



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL**  
**Facultad Regional Buenos Aires**

**TEORIA DE CONTROL**

Trabajo práctico cuatrimestral - 2C 2022  
Curso: K4521

Docente: Mgtr. Omar Civalé

**Sistema de control para data center**

Entrega Final

Alumnos	
Nombre y apellido	Legajo:
Alexis Ezequiel Herasimiuk	
Ayax Agustin Santos	

Fecha de entrega: 19/11/2022

## **Pautas para el desarrollo del Trabajo Final de Teoría de Control**

### **1. Objeto de este documento**

Proporcionar una guía de orientación para el desarrollo del **Trabajo de Integración** de Teoría de Control (oportunamente explicitado en sucesivas clases desde el inicio de la cursada).

Contiene el propósito, objetivos del trabajo, las pautas a seguir y las recomendaciones correspondientes.

### **2. Propósito**

- Aplicar **la totalidad** de los conceptos fundamentales de la Teoría de Control a un sistema controlado elegido por cada equipo de trabajo.

### **3. Objetivos Generales**

- Seleccionar un sistema de control aplicado a una solución tecnológica (**preferentemente, del área de sistemas de la información**).
- Fundamentar el sistema propuesto utilizando, a modo de marco teórico, los conceptos, fundamentos, enfoques y estrategias de la Ingeniería de Control.
- Aplicar diferentes técnicas o herramientas informáticas, en forma creativa, para realizar gráficos, modelos, cuadros comparativos, y, en general para expresar el análisis del problema y la solución propuesta.

### **4. Pautas**

#### **▪ Desarrollo del trabajo**

El trabajo de investigación será desarrollado por equipos de no más de dos integrantes. **La fecha de entrega del Trabajo Final será informada mediante la plataforma del webcampus.** Esta fecha permitirá la corrección del mismo antes de la primera fecha de llamado a final.

Para el caso de que el TP no sea aprobado y requiera de correcciones y/o mayor desarrollo, o no haya sido presentado hasta la fecha indicada, **se estipulará una nueva fecha tope de entrega mediante el mismo procedimiento.**

(Preferentemente, y por la condición excluyente de aprobación de la materia se sugiere entregarlo antes de las fechas indicadas).

Una vez aprobado el TP, y en caso de tener cumplimentadas la totalidad de las actividades obligatorias pautadas, el alumno estará en condiciones de firmar la libreta. Para ello, se pautarán fechas a tal efecto.

La entrega se realizará en formato de archivo PDF por cada alumno en el web campus del curso (en el sitio dedicado a tal efecto).

En cada trabajo se incluirá en la carátula el listado de integrantes del grupo.

Pueden realizarse consultas durante el período de desarrollo.

- **Composición del Trabajo de Investigación**

El trabajo, desde el punto de vista formal, estará compuesto de las siguientes partes:

- ✓ **Carátula:** incluye el tema e integrantes del equipo de trabajo.
- ✓ Copia del presente documento.
- ✓ **Índice:** contenido del documento elaborado por el equipo.
- ✓ **Introducción:** se referirá al “segmento / mercado” en que se encuadra el trabajo (por ejemplo, “...el control del riego y la fertilización de una plantación...”).
- ✓ **Objetivos:** cuales son los objetivos de control a ser alcanzados y cual es la solución que se plantea u ofrece.
- ✓ **Alcance:** definir la estructura del sistema considerado, describiendo e identificando clara y explícitamente las diferentes funcionalidades correspondientes al mismo (por ejemplo: contexto; puntos de interconexión con el mundo exterior; tipo de transductores; variables que se desea controlar, tipos unidades y rangos de entradas y salidas, amplificador de error; señales de error y realimentación; elementos de medición, características y variables componentes de las transferencias presentes en el sistema ; características de la respuesta; perturbaciones externas e internas a considerar; características y tipo de error; caracterización de la estabilidad; ley de control y tipo de actuación utilizada; relación entre señales analógicas y discretas / digitales; carga/s asociadas al sistema).

El trabajo deberá incluir un programa confeccionado en **LOGO** (en lenguaje de bloques), que permita simular y verificar la funcionalidad del sistema.

**IMPORTANTE:** Tal lo explicitado en clase, no se solicita la descripción genérica del sistema controlado sino la identificación y descripción de su estructura.

En definitiva, **“encontrar” la totalidad de los contenidos y conceptos trabajados y estudiados desde el dominio de la teoría de control.**

- ✓ **Descripción, desarrollo y fundamentación de la propuesta:** debe ser clara, recomendándose técnicas de escritura conceptual y gráfica.
- ✓ **Conclusión:** A modo de conclusión, establecer la necesidad y ventajas comparativas del sistema de control propuesto. Es importante incluir opiniones del grupo en cuanto a posibles mejoramientos, objeciones, etc., que permitan establecer un cierto **criterio ingenieril** desde la perspectiva del equipo de trabajo.
- ✓ **Consideraciones especiales:** si aplica, indicar.

- ✓ **Bibliografía:** citar libros, documentos de texto y fotográficos, folletos de dispositivos transductores, actuadores, sitios web y papers consultados.

***Prof. Mgtr. Omar Civalé***

## **Índice:**

<b>Introducción</b>	<b>6</b>
<b>Objetivos</b>	<b>7</b>
Sistema HVAC	7
Protección equipamiento informático - Servidores	7
Redundancia de alimentaciones	8
<b>Alcance</b>	<b>8</b>
Sistema HVAC:	8
Protección equipamiento informático - Servidores:	13
Redundancia de generadores de electricidad	14
Consideraciones	16
<b>Implementación</b>	<b>17</b>
<b>Simulación</b>	<b>20</b>
<b>Referencias</b>	<b>21</b>

# Introducción

Un centro de procesamiento de datos (CPD por sus siglas en español) o más conocidos como data center en inglés, es una instalación donde se almacenan tanto aplicaciones como datos a gran escala [1]. Para tal fin, se suele disponer de un gran volumen de equipamiento informático y de almacenamiento, como routers y servidores.

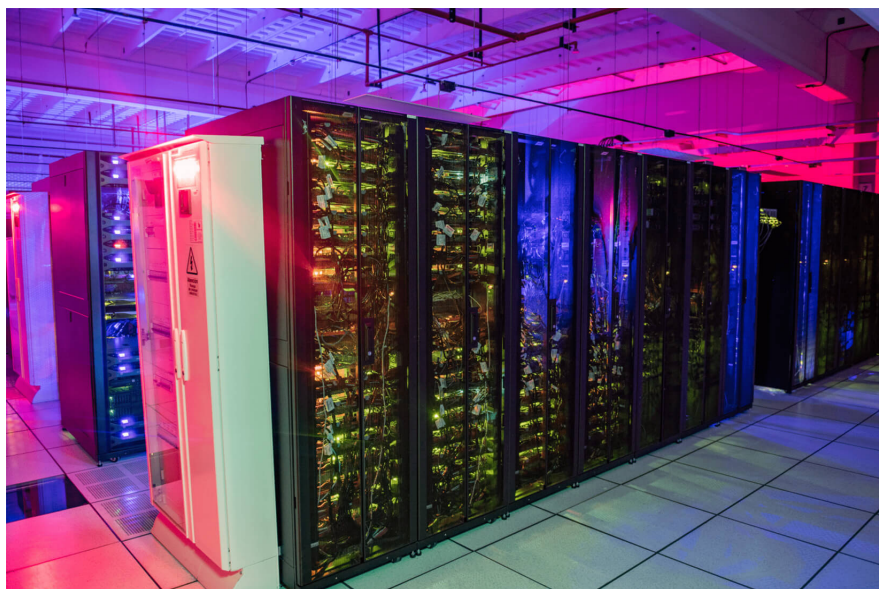


Figura 1: Equipamiento en data center de ARSAT

Dependiendo del tamaño del data center, además del equipamiento mencionado es necesaria la seguridad física y operativa del ambiente [2]. Por tal motivo también están compuestos por sistemas de climatización, múltiples líneas de suministro eléctrico, supervisión física en todo horario, dispositivos de vigilancia, etc. [2]

Resulta importante resaltar que en caso de ocurrencia de fallas en el funcionamiento del lugar, podría verse lastimada la integridad de los datos allí almacenados así como la disponibilidad de los mismos y de los diferentes servicios operativos en el data center.

En el presente trabajo, nos centraremos en el sistema de climatización que suelen poseer los data centers, así como otras medidas de seguridad vinculadas al equipamiento que posean. Resulta fundamental que el equipamiento informático pueda operar en las condiciones descritas por sus respectivos fabricantes, para evitar la ocurrencia de fallas. De igual forma, el lugar debe ser apto para las personas en términos de seguridad e higiene, considerando el calor que puede llegar a disiparse por el equipo informático del lugar. [3]

# Objetivos

## Sistema HVAC

En general, la complejidad de los sistemas HVAC (en español: humedad, ventilación y aire acondicionado) en un data center dependen de su tamaño y criticidad. Teniendo esto en cuenta, no nos enfocaremos en aquellos sistemas con alta complejidad dado que exceden los objetivos del presente trabajo enmarcado en la asignatura.

El objetivo del trabajo, será a partir de un modelo simplificado poder regular la temperatura y humedad del ambiente, utilizando un sistema de aire acondicionado y humidificador. Para ello, deberá hacerse uso de:

- Sensores de temperatura y humedad.
- Humidificadores.
- Aire acondicionado.
- Actuadores para abrir/cerrar compuertas de ventilación.

Además, se dispone de una temperatura y humedad de operación previamente definida utilizada como referencia en todo momento.

## Protección equipamiento informático - Servidores

Cierto equipamiento informático, como por ejemplo un servidor, puede estar compuesto por un disco duro como unidad de almacenamiento, el cual es un dispositivo mecánico que debe funcionar bajo ciertas condiciones de cuidado para evitar la pérdida de datos.

Por tal motivo, se debe garantizar el posicionamiento adecuado de los servidores ubicados en su correspondiente rack, debiéndose medir el nivel de horizontalidad del mismo. De este modo, se requiere controlar dicha variable tomando como punto de equilibrio (valor de referencia) un ángulo de 0°. En caso de falla, se debe encender una luz indicadora correspondiente al estante, ubicada en el gabinete general.

## Redundancia de alimentaciones

Por último, es necesario garantizar la alimentación de todos los equipos del data center ante el corte del suministro eléctrico de la empresa distribuidora, para ello, es necesario un sistema de control que permita mantener unas baterías de corriente continua a modo de reserva temporal de energía, para luego en caso del corte del suministro eléctrico, poder automáticamente arrancar los generadores de electricidad durante el tiempo que sea necesario para evitar la pérdida de continuidad del servicio que se ofrece.

Para la implementación de los controladores necesarios se deberá de disponer de un PLC (Controlador lógico programable) o algún sistema embebido preparado para operar en un ambiente de características industriales.

Con todo esto, se buscará que las condiciones ambientales para el funcionamiento del data center sean las óptimas, en busca de contribuir a la seguridad física del mismo, así como cumplir los Service Level Agreement (SLA) propuestos, garantizando la máxima calidad.

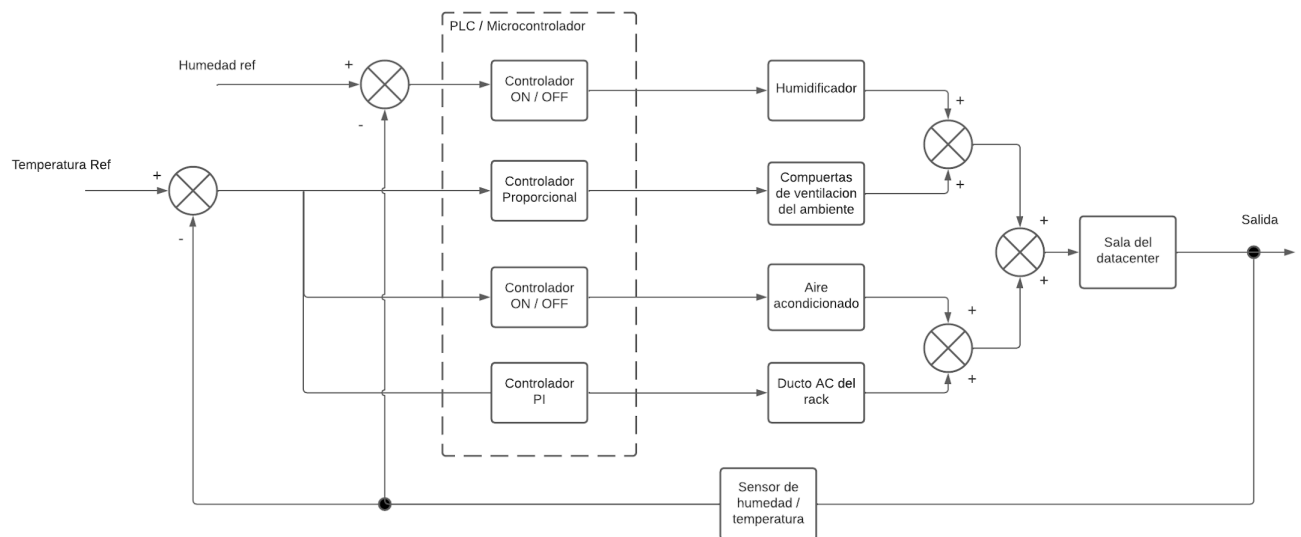
## Alcance

### Sistema HVAC:

Para la resolución de la problemática, tenemos la necesidad de realizar un **monitoreo** de la temperatura y humedad ambiente, así como una **corrección** en caso de discrepancia con los valores deseados. Por tal motivo, es necesario utilizar una capa de control para la resolución del problema.

Considerado lo anterior, así como los diferentes componentes mencionados en el dicho apartado, el sistema planteado es el siguiente [4]:





Las variables a controlar, en este caso son dos:

- Temperatura ambiente [ $^{\circ}\text{C}$ ].
- Humedad relativa del ambiente [Adimensional, %].

Los valores de referencia, en principio varían dependiendo del ambiente en particular así como de los equipos informáticos allí operando, dado que están vinculados a los valores de operación que define el fabricante de estos. Sin embargo, las directrices ASHRAE 2011 recomiendan que la temperatura de operación del aire de  $18^{\circ}\text{C}$  a  $27^{\circ}\text{C}$  y valores de humedad relativa dentro del rango 20% a 80% (considerando temperatura del punto de rocío  $5$  a  $15^{\circ}\text{C}$ ) [5]

Por tal motivo, se establecen como valores de referencia para este caso:

- Temperatura de referencia:  $20^{\circ}\text{C}$
- Humedad relativa de referencia: 40%

Sabiendo que, en condiciones de normalidad, la localización del datacenter tendrá una temperatura ambiente exterior que variará entre los 5 y 35 grados centígrados, con una humedad usualmente alta. No se espera que la temperatura exterior supere la mencionada, ni tampoco se establezca a niveles inferiores, de esta manera se establece el máximo y mínimo absoluto. En cambio la humedad relativa variará entre el 20% y 100% (en el exterior), llegando a los límites aquellos días de lluvia. El datacenter se ubica a 0 metros sobre el nivel del mar.

De esta manera, estamos en condiciones de utilizar los equipos que en su datasheet especifican las siguientes condiciones:

## **Overview**

The Watchdog 1200 Series Environmental Monitoring Units provide remote environmental monitoring and alarming capability needed to detect climate conditions in data centers. The Watchdog 1200 Series environmental monitoring units are equipped with a built-in web server. Web pages, including graphs, are generated by the unit to monitor environmental conditions within the cabinet. No software other than a web browser is required for operation and several data formats are available. In Watchdog 1200 Series units, built-in sensors monitor Temperature, Relative Humidity, Airflow, Light Level and Sound Level. Optional external sensors and network cameras are also available. The Watchdog 1200 Series is available in two different versions; the Watchdog 1200 and Watchdog 1250. The Watchdog 1200 and Watchdog 1250 are identical except for the scrolling LCD display and alarm buzzer features of the Watchdog 1250.

## **Environmental**

### **Temperature**

Operating:	10°C (50°F) min	45°C (104°F) max
Storage:	-25°C (-13°F) min	65°C (149°F) max

### **Humidity**

Operating:	5% min	95% max	(non-condensing)
Storage:	5% min	95% max	(non-condensing)

### **Elevation**

Operating:	0 m (0 ft) min	2000 m (6561 ft) max
Storage:	0 m (0 ft) min	15240 m (50000 ft) max

Es importante destacar que la humedad también depende de la temperatura, es decir, a mayor temperatura menor es la humedad, con lo cual la humedad se verá afectada no solo por los dispositivos humidificadores que se instalen en la locación sino también por el descenso de la temperatura provocado por el acondicionamiento de la temperatura del aires, tal como muestra el siguiente gráfico:

Para la implementación de los controladores y elemento de comparación, será necesario disponer de un PLC o de un sistema embebido que permita su operación en condiciones industriales. Como es solicitado en el enunciado del presente trabajo, se utilizará una plataforma de desarrollo de la familia Arduino para simplificar el desarrollo.

La señal de error, será la diferencia entre la temperatura/humedad requerida y los valores medidos en el ambiente respectivamente.

Los elementos de medición posibles a utilizar son los siguientes:

Arduino:

- Sensor de temperatura y humedad DHT11 [6].
- Sensor de temperatura LM35 [7] + sensor de humedad HH10D [8].

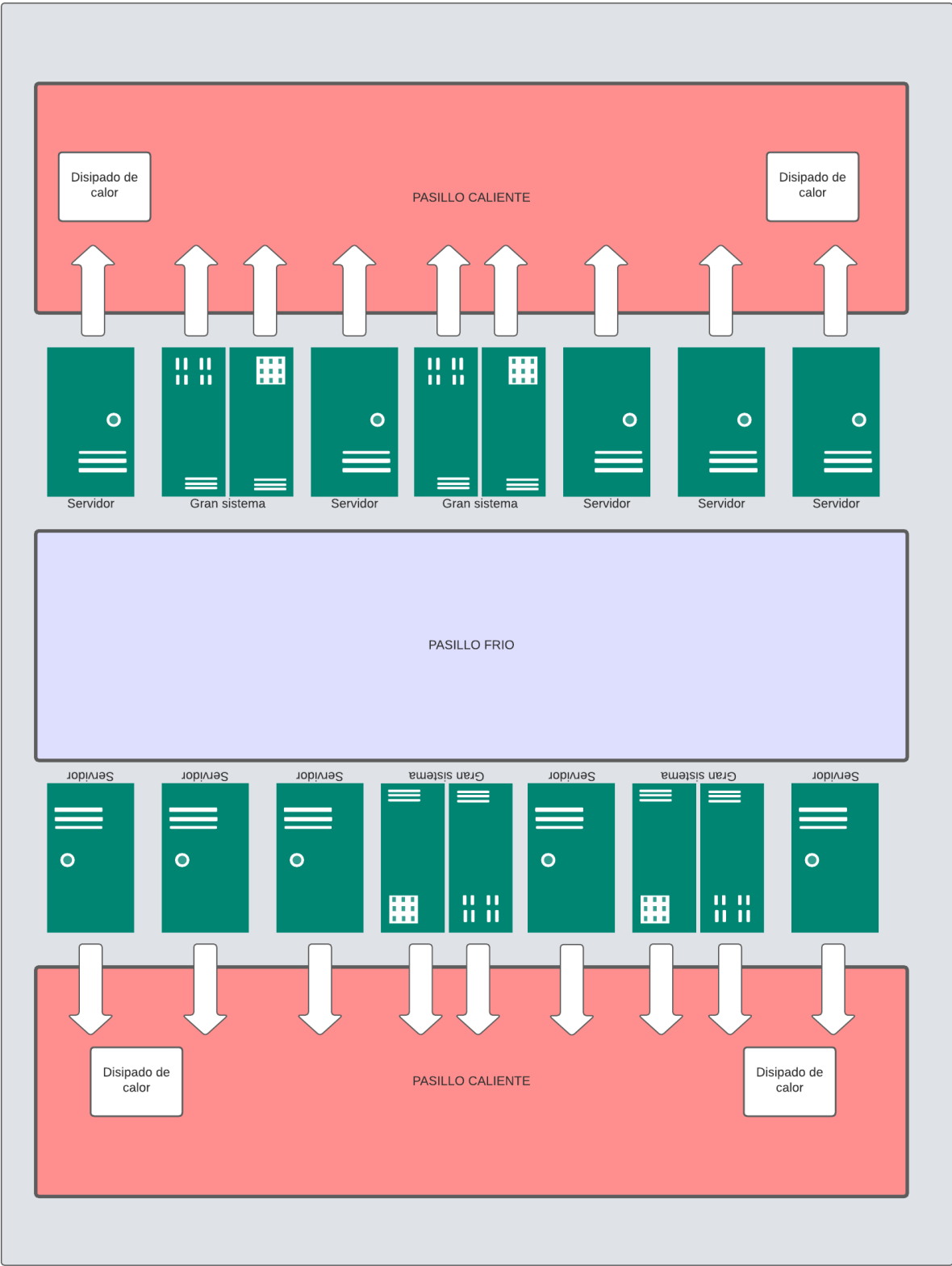
PLC:

- Sensor de temperatura SITRANS TS100 [9]

Para el control de temperatura, se utilizan como actuadores tanto el aire acondicionado así como los motores que regulan la apertura/clausura de las rejillas de ventilación. En el caso del control de humedad relativa, los actuadores serán un humidificador y el motor que accione una compuerta de ventilación con el objetivo de disminuir la humedad relativa del ambiente.

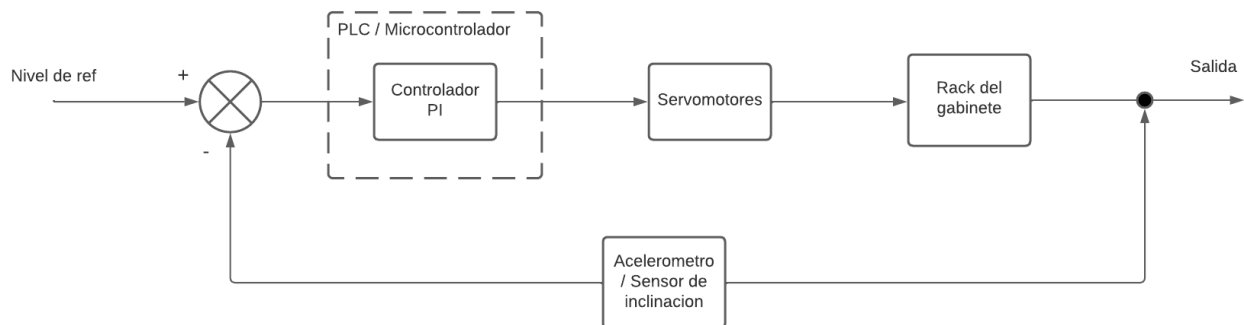
La carga del presente sistema, será el equipamiento informático que se encuentre en el ambiente donde se realiza un control de las variables mencionadas anteriormente.

El controlador del humidificador será de tipo proporcional ON/OFF, ya que ante la medición de un nivel de humedad inferior al de referencia será suficiente para que éste arranque a funcionar el tiempo que sea necesario. No se esperan variaciones bruscas que requieran correcciones propias de un controlador derivativo, ni tampoco se necesita la precisión y exactitud de un controlador integral. Para el caso del aire acondicionado aplica la misma lógica, con la salvedad de que cada rack tiene un ducto individual con una compuerta que tendrá cada una un controlador proporcional integral, que permitirá ajustar la cantidad de flujo de aire frío que llega al equipamiento de una manera fina y exacta. Esta misma lógica se utilizará para las compuertas de ventilación del sistema.



## Protección equipamiento informático - Servidores:

En líneas con los requerimientos planteados en la sección anterior, para garantizar el correcto funcionamiento de los dispositivos de almacenamiento en algunos servidores, es necesario **monitorear** el nivel de horizontalidad del rack móvil correspondiente. En caso de error, se deberá encender un LED ubicado en el gabinete que contiene los diferentes estantes, para que un trabajador de las instalaciones realice la **corrección** correspondiente.



El diagrama muestra la topología de implementación del sistema de control para uno solo de los cuatro servomotores que debe haber implementado en cada estante del rack por motivos de simplificación.

El valor de referencia adoptado para un funcionamiento óptimo, será de:

- Nivel de horizontalidad: 0 [°]

Nuevamente, se hará uso del mismo controlador mencionado en el punto anterior para este control, tanto para el elemento de control como para el elemento de comparación (punto suma).

Los posibles elementos de medición a utilizar son los siguientes:

Arduino:

- Acelerómetro analógico MMA7361 [10].
- Sensor de inclinación SW-520D [11].

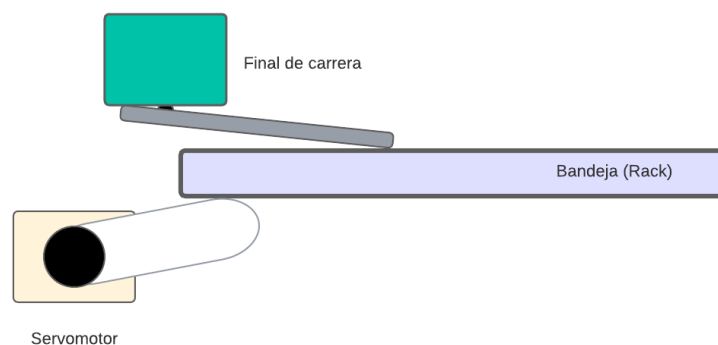
PLC:

- Acelerómetro Hansford HS-420 [12].

Existen dos posibilidades de implementación de esta solución, las cuales detallaremos a continuación:

- 1) Corrección a partir de la motorización de la bandeja: dada la existencia de un error en la ubicación del rack (en lo que respecta al nivel de horizontalidad), la corrección puede ser realizada utilizando servomotores dado que permite la ubicación en términos de posición angular. De este modo, los actuadores serían los motores allí ubicados.

Además, debe disponerse de finales de carrera como sensores, para poder determinar el momento en que los motores deben detenerse, luego de haber realizado la corrección necesaria.



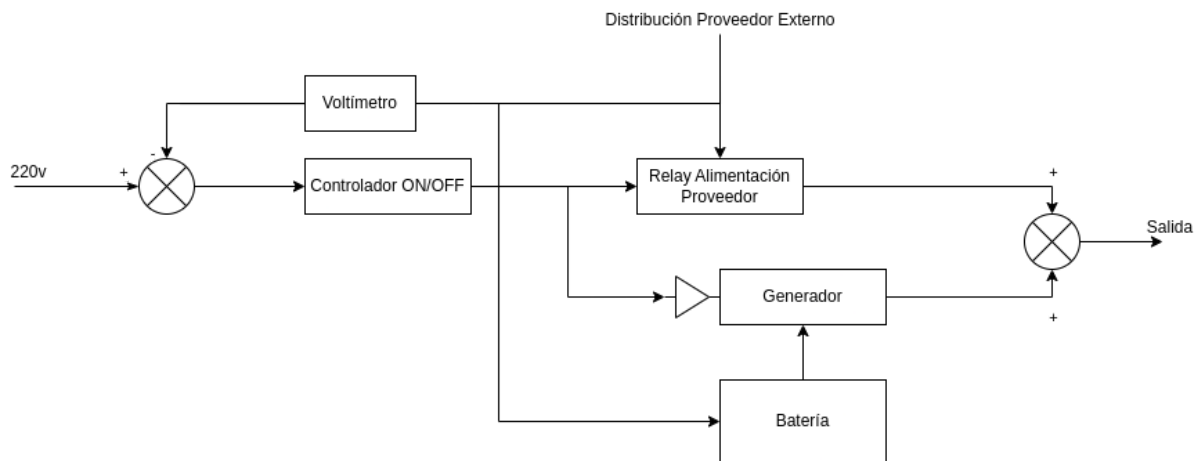
- 2) Corrección realizada por un empleado del lugar: Se puede utilizar como actuador un LED ubicado en el gabinete que contiene todos los racks, de forma tal que un empleado del datacenter corrija la posición del estante. De esta manera, el empleado también forma parte del elemento de corrección o actuador.

Por último en esta sección, la carga será un servidor en particular ubicado en el rack correspondiente.

Cada controlador será de tipo proporcional integral, ya que permitirá un ajuste fino de la inclinación del rack. No se esperan variaciones bruscas que requieran de un controlador derivativo.

## Redundancia de generadores de electricidad

Se debe realizar un **monitoreo** de la alimentación externa del edificio, siendo necesaria una corrección en caso de que esta falle por motivos relacionados al proveedor del servicio.



Valor de referencia:

- Tensión de alimentación: 220VCA

Aquí también se hará uso del mismo controlador mencionado en el primer punto de la sección, para el control de esta variable. Esta afirmación, es válida tanto para el elemento de control como para el elemento de comparación.

Dentro de los elementos de medición que pueden ser utilizados, encontramos:

Arduino:

- Voltímetro basado en transformador, puente rectificador y diodo zener [13].
- Voltímetro ZMPT101B [14].

La redundancia de generadores es importante para que un datacenter pueda certificarse para poder garantizar más del 99% de la disponibilidad, esto indicaría que en todo el año no pueden existir interrupciones por un tiempo mayor a 1.6hs [17], para lo cual no alcanza con un solo generador, sino que debe haber redundancia de ellos también, en el análisis nos centramos únicamente en un generador de respaldo a la tensión de la distribuidora para simplificar el modelo.

En cuanto a esta implementación, es importante entender que bajo ninguna circunstancia puede haber más de una fuente de tensión trabajando al mismo tiempo, aunque estén en paralelo, el desfase de una de ellas con respecto a la otra puede provocar variaciones abruptas de tensión que dañarán los equipos. Con lo cual el controlador debe garantizar que al conectar un generador, la tensión externa se desconectará y viceversa. Por otro lado, sucede que la carga que se aplica sobre el generador, no puede ser de manera escalonada, del 0 al 100% de manera instantánea sino en forma de rampa, esto quiere decir que para evitar la pérdida del servicio, es necesario contar con una batería, que en conjunto con el generador formarán un UPS, que mediante un rectificador y un dispositivo que alterne la corriente, almacenará energía en CC para luego ser entregada en AC a los equipos

hasta que el generador alcance el 100% de la capacidad que puede entregar. La entrada del sistema se desea que sea un escalón.

El controlador será proporcional de tipo ON/OFF, ya que únicamente es necesario conectar o desconectar el generador o el sistema exterior, con la salvedad, que una de las salidas del controlador será invertida para lograr que no exista la convivencia de ambas fuentes de tensión.

## Consideraciones

Se sabe que en un sistema de control, se puede calcular el error en el estado estable, realizando el cálculo del límite del tiempo tendiendo al infinito de la transferencia en lazo unitario, esto quiere decir que al error en estado estable participan todos los elementos del sistema. Es por ello que todas las transferencias de los elementos de medición, ya sean de voltaje, humedad, temperatura, etc; así como también las transferencias de los motores, generadores, controladores, relays participan del cálculo del error en estado estable.

De la misma manera, se establece que el sistema es estable en las condiciones mencionadas anteriormente, pero se podría plantear un caso de estabilidad relativa sobre todo en casos en los que la situación climática se sale de control con respecto a lo esperado, por ejemplo que nieve en una zona donde no se espera nieve, o se alcancen récords de temperatura, los elementos de medición perderían precisión o bien quedarían fuera del alcance previsto, del mismo modo, puede suceder que los sistemas de acondicionamiento de aire y de humedad fallen por no estar preparados para tales situaciones.



# Implementación

```
#include <Servo.h>
#include <math.h>

#define PIN_AIRE_FRIO 2
#define PIN_HUMIDIFICADOR 4
#define PIN_LM35 A4

Servo servoIzqInf;
Servo servoIzqSup;
Servo servoDerSup;
Servo servoDerInf;

Servo servoDuctoAC;
Servo servoCompuertaVentilacion;

////////////////////////////////////

unsigned int kpHorizontalidad = 1;
unsigned int kiHorizontalidad = 0;

unsigned int valorRefHorizontalidad;
long deltaT = 0, tiempoI = 0, tiempoF = 0;
int errorAcumuladoHoriz = 0;

////////////////////////////////////

unsigned int valorReferenciaTemperatura;
unsigned int kpTemperatura = 1;
unsigned int kiTemperatura = 2;
int errorAcumuladoTemp = 0;

////////////////////////////////////

unsigned int valorReferenciaHumedad;
unsigned int kpHumedad = 1;

////////////////////////////////////

unsigned int valorReferenciaTension;

////////////////////////////////////

void controlDeTemperatura(float);
float leer_temperatura_lm35(float);
void controlHorizontalidad(uint8_t t, int index);
void controlRedundanciaGeneradores();

Servo servos[4] = {servoIzqInf, servoIzqSup, servoDerSup, servoDerInf };

////////////////////////////////////

void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    pinMode(A0, INPUT);
    pinMode(A1, INPUT);
    pinMode(A2, INPUT);
    pinMode(A3, INPUT);

    servoIzqInf.attach(3);
    servoIzqSup.attach(5);
```

```

servoDerSup.attach(6);
servoDerInf.attach(9);

servoIzqInf.write(0);
servoIzqSup.write(0);
servoDerSup.write(0);
servoDerInf.write(0);

valorRefHorizontalidad = 0;

valorReferenciaTemperatura = (20 + 50.0) * (1023.0/500.0);
valorReferenciaHumedad = 40;
valorReferenciaTension = 220;

servoDuctoAC.attach(10);
servoDuctoAC.write(0);

servoCompuertaVentilacion.attach(11);
servoCompuertaVentilacion.write(0);

pinMode(7,OUTPUT);
pinMode(8,OUTPUT);

digitalWrite(7,LOW);
digitalWrite(8,HIGH);
}

void loop()
{
    float temperatura = analogRead(PIN_LM35);

    controlDeTemperatura(temperatura);
    controlDeHumedad(temperatura);

    controlHorizontalidad(A0,0);
    controlHorizontalidad(A1,1);
    controlHorizontalidad(A2,2);
    controlHorizontalidad(A3,3);

    controlRedundanciaGeneradores();
}

////////////////////////////////////

void controlRedundanciaGeneradores()
{
    int tensionProveedor = analogRead(A5);

    // Tolerancia del 10%
    int tensionMapeada = map(tensionProveedor,0,1023,0,300);
    int error = valorReferenciaTension - tensionMapeada;

    Serial.print("Valor de Tension Mapeada : ");
    Serial.println(tensionMapeada);

    Serial.print("Valor del Error - Tension : ");
    Serial.println(error);

    if(abs(error) >= 22)
    {
        //PROVEEDOR
        digitalWrite(8,LOW);

        //GENERADOR
        digitalWrite(7,HIGH);
        return;
    }
}

```

```

    digitalWrite(7,LOW);
    digitalWrite(8,HIGH);
}

void controlHorizontalidad(uint8_t unPin, int index)
{
    deltaT = tiempoF - tiempoI;
    tiempoI = millis();
    srand(millis());

    // Generamos el valor de realimentacion dada la falta de un sensor
    int realimentacion = digitalRead(unPin);

    if(!realimentacion){
        servos[index].write(0);
        return;
    }

    int valor_aleatorio = abs(rand()) % 25 + 1;
    int error = valorRefHorizontalidad - valor_aleatorio;
    errorAcumuladoHoriz += deltaT * error;

    Serial.print("El valor de realimentacion f es:");
    Serial.println(valor_aleatorio);

    int valorSalida = kpHorizontalidad * error + kiHorizontalidad * errorAcumuladoHoriz;
    valorSalida = map(valorSalida,0,25,0,180);

    Serial.print("El valor de SALIDA es:");
    Serial.println(valorSalida);

    servos[index].write(abs(valorSalida));

    tiempoF = millis();
}

void controlDeTemperatura(float temperatura)
{
    deltaT = abs(tiempoF - tiempoI); // Porque la simulación anda mal
    tiempoI = millis();

    float error = valorReferenciaTemperatura - temperatura;
    errorAcumuladoTemp += deltaT * error;

    Serial.print("El valor de temperatura es:");
    Serial.println(ler_temperatura_lm35(temperatura));

    int valorSalida = kpTemperatura * error + kiTemperatura * errorAcumuladoTemp;

    Serial.print("El valor de salida es:");
    Serial.println(valorSalida);
    valorSalida = map(valorSalida,-500,500,0,255);

    //Control aire acondicionado frio, ON - OFF
    //Control Compuerta aire acondicionado, Proporcional Integral
    if(error < 0)
    {
        digitalWrite(PIN_AIRE_FRIO,HIGH);
        servoDuctoAC.write(abs(valorSalida));
    }
    else
    {
        digitalWrite(PIN_AIRE_FRIO,LOW);
        servoDuctoAC.write(0);
    }
}

```

```

    }

    tiempoF = tiempoI;
}

void controlDeHumedad(float temperatura)
{
    float humedad = map(temperatura,100,200,95,5);

    float error = valorReferenciaHumedad - humedad;
    Serial.print("Error: ");
    Serial.println(error);

    Serial.print("El valor del porcentaje de humedad es:");
    Serial.print(humedad);
    Serial.println("%");

    int valorSalida = kpHumedad * error;
    valorSalida = map(valorSalida,5,95,0,255);
    Serial.print("Valor salida: ");
    Serial.println(valorSalida);

    //Control humidificador, ON - OFF
    //Control compuerta ventilacion - Proporcional
    if(error > 0)
    {
        digitalWrite(PIN_HUMIDIFICADOR,HIGH);
        servoCompuertaVentilacion.write(0);
    }
    else if(error < 0)
    {
        digitalWrite(PIN_HUMIDIFICADOR,LOW);
        servoCompuertaVentilacion.write(abs(valorSalida));
    }
    else
    {
        digitalWrite(PIN_HUMIDIFICADOR,LOW);
        servoCompuertaVentilacion.write(0);
    }
}

////////////////////////////////////

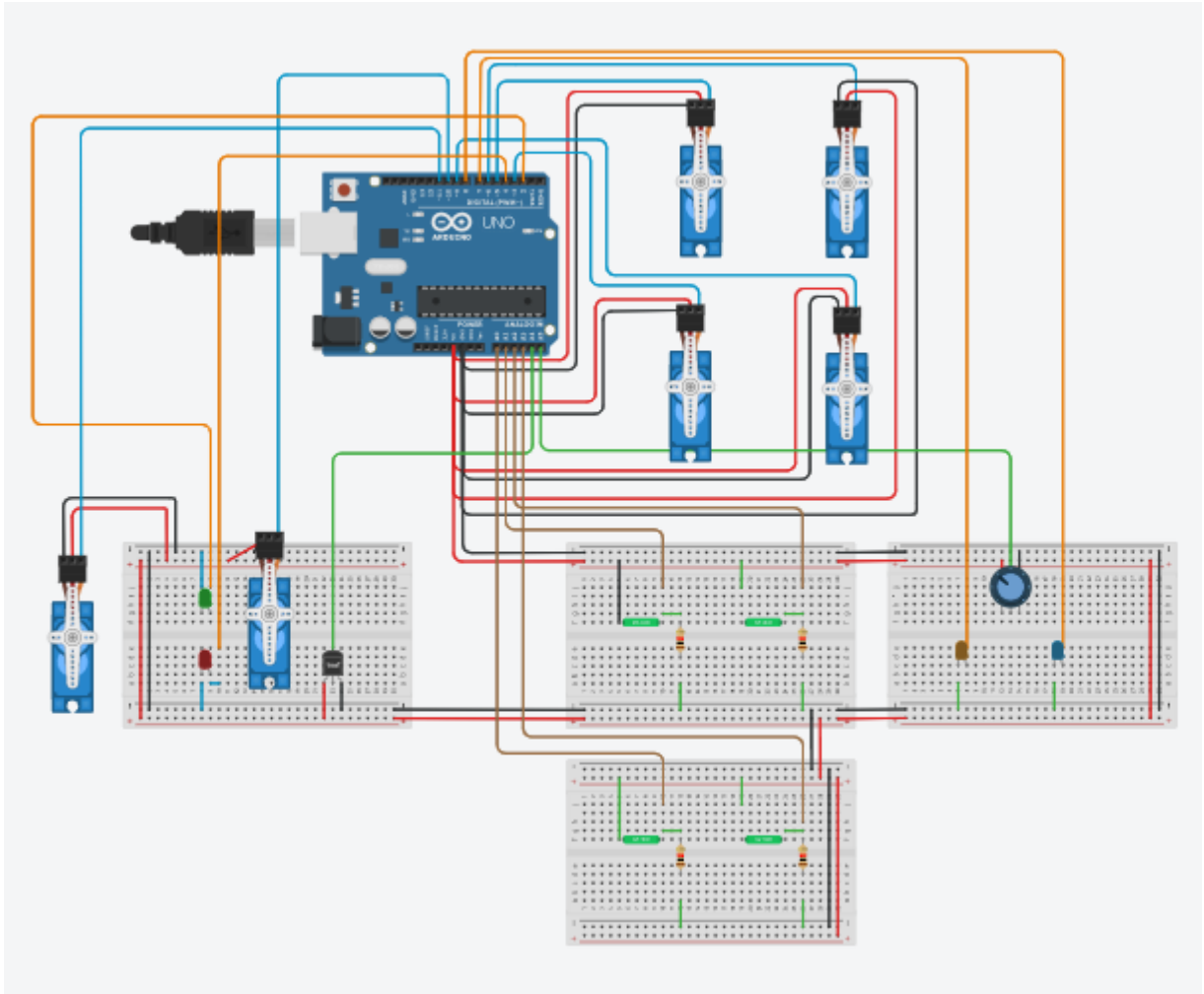
float leer_temperatura_lm35(float una_lectura)
{
    float temperatura = ( una_lectura * (500.0 / 1023.0) ) - 50.0;
    return temperatura;
}

////////////////////////////////////

```

## Simulación

[https://www.tinkercad.com/things/f6mvw3NI768?sharecode=Yp9mzx3idFi5ajsQX0OvhR0jZBQmU\\_mH5NuKe8D2oLQ](https://www.tinkercad.com/things/f6mvw3NI768?sharecode=Yp9mzx3idFi5ajsQX0OvhR0jZBQmU_mH5NuKe8D2oLQ)



## **Referencias**

- [1] Data centers: definición, tareas y estructura - IONOS [en línea]. Disponible en: <https://www.ionos.es/digitalguide/servidores/know-how/que-es-un-data-center/>
- [2] ¿Qué es un Data Center? [en línea]. Disponible en: <https://www.kionetworks.com/blog/data-center/qu%C3%A9-es-un-data-center>
- [3] Te contamos cuál es la importancia de la climatización de un data center [en línea]. Disponible en: <https://www.kionetworks.com/blog/data-center/importancia-de-la-climatizaci%C3%B3n-de-un-data-center>
- [4] Diagrama de bloques del sistema de control de temperatura y humedad... | Download Scientific [en línea]. Disponible en: [DiagramaDiagramhttps://www.researchgate.net/figure/Diagrama-de-bloques-del-sistema-de-control-de-temperatura-y-humedad-relativa\\_fig4\\_320503407](https://www.researchgate.net/figure/Diagrama-de-bloques-del-sistema-de-control-de-temperatura-y-humedad-relativa_fig4_320503407)
- [5] Mantener Frescos los Data Centers - AKRIBIS [en línea]. Disponible en: <https://www.akribis.info/web/mantener-frescos-los-data-centers/>
- [6] DHT11 datasheet(1/9 Pages) ETC | DHT11 Humidity & Temperature Sensor [en línea]. Disponible en: <https://html.alldatasheet.com/html-pdf/1440068/ETC/DHT11/60/1/DHT11.html>
- [7] TMP35/TMP36/TMP37 - Low Voltage Temperature Sensors [en línea]. Disponible en: [https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/TMP35\\_36\\_37.pdf](https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/TMP35_36_37.pdf)
- [8] HUMIDITY SENSOR MODULE [en línea]. Disponible en: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/HH10D.pdf>
- [9] SITRANS TS100 | Temperature Measurement | Siemens Global [en línea]. Disponible en: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/process-instrumentation/temperature-measurement/sensor-sitrans-ts100.html>
- [10] MMA7361L  $\pm 1.5g$  - 6g Three Axis Low-g Micromachined Accelerometer [en línea]. Disponible en: <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MMA7361L.pdf>
- [11] BAILIN ELECTRONICS CO.,LTD - SW-520 Roll Ball Switch [en línea]. Disponible en: <http://funduino.de/DL/SW-520D.pdf>
- [12] HS-420 Accelerometer [en línea]. Disponible en: <https://www.hansfordsensors.com/wp-content/uploads/datasheets/TS029.pdf>
- [13] AC Voltmeter using Arduino [en línea] Disponible en: <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/arduino-ac-voltmeter>

[14] ZMPT101B Current-type Voltage Transformer [en línea] Disponible en:  
<https://5nrwxhmqgijik.leadongcdn.com/ZMPT101B+specification-aidijBqoKomRilSqqokpjkp.pdf>

[15] Qué es un data center Tier III-3, especificaciones [en línea]. Disponible en:  
<https://blog.hostdime.com.co/que-es-data-center-tier-iii-3-especificaciones/>

Figura 1: <https://www.arsat.com.ar/avanzamos-en-el-desarrollo-de-la-nube-publica-nacional/>