



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE**

**DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA**

**TEMA: “ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN CONTROLADOS ELECTRÓNICAMENTE EN VEHÍCULOS Y ANÁLISIS DEL CONFORT EN UN HABITÁCULO A TRAVÉS DE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO FANGER”**

**AUTORES: DE LA CRUZ GUAYASAMIN MICHAEL VINICIO**

**DIRECTOR: ING. QUIROZ ERAZO LEONIDAS ANTONIO**



# Método FANGER

Método que describe como el valor de la temperatura de confort térmico puede definirse en términos del estado físico de las personas, y no en términos de las condiciones del ambiente térmico. En consecuencia, ese valor puede derivarse de una ecuación de balance térmico humano para que una persona dada a un nivel de actividad dado



## ECUACIONES

$$S = M - W - Ed - E - Eres - Cres - R - C [Wm^{-2}]$$

Donde:

- S= Acumulación de calor en el cuerpo.
- M= Trabajo mecánico externo.
- W= Energía metabólica producida por el organismo.
- Ed= Perdidas de calor por la difusión de agua por la piel.
- E= Perdida de calor por evaporación del sudor.
- Eres= Perdida de calor latente por respiración.
- Cres= Perdidas de calor sensible por respiración.
- R= Perdidas de calor por radiación.
- C= Perdidas de calor por conversión.



# ECUACIONES

**Tabla 1. Ecuaciones método Fanger**

Especificación	Descripción	Fuente
Temperatura media de la piel	$t_{sk} = 35.7 - 0.0285 \cdot t_m$	(Ambrosio & Palella, 2013)
Presión parcial vapor de agua	$Pa = \left(\frac{h_r}{100}\right) \cdot e^{\left(18.6686 - \frac{4030.183}{ta+235}\right)}$	(Diego & Antonio, 2015)
Factor de superficie de la ropa	$f_{cl} = \begin{cases} 1 + 1.29 \cdot I_{cl} & I_{cl} \leq 0.078 \frac{m^2 \cdot k}{w} \\ 1.05 + 0.645 \cdot I_{cl} & I_{cl} > 0.078 \frac{m^2 \cdot k}{w} \end{cases}$	(ISO 7730, 2006).
Perdida de calor por evaporación de sudor	$E = 0.42 \cdot (tm - 58)$	(ISO 7730, 2006).



# ECUACIONES

Especificación	Descripción	Fuente
Perdida de calor por difusión de agua por la piel	$E_d = 3.05 \cdot (0.255 \cdot t_{sk} - 3.36 - Pa)$	(Ambrosio & Palella, 2013)
Perdida de calor latente por respiración	$E_{res} = 1.73 \cdot 10^{-2} \cdot tm \cdot (5.867 - Pa)$	(Ambrosio & Palella, 2013)
Perdida de calor sensible por respiración	$C_{res} = 1.4 \cdot 10^{-3} \cdot tm \cdot (34 - ta)$	(Ambrosio & Palella, 2013)
Temperatura de superficie de la ropa	$t_{lc} = t_{sk} - I_{cl} \cdot (tm - W - E - E_d - h_{res} - s)$	(Ambrosio & Palella, 2013)



# ECUACIONES

Especificación	Descripción	Fuente
<b>Coefficiente de transferencia de calor por convección</b>	$h_c = \begin{cases} 2.38 \cdot  t_{lc} - ta ^{0.25} & 2.38 \cdot  t_{lc} - ta ^{0.25} > 12.1 \cdot \sqrt{va} \\ 12.1 \cdot \sqrt{va} & 2.38 \cdot  t_{lc} - ta ^{0.25} < 12.1 \cdot \sqrt{va} \end{cases}$	(ISO 7730, 2006).
<b>Coefficiente de transferencia de calor por radiación</b>	$H_r = 5.66 \cdot 10^{-8} \cdot 0.95 \cdot 0.77 \cdot \left( \frac{(t_{lc} + 273)^4 - (tr + 273)^4}{(t_{lc} - tr)} \right)$	(Ambrosio & Palella, 2013)
<b>Perdida de calor por convección</b>	$C = f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{lc} - ta)$	(Ambrosio & Palella, 2013)



# ECUACIONES

Especificación	Descripción	Fuente
Perdida de calor por radiación	$R = f_{cl} \cdot H_r \cdot (t_{lc} - t_r)$	(Ambrosio & Palella, 2013)
Voto medio previsto	$PMV = (0.303 \cdot e^{-0.036 \cdot tm} + 0.028) \cdot S$	(Ambrosio & Palella, 2013)
Porcentaje de personas insatisfechas	$PPD = 100 - 95 \cdot e^{(-0.03353 \cdot PMV^4 - 0.2179 \cdot PMV^2)}$	(Ambrosio & Palella, 2013)



# Aplicación Android



*Figura 1 Aplicación Android método Fanger*





# Aplicación java

MÉTODO FANGER



## HERRAMIENTA DE CONFORT TÉRMICO MÉTODO FANGER ISO 7730

AUTORES: ING. MSC. QUIROZ ERAZO LEONIDAS ANTONIO, DE LA CRUZ GUAYASAMIN MICHAEL VINICIO



Ingeniería  
**AUTOMOTRIZ**  
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

### ENTRADAS

Temperatura del aire

°C

Temperatura radiante media

°C

Velocidad del aire

m/s

Humedad relativa

%

Tasa metabólica

met

Sentado, tranquilo: 1.0

Aislamiento térmico

clo

Pantalones cortos para caminar, camisa de manga corta: 0.36 clo

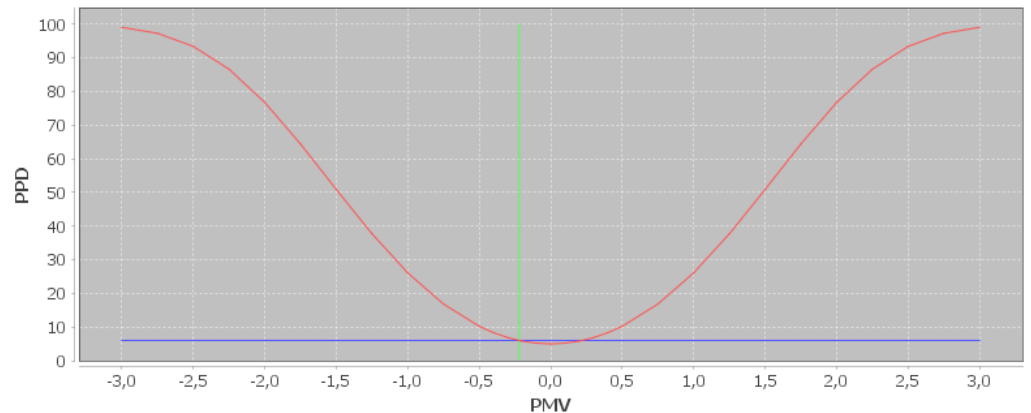
CUMPLE CON LA NORMATIVA ISO 7730

IDEAL

PMV= -0.22

PPD= 6.02

### GRAFICA PMV & PPD



— Estandar — PPD — PMV

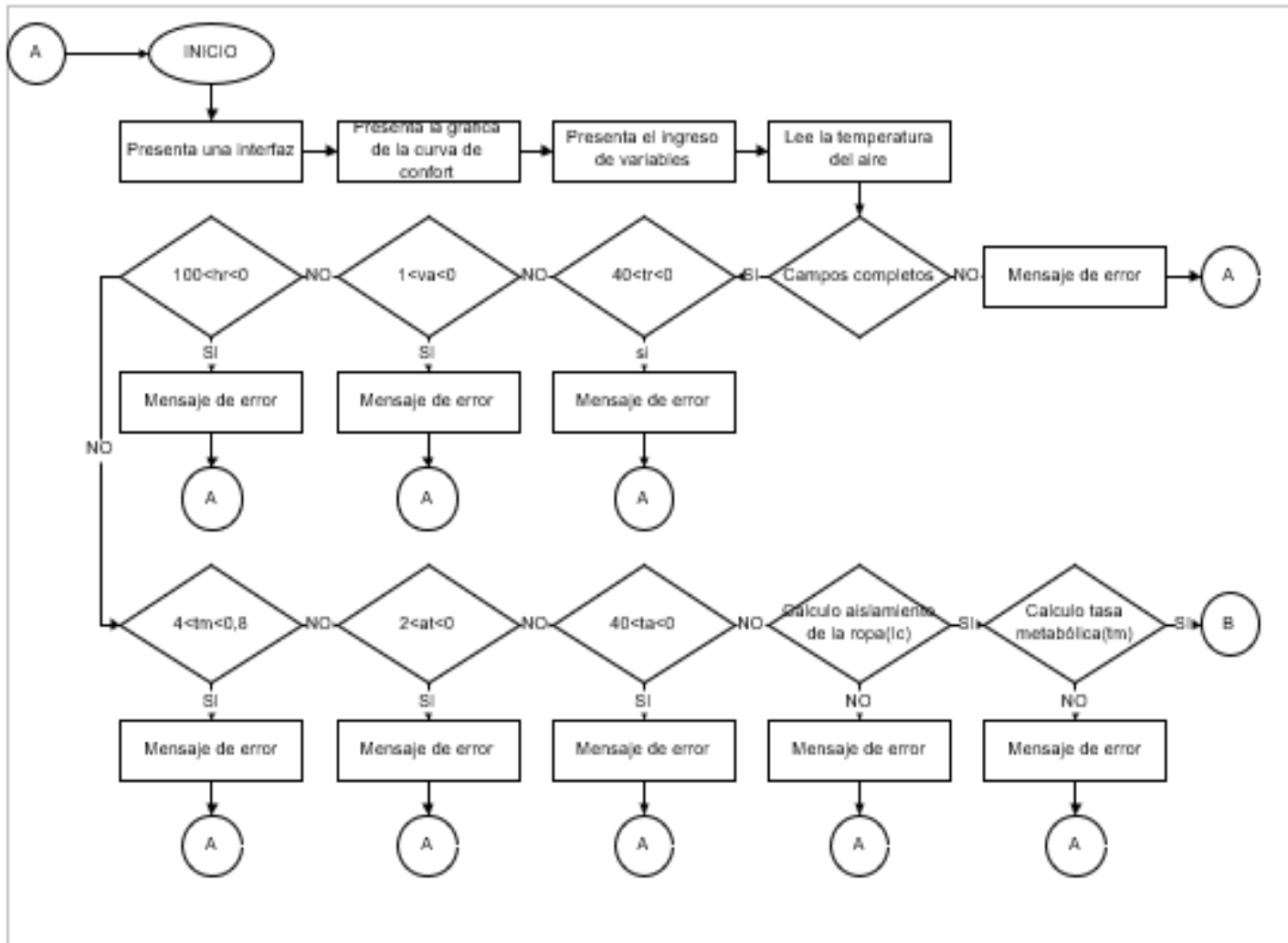
Salir

Figura 2 Aplicación java método Fanger

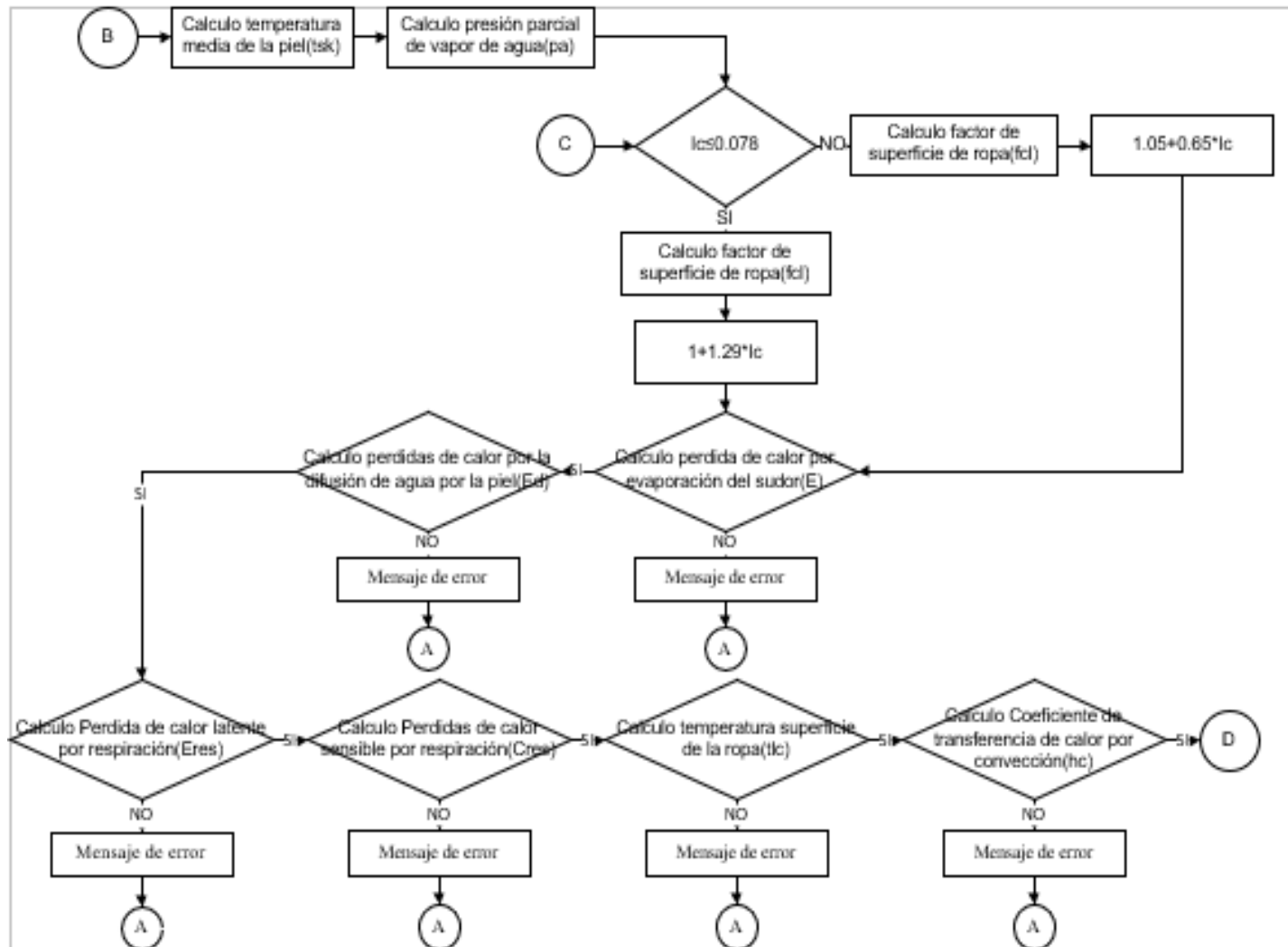


**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

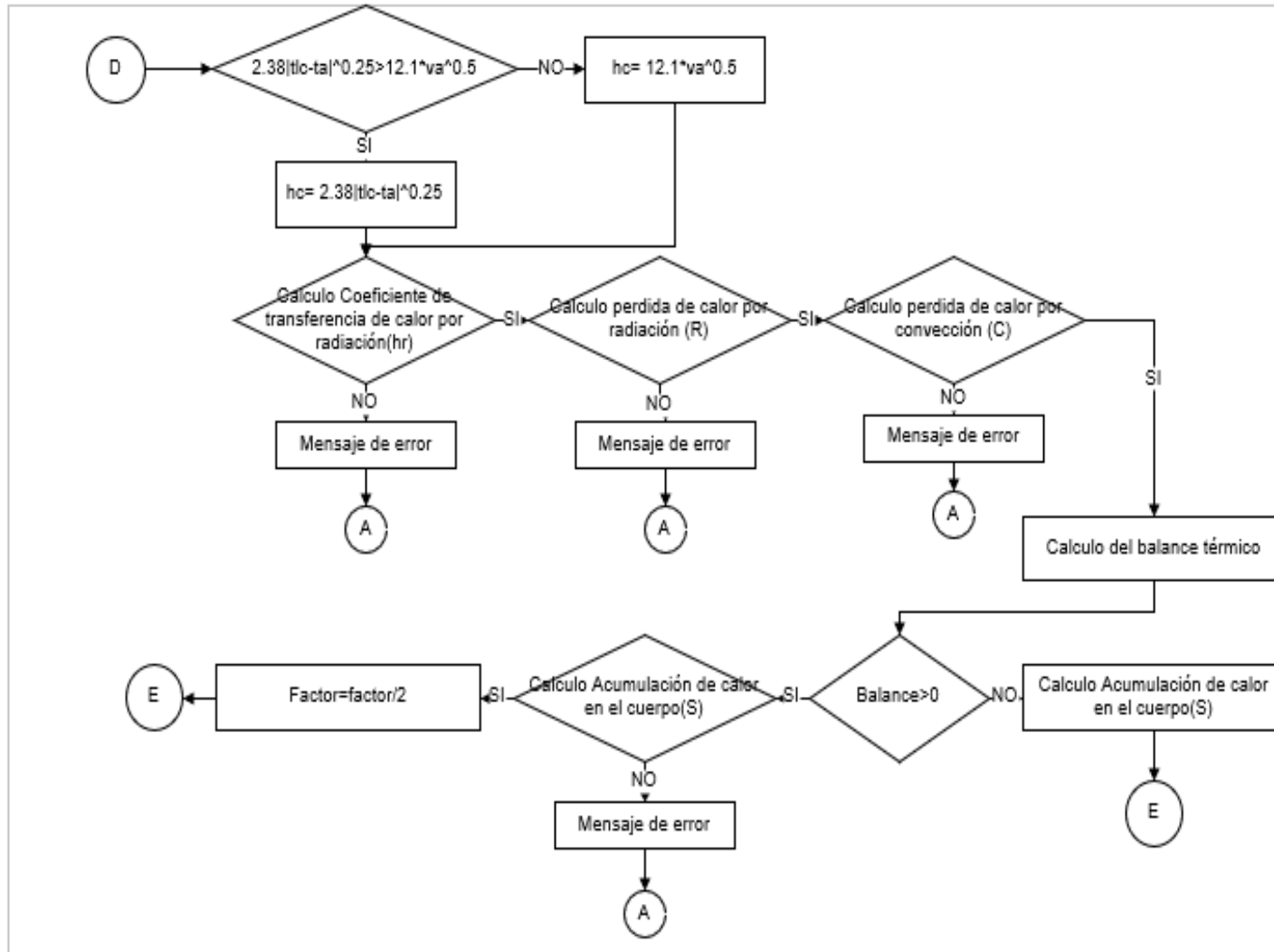
# Diagrama de flujo programación Android



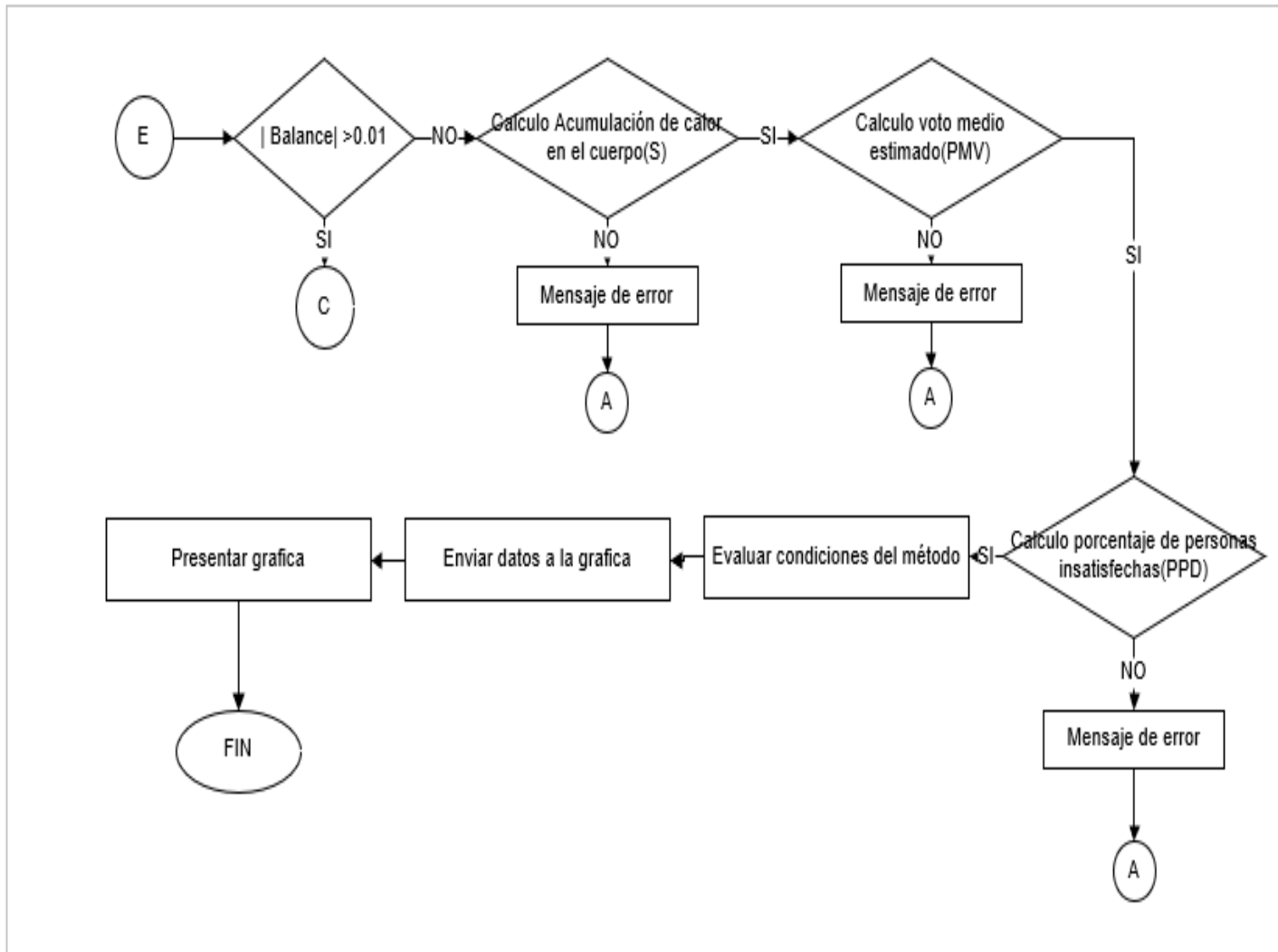
# Diagrama de flujo programación Android



# Diagrama de flujo programación Android



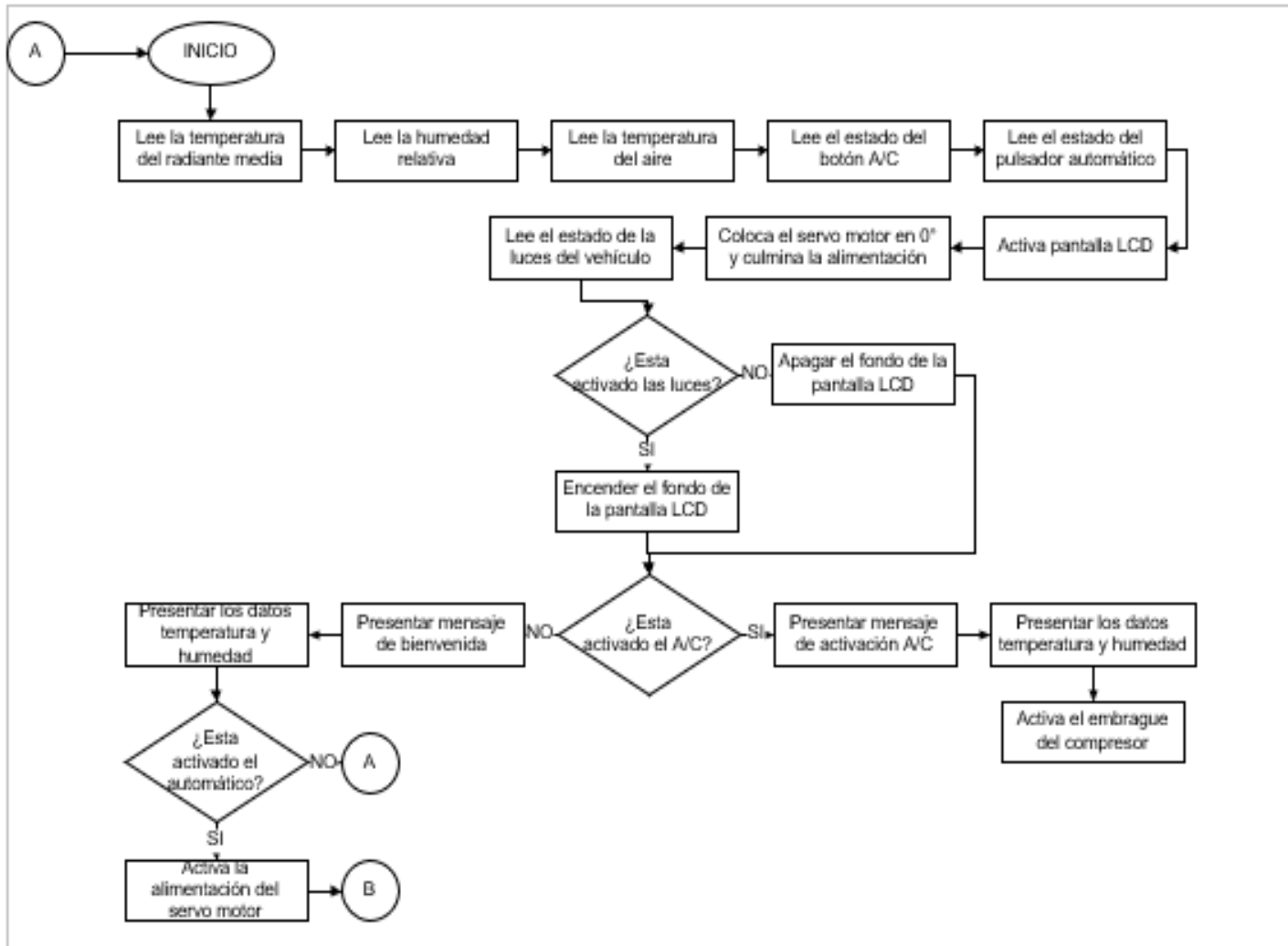
# Diagrama de flujo programación Android



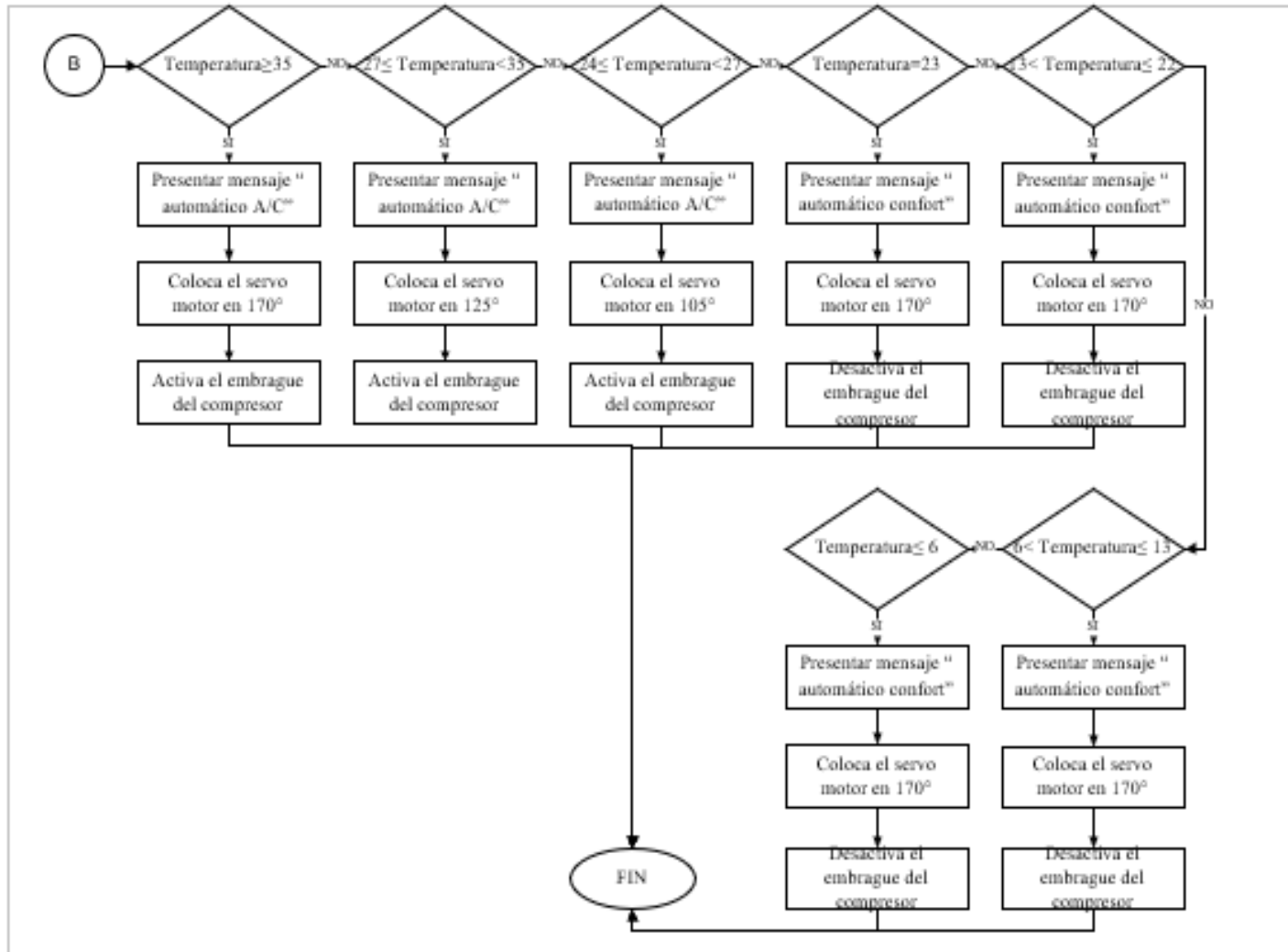
# Programación Arduino

- La programación en Arduino está enfocada en el control de los actuadores del sistema de climatización del vehículo por medio de los datos tomados por los diferentes sensores presentes en el habitáculo.
- Esta programación en el microcontrolador Atmel 2560 de la placa Arduino mega se dio mediante un lenguaje de programación nivel senior examinando puertos de entrada y salida, con una sintaxis simplificada.

# Diagrama de flujo programación Arduino



# Diagrama de flujo programación Arduino





# Instalación del módulo de automatización

- En la figura 3 se muestra la instalación del control de trampillas por medio de un servo motor, el cual fue seleccionado de acuerdo a sus especificaciones establecidas en el Anexo B, se encuentra ubicado en la parte posterior del panel de control del sistema.



*Figura 3 Instalación servo motor MG995*



# Instalación del módulo de automatización

- En la figura 4 se observa la instalación del sensor de temperatura en los conductos del sistema de climatización, el cual nos permite obtener los valores de temperatura del aire, la temperatura relativa y humedad son censadas por medio del sensor ubicado debajo del volante del conductor.



*Figura 4 Instalación del sensor DHT22*



# Instalación del módulo de automatización

- El circuito de control comandado por la placa Arduino se colocó en una base de madera en la parte derecha del habitáculo, permitiendo la manipulación optima de los componentes del sistema de climatización.

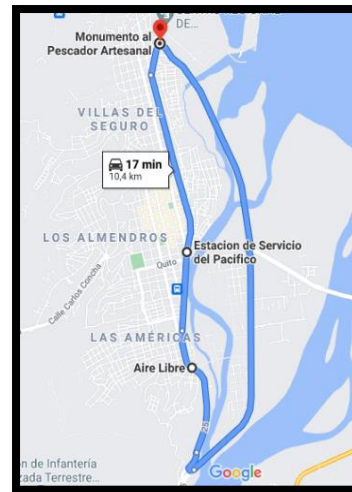


*Figura 5 Instalación de la placa Arduino AtMega2560*



## *Ruta urbana*

- El cantón con mayor superficie de la provincia es Esmeraldas, debido a esta condición presenta un nivel de afluencia vehicular elevada siendo la opción principal para realizar el estudio de ruta urbana, por ello se analizará en sus principales avenidas:



*Figura 6 Ruta Urbana*



## *Ruta de carretera*

- La provincia de Esmeraldas presenta dos cantones con un grado de afluencia alto Atacames y Esmeraldas debido al turismo, convirtiendo a estos en las opciones principales para realizar el estudio de ruta de carretera,

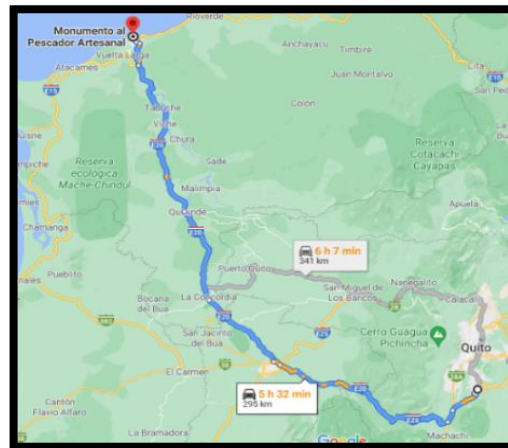


*Figura 7 Ruta de carretera*



## *Ruta conducción prolongada*

- El trayecto presente entre la provincia de Pichincha ubicada en la Región Sierra y la provincia de Esmeraldas ubicada en la Región Costas, disponen de una gran variedad de los factores ambientales en su trayecto, convirtiendo a este recorrido en idóneo para las pruebas a realizar.



*Figura 8 Ruta conducción prolongada*



**Tabla 2 Pruebas de estrés térmico ruta urbana**

HOJA DE PROTOCOLO MEDICIÓN										
Nombre y apellido	De la Cruz Vinicio		Observaciones: Integración pruebas con A/C					Fecha de muestreo		
Ruta	Esmeraldas							18/7/2021		
		Modulo activo			Modulo desactivado					
Medidas	Unidad	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Instrumento	Rango	Presicion
<b>Datos basicos</b>										
Hora	h	10:30	11:20	11:45	13:00	13:35	14:25	Reloj	24H	
Lugar								GPS		
<b>Factores corporales</b>										
Temperatura corporal	°C	35,9	35,83	35,63	36,5	37,77	37,03	Termometro digital	32° C~42.0° C	± 0. 1° C
Oxigeno en la sangre	%	97,67	97,67	97	96,33	98	97,67	Oximetro	0% ~ 100%	± 2%
Ritmo cardiaco	lpm	73	65,33	65,33	69	77,67	74,67	Oximetro	30 lpm ~ 250 lpm	± 2%
Presión arterial(sistolica)	mmHg	118,33	106,33	111,67	119	113,33	115,00	Tensiometro digital	0 a 299 mmHg	± 3 mmhg
Presión arterial(diastolica)	mmHg	63,67	59,33	63	66,67	64	60,67	Tensiometro digital	0 a 299 mmHg	± 3 mmhg
Nivel de estres		49,67	41,33	40,33	44,33	47,33	50,67	Mi Smart Band 6	0-100	± 2%
<b>Factores ambientales</b>										
Temperatura del aire	°C	11	12,33	11,67	37,67	43	31,33	Sensor DHT22	-40°C a 80 °C	<±0.5 °C
Temperatura radiante media	°C	26,33	26,33	26,33	34	39	36,00	Sensor DHT22	-40°C a 80 °C	<±0.5 °C
Humedad relativa (habitaculo)	%	36	36	36	71,67	66,67	61,67	Sensor DHT22	0 a 100% RH	2% RH
Humedad relativa (ambiente)	%	56,33	52	59,33	43,33	45	50,33	Termometro higrometro	10% ~ 99% RH	-/+ 10% RH
Temperatura ambiente	°C	29,83	30,8	28,83	32,83	33,63	31,13	Termometro higrometro	-50 ~ + 70 °C	+/-2°C
Velocidad del aire	m/s	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	Anemometro	1 - 30 m / s	+/- 5%
<b>Método Fanger</b>										
Voto medio previsto (PMV)		-0,89	-0,76	-0,81	3	3	2,97	Aplicacion android	-3/3	<±0.5
Porcentaje de personas disconformes (PPD)	%	21,68	17,12	18,85	100	100	98,66	Aplicación android	0%-100%	<±0.5



**Tabla 3 Pruebas de estrés térmico ruta de carretera**

HOJA DE PROTOCOLO MEDICIÓN										
Nombre y apellido	De la Cruz Vinicio	Observaciones: Integración pruebas con A/C						Fecha de muestreo		
Ruta	Esmeraldas-Atacames							18/7/2021		
		Modulo activo			Modulo desactivado					
Medidas	Unidad	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Instrumento	Rango	Presición
Datos basicos										
Hora	h	13:30	14:45	13:25	15:45	16:45	17:45	Reloj	24H	
Lugar								GPS		
Factores corporales										
Temperatura corporal	°C	35,37	35,03	35,93	36,63	36,87	36,53	Termometro digital	32° C~42.0° C	± 0. 1° C
Oxigeno en la sangre	%	94,33	96,33	93,33	97,33	98	98,00	Oximetro	0% ~ 100%	± 2%
Ritmo cardiaco	lpm	60,33	65,33	74,67	74	82,67	73,33	Oximetro	30 lpm ~ 250 lpm	± 2%
Presión arterial(sistolica)	mmHg	112	120,33	116	112,67	121,33	113,67	Tensiometro digital	0 a 299 mmHg	± 3 mmhg
Presión arterial(diastolica)	mmHg	64	67	63,33	64,33	67,67	66,67	Tensiometro digital	0 a 299 mmHg	± 3 mmhg
Nivel de estres		25,67	28,33	38,33	53,33	57,33	46,00	Mi Smart Band 6	0-100	± 2%
Factores ambientales										
Temperatura del aire	°C	14	13	11,67	32,33	36,33	32,33	Sensor DHT22	-40°C a 80 °C	<±0.5 °C
Temperatura radiante media	°C	28	28,67	28	33,67	35,33	33,33	Sensor DHT22	-40°C a 80 °C	<±0.5 °C
Humedad relativa (habitaculo)	%	40,67	34,67	35,33	66	66,33	67,67	Sensor DHT22	0 a 100% RH	2% RH
Humedad relativa (ambiente)	%	68	61,33	55	51,33	53,67	50,57	Termometro higrometro	10% ~ 99% RH	-/+ 10% RH
Temperatura ambiente	°C	28,3	30,7	29,43	30,6	31,13	31,67	Termometro higrometro	-50 ~ + 70 °C	+/-2°C
Velocidad del aire	m/s	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	Anemometro	1 - 30 m / s	+/- 5%
Método Fanger										
Voto medio previsto (PMV)		-0,33	-0,42	-0,66	2,64	3	2,62	Aplicacion android	-3/3	<±0.5
Porcentaje de personas disconformes (PPD)	%	7,24	8,67	14,02	95,93	100	95,60	Aplicación android	0%-100%	<±0.5





**Tabla 4 Pruebas de estrés térmico ruta conducción prolonga**

HOJA DE PROTOCOLO MEDICIÓN																
Nombre y apellido	De la Cruz Vinicio		Observaciones: Ninguna										Fecha de muestreo			
Ruta	Sangolqui - Esmeraldas												15/7/2021			
		Modulo activo						Modulo desactivado								
Medidas	Unidad	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	Toma 6	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	Toma 6	Instrumento	Rango	Presicion
Datos basicos																
Hora	h	8:20	10:00	11:55	13:15	14:45	16:50	13:50	14:50	16:20	17:40	19:00	20:30	Reloj	24H	
Lugar														GPS		
Factores corporales																
Temperatura corporal	°C	35,5	35,9	35,9	36,7	36,2	35,8	35,6	38,3	36,6	36,6	36,2	36,7	Termometro digital	32° C~42.0° C	± 0. 1° C
Oxigeno en la sangre	%	94	97	98	98	97	99	96	97	97	97	96	95,00	Oximetro	0% ~ 100%	± 2%
Ritmo cardiaco	lpm	77	67	68	68	70	60	70	84	79	78	59	52,00	Oximetro	30 lpm ~ 250 lpm	± 2%
Presión arterial(sistolica)	mmHg	122	119	130	120	100	124	104	109	122	118	126	112,00	Tensiometro digital	0 a 299 mmHg	± 3 mmhg
Presión arterial(diastolica)	mmHg	71	67	72	73	58	69	58	60	63	64	68	71,00	Tensiometro digital	0 a 299 mmHg	± 3 mmhg
Nivel de estres		47	39	41	50	48	30	57	45	48	48	52	9	Mi Smart Band 6	0-100	± 2%
Factores ambientales																
Temperatura del aire	°C	14	18	22	12	20	12	10	40	35	34	21	18,00	Sensor DHT22	-40°C a 80 °C	<±0.5 °C
Temperatura radiante media	°C	16	26	26	26	26	26	29	39	36	33	26	24,00	Sensor DHT22	-40°C a 80 °C	<±0.5 °C
Humedad relativa (habitaculo)	%	68	31	34	36	36	36	32	57	63	73	65	48,00	Sensor DHT22	0 a 100% RH	2% RH
Humedad relativa (ambiente)	%	62	40	50	44	74	73	43	50	36	58	64	48,00	Termometro higrometro	10% ~ 99% RH	+/- 10% RH
Temperatura ambiente	°C	23,9	28,8	27,9	26,4	25,7	28,1	30,2	34,4	30,7	26,7	21,7	25,03	Termometro higrometro	-50 ~ + 70 °C	+/-2°C
Velocidad del aire	m/s	0,1	0,1	0,1	0,1		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1		0,1	Anemometro	1 - 30 m / s	+/- 5%
Método Fanger																
Voto medio previsto (PM)		-1,32	-0,04	0,46	-0,79	0,22	-0,79	-0,78	3	3	2,85	0,48	-0,16	Aplicacion android	-3/3	<±0.5
Porcentaje de personas disconformes (PPD)	%	41,2	5,04	9,33	18,02	5,96	18,02	17,81	100	100	98,23	9,83	5,54	Aplicación android	0%-100%	<±0.5



# Análisis comparativo de los factores vinculados a las diferentes condiciones de conducción

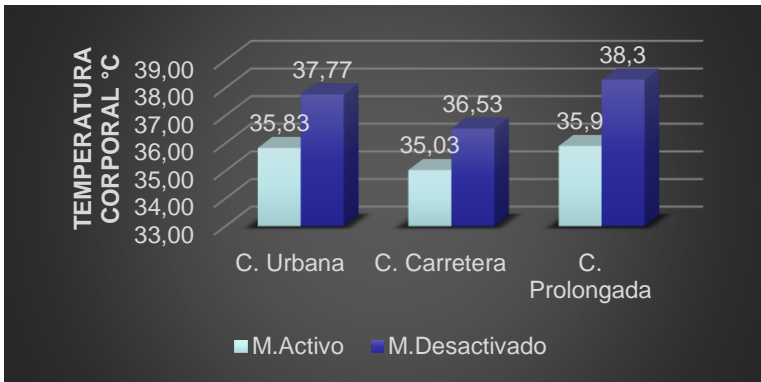


Figura 9 Comparación de resultados de la temperatura corporal en el estudio de estrés térmico

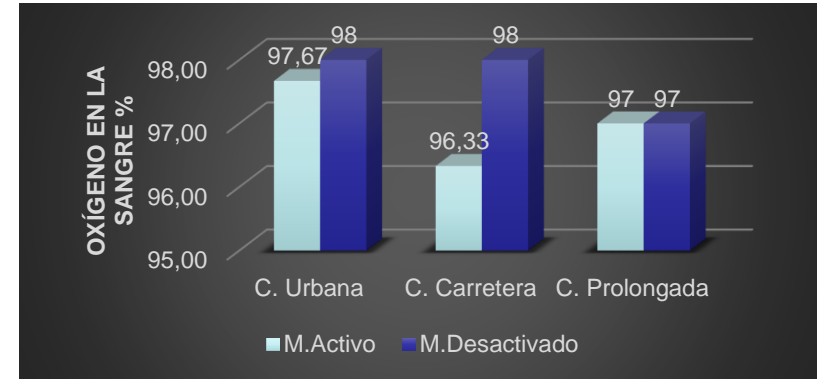


Figura 10 Comparación de resultados del oxígeno presente en la sangre en el estudio de estrés térmico

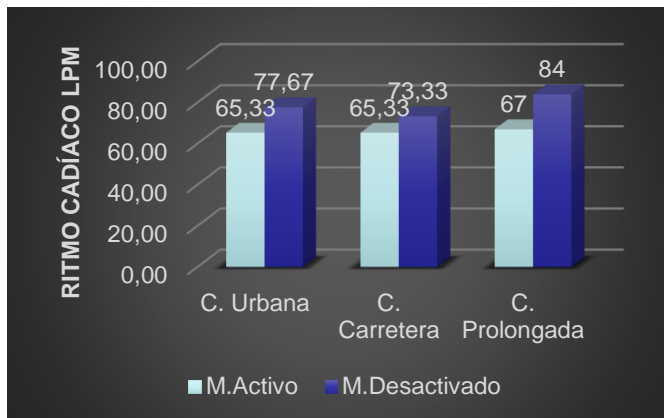


Figura 11 Comparación de resultados del ritmo cardiaco en el estudio de estrés térmico

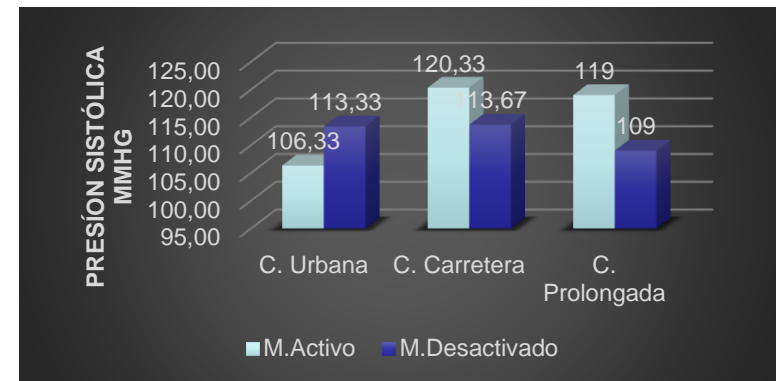


Figura 12 Comparación de resultados de la presión arterial sistólica en el estudio de estrés térmico



# Análisis comparativo de los factores vinculados a las diferentes condiciones de conducción

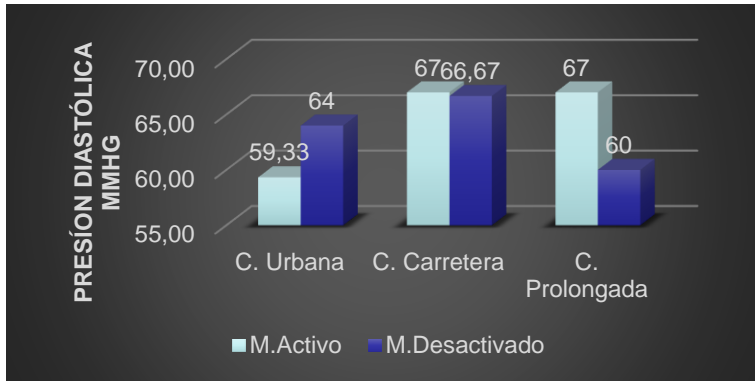


Figura 13 Comparación de resultados del nivel de estrés en el estudio de estrés térmico

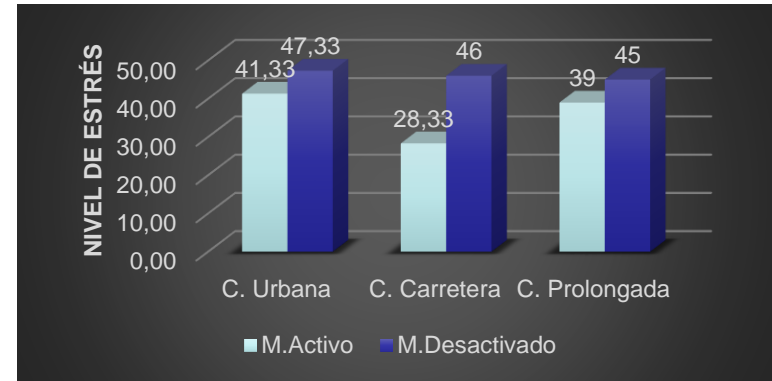


Figura 14 Comparación de resultados de la presión arterial diastólica en el estudio de estrés térmico

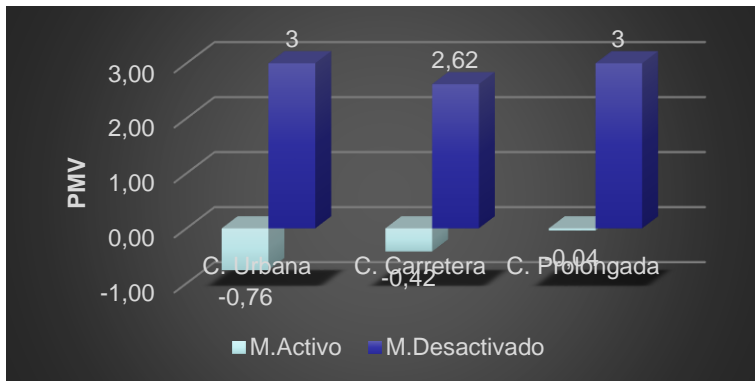


Figura 15 Comparación de resultados del voto medio previsto en el estudio de estrés térmico

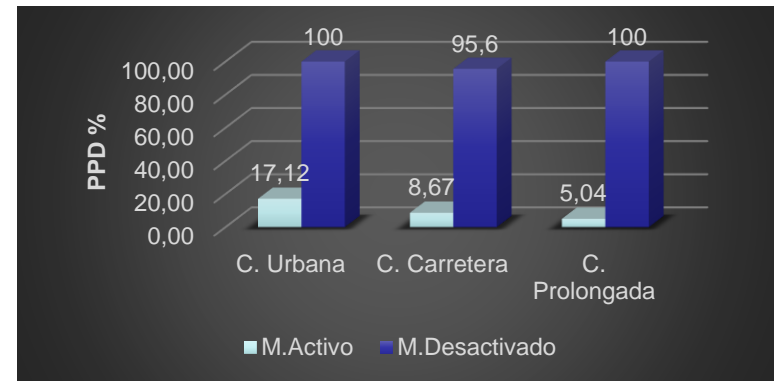


Figura 16 Comparación de resultados del porcentaje de personas disconformes en el estudio de estrés térmico

