

1. INTRODUCCION

El gran desarrollo de la electrónica ha permitido que con mayor frecuencia se recurra a los sistemas programables básicos en micro y minicomputadores en campos como la enseñanza, la simulación y el control de diversos procesos industriales.

En el ambiente industrial se trata generalmente de resolver problemas que hasta ahora han sido tratados con sistemas lógicos cableados y/o sistemas analógicos. Esta nueva tecnología exige del ingeniero comprometido con el desarrollo y aplicación de sistemas programables, el dominio de nuevos conocimientos y métodos de trabajo que tocan no sólo con la concepción de circuitos electrónicos (Hardware) sino también con el desarrollo de programas (Software). Estos dos sistemas Hardware y Software deben integrarse de una manera óptima dentro de una instalación técnica.

Muchos de los procesos de transformación de la materia involucran una absorción de energía calorífica. Es así como en muchos de los procesos industriales de producción, se utiliza como fuente de calor el vapor producido en las calderas, pues el agua es el elemento que en mayor proporción se encuentra en la naturaleza.

2. PRINCIPALES VARIABLES A CONTROLAR EN LA CALDERA

En una caldera acuotubular hay tres variables principales para controlar: la presión de vapor, la presión en el hogar y el nivel del domo, aunque en una caldera intervienen otras variables como velocidad de la parrilla (cuando se usan combustibles sólidos), venteo, desdoblamiento, purgas, etc. Se han tomado las que requieren un tratamiento más técnico y tienen mayor importancia dentro del proceso.

Después del arranque y de lograr el funcionamiento en estado estacionario

de la caldera, se obtiene por medio de sensores y transmisores información del estado del funcionamiento actual de ésta, que al llevarla a un controlador (análogo, digital o computarizado), da las ordenes de ejecutar las acciones de control sobre uno o varios elementos finales.

2.1 PRESION DEL VAPOR

La principal variable a controlar en una caldera es la presión de vapor de agua, pues es ésta la que se necesita mantener en un vapor constante para ser entregada a cualquier rata de consumo del vapor, por intermedio de un cabezal (donde confluye las salidas de vapor de varias calderas) o en forma directa (cuando el vapor proviene de una sola caldera) hacia el proceso. Para mantener estable, dentro de un rango pequeño, la presión de vapor, es necesario que la combustión entregue una cantidad de calor suficiente a cualquier rata de consumo de vapor lo cual se consigue con una oportuna alimentación de combustible y aire y adecuada mezcla de estos, pues una variación en el flujo de la mezcla aire combustible, provocará una variación en la cantidad de agua líquida que se evapora y repercutirá en la presión del vapor en el domo.

Lo que principalmente provoca una variación en la presión dentro del domo de la caldera o en el flujo del cabezal, es una variación en la demanda del flujo de vapor, que al ser requerido por el proceso en mayor o menor cantidad, provoca una variación dentro del domo: una mayor demanda genera una succión y baja la presión; una disminución en el consumo hace que se acumule vapor y así aumenta la presión; por esto el control de la presión en el domo (variable controlada) se obtiene manipulando el flujo de la mezcla de aire y combustible (variable manipulada).

Existen otros factores que pueden provocar la variación de la presión (rompimiento del domo o de la tubería que conduce el vapor, apertura de

válvulas de sobrepresión, etc.), pero que se consideran como anómalas dentro del proceso de control de funcionamiento de la caldera y por eso su control se tiene en cuenta para efectos de seguridad en la operación de la caldera.

2.2 PRESION EN EL HOGAR

Es necesario mantener un apropiado flujo de gases de combustión a través del hogar mientras ocurren los cambios en la carga de la caldera (consumo de vapor por el proceso), este control es esencial para evitar daños mecánicos en la estructura de la caldera, pues si hay presión positiva dentro del hogar, se corren riesgos de presurización de la caldera y posterior rompimiento cuando los esfuerzos mecánicos presentados en los materiales de la caldera superan su capacidad de resistencia. También en el momento en que un operario realice una inspección visual al hogar, podría recibir una llamarada o un chorro de cenizas que le provocarían quemaduras graves.

La presión en el hogar tampoco debe ser muy negativa pues podría haber implosión y recogimiento de la estructura; fenómeno que ocasionaría arrastre del combustible dentro de la tubería que lleva el agua, produciendo tamponamientos con grandes pérdidas de energía en la combustión. Por estas razones la presión en el hogar debe ser ligeramente inferior a la atmosférica. Se busca así que el flujo de aire de entrada por el damper de tiro forzado, sea proporcional al flujo de gases a la salida por el damper de tiro inducido con lo que se genera un equilibrio entre estas dos variables para mantener estable el punto de ajuste de esta presión.

2.3 NIVEL DEL AGUA EN EL DOMO.

El nivel del agua dentro del domo debe permanecer a un 50% de su capacidad, pues esta la magnitud a la cual se puede controlar mas estable-

mente cualquier variación en él.

Analizando las consecuencias de una variación en el nivel de la caldera, se encuentra un aumento favorable en el, provoca un arrastre de agua por la tubería de vapor y este flujo de líquido generaría una entrega de calor del vapor a la parte líquida, con lo que se perdería eficiencia en el proceso de producción de vapor a la parte líquida, con lo que se perdería eficiencia en el proceso de producción de vapor; también las impurezas que lleve el líquido pueden incrustarse en la tubería de vapor produciendo reducciones indeseables en los diámetros de ésta o pueden producir efectos abrasivos sobre las tuberías de conducción y sobre las turbinas o cualquier otro equipo en que se utilice el vapor.

En su defecto la falta de agua en el domo puede ocasionar sequedad en los tubos por lo que circula ésta, corriendo el riesgo al encontrarse vacíos, de no haber transferencia de calor hacia el agua sino hacia el material de la tubería y por lo tanto producir un fusiónamiento de ésta. En casos no tan extremos, un nivel bajo puede ocasionar altas presiones en el domo debido a la mayor proporción de volumen de vapor respecto al menor volumen de líquido presentes, e influir sobre la combustión haciendo de esta situación un ciclo que llevaría a una inestabilidad en los dos sistemas.

3. FUNCIONAMIENTO DE LOS LAZOS DE CONTROL LOGICO

El siguiente es el análisis del funcionamiento de los lazos de control de las principales variables en una caldera acuotubular, para el caso en que este control se realiza con equipos electrónicos digitales basados en microprocesadores (Hardware). En la figura (1) se observa este diagrama de control que esta constituido por bloques lógicos cuyas capacidades y funciones están dadas por el Software que integra el sistema de control.

Cuando los equipos utilizados en el

control son neumáticos o electrónicos analógicos, los diagramas de control y el sistema físico en sus construcciones, incluirán un mayor número de elementos o bloques, como sumadores, extractores de raíz cuadrada, seleccionadores, etc. con los que al final se obtiene la misma acción de control que al usar los elementos digitales, pues la estrategia de control es la misma (ver figura 2).

En la mayoría de los casos, los elementos sensores son analógicos, los cuales mandan una señal analógica neumática (3 a 15 psi.) o electrónica (4 a 20 mAmp.) para ser recibida por un módulo electrónico consistente de circuitos que toman esta señal analógica y la adaptan a señales digitales para que puedan ser manipuladas por circuitos microprocesadores, que ejercen la acción de controladores. Algunos instrumentos de mayor desarrollo tecnológico (y también de mayor precio) incluyen microprocesadores, lo que les permite ejercer algunas acciones de control o enviar la señal ya digitalizada hacia el controlador.

Los circuitos controladores están representados en los diagramas lógicos de control por medio de bloques (AIN, PID, AOUT, CALC, RATIO); estos bloques no existen físicamente, sino lógicamente, y se configuran a través del Software que utiliza el equipo de control.

Los elementos finales o actuadores del circuito de control si deben ser analógicos, debido a las potencias neumáticas o eléctrica requeridas para su accionamiento; por tanto, la señal digital de mando proveniente del controlador debe convertirse a señal analógica (presión de aire o corriente eléctrica) para manipular el elemento final. Esta conversión de señal digital a analógica se hace también en módulos electrónicos semejantes a los que reciben las señales de los sensores, pero de acción contraria.

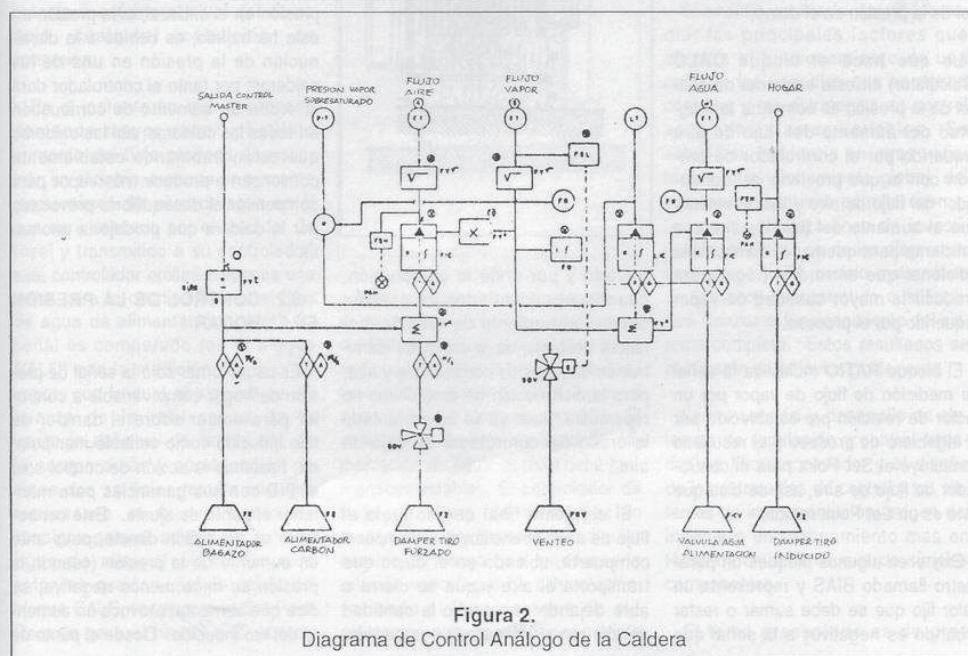
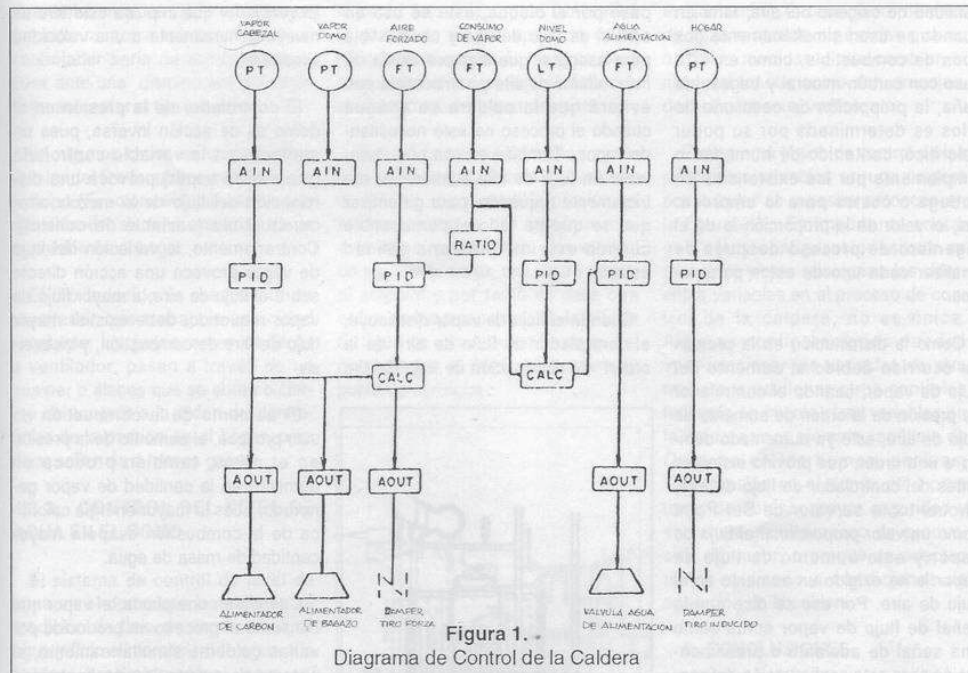
En algunos equipos de control sencillos, que se usan para el control de

una o más variables, los módulos receptores de señal sensada, el controlador y el convertidor y transmisor de la señal de mando, se encuentran en un solo bloque físico. En los grandes sistemas de control, cada uno de estos módulos vienen separados y poseen mayor capacidad. Algunos módulos receptores de señales sensadas también tienen la capacidad de enviar la señal de mando por diferente o el mismo conductor eléctrico.

3.1 CONTROL DE LA PRESION EN EL DOMO

El sensor de la presión del domo toma la medición generalmente con un instrumento neumático que entrega un valor entre 3 y 15 psi.; después de transformarla a una señal electrónica entre 4 y 20 mAmp., la envía al módulo receptor de señal sensada para convertirla a señal digital. En este punto la toma el bloque AIN (Analog Input) el cual, de acuerdo a como se le haya configurado con el software, toma diferentes acciones, como la de verificar si el valor de la señal sensada está dentro del rango estimado; dar señales de alarma para determinados valores críticos de la variable; mostrar a través de la pantalla monitora del sistema el valor de la variable en unidades de ingeniería; en muchas otras acciones que han sido pre-establecidas en el diseño del Software de control.

La señal sensada pasa después al bloque controlador PID, el que le aplica el algoritmo del control y envía la señal correctora o de control al bloque AOUT (Analog Output). Si se ha sentido una disminución en la presión del vapor, el controlador dará la orden de aumento en los flujos de combustible y aire. Para una óptima combustión, la proporción en la cantidad de cada uno de los elementos de la mezcla aire-combustible depende de las calidades de aquellos, pues el aire de acuerdo a su menor temperatura y mayor humedad requerirá de mas combustible y a su vez cada tipo de combustible necesita una determianda



cantidad de oxígeno del aire; también cuando se usan simultáneamente dos tipos de combustible, como en este caso con carbón mineral y bagazo de caña, la proporción de cada uno de ellos es determinada por su poder calorífico, contenido de humedad o simplemente por las existencias en bodega o costos para la empresa. Así, el valor de la proporción lo dá el ingeniero de proceso después de analizar cada uno de estos parámetros.

Como la disminución en la presión ha ocurrido debido al aumento del flujo de vapor, cuando el controlador de presión da la orden de aumento de flujo de aire, este ya aumentado debido a una orden que provino instantes antes del controlador de flujo de aire, el cual toma su valor de Set Point como un valor proporcional al flujo de vapor y este aumento de flujo de vapor le ha exigido un aumento en el flujo de aire. Por eso se dice que la señal de flujo de vapor actúa como una señal de adelanto o prealimentación para esta configuración del control de la presión en el domo.

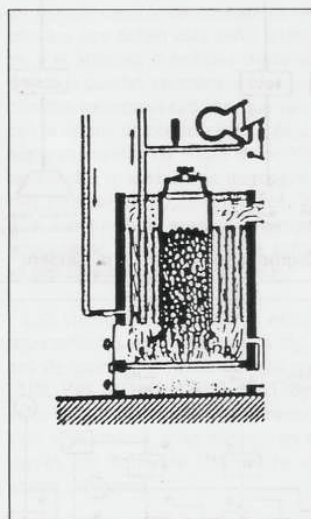
Lo que hace el bloque CALC (Calculator) en este esquema de control de la presión es comparar la magnitud del aumento del flujo de aire requerido por el controlador de presión con la que proviene del controlador del flujo de aire y así determinar que el aumento del flujo de aire sea suficiente para quemar el combustible adicional que entrará al hogar para producir la mayor cantidad de vapor requerido por el proceso.

El bloque RATIO multiplica la señal de medición de flujo de vapor por un factor de relación pre-establecido por el ingeniero de proceso y el resultado constituye el Set Point para el controlador de flujo de aire; así, se dice que este es un Set Point remoto.

Existe en algunos bloques un parámetro llamado BIAS y representa un valor fijo que se debe sumar o restar (cuando es negativo) a la señal que

pase por el bloque, este se usa en control de flujo de aire y combustible para asegurar que siempre exista un flujo mínimo de aire y combustible que evitará que la caldera se apague cuando el proceso no esté necesitando vapor. También se usa para mantener un flujo de aire adicional al estrictamente requerido, para garantizar que se queme todo el combustible cuando este no tiene una calidad estable.

Cuando el flujo de vapor disminuye, el controlador de flujo de aire da la orden de disminución de flujo del tiro



forzado y por ende la combustión, cuando el controlador de presión detecte el aumento de presión instantes después, da la orden de disminución de flujos de combustible y aire; pero la disminución de éste último no repercutirá, pues ya se ha adelantado la orden del controlador de flujo de aire.

El elemento final que controla el flujo de aire lo constituye un damper o compuerta, ubicado en el ducto que transporta el aire y que se cierra o abre dejando pasar sólo la cantidad de aire requerida para la combustión.

El ventilador que impulsa éste aire se mueve generalmente a una velocidad constante.

El controlador de la presión en el domo es de acción inversa, pues un aumento en la variable controlada (presión de vapor) provoca una disminución del flujo de la mezcla aire-combustible (variable de control). Contrariamente, la variación del flujo de vapor provoca una acción directa sobre el flujo de aire; a mayor flujo de vapor requerido, debe existir mayor flujo de aire de combustión, y viceversa.

El aumento de la combustión no solo provoca, el aumento de la presión en el domo, también provoca un aumento en la cantidad de vapor generado, pues la mayor energía calorífica de la combustión evapora mayor cantidad de masa de agua.

Cuando en una planta, el vapor que consume el proceso es producido por varias calderas simultáneamente, el sistema de automatización controla la presión en el cabezal; si la presión en este ha bajado, es debido a la disminución de la presión en una de las calderas; por tanto el controlador dará la orden de aumento de combustión en todas las calderas; así las calderas que están trabajando establemente comienzan a producir más vapor para compensar el desequilibrio provocado por la caldera que produjo la anomalía.

3.2 CONTROL DE LA PRESION EN EL HOGAR

Es usual tomar sólo la señal de presión de hogar como variable a controlar para actuar sobre el damper de tipo inducido como variable manipulada, haciendo la acción de control solo el PID con sus ganancias para mantener el punto de ajuste. Este controlador es de acción directa, pues ante un aumento de la presión (cuando la presión se hace menos negativa, se dice que aumenta) provoca un aumento del tiro inducido. Desde el punto de

vista del control de vacío en el hogar (presión menor a la atmosférica), el controlador sería de acción inversa, pues ante una disminución del vacío debe aumentar el tiro inducido.

En algunos casos se utiliza el flujo de aire del tiro forzado como señal de anticipo (Feedforward) para tener una reacción del sistema antes de variar la presión en el hogar.

El tiro inducido es creado por un ventilador que trabaja a velocidad constante; los gases, antes de llegar a ventilador, pasan a través de un dâmpen o âlabes que se abren o cierran de acuerdo a la orden del controlador de la presión en el hogar, para dejar salir más o menos gases.

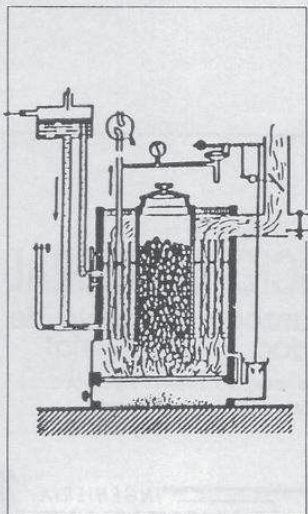
3.3 CONTROL DEL NIVEL DE AGUA EN EL DOMO

El sistema de control de nivel de agua en el domo usa las señales de medición de flujo de vapor, nivel de agua y flujo alimentación de agua a la caldera (tres elementos), para así mantener estable el nivel del domo bajo cualquier condición de operación.

En el instante en que el proceso demande mayor vapor, el súbito aumento del flujo provoca una succión en el domo, creando un aumento momentáneo del nivel de agua en él que será sentido por el medidor de Nivel y transmitido a su controlador; este controlador emitirá entonces una señal para la disminución en el flujo de agua de alimentación; pero esta señal es comparada (en el bloque CALC) con la medición del flujo de vapor, con lo cual el sistema se da cuenta de la real causa de la variación del nivel del domo; así, de la comparación y combinación de estas dos señales resulta una que representa el nuevo punto de consigna para el control del flujo de agua de alimentación. Se dice entonces que la señal de salida del bloque CALC, representa el Set Point Remoto para el bloque PID contro-

lador del flujo de agua, del cual saldrá la orden de mayor apertura de la válvula de alimentación de agua, para compensar el mayor flujo de ésta que sale del domo en forma de vapor.

Cuando la caldera comience a producir más vapor, debido al aumento de su flujo, aumentará la presión en el domo, como se dijo anteriormente; esta mayor presión hará que el nivel de agua baje hasta una altura menor al setpoint y por tanto se dará otra orden de mayor apertura de la válvula de agua de alimentación hasta que el nivel llegue al 50%, el cual es su punto de consigna.



Mientras haya un nivel correcto en el domo y no se tengan pérdidas no medibles por el transmisor de flujo de vapor que actúen sobre el control de la válvula de alimentación de agua, el nivel debe permanecer estable. El controlador de flujo de agua de alimentación de agua, el nivel debe permanecer estable. El controlador de flujo de agua de alimentación responderá rápidamente a cualquier cambio de carga que modifique la relación vapor/agua de alimentación, variando el flujo de agua de alimentación para mantener constante

esta relación. El controlador de nivel de agua responde a pérdidas que no han sido medidas y que cambian el nivel del tanque como son drenajes, deshollinamiento, venteo, etc.

El diagrama lógico de control de las principales variables en una caldera acuotubular se muestra entonces en la figura (1). Es importante anotar que estas configuraciones que se muestran y que relacionan las diferentes variables en el proceso de control de la caldera, no es única. Algunas configuraciones pueden inter-relacionar las variables de otra manera o adicionar otros controles teniendo en cuenta otras variables en la caldera (por ejemplo, análisis de Oxígeno en los humos, cenizas, sobrepresión en el domo, etc.) para tratar de obtener mayor seguridad y eficiencia en el proceso de producción de vapor, o porque se adaptan mejor al diseño o condiciones de operación de la caldera.

4. CONCLUSIONES

El análisis realizado permitió estudiar los principales factores que afectan el funcionamiento de una caldera, las variables que se deben controlar y las estrategias de control asociadas a estas variables. Se estudió su incidencia en otras variables y el funcionamiento global, del sistema. Lo anterior permite acometer, dentro de esta línea de investigación, la obtención de los diagramas de bloques y del modelo matemático de los lazos de control, lo cual facilitará simular el funcionamiento del sistema completo. Estos resultados se publicarán en artículos posteriores.

La concepción y desarrollo de sistemas de regulación y control basados en Microprocesador y el diseño de las estrategias de control y los sistemas de instrumentación, exigen del ingeniero un razonamiento mas en términos de sistema que de simples componentes.

El tema presentado es de gran

interés, pues cubre la automatización de una gran cantidad de variables físicas inherentes a la mayoría de los procesos industriales. Además, las calderas se utilizan en la mayoría de las empresas que se ocupan de la transformación de materias primas; por lo tanto, este tema es importante, máxime en las actuales circunstancias y planes de apertura económica de la Nación, donde para competir internacionalmente en precios se deben bajar los costos de producción y mejorar la calidad de los productos. La solución se logra con los sistemas modernos de automatización.

BIBLIOGRAFIA

- COLMAQUINAS S.A., Esquemas de control y conceptos de las personas experimentadas en el diseño, construcción, mantenimiento y control de las calderas.
- Creus Solé Antonio, INSTRUMENTACION INDUSTRIAL, Editorial Marcombo S.A., España 1979, 627 págs.
- FOXBORO. Catálogos y manuales del Sistema de Automatización Inteligente I/A.

- MANUELITA S.A., Esquemas de control de las calderas del Ingenio Manuelita. Conceptos de los Ingenieros de Control y Automatización, los Instrumentistas y los Operadores de las Calderas.

- INTECH INDUSTRY, publicación mensual dedicada a la Instrumentación Industrial. ISA Service Inc.

Conozca el nuevo...

SERVICIO ING.TEGRAL

un avanzado concepto de
calidad en ingeniería*

que asegura niveles óptimos
de producción y confort.

INGENIERIA
CONSULVALLE
SOLUCIONES INDUSTRIALES

CONSULTORIA. INTERVENTORIA. ASESORIA.

SERVICIO ING.TEGRAL:
DISEÑO, CONSTRUCCION, EQUIPAMIENTO y MONTAJE
Calle 5a. 45-20 Of.46 Tel. 52-31-52 52-31-71
Fax. 923-52-02-37 Call, Colombia, S.A.

* Ingeniería eléctrica, mecánica, civil,
sanitaria, Industrial y económica. Arquitectura.