña. 2001.

Disponible en:

[www.upc.edu/web/osem/jornadaEEES/metodo/Niveles\\_De\\_Competencia.pdf](http://www.upc.edu/web/osem/jornadaEEES/metodo/Niveles_De_Competencia.pdf)

[Vargas01a] F. Vargas, F. Casanova, L. Montanaro, “*El enfoque de competencia laboral: manual de formación,*”. CINTERFOR. 2001. Capítulo 2.

Disponible en:

[www.ilo.org/public/spanish/region/ampro/cinterfor/publ/man\\_cl/pdf/cap2.pdf](http://www.ilo.org/public/spanish/region/ampro/cinterfor/publ/man_cl/pdf/cap2.pdf)

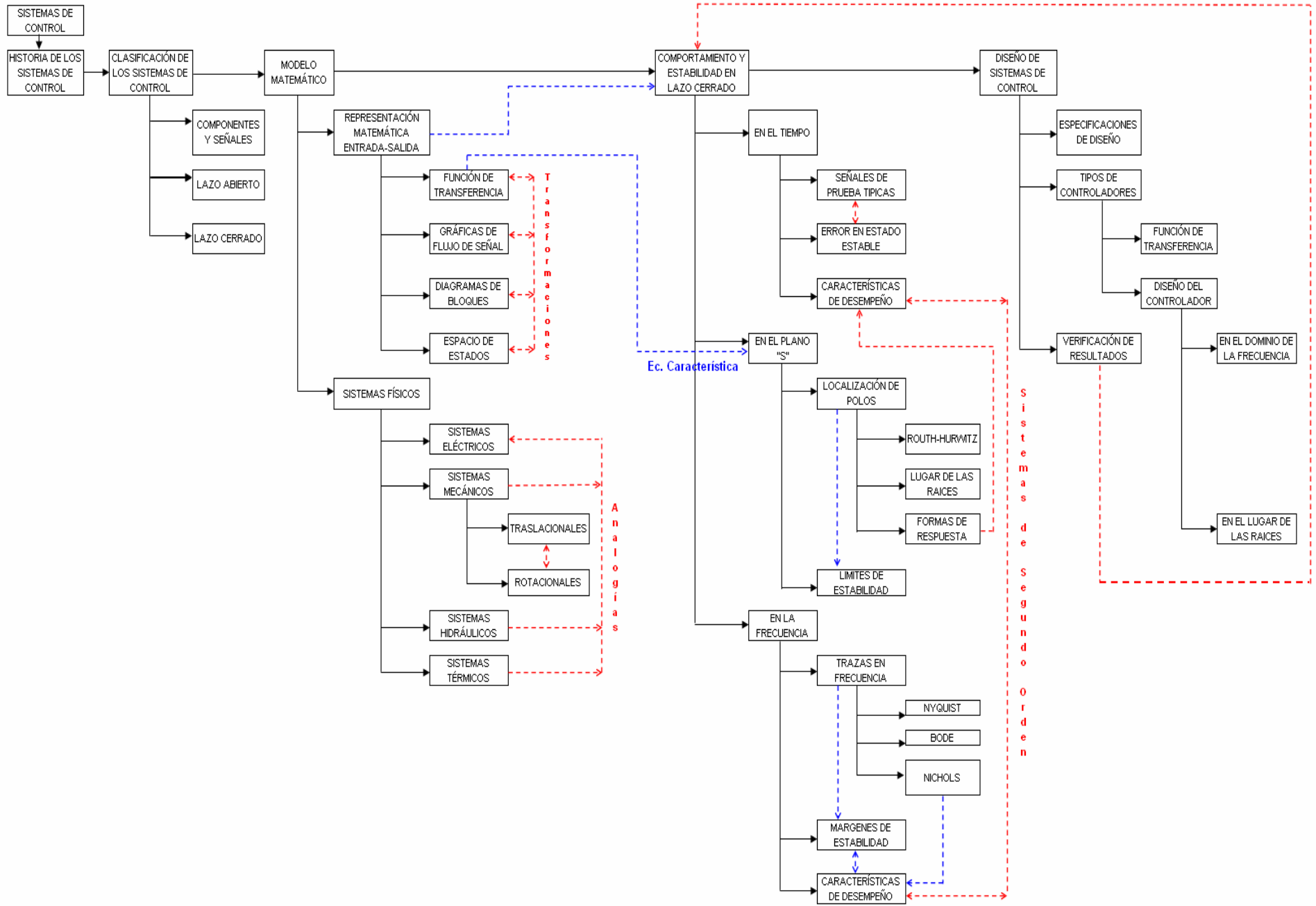
[Vargas01b] F. Vargas, F. Casanova, L. Montanaro, "*El enfoque de competencia laboral: manual de formación*," CINTERFOR. 2001. Capítulo 3.

Disponible en:

[www.ilo.org/public/spanish/region/ampro/cinterfor/publ/man\\_cl/pdf/cap3.pdf](http://www.ilo.org/public/spanish/region/ampro/cinterfor/publ/man_cl/pdf/cap3.pdf)

[Zúñiga04] L. A. Zúñiga, "*Diseño de un programa prototipo de Formación basado en Competencias Laborales para el operador de subestaciones de Interconexión Eléctrica S.A.*," Trabajo de grado, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia, 2004.

# ANEXO A. ESQUEMA TEMÁTICO PARA LA ASIGNATURA CONTROL I



Verificación de Resultados

Ec. Característica

Sistemas de Segundo Orden

Analogías

Transformaciones

## ANEXO B1. TALLER DE RESPUESTA EN EL TIEMPO

Tema: Caracterización de Sistemas, Respuesta en el Tiempo

Fecha: 24 de octubre de 2004

### Caso 1<sup>25</sup>:

La siguiente curva (Figura 1) muestra la respuesta escalón de un motor eléctrico, midiendo ángulo en el rotor:

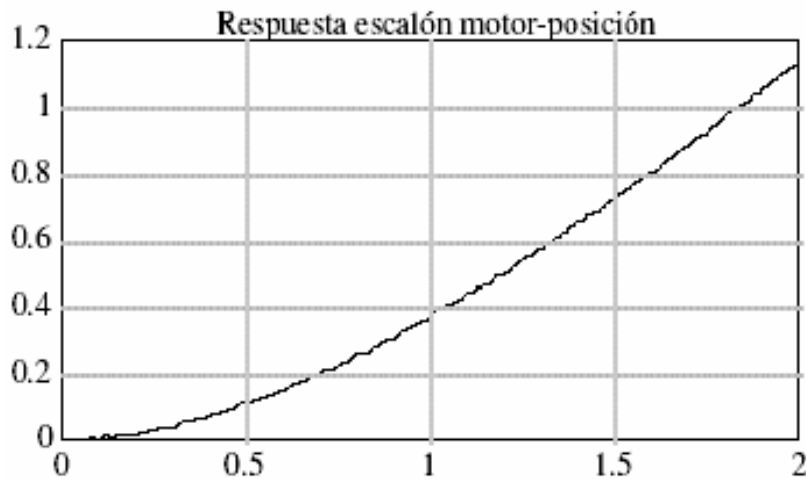


Figura 1. Tomada de [Andes04]

Para encontrar la función de transferencia que modela el sistema, derivamos esta curva numéricamente, obteniendo la siguiente respuesta (Figura 2):

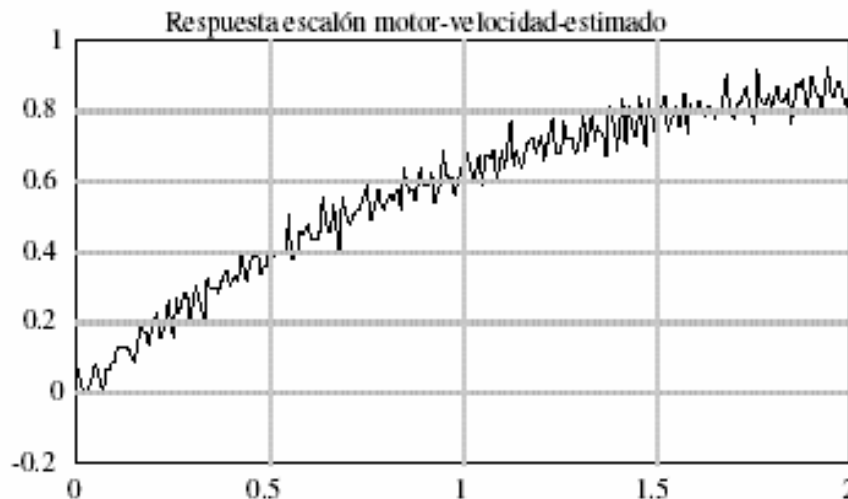


Figura 2. Tomada de [Andes04]

<sup>25</sup> Caso tomado de [Andes04] M. Duque, A. Gauthier, "Control Análogo: una mirada al control con reguladores en tiempo continuo," Universidad de los Andes. Colombia.2004.

Por el tipo de respuesta, se espera que el sistema sea de primer orden. La figura 3 muestra un método clásico utilizado en la identificación del sistema. En este caso la constante de tiempo del sistema es de 1 segundo, mientras la ganancia es de aproximadamente 1.

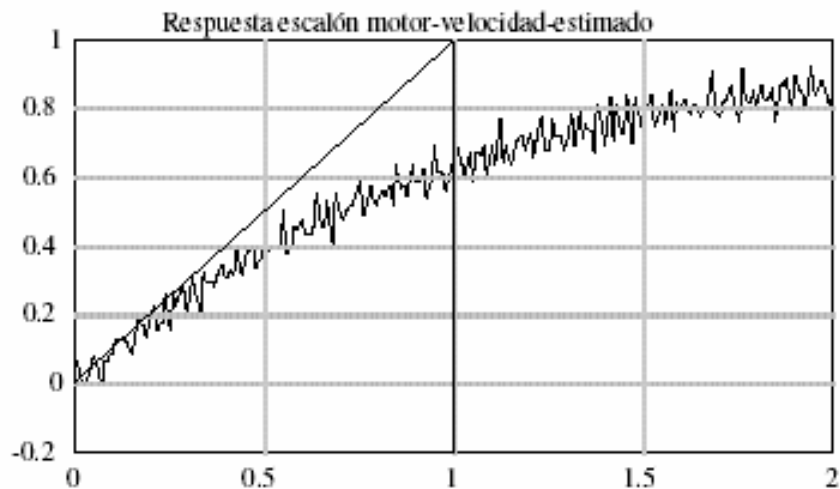


Figura 3. Tomada de [Andes04]

Por lo tanto  $G_1(s) = \frac{1}{(s+1)}$ . Integrando para obtener la característica de posición se tiene que  $G(s) = \frac{G_1(s)}{s} = \frac{1}{s(s+1)}$

El sistema se controlará con un regulador (controlador) proporcional tal como se muestra en la figura siguiente:

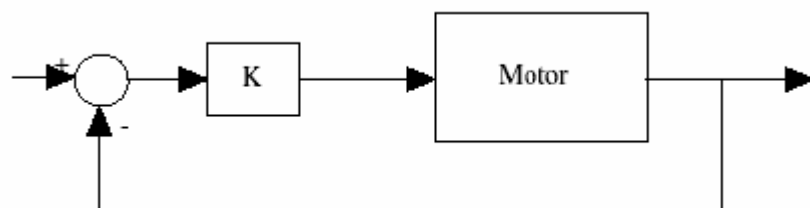


Figura 4. Tomada de [Andes04]

Para el sistema realimentado de la figura 4:

Halle el factor de amortiguamiento relativo si la ganancia K es igual a 1.

¿Para qué valor de  $K$  la respuesta del sistema presenta un sobrepaso máximo de 25%?

¿Cuál es el valor del error de estado estable del sistema si la entrada es una señal de amplitud constante?

¿Cuál es el valor del error de estado estable si ingreso al sistema una señal que varía linealmente con el tiempo? ¿En el sistema, cómo puedo mejorar ese valor? ¿Qué implicaciones tiene?

¿La respuesta del sistema puede ser una señal que oscila a través de todo el tiempo? Explique por qué.

## ANEXO B2. TALLER DISEÑO DE COMPENSADOR EN ADELANTO

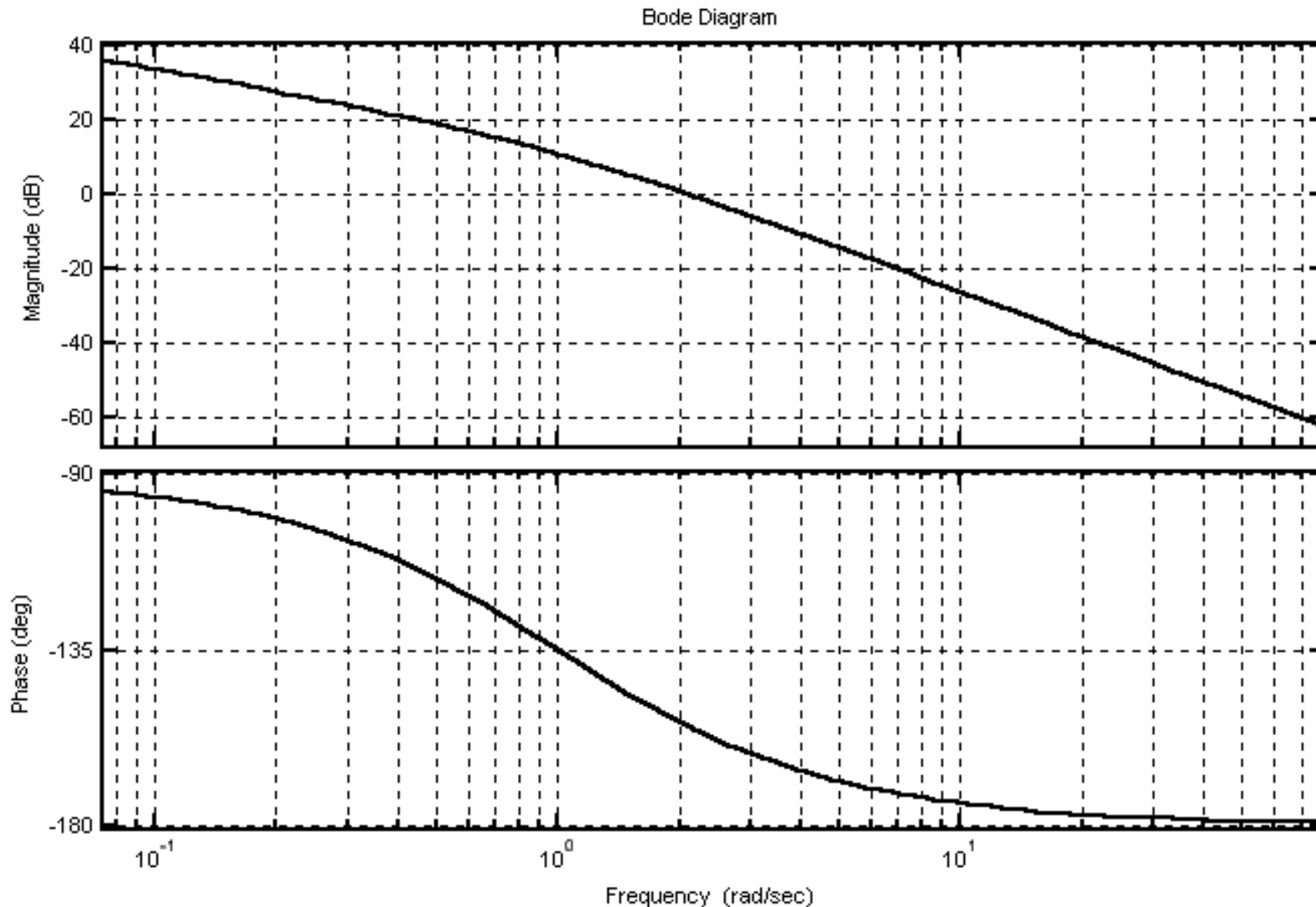
### TALLER SISTEMAS DE CONTROL

Tema: Diseño de Compensadores  
Fecha: 31 de enero de 2005

Profesor: Daniel Alfonso Sierra Bueno  
Auxiliar : Marlon Augusto Villamizar Morales

La figura muestra la Traza de Bode de un sistema con función de transferencia  $G(s) = \frac{5}{s(s+1)}$ , sin compensar, con  $K_v = 5 \text{ s}^{-1}$

Diseñar un compensador en adelanto para que el sistema



## ANEXO B3. DISEÑO DE COMPENSADOR ADELANTO - ATRASO

### TALLER SISTEMAS DE CONTROL

Tema: Diseño de Compensadores  
Profesor: Daniel Alfonso Sierra Bueno  
Auxiliar: Marlon Augusto Villamizar Morales  
Fecha: 31 de enero de 2005

#### Piezo-Based Flexural Positioning System<sup>26</sup>

Piezo-Based Positioning System (piezo-stage) es un sistema lineal utilizado en aplicaciones que requieren pequeños desplazamientos (décimas de micrómetros).

Consiste de un piezo-actuador, un mecanismo flexible y un sensor como se muestra en la **Figura 1**. Un voltaje de entrada es aplicado al piezo-actuador, el cual se expande y empuja al mecanismo flexible que amplifica el movimiento del elemento piezo-eléctrico. El desplazamiento es medido utilizando un sensor inductivo.

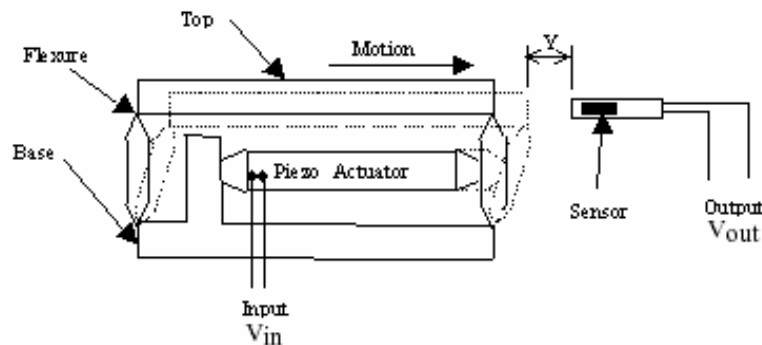


Figure 1: Schematic of piezo-stage

Fuente: **Model-Based Ultra-High-Precision Positioning Systems**. University of Washington.

El modelo del sistema se obtiene por medio de un analizador dinámico de señales (HP3562A) el cual obtiene la respuesta en frecuencia del sistema ( $V_{in}/V_{out}$ ) y automáticamente genera la función de transferencia del mismo. En la **Figura 2** se observa el esquema utilizado para obtener el modelo.

El modelo obtenido del sistema es  $G(s) = \frac{k}{s(s+1)(s+4)}$ .

<sup>26</sup> Caso tomado del curso Model-based Feedforward Control, Universidad de Washington.

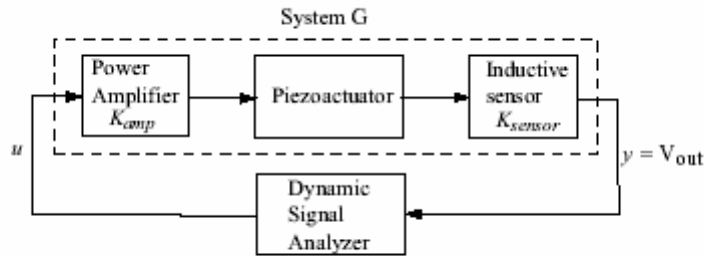


Figure 2: Modeling the vibrational dynamics using a dynamic signal analyzer

Fuente: **Model-Based Ultra-High-Precision Positioning Systems. University of Washington.**

Como es un sistema con una dinámica rápida, esta función de transferencia se encuentra referida con respecto al tiempo en escala de milisegundos. Es decir, si se aplica el comando *step* de MATLAB, el resultado de la escala de tiempo se encuentra en segundos, por esto es necesario reescalarla a milisegundos.

Se pretende implementar un sistema de control en lazo cerrado (realimentación negativa), que cumpla las siguientes especificaciones:

- Error en estado estable ante entrada rampa = 10 %
- Margen de Fase = 50 °
- Margen de Ganancia  $\geq$  10 dB
- Tiempo de establecimiento (entrada escalón) < 16 mseg
- Sobrepaso máximo < 20 %

Evalúe la dinámica del sistema en lazo cerrado, y si es necesario diseñe un compensador ubicado en la trayectoria directa del sistema de realimentación.

## ANEXO C. FORMATO CONSULTA A PROFESIONALES CONSULTA A PROFESIONALES EN EL AREA DE SISTEMAS DE CONTROL

*“En teoría, la teoría y la práctica son lo mismo, pero en la práctica son diferentes”*

Existen fenómenos políticos, culturales, ideológicos y sociales que afectan el desarrollo de un país y a su vez dependen de muchos factores, a simple vista difíciles de comprender. Uno de los escenarios más influyentes y por medio del cual se puede medir el desarrollo de un país es el avance industrial y tecnológico, en el cual cumplen un papel vital las Universidades como entidades formadoras de profesionales con capacidad de crear nuevas ideas y de optimizar procesos existentes. Lo expuesto anteriormente es lo que podría convertirse en la base del progreso de nuestra nación.

En la actualidad el vínculo que existe entre la educación universitaria y la industria es muy débil y se podría afirmar que es casi nulo. No existe un verdadero canal de comunicación que permita una realimentación de información entre estas dos partes, lo cual es vital a la hora de formar profesionales con un enfoque práctico, generando como consecuencia estudiantes con un nivel teórico alto pero con un bajo nivel experimental, y en muchas ocasiones alejado de la realidad de la industria nacional.

Debido a esta problemática, la escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander se encuentra en la tarea de reducir cada vez más la brecha que existe entre la teoría y la práctica, especialmente en el desarrollo de la asignatura **Sistemas de Control Analógico y Digital**, por medio de la presentación en el aula de casos reales en donde se puedan aplicar los conocimientos obtenidos durante el avance del curso. Para lograr esto es necesario conocer las habilidades reales que debe adquirir un profesional en esta área, además de identificar cuáles conceptos vistos en la materia son aplicados en la industria y cuáles conocimientos se deben implementar en el curso.

Necesitamos de su colaboración en la solución de estos interrogantes respondiendo la encuesta que se ha desarrollado para la materia, aprovechando su experiencia en el área de Control, y su labor en el medio industrial.

La intención de la encuesta no es en ningún momento evaluar el nivel de conocimiento que tienen los practicantes en el área de Control, sino reconocer la aplicación de los conceptos que actualmente se imparten en el aula de clase, para posteriormente mejorar el enfoque y el contenido curricular de la asignatura.

La información obtenida se usará exclusivamente con fines académicos dentro del trabajo de investigación patrocinado por Colciencias: **“DEL SECTOR PRODUCTIVO AL AULA: LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN EL DESARROLLO DE COMPETENCIAS PARA UNA NUEVA ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO.”**. Se garantiza la confidencialidad de la misma.

## CONSULTA A PROFESIONALES.

**1. ¿Utiliza con frecuencia la realimentación en la implementación de sus proyectos?**

SI [ ]

NO [ ]

¿Cuáles son sus principales aplicaciones?

**2. ¿Ha Utilizado el control en lazo abierto para la implementación de sus proyectos?**

SI [ ]

NO [ ]

¿Cuáles son sus principales aplicaciones?

**3. En los proyectos que ha desarrollado ¿el punto de partida para el análisis ha sido un modelo matemático del proceso?**

SI [ ]

NO [ ]

**4. ¿Qué tipo de herramientas matemáticas utiliza en el desarrollo de sus proyectos?**

Función de transferencia [ ]

Espacio de estados [ ]

Diagrama de bloques [ ]

Diagramas de flujo de señal [ ]

Ecuaciones diferenciales [ ]

Otros [ ] ¿Cuáles?

**5. Para el análisis del comportamiento del sistema utiliza:**

Respuesta en el tiempo [ ]

Respuesta en frecuencia [ ]

**6. ¿Utiliza analogías entre los diferentes sistemas físicos para el desarrollo de sus proyectos?**

SI [ ]

NO [ ]

¿Cuáles son las principales?

**7. ¿Aplica entradas de prueba típicas (escalón, rampa, parábola, senoidal) al sistema para identificar las características de respuesta del mismo?**

SI [ ]

NO [ ]

**8. En su trabajo, ¿cuál es su concepto de estabilidad para un sistema?**

**9. ¿Cuáles herramientas utiliza para determinar la estabilidad del sistema?**

Simulación del modelo matemático [ ]

Simulación por software especializado [ ]

Métodos empíricos [ ]

**10. En la realización de sus proyectos, ¿ha sido necesario tener en cuenta el análisis de la respuesta transitoria?**

SI [ ]

NO [ ]

**11. ¿Cuál es el concepto de compensación (regulación) asociado con los proyectos que ha desarrollado?**

**12. ¿Cuáles de los métodos de compensación (regulación) descritos a continuación ha utilizado para cumplir las especificaciones de diseño?**

Proporcional (P) [ ]

Proporcional-Derivativo (PD) [ ]

Proporcional-Integral (PI) [ ]

Proporcional-Integral-Derivativo (PID) [ ]

Otro [ ]

**13. ¿Cuáles herramientas utiliza para el diseño del sistema de compensación?**

Análisis teórico [ ]

Simulación software [ ]

Sintonización empírica [ ]

**14. ¿Cuáles son los principales problemas al ajustar el controlador?**

**15. La bibliografía que utiliza para desarrollar sus proyectos es:**

Textos de teoría de control [ ]

Manuales técnicos [ ]

Publicaciones de asociaciones de ingenieros [ ]

Otros [ ]

**16. ¿Cree que existe distancia entre los conceptos obtenidos en la asignatura sistemas de control y su aplicación en la industria?**

SI [ ] NO [ ]

**17. ¿Cuáles factores considera son la causa de la distancia que existe entre la teoría y la práctica en el área de Sistemas de Control?**

**18. ¿Podría identificar una o varias habilidades logradas en la asignatura (Sistemas de Control), que le son útiles para su desempeño laboral?**

**19. ¿Cree que existen algunas habilidades propias y particulares del mundo laboral necesarias para el desempeño satisfactorio de su labor?**

**20. ¿Cómo cree que se podría mejorar el proceso de enseñanza en la asignatura para preparar de una mejor manera al estudiante para el entorno laboral?**

## ANEXO D. GUÍA PRÁCTICA SENA

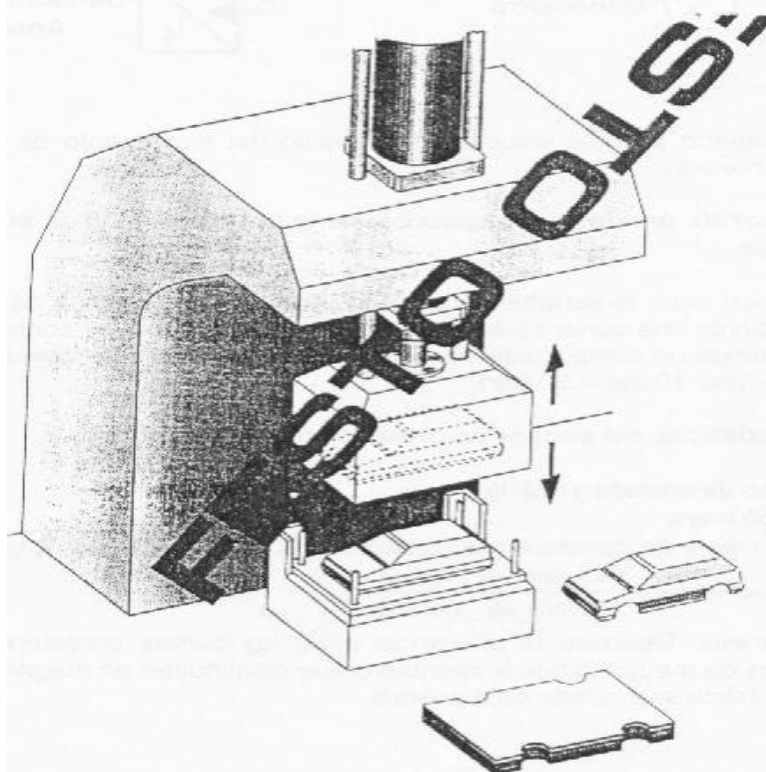
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES.

SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE (SENA)

MONTAJE DE UN SISTEMA DE CONTROL DE PRESIÓN.

### Descripción del Problema<sup>27</sup>:

Por medio de una prensa de conformado en caliente, deben fabricarse con precisión unas placas de plástico. La presión de la prensa debe ajustarse en un valor constante por medio de un sistema de regulación de presión. La presión se controla por medio de una válvula dinámica de 4/3 vías. La presión de trabajo de la prensa es de 10 bar a 30 bar.



**Figura** Tomada de Zimmermann A., Scholz D., "Hidráulica en Bucle Cerrado," Manual de Trabajo, Festo Didactic 1995.

<sup>27</sup> Tomado de Zimmermann A., Scholz D., "Hidráulica en Bucle Cerrado," Manual de Trabajo, Festo Didactic 1995.

## ¿Cómo implementar el sistema de Control de Presión?

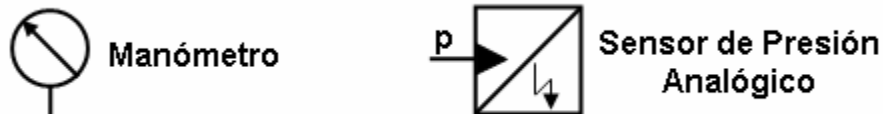
Inicialmente es necesario identificar los elementos con los cuales se cuenta para la implementación del sistema de control.

### I. Sensores.

Un sensor detecta una variable física, tal como presión, temperatura, caudal o velocidad y la convierte en una señal eléctrica o mecánica. La forma de la señal de salida puede ser digital o analógica.

En un sistema de control, los sensores son conocidos como sistemas de medida y transductores de medida.

Para nuestro sistema de regulación de presión se utilizarán los siguientes sensores:



El manómetro permite visualizar por medio del movimiento de una aguja el nivel de presión medido.

**El sensor de presión analógico** convierte la presión medida en una señal de tensión analógica.

La relación entre la variable de entrada y la variable de salida de un sensor se describe por medio de una curva característica. Para los sistemas de control es importante que el sensor tenga un comportamiento lineal dentro del rango de operación del sistema (para nuestro caso 10 bar – 30 bar).

#### Características del sensor de presión analógico:

- Rango de entrada y salida.
- Rango lineal.
- Coeficiente de transferencia (conocido frecuentemente como ganancia).

$$Ganancia = \frac{\Delta Se\tilde{n}al\_de\_salida}{\Delta Se\tilde{n}al\_de\_entrada}$$

- Histéresis. Describe la diferencia entre las curvas características registradas con variables de medición que aumentan o que disminuyen en magnitud. Se busca que esta característica sea lo más baja posible.

## II. Actuadores.

El actuador es un dispositivo que produce la entrada para la planta de acuerdo con la señal de control, a fin de que la señal de salida se aproxime a la señal de entrada de referencia.

Para nuestro montaje se cuenta con una **Válvula de 4/3 vías dinámica** como elemento actuador.

Las características más importantes de esta válvula se dan a continuación:

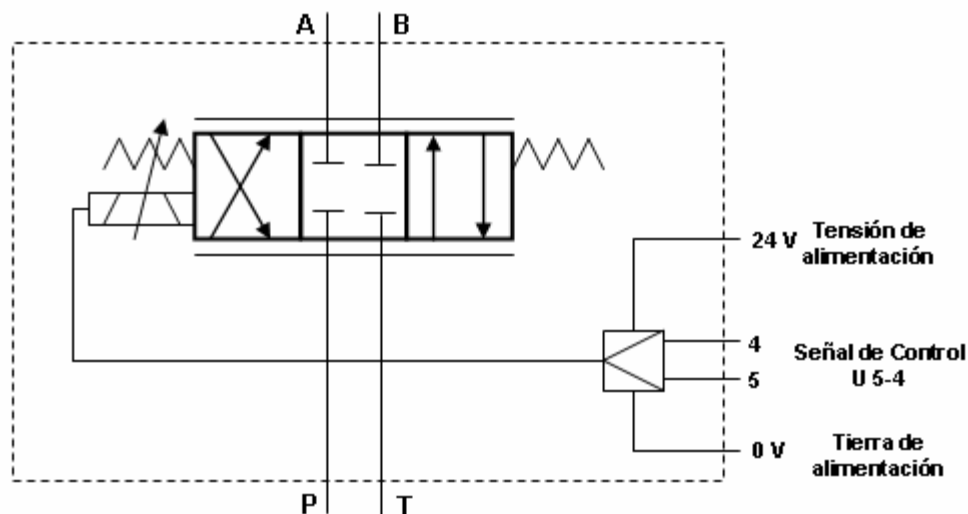
### Conexiones Hidráulicas:

A y B : Líneas de trabajo.

P : Alimentación.

T : Línea de retorno.

Tensión de Alimentación	Tensión de Control = variable de entrada ( $U_{5-4}$ )	Posición de conmutación = variable de salida
24	+10 0 -10	P → B y A → T Posición central cerrada P → A y B → T



Para la válvula existe un rango para el cual la variación de presión es proporcional a la variación de la tensión de la señal de control y otro rango en el cual la válvula

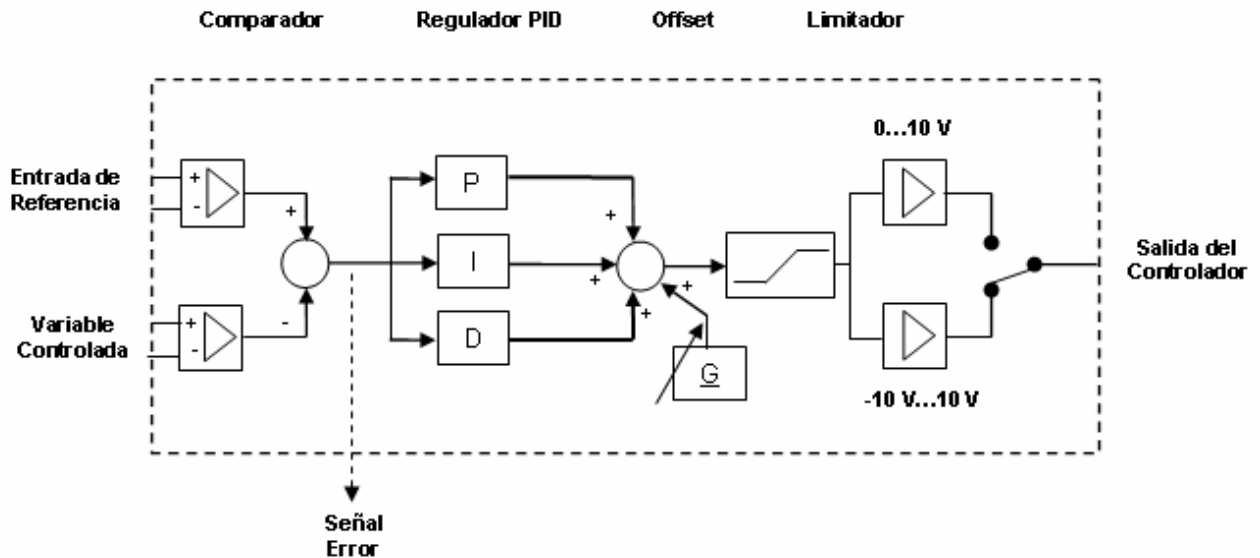
se comporta como un elemento ON/OFF (ver gráfica 3 de la hoja de datos de la válvula proporcional de 4/3 vías, página 3)

Observe que el rango de tensión de control para el cual el comportamiento de la presión es lineal, es muy reducido. Sin embargo, es posible hallar la ganancia de presión de la válvula, la cual determina la relación entre el cambio de presión y el cambio de tensión de la señal de control  $[U_{5-4}]$ . Se especifica en bar por volt (bar/volt) y debería ser lo más grande posible de forma que el más pequeño cambio en la tensión de control produzca un gran cambio en la presión.

\*Para mayor información, ver hoja de datos.

### III. Controlador (Regulador)

Para los sistemas de control es necesario un elemento que permita realizar la resta entre la señal de referencia (setpoint) y la señal de salida del sistema, a esta señal se le conoce como señal error. Además por medio del controlador puedo modificar la dinámica del sistema, ajustando parámetros que tiene implementados tales como las constantes proporcional ( $K_p$ ), derivativa ( $K_d$ ) e integral ( $K_i$ ).



Consta de potenciómetros con los cuales se ajustan los valores de las constantes del compensador PID, además de un potenciómetro para determinar el nivel de offset requerido en el sistema (si es necesario).

## Ejercicio 1. CARACTERIZACIÓN DEL SENSOR DE PRESIÓN ANALÓGICO

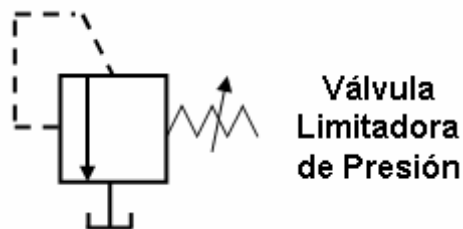
### Objetivos:

- Identificar la importancia e influencia del sensor en un sistema de control.
- Identificar el funcionamiento del sensor de presión analógico.
- Familiarizarse con la puesta en marcha de un sistema hidráulico.
- Observar la linealidad y hallar la ganancia del sensor en el rango de operación del sistema.

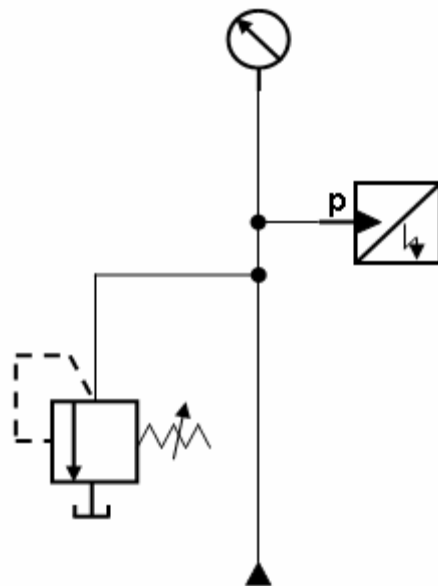
### Circuito de medida.

La variable de entrada del sensor de presión ( = presión en bar) se mide por medio de un manómetro y la variable de salida ( = tensión en Volts) por medio de un multímetro.

Para ajustar las diferentes presiones, se instala en el circuito una válvula limitadora de presión.



El esquema hidráulico del circuito de medida se muestra en la siguiente figura:



**Procedimiento:**

1. Primero se abre completamente la válvula limitadora de presión. Observe que todo el caudal de aceite regresa sin presión desde la bomba al depósito. **¿Qué tensión (Volts) marca el sensor de presión?**
2. Ahora es necesario aumentar la presión del sistema, cerrando la válvula limitadora de presión (girando el perno).

**Con base en las lecturas del manómetro, tome la lectura del multímetro, y llene la siguiente tabla:**

<b>Presión (bar)</b>	mínima	5	10	15	20	25	30	35	40	45	máxima
<b>Tensión (Volts)</b>											

3. a. ¿La característica es lineal en el rango de funcionamiento para la prensa?  
b. Calcule el coeficiente de transferencia (ganancia) del sensor en el rango de operación del sistema (10 bar – 30 bar).  
c. ¿Cuál es la ecuación que describe el comportamiento del sensor en los puntos de operación?
4. ¿Qué aspectos puede observar del montaje y el comportamiento de las variables físicas del sistema?
5. ¿Para qué es necesario caracterizar el sensor en nuestro sistema?

Para nuestro ejercicio no se va a tener en cuenta la característica de histéresis, ya que cualquier posible diferencia probablemente es debida más a la imprecisión del manómetro que a las características del sensor de presión. Sin embargo para otro tipo de sistemas puede ser un factor de importancia.

## Ejercicio 2. PRIMERA POSIBLE SOLUCIÓN AL PROBLEMA DE REGULACIÓN DE PRESIÓN

### Objetivos:

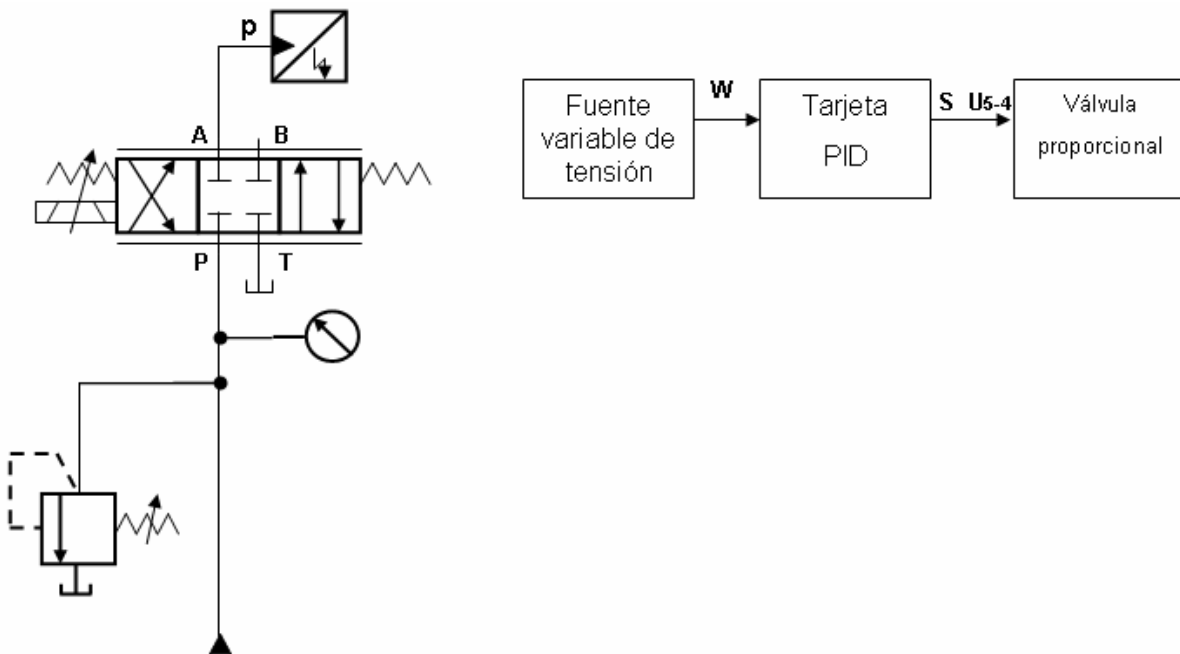
- Identificar los elementos que influyen en un sistema de control de lazo abierto
- Identificar el comportamiento del sistema ante perturbaciones.
- Observar el funcionamiento de la válvula proporcional.

### Uso de la válvula proporcional de 4/3 vías como controlador en lazo abierto.

Es posible aprovechar el rango de variación lineal de presión de la curva característica presión vs señal de la válvula proporcional. Es decir, de acuerdo a una tensión de referencia fijada en los bornes de tensión de control de la válvula, se puede obtener una presión definida por dicha tensión de referencia.

Nuestro interés es regular (controlar) la presión en la prensa de conformado en caliente del problema inicial. Vamos a simular nuestra planta (la prensa) por medio de una manguera larga conectada al punto A de la válvula proporcional de 4/3 vías.

El esquema hidráulico y de conexión eléctrica se muestra a continuación:



Se utiliza la tarjeta PID solo para ajustar los valores de entrada para la señal de control de la válvula, es decir funciona solo como preamplificador. Es necesario realizar esto debido a que no se logra tener un buen ajuste de la tensión de entrada con el potenciómetro de ajuste fino de la fuente variable de tensión utilizada para la práctica.

### **Procedimiento:**

Vamos a observar el comportamiento de la válvula en un rango de tensiones de entrada de -1 V a +1 V. Para esto debo seguir los siguientes pasos:

#### **1.**

- Realice las conexiones hidráulicas y eléctricas sin encender el sistema.
- Coloque el valor de las ganancias (potenciómetros) de la tarjeta PID en cero.
- Mida en la salida de la tarjeta PID el valor de tensión. Ajuste el potenciómetro de offset hasta que la salida sea -1 Volt.
- Ajuste la salida de la fuente variable de tensión en +1 Volt.
- Coloque el potenciómetro de ganancia Kp de la tarjeta PID en 1.

Ahora es posible variar el potenciómetro de ajuste fino de la Kp de la tarjeta PID y obtener variaciones de tensión de -1 V hasta 1V.

#### **2.**

- Verifique las conexiones y encienda el sistema.
- Ajuste la presión de alimentación del sistema en 45 bar, girando el perno de la válvula **limitadora** de presión.
- Varíe la tensión de entrada a la válvula por medio del potenciómetro de ajuste fino de la tarjeta PID. Por favor no exceda la tensión en un valor de 3 V. Recuerde que la característica proporcional de la válvula solo es posible en un rango pequeño de variación de tensión de control de la válvula.

#### **3.**

Se plantea lo siguiente:

**3.1.** Ajuste empíricamente la tensión de control de la válvula para obtener como respuesta una presión de 15 bar en la planta (manguera conectada al punto A de la válvula proporcional).

Mida la tensión que aplicó a la válvula.

**3.2.** Deseo aplicar una perturbación al sistema. Lo puedo lograr variando la presión de alimentación del sistema por medio del giro del perno de la válvula limitadora de presión.

Varíe la presión de alimentación del sistema hasta 30 bar.

Observe ¿qué pasa con la presión en la manguera conectada en A?

**3.3.** Ajuste de nuevo la presión de la manguera conectada en A en el valor de presión deseado inicialmente (15 bar), por medio de la tensión de control de la válvula.

Mida la tensión que aplicó a la válvula.

¿Es la misma tensión aplicada en el caso 3.1?

### 3.4

**3.4.1.** En su criterio, ¿qué tan eficiente es este sistema?

**3.4.2.** ¿Porqué se dice que el sistema se encuentra en lazo abierto?

**3.4.3.** ¿Qué tendría que hacer un operario si hay constantes perturbaciones al sistema?

## **Ejercicio 3. SEGUNDA POSIBLE SOLUCIÓN AL PROBLEMA DE REGULACIÓN DE PRESIÓN.**

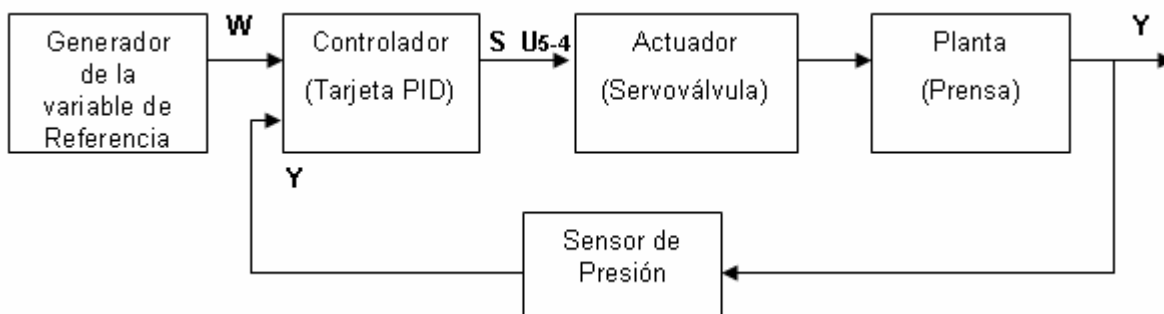
### **Objetivos:**

- Identificar las características y funcionamiento de un sistema de control en lazo cerrado.
- Identificar la influencia de la constante proporcional sobre el desempeño del sistema.
- Identificar la influencia de las perturbaciones en un sistema de control de lazo cerrado.

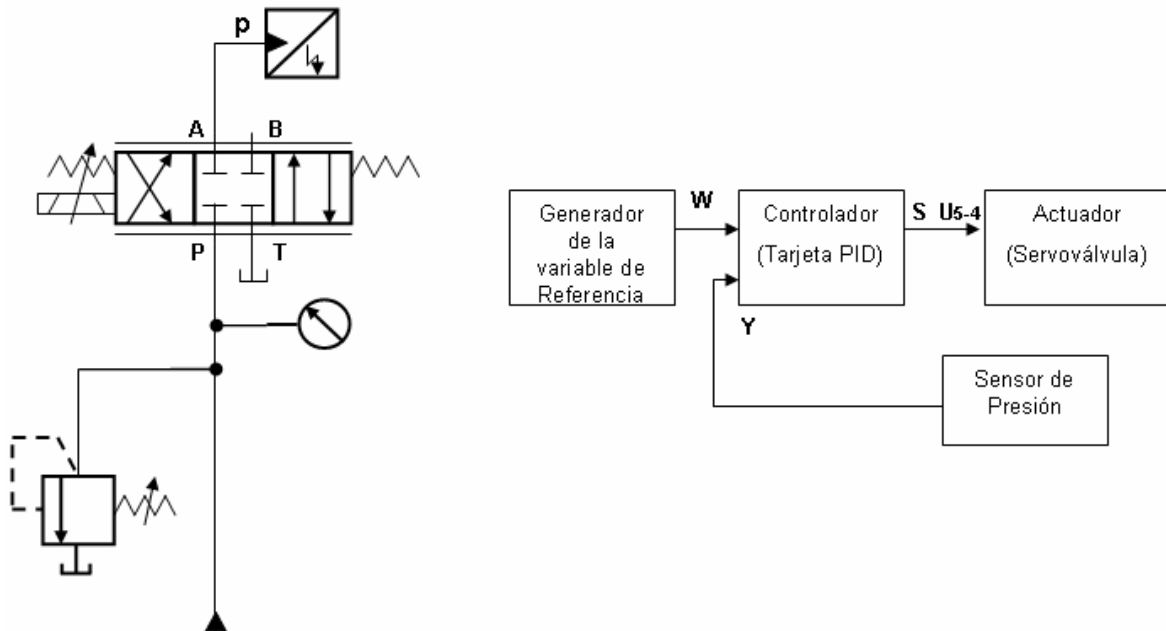
### **Control realimentado del sistema.**

Durante el curso hemos trabajado con el esquema de control realimentado y hemos analizado sus ventajas comparado con un sistema de control en lazo abierto.

Recordando que el esquema de un sistema de control es el siguiente (en particular para esta práctica):



Los esquemas de conexión hidráulica y eléctrica se muestran a continuación:



### Procedimiento:

1. De acuerdo a la curva obtenida en el ejercicio 1 de caracterización del sensor de presión, calcular la tensión que necesito ingresar al sistema (variable  $W$  de la tarjeta PID) para obtener una presión de 15 bar (setpoint) en la manguera conectada al punto A de la servoválvula.

Verifique que los potenciómetros de ganancia de la tarjeta PID estén todos en cero y ajuste el offset a cero voltios.

2. Realizar las conexiones del sistema realimentado e ingresar el setpoint calculado en el punto anterior (fuente de voltaje variable).

3. Ajuste la ganancia  $K_p$  de la tarjeta PID en uno.

¿Qué comportamiento observa? (Mirar la señal obtenida en el multímetro y compararla con la señal de referencia)

4. Varíe la ganancia  $K_p$  del sistema en otros valores.

¿Qué comportamiento observa?

5. Deseo aplicar una perturbación al sistema. Lo puedo lograr variando la presión de alimentación del sistema por medio del giro del perno de la válvula limitadora de presión.

Varíe la presión de alimentación del sistema hasta 30 bar.

Observe ¿qué pasa con la presión en la manguera conectada en A?

6. Realice otras variaciones en la presión de alimentación del sistema y concluya. ¿El sistema es eficiente?

#### **Ejercicio 4**

### **VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL CONTROLADOR Y SINTONIZACIÓN DEL LAZO DE CONTROL**

#### **Objetivos:**

- Conocer la incidencia de la variación de los coeficientes proporcional, derivativo e integral en el desempeño del proceso.
- Ajustar el valor de los coeficientes proporcional, derivativo e integral del controlador para alcanzar las condiciones de diseño deseadas.

#### **Ingreso de señales de prueba al sistema (Respuesta al escalón)**

Ahora queremos observar la respuesta transitoria del sistema ante un cambio tipo escalón en el nivel de presión de referencia. Para esto utilizamos el mismo esquema de conexión hidráulica realizado anteriormente y cambiamos el generador de la señal de referencia por un generador de señales de forma de onda cuadrada.

#### **Procedimiento:**

1. Ajustar la presión de alimentación del sistema en 45 bar.  
Ajustar la ganancia  $K_p$  en un valor de 1. (Las otras constantes permanecen en cero)
2. Generar una onda cuadrada con un valor de offset de 1,3 Volts, amplitud pico-pico de 1,5 Volts y ciclo de trabajo de 3 segundos.  
Tomar por medio del Fluke la señal de salida del sistema (salida eléctrica del sensor de presión)
3. Encender el sistema y visualizar en el Fluke la señal de salida. (Guardar la señal de salida en el Fluke)

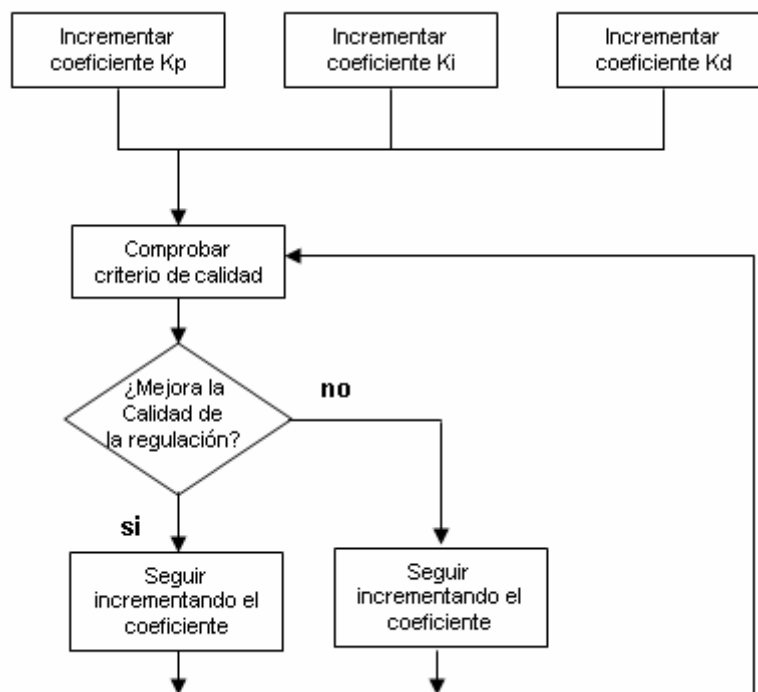
4. Con  $K_d=0$  y  $K_i=0$ , varíe la constante  $K_p$  de la tarjeta PID y visualice los cambios en la señal de salida. Tome la lectura de la salida del sistema para dos valores de  $K_p$  para los cuales usted crea significativo el cambio en la respuesta. Tome nota de la constante  $K_p$  ajustada para ambos casos y guarde en el Fluke los datos.  
¿En qué influye la constante proporcional en el comportamiento del sistema?

5. Varíe  $K_p$  hasta que el sistema se vuelva marginalmente estable. Guarde la señal en el Fluke.

6. Con  $K_d=0$  y  $K_p=1$ , varíe la constante  $K_i$  de la tarjeta PID y visualice los cambios en la señal de salida. Tome la lectura de la salida del sistema para dos valores de  $K_i$  para los cuales usted crea significativo el cambio en la respuesta. Tome nota de la constante  $K_i$  ajustada para ambos casos y guarde en el Fluke los datos.  
¿En qué influye la constante integral en el comportamiento del sistema?

7. Con  $K_i=0$  y  $K_p=1$ , varíe la constante  $K_d$  de la tarjeta PID y visualice los cambios en la señal de salida. Tome la lectura de la salida del sistema para dos valores de  $K_d$  para los cuales usted crea significativo el cambio en la respuesta. Tome nota de la constante  $K_d$  ajustada para ambos casos y guarde en el Fluke los datos.  
¿En qué influye la constante derivativa en el comportamiento del sistema?

8. Sintonicé el lazo de control con las tres constantes ( $K_p$ ,  $K_d$  y  $K_i$ ) por medio del siguiente esquema de compensación empírico, y que cumpla con las condiciones de operación deseadas que se proporcionarán en el laboratorio.



NOTA:

Al final del ejercicio por favor escribir lo comentarios acerca de la práctica. Fortalezas, desventajas y mejoras por realizar.

Muchas gracias.

**Profesor Daniel Alfonso Sierra Bueno (UIS).**

**Profesor Carlos Horacio Robles (Instructor SENA)**

**Marlon Augusto Villamizar Morales. Auxiliar Docente.**

#### **BIBLIOGRAFIA.**

Zimmermann A., Scholz D., "Hidráulica en Bucle Cerrado," Manual de Trabajo, Festo Didactic 1995.

Ogata K., "Ingeniería de Control Moderna," Tercera edición, Prentice Hall.

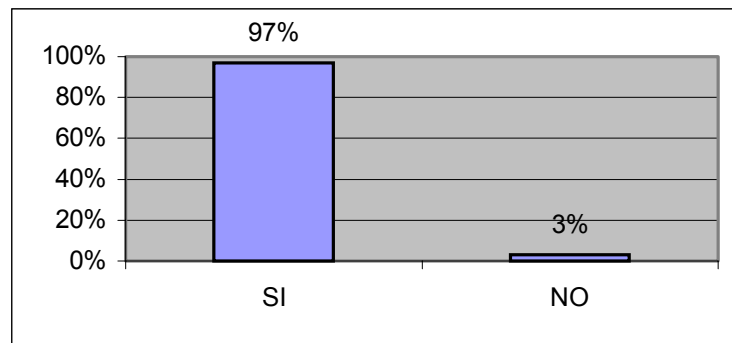
## ANEXO E. CONSULTA A ESTUDIANTES

### CONSULTA A LOS ESTUDIANTES DE LA ASIGNATURA CONTROL I

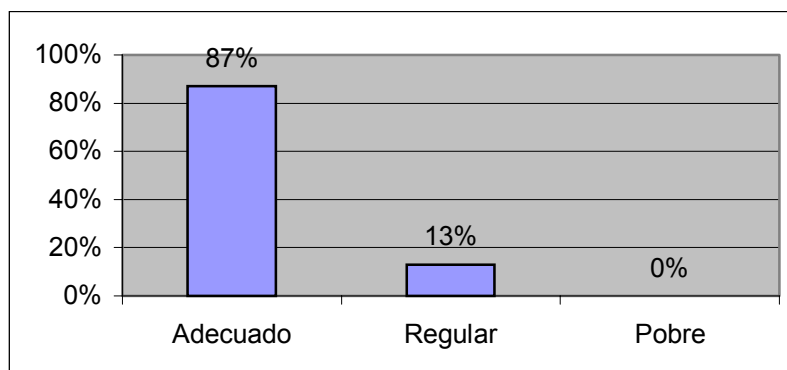
El objetivo de la consulta es determinar la influencia de las actividades realizadas durante el curso en su proceso de aprendizaje.

La consulta se realiza a 31 estudiantes de la asignatura Control I (Sistemas de Control Analógico) del segundo semestre académico del 2004.

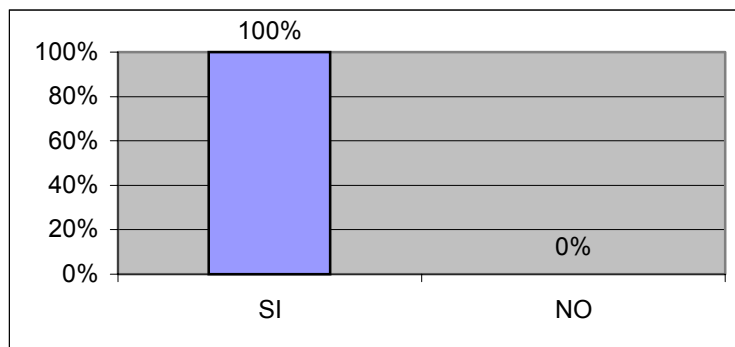
#### 1. ¿La realización de talleres ha colaborado con el aprendizaje de los conceptos de la materia?



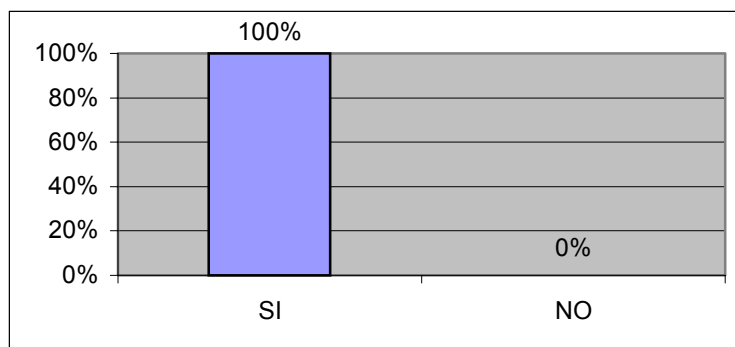
#### 2. Evaluación del material (ejercicios) desarrollado en los talleres.



**5. ¿Es necesario continuar realizando los talleres de clase?**



**6. ¿La realización de las prácticas ha colaborado con el aprendizaje de los conceptos de la materia?**



**7. Evaluación de los recursos (elementos) utilizados en las prácticas.**

