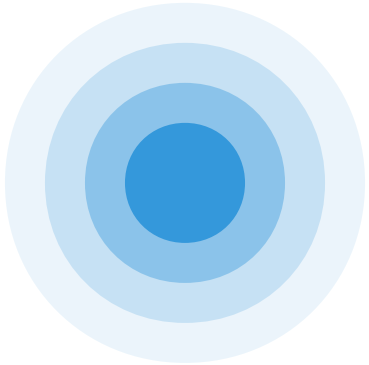
Diagramas de Arquitectura

Detector de Somnolencia para Conductores



Autores:

Jaime Alfonso Jiménez Naranjo

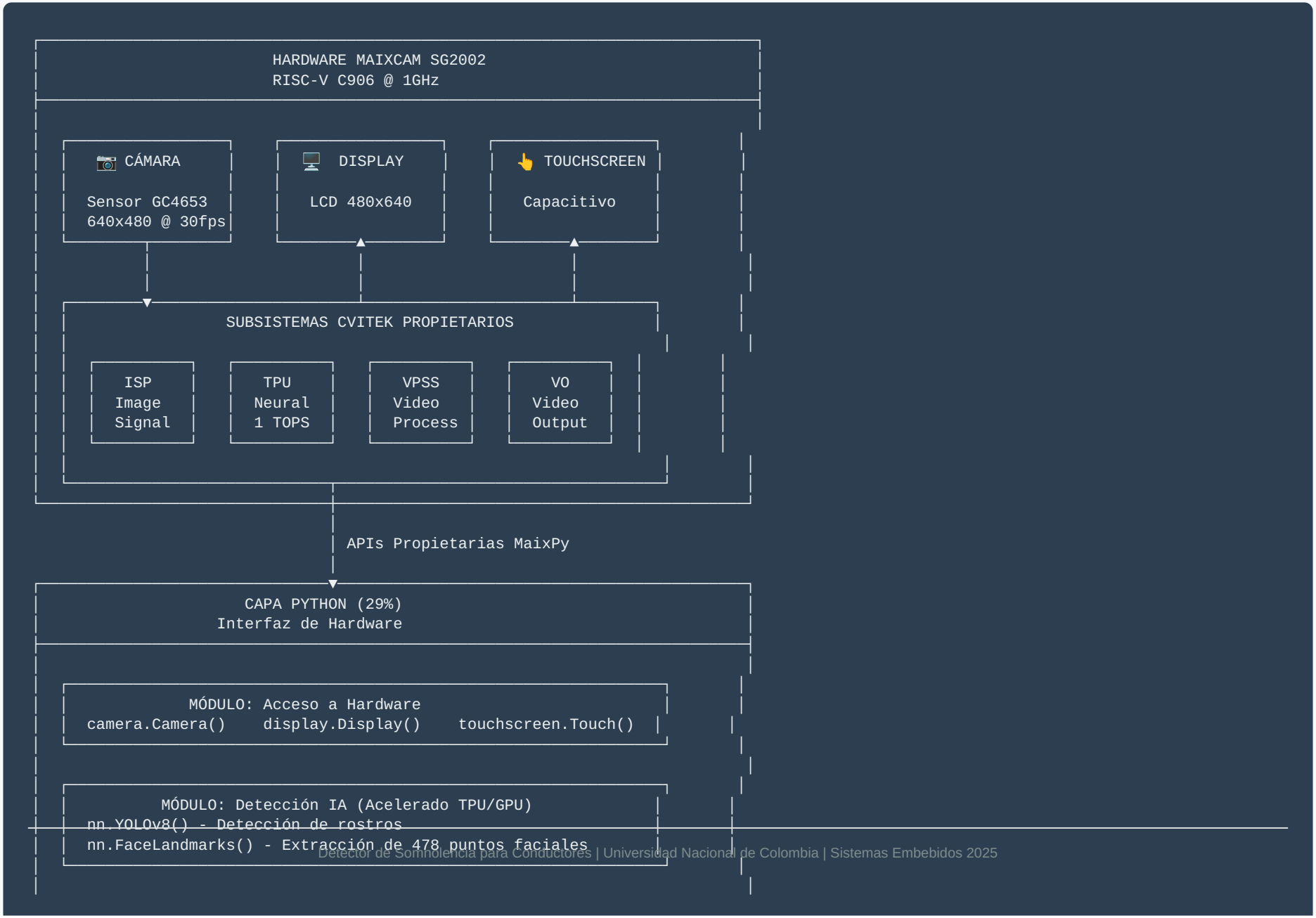
Miguel Alejandro Carvajal Medina

Daniel Sierra Peña

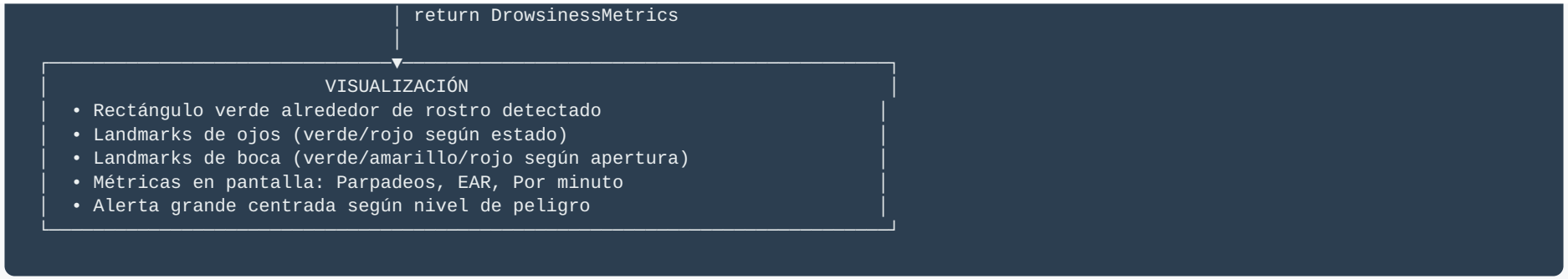
Universidad Nacional de Colombia

Sistemas Embebidos - 2025

1. Arquitectura General del Sistema


HARDWARE MAIXCAM SG2002
RISC-V C906 @ 1GHz
📷 CÁMARA
Sensor GC4653
640x480 @ 30fps
🖥️ DISPLAY
LCD 480x640
👆 TOUCHSCREEN
Capacitivo
SUBSISTEMAS CVITEK PROPIETARIOS
ISP
Image
Signal
TPU
Neural
1 TOPS
VPSS
Video
Process
VO
Video
Output
APIs Propietarias MaixPy
CAPA PYTHON (29%)
Interfaz de Hardware
MÓDULO: Acceso a Hardware
camera.Camera() display.Display() touchscreen.Touch()
MÓDULO: Detección IA (Acelerado TPU/GPU)
nn.YOLOv8() - Detección de rostros
nn.FaceLandmarks() - Extracción de 478 puntos faciales


MÓDULO: Interfaz C mediante ctypes
CDLL('libdrowsiness.so')
DrowsinessMetrics (Structure)
ctypes interface
NÚCLEO EN C PURO (71%)
libdrowsiness.so (7.9 KB)
MÓDULO: Análisis Geométrico
float distance(x1, y1, x2, y2)
float calculate_ear(Point2f* eye_points, int count)
float calculate_mar(Point2f* mouth_points, int count)
MÓDULO: Detección y Clasificación
• Parpadeo Normal (< 1.0 seg) → +2% somnolencia
• Parpadeo Largo (1.0-2.5 seg) → +15% somnolencia
• Microsueño (> 2.5 seg) → +40% somnolencia
• Bostezo (MAR > 0.70) → +10% somnolencia
MÓDULO: Análisis Temporal
• Tracking de duración de eventos
• Contador de parpadeos por minuto
• Sistema de decaimiento progresivo (-5% cada 5 seg)
• Variables estáticas globales para estado
MÓDULO: Evaluación de Nivel de Peligro
Nivel 0 (0-59%): CONDUCCIÓN SEGURA
Nivel 1 (60-79%): DESCANSO NECESARIO
Nivel 2 (80-100%): DETENER VEHÍCULO
Detector de Somnolencia para Conductores | Universidad Nacional de Colombia | Sistemas Embebidos 2025

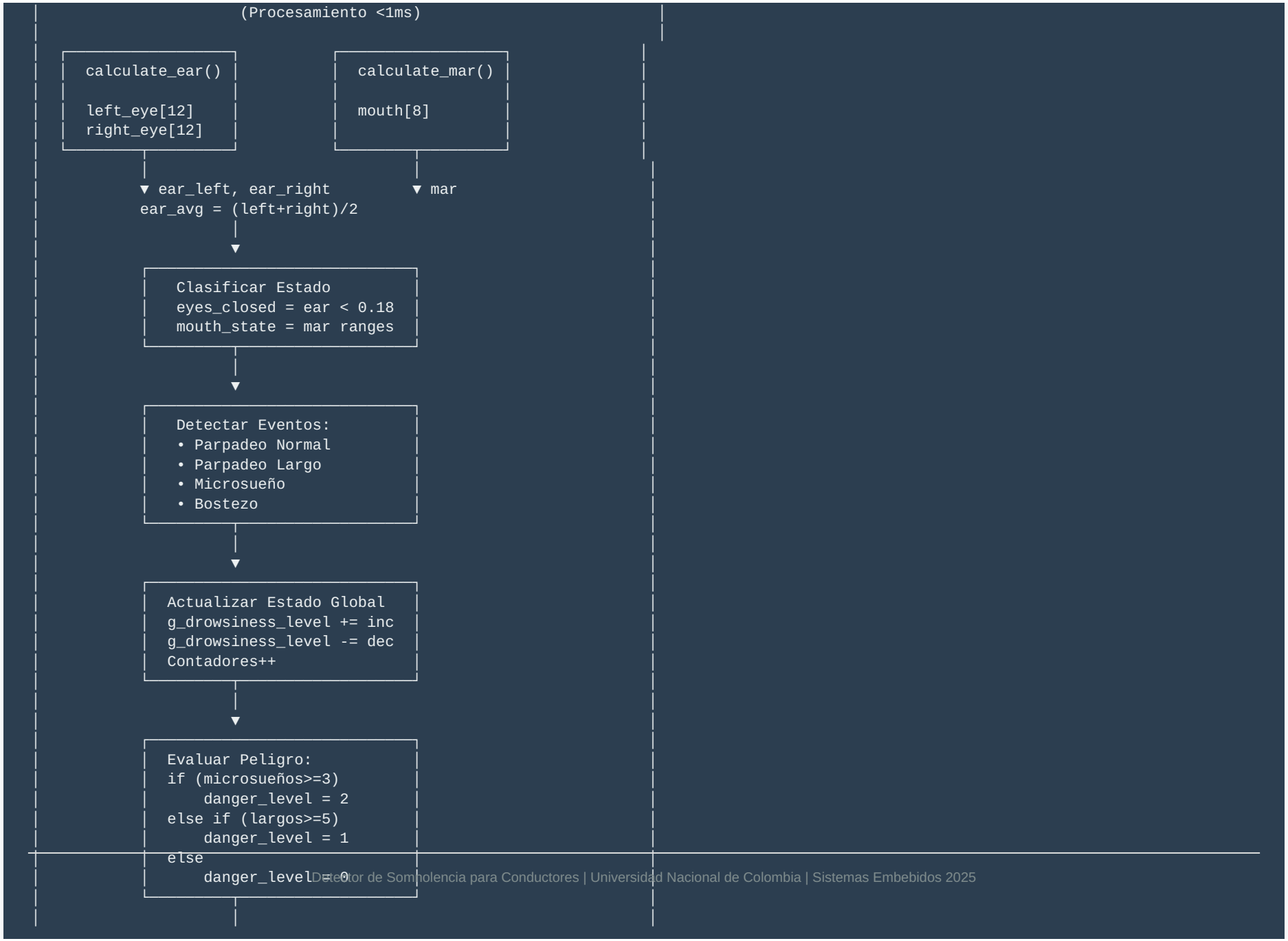


Distribución de Responsabilidades

Capa	Proporción	Responsabilidad	Tecnologías
Hardware	N/A	Captura de imagen, procesamiento neural, display	Subsistemas Cvitek propietarios, TPU
Python	29%	Acceso a hardware, detección IA acelerada	MaixPy, ctypes, YOLO, FaceLandmarks
C Puro	71%	Análisis completo de somnolencia	C99, libm, compilación RISC-V

2. Flujo de Datos del Sistema


📷 CÁMARA
Sensor GC4653
Frame RGB 640x480 @ 30 FPS
ISP + VI
(Subsistema Cvitek)
Procesamiento hardware
Corrección de color, balance
▼ Frame procesado
YOLO (TPU)
GPU acelerado
~15ms latencia
Detección de rostro
Output: (x, y, w, h)
▼ Región facial recortada
Landmarks (TPU)
Neural accelerated
~20ms latencia
478 puntos faciales
Alta precisión
▼ Array completo de puntos
Extractor Python
Procesamiento CPU
<1ms
Seleccionar subset:
• 6 puntos ojos (LEFT_EYE, RIGHT_EYE)
• 4 puntos boca (MOUTH)
▼ 10 coordenadas (x,y)
Conversión ctypes
Preparación datos
Arrays C float:
• left_eye[12]
• right_eye[12]
• mouth[8]
▼ Datos listos para C
LIBRERÍA C: analyze_drowsiness()

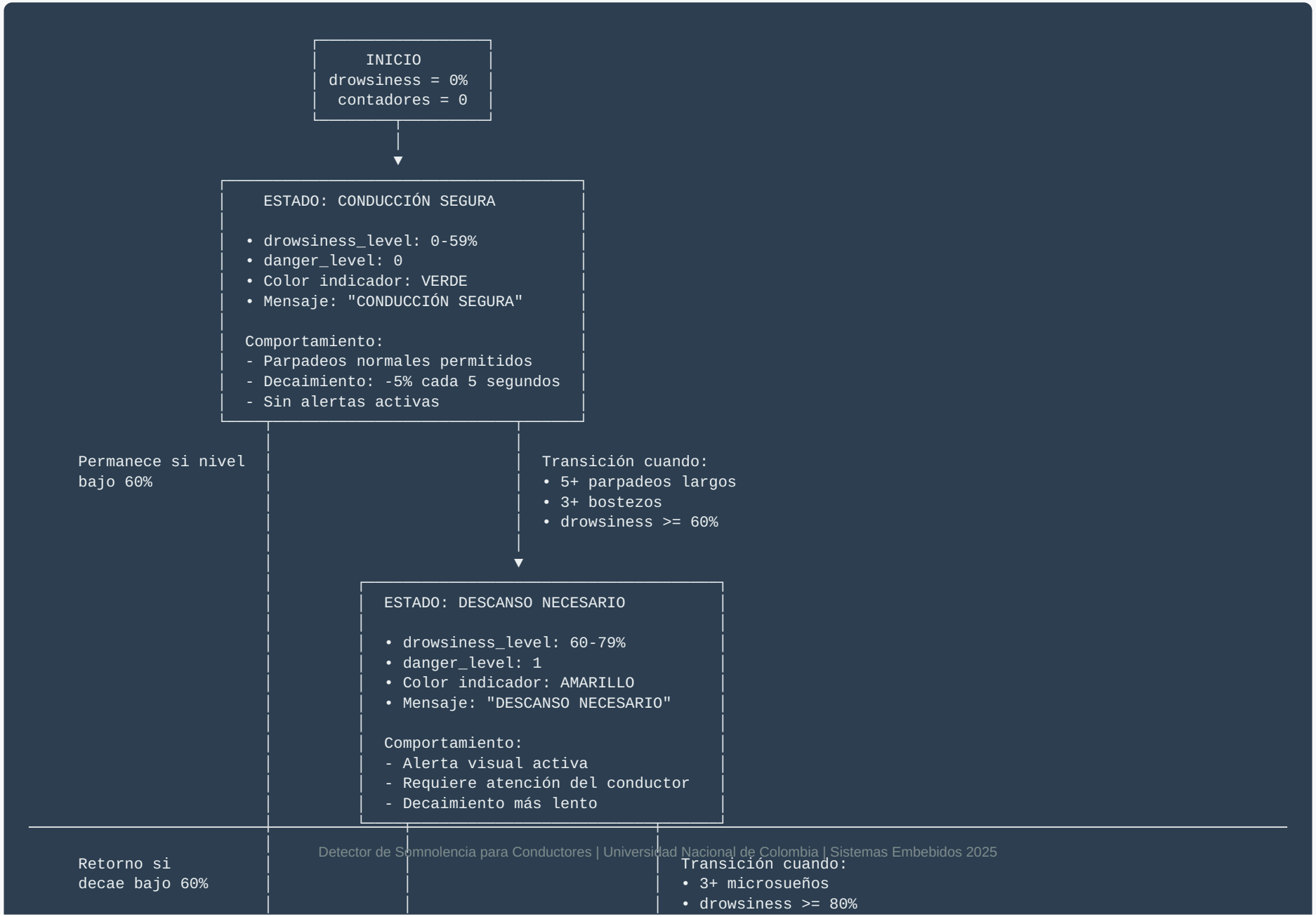

(Procesamiento <1ms)
calculate_ear()
left_eye[12]
right_eye[12]
calculate_mar()
mouth[8]
▼ ear_left, ear_right
ear_avg = (left+right)/2
▼ mar
Clasificar Estado
eyes_closed = ear < 0.18
mouth_state = mar ranges
Detectar Eventos:
• Parpadeo Normal
• Parpadeo Largo
• Microsueño
• Bostezo
Actualizar Estado Global
g_drowsiness_level += inc
g_drowsiness_level -= dec
Contadores++
Evaluar Peligro:
if (microsueños>=3)
danger_level = 2
else if (largos>=5)
danger_level = 1
else
danger_level = 0

Optimización de Rendimiento

Estrategia: Frame skipping - procesar 1 de cada 2 frames

- **Análisis:** 15 FPS (suficiente para detectar parpadeos de 100-300ms)
- **Display:** 30 FPS (fluido para el usuario)
- **Latencia total:** < 70ms (imperceptible)

3. Máquina de Estados - Sistema de Alertas

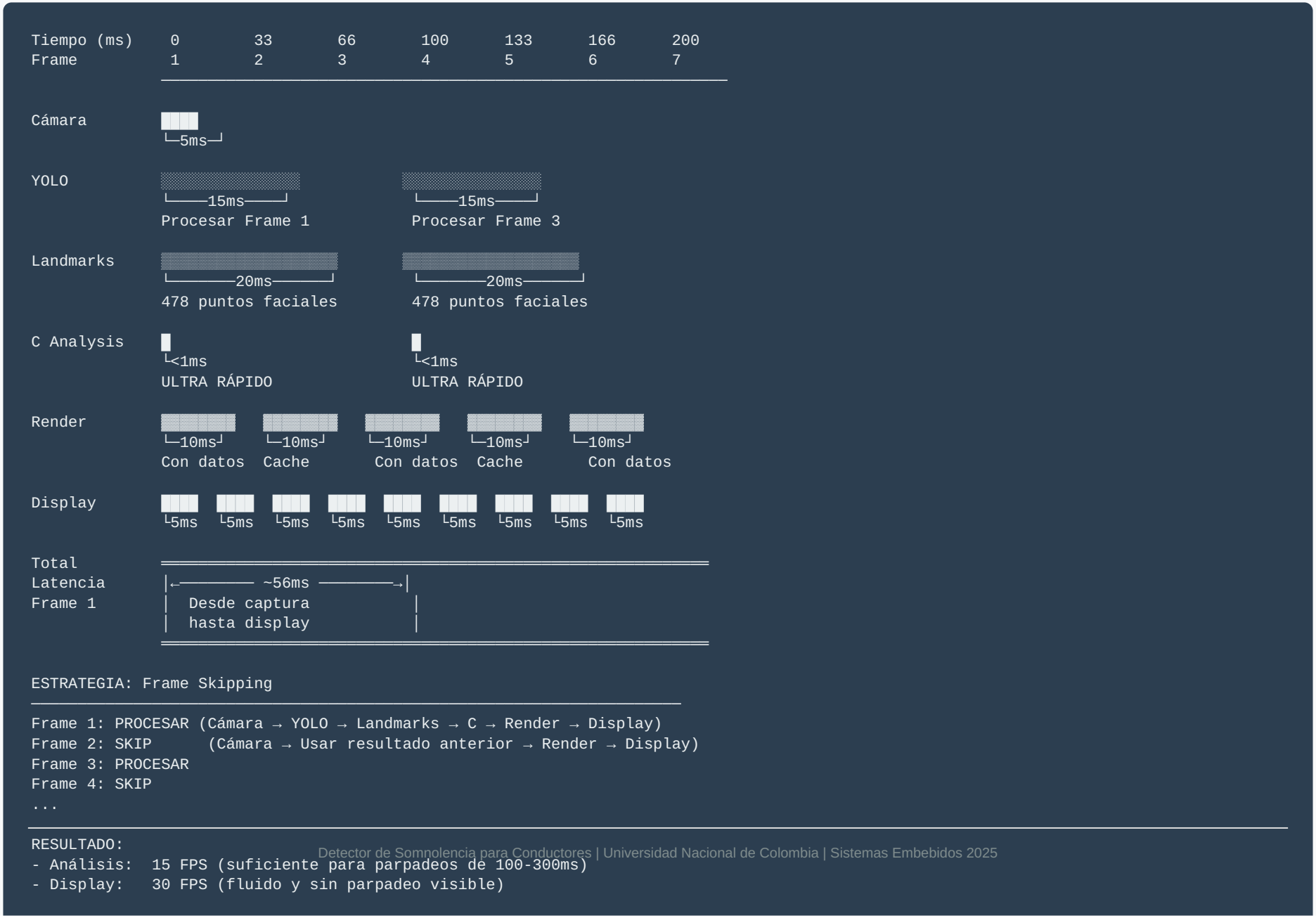

INICIO
drowsiness = 0%
contadores = 0
ESTADO: CONDUCCIÓN SEGURA
• drowsiness_level: 0-59%
• danger_level: 0
• Color indicador: VERDE
• Mensaje: "CONDUCCIÓN SEGURA"
Comportamiento:
- Parpadeos normales permitidos
- Decaimiento: -5% cada 5 segundos
- Sin alertas activas
Permanece si nivel bajo 60%
Transición cuando:
• 5+ parpadeos largos
• 3+ bostezos
• drowsiness >= 60%
ESTADO: DESCANSO NECESARIO
• drowsiness_level: 60-79%
• danger_level: 1
• Color indicador: AMARILLO
• Mensaje: "DESCANSO NECESARIO"
Comportamiento:
- Alerta visual activa
- Requiere atención del conductor
- Decaimiento más lento
Retorno si decae bajo 60%
Transición cuando:
• 3+ microsueños
• drowsiness >= 80%

Eventos que Modifican el Estado

Evento	Condición	Incremento	Impacto

Parpadeo Normal	Duración < 1.0 seg	+2%	Mínimo, fisiológico normal
Parpadeo Largo	Duración 1.0-2.5 seg	+15%	Moderado, indica cansancio
Microsueño	Duración > 2.5 seg	+40%	Crítico, pérdida momentánea de consciencia
Bostezo	MAR > 0.70	+10%	Moderado, señal de fatiga
Decaimiento	Sin eventos por 5 seg	-5%	Recuperación gradual

4. Análisis de Temporización


Tiempo (ms) 0 33 66 100 133 166 200
Frame 1 2 3 4 5 6 7
Cámara
5ms
YOLO
15ms
Procesar Frame 1
15ms
Procesar Frame 3
Landmarks
20ms
478 puntos faciales
20ms
478 puntos faciales
C Analysis
<1ms
ULTRA RÁPIDO
<1ms
ULTRA RÁPIDO
Render
10ms
Con datos
10ms
Cache
10ms
Con datos
10ms
Cache
10ms
Con datos
Display
5ms 5ms 5ms 5ms 5ms 5ms 5ms 5ms 5ms
Total Latencia Frame 1
~56ms
Desde captura
hasta display
ESTRATEGIA: Frame Skipping
Frame 1: PROCESAR (Cámara → YOLO → Landmarks → C → Render → Display)
Frame 2: SKIP (Cámara → Usar resultado anterior → Render → Display)
Frame 3: PROCESAR
Frame 4: SKIP
...
RESULTADO:
- Análisis: 15 FPS (suficiente para parpadeos de 100-300ms)
- Display: 30 FPS (fluido y sin parpadeo visible)

```
- Latencia:  < 70ms (imperceptible para el usuario)
- CPU/TPU:   50% utilización (eficiente en energía)
```

Distribución del Tiempo de Procesamiento

Componente	Tiempo	Porcentaje	Aceleración
Captura (Cámara)	5ms	7%	Hardware ISP
YOLO (Detección rostro)	15ms	21%	TPU acelerado
Landmarks (478 puntos)	20ms	29%	TPU acelerado
Análisis C	**<1ms**	**1%**	**Optimizado -O3**
Renderizado	10ms	14%	CPU + OpenCV
Display (VO)	5ms	7%	Hardware VO
Overhead	~15ms	21%	Sistema operativo