

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tesisenxarxa.net) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tesisenred.net) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tesisenxarxa.net) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author

LEÔNIDAS ALBANO DA SILVA JÚNIOR

AMBIENTE Y CRÍTICA

INVARIANTES QUE TRANSCIENDEN DEL CLIMA Y DEL
LUGAR

TESIS DOCTORAL

VOLUMEN I

BARCELONA, ESPAÑA

2015

LEÔNIDAS ALBANO DA SILVA JÚNIOR

AMBIENTE Y CRÍTICA

INVARIANTES QUE TRANSCIENDEN DEL CLIMA Y DEL
LUGAR

TESIS DOCTORAL

DEPARTAMENT DE CONSTRUCCIONS ARQUITECTÒ-
NIQUES I. ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ARQUITEC-
TURA DE BARCELONA. UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA, EN ESPAÑA⁽¹⁾. EN CONVENIO CON EL
LABORATORIO DE SUSTENTABILIDADE NA ARQUITE-
TURA (LASUS) DE LA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA,
EN BRASIL⁽²⁾.

DIRECTORES:

PROF. DR. RAFAEL SERRA FLORENSA (IN MEMORIAN)⁽¹⁾

PROF^a. DRA. HELENA COCH ROURA⁽¹⁾

PROF^a. DRA. MARTA ADRIANA BUSTOS ROMERO⁽²⁾

BARCELONA, ESPAÑA

2015

Autorizo la reproducción y difusión de la totalidad o parte de este trabajo, mediante cualquier medio convencional o electrónico, para fines de estudio e investigación, siempre y cuando se cite la fuente.

Albano, L.

Ambiente y Crítica. Invariantes que Transcenden del Clima y del Lugar / Leônidas Albano da Silva Júnior. – Barcelona, España: [s.n], 2015. 2 Vols.

Directores: Rafael Serra Florensa (*in memorian*), Helena Coch Roura, Marta Adriana Bustos Romero

Tesis de Doctorado – Universitat Politècnica de Catalunya. Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona. Departament de Construccions Arquitectòniques I. En convenio con la Universidade de Brasília. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Laboratorio de Sustentabilidade na Arquitetura.

1. Desempeño Térmico. 2. Comportamiento Higro-térmico. 3. Arquitectura Moderna. 4. Viviendas Unifamiliares Ventiladas Naturalmente. 5. Goiânia. I. Serra Florensa, Rafael. II. Universitat Politècnica de Catalunya. Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona. III. Doctor. I. Coch Roura, Helena. II. Universitat Politècnica de Catalunya. Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona. III. Doctora. I. Romero, Marta Adriana Bustos. II. Universidade de Brasília. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. III. Doctora.

LEÔNIDAS ALBANO DA SILVA JÚNIOR

AMBIENTE Y CRÍTICA
INVARIANTES QUE TRANSCIENDEN DEL CLIMA Y DEL
LUGAR

TESIS SOMETIDA A LA COMISIÓN EXAMINADORA DESIGNADA
POR EL DEPARTAMENT DE CONSTRUCCIONS ARQUITECTÒNI-
QUES I DE LA ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ARQUITECTURA DE
BARCELONA DE LA UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
COMO REQUISITO PARCIAL PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE
DOCTOR EN ARQUITECTURA. APROBADA EN:

PROF. DR. FÍSICO ANTONI ISALGUE BUXEDA
(UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA – UPC, ESPAÑA)

PROF. DR. ING. BENOIT BECKERS
(UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE COMPIÈGNE – UTC, FRANCIA)

PROF. DR. ARQTO. LIDIA RINCON
(UNIVERSITAT DE LLEIDA – UdL, ESPAÑA)

A mi familia, mis padres y mis
hermanos, así como, a las personas que
me han acompañado en esta caminata.

Muito mais que arquitetura, clima e ser humano. Trata-se de um transformar-se a partir de um transcender existencial. De compreender o sentido do seco, do úmido, do quente, do frio... do vento que sopra através dos tempos e em vários lugares. Trata-se do bem estar. Das pessoas. De mim. E de você.

“O céu é testemunha de que foi uma tarefa muito mais trabalhosa do que eu imaginava quando nela embarquei. Frequentes problemas na explicação de assuntos, na criação de termos, no lidar com o material, muito me desencorajaram e algumas vezes fizeram com que eu desejasse abandonar todo o empreendimento. Por outro lado, as mesmas razões que em primeiro lugar me induziram a nele embarcar, chamaram-me de volta ao meu compromisso e me levaram a continuar.”ⁱ

E diante da vocação: “*sede fortes, (...) pois vosso labor terá sua recompensa*”ⁱⁱ, uma vez que “subsiste a promessa de entrar no seu descanso”ⁱⁱⁱ, seguimos rumo à luz que, outrora ao final do túnel, agora ilumina incessantemente e me enche de paz. Pois, se “*tendo Deus terminado no sétimo dia a obra que tinha feito, descansou do seu trabalho*”^{iv}, após sete capítulos, eis que é chegada a hora do fruto da perseverança. Assim como a

i Alberti, Leon Battista. On the art of building in ten books.

ii II Cr 15, 7.

iii Hb 4, 1.

iv Gn 2, 2.

que provêm da semente “que caiu na terra boa, tendo crescido, produziu fruto cem por um”^v.

Certo de que “a vida é, ao mesmo tempo, constancia y cambio”^{vi}. “Quando vacilei e hesitei entre prosseguir ou desistir, minha devoção ao trabalho e meu entusiasmo pelo aprendizado prevaleceram; e onde a inteligência me falhou, muito estudo e dedicação compensaram”^{vii}. “Porque onde está o teu tesouro, lá também está teu coração.”^{viii} Dado que “a capacidade definitiva de um homem não está nos momentos de conforto e conveniências, senão nos períodos de desafios e controvérsias.”^{ix}

No entanto, ainda que pudessem permanecer “três coisas: a certeza de que ele estava sempre começando, a certeza de que era preciso continuar e a certeza de que seria interrompido antes de terminar. Fazer da interrupção um caminho novo. Fazer da queda um passo de dança, do medo uma escada, do sono uma ponte, da procura um encontro.”^x Importa que . . .

v Lc 8, 8 em referência a Lc 8, 15.

vi Norberg-Schulz.

vii Alberti, Leon Battista. De Re Aedificatoria.

viii Mt 6, 21.

ix Martin Luther King.

x Fernando Sabino.

... *“nada é pequeno onde o amor é grande.”*^{xi}

*“Porque quando me sinto fraco,
então é que sou forte.”*^{xii}

xi Santa Terezinha do Menino Jesus.

xii II Cr 12, 10.

AGRADECIMIENTOS

Glorias sean dadas a este Dios que es Padre, Hijo y Espíritu Santo. Dios santo, fuerte e inmortal. Justo y fiel. Dios Emanuel, lleno de misericordia.

A mi familia, mis padres y mis hermanos, por todo el amor incondicional, desde cerca o a distancia, que han sabido comprender mis ausencias y la fuerza del trabajo, dándome el coraje necesario para siempre a seguir adelante.

A mis amigos de diferentes partes del mundo, que han estado indirectamente en la compañía de la tesis, siendo muchas veces partícipes de los trámites y de las oscilaciones del proceso.

A mis directores. Al Prof. Dr. Arqto. Rafael Serra, que con sabiduría ha comprendido y abrazado el trabajo en sus primeros pasos. A la Prof^a. Dr^a. Arqto. Helena Coch, que ha acogido el trabajo, siendo fundamental en su desarrollo, síntesis y finalización. Y a la Prof^a. Dr^a. Arqto. Marta Romero, que ha dirigido los trabajos en Brasil, corrigiendo, direccionando y viabilizando cada paso del proceso, hasta su final. A los tres, cada uno en su momento y lugar, muchas gracias por compartir sus conocimientos y por acompañarme en esta caminata.

A los profesores. Al Prof. Dr. Ing. Benoit Beckers, de la Université de Technologie de Compiègne (UTC, Francia), por la dirección respecto a la importancia del enfoque arquitectónico en el estudio, fundamental a la creación de la hipótesis de trabajo, y por la concesión de uso del software Heliodon. Al Prof. Dr. Ing. Alberto Hernandez Neto, de la Universidade de São Paulo (USP, Brasil), por la formación respecto a simulaciones computacionales, esencial al análisis del objeto. Y al Prof. Dr. Fis. Antoni Isalguè, de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC, España), por los conocimientos compartidos respecto a la radiación solar y realidades térmicas de los cuerpos materiales.

Al Laboratório de Sustentabilidade Aplicado a Arquitectura e ao Urbanismo – LaSUS, de la Facultad de Arquitectura y

Urbanismo, Universidade de Brasília (UnB, Brasil). Por la concesión de los equipamientos de medición higrotérmica, Dataloggers HT-500, durante todos los meses de captación de datos, que han subsidiado y viabilizado todo el análisis de la Tesis.

A los responsables por edificaciones estudiadas. Al Instituto del Patrimonio Histórico y Artístico Nacional (IPHAN-Goiás, Brasil) que ha permitido la realización de levantamientos y mediciones en su actual sede. Y al Sr. Bariani Ortêncio, que siempre me ha bien recibido con el entendimiento de la importancia del estudio, favoreciendo la realización del levantamiento y de las mediciones en su casa.

Y a los colegas profesores de la Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás, Brasil), que al acompañar parte del proceso, han contribuido, directa o indirectamente, a la buena realización del trabajo con sus palabras y comentarios.

RESUMEN

Se trata de una relectura contemporánea del concepto de 'ambiente arquitectónico'. A partir de una reflexión acerca de las transcendencias y transformaciones ocurridas en el Movimiento Moderno y el proceso de revisión crítica que se establece en su expansión, internacionalización, su interiorización en Brasil y consolidación en Goiânia, y de sus posibles correspondencias con las variables ambientales de la región a la que han sido importados. En base al análisis de viviendas unifamiliares modernas ventiladas naturalmente, construidas en la ciudad de Goiânia en las décadas de 1950 y 1960, señalando, sistematizando y aplicando al contexto actual sus fortalezas y debilidades. A través de la correlación entre diferentes soluciones arquitectónicas y el comportamiento térmico de edificios, en diferentes escalas del territorio, desde la escala global, pasando por la regional y urbana, hasta la arquitectónica. En el proceso estudiado, la contradicción, la inconsciencia y la limitación coexisten junto a la sensibilidad, la intencionalidad y la postura arquitectónica de la época. Siendo posible identificar, al mismo tiempo, cierta preocupación con los aspectos ambientales y limitaciones en la aplicación de los conocimientos técnicos, que resultan en un comportamiento térmico por debajo de su potencial.

RESUMO

Trata-se de uma releitura contemporânea do conceito de 'ambiente arquitetônico'. A partir de uma reflexão sobre as transcendências e transformações ocorridas no Movimento Moderno e o processo de revisão crítica que se estabelece em sua expansão, internacionalização, sua interiorização no Brasil e consolidação em Goiânia, e de suas possíveis correspondências com as variáveis ambientais da região onde foram importados. Com base na análise de habitações unifamiliares modernas ventiladas naturalmente, construídas na cidade de Goiânia nas décadas de 1950 e 1960, sinalizando, sistematizando e aplicando ao contexto atual suas fortalezas e debilidades. Através da correlação entre diferentes soluções arquitetônicas e o comportamento térmico de edifícios, em diferentes escalas do território, desde a escala global, passando pela regional e urbana, até a arquitetônica. No processo estudado, a contradição e a limitação coexistem junto à sensibilidade, a intencionalidade e a postura arquitetônica da época. Sendo possível identificar, ao mesmo tempo, certa preocupação com os aspectos ambientais e limitações na aplicação dos conhecimentos técnicos, que resultam em um comportamento térmico abaixo do seu potencial.

RESUM

Es tracta d'una relectura contemporània del concepte "d'ambient arquitectònic". A partir d'una reflexió sobre les transcendències i transformacions ocorregudes en el Moviment Modern i el procés de revisió crítica que s'estableix amb la seva expansió, internacionalització, la seva interiorització al Brasil i consolidació a Goiàna, i de les seves possibles correspondències amb les variables ambientals de la regió a la que han estat importats. En base a l'anàlisi de cases unifamiliars modernes ventilades de forma natural, construïdes a la ciutat de Goiània entre les dècades de 1950 i 1960, senyalant, sistematitzant i aplicant al context actual els seus punts forts i els seus punts dèbils. A través de la correlació entre diferents solucions arquitectòniques i el comportament tèrmic d'edificis, en diferents escales del territori, des de l'escala global, passant per la regional i urbana fins a l'arquitectònica. En el procés estudiat, la contradicció, la inconsciència i la limitació coexisteixen juntament amb la sensibilitat, la intencionalitat i la postura arquitectònica de l'època. Essent possible identificar, al mateix temps, certa preocupació amb les aspectes ambientals i limitacions en l'aplicació dels coneixements tècnics, que resulten en un comportament tèrmic per sota del seu potencial.

ABSTRACT

It is a contemporary reinterpretation of the concept of 'architectural environment'. From a reflection about the transcendence and transformation that occurred in the Modern Movement and the process of critical review that takes place in its expansion, internationalization, its internalization in Brazil and consolidation in Goiania, and its possible connections with the environmental conditions of the region where it was imported. Based on the analysis of modern naturally-ventilated houses, built in the city of Goiânia in the 1950s and 1960s, signaling, systematizing and applying in the current context, their strengths and weaknesses. Through the correlation among different architectural solutions and the thermal performance of buildings in different territories scales, from the global, through regional and urban to architectural scale. In the studied process, the contradiction and limitation coexist with the sensitivity, intentionality and the architectural approach of the time. It is possible to identify, at the same time, some concern about the environmental aspects and limitations in the application of technical knowledge, resulting in a thermal performance below its potential.

ÍNDICE

VOLUMEN I

INTRODUCCIÓN	37
PROBLEMÁTICA	42
OBJETIVOS	67
JUSTIFICACIÓN	68
MÉTODO	72
FUNDAMENTACIÓN	74
ESTUDIO	76
REALIZACIÓN	78
REFERENCIAS DE ANÁLISIS	79
REFERENCIAS	85
1 LA ELEMENTALIDAD DE LA INVARIANCIA	89
1.1 SENTIDO COMPOSITIVO	91
1.2 SENTIDO AMBIENTAL	116
REFERENCIAS	134
2 LA CIUDAD MODERNA COMO LUGAR TRANSCENDENTE	139
2.1 LA CIUDAD MODERNA	140
2.2 LA NUEVA CIUDAD	157
REFERENCIAS	181
3 INCONSTANCIAS ENTRE MATERIA Y ENERGÍA	187
3.1 INTERCAMBIOS ENERGÉTICOS Y MATERIALES	189
3.1.1 CONDUCCIÓN	191
3.1.2 CONVECCIÓN	196
3.1.3 RADIACIÓN	202
3.1.4 EVAPORACIÓN	207

3.1.5	CONDENSACIÓN	208
3.2	ESTADO ESTACIONARIO	209
3.2.1	MÉTODO SIMPLIFICADO	210
3.2.2	MÉTODO EMPÍRICO	234
3.2.3	MÉTODO CSTB	238
3.3	ESTADO DINÁMICO	243
3.3.1	MÉTODO EMPÍRICO	243
3.3.2	MÉTODO SIMPLIFICADO	245
3.3.3	MÉTODO GRADOS-DÍA	249
3.3.4	LA INTEGRAL POSIBLE	254
	REFERENCIAS	260

4 EQUILIBRIOS ENERGÉTICOS **265**

4.1	BALANCE TÉRMICO	268
4.1.1	MÉTODO HB	268
4.1.2	MÉTODO RTS	279
4.2	BALANCE TÉRMICO RESIDENCIAL	285
4.2.1	MÉTODOS RHB - ResHB	285
4.2.2	MÉTODO RLF	287
	REFERENCIAS	295

VOLUMEN II

5 AMBIENTE ARQUITECTÓNICO **327**

5.1	CONCEPTO	328
5.2	PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS	330
5.2.1	PRE-ANÁLISIS	335
5.2.2	ESTUDIO 1: LA INSOLACIÓN Y LA PROPORCIÓN GEOMÉTRICA DE EDIFICACIONES	342
5.2.3	ESTUDIO 2: EFICIENCIA DE BRISES-SOLEIL EN FACHADAS	344
5.2.4	ESTUDIO 3: EVALUACIÓN BIOCLIMÁTICA DEL ESPACIO URBANO	345
5.2.5	ESTUDIO 4: EFECTO POTENCIAL DE LA REFRIGERACIÓN EVAPORATIVA EN ESPACIOS ABIERTOS	346

5.2.6	ESTUDIO 5: LA INSOLACIÓN Y LA PROPORCIÓN GEOMÉTRICA DE VIVIENDAS DE GOIÂNIA	347
5.2.7	ESTUDIO 6: DESEMPEÑO TÉRMICO DE CUBIERTAS	349
5.2.8	ESTUDIO 7 - INTERIOR	350
5.2.9	PÓS-ANÁLISIS	364
	REFERENCIAS	365

6 RESULTADOS Y DISCUSIONES **367**

6.1	RELACIÓN ENTRE INTERIOR Y EXTERIOR	369
6.1.1	EL AMBIENTE EXTERIOR	369
6.1.2	LA RELACIÓN ENTRE EL INTERIOR Y EL EXTERIOR	401
6.1.3	EL AMBIENTE INTERIOR	406
6.2	ELEMENTOS MATERIALES	420
6.3	ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS	430
6.3.1	PREDICCIONES DE CONFORT	432
6.3.2	VENTILACIÓN SELECTIVA EN CLIMAS HÚMEDOS	438
6.3.3	ASOCIACIÓN DE ESTRATEGIAS EN CLIMAS SECOS Y CÁLIDOS	450
	REFERENCIAS	455

7 REFLEXIONES ENTRE AMBIENTE Y CRÍTICA **457**

7.1	LA CRÍTICA DEL AMBIENTE	461
7.2	EL AMBIENTE DE LA CRÍTICA	465
7.2.1	VARIABLES AMBIENTALES Y ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS	470
7.2.2	ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS	475
7.3	AMBIENTE Y CRÍTICA	482

CONSIDERACIONES FINALES **485**

CONSIDERAÇÕES FINAIS **491**

ANEXOS**503****ARTÍCULOS PUBLICADOS****506**

- A. SEB'2012 - INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABILITY IN ENERGY AND BUILDINGS. STOCKHOLM, SUECIA, 2012. ARTÍCULO: LATIN-AMERICAN BUILDINGS ENERGY EFFICIENCY POLICY: THE CASE OF CHILE. 507
- B. SEB'2012 - INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABILITY IN ENERGY AND BUILDINGS. STOCKHOLM, SUECIA, 2012. ARTÍCULO: THERMAL PERFORMANCE OF BRAZILIAN MODERN HOUSES: A VISION THROUGH THE TIME. 518
- C. AIVC'2012 - 33RD AIVC CONFERENCE AND 2ND TIGHTVENT CONFERENCE. OPTIMISING VENTILATIVE COOLING AND AIRTIGHTNESS FOR [NEARLY] ZERO-ENERGY BUILDINGS, IAQ AND COMFORT. COPENHAGEN, DINAMARCA, 2012. ARTÍCULO: THE INFLUENCE OF THE SELECTIVE VENTILATION IN THE THERMAL PERFORMANCE OF MODERN NATURALLY-VENTILATED HOUSES IN GOIÂNIA- BRAZIL. 529
- D. PLEA'2012 - 28TH CONFERENCE, OPPORTUNITIES, LIMITS & NEEDS TOWARDS AN ENVIRONMENTALLY RESPONSIBLE ARCHITECTURE. LIMA, PERÚ, 2012. ARTÍCULO: THERMAL PERFORMANCE OF MODERN HOUSES IN GOIÂNIA - BRAZIL. 539
- E. CLIMA'2013 - 11TH REHVA WORLD CONGRESS AND 8TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON IAQVEC. PRAGA, REPÚBLICA CHECA, 2013. ARTÍCULO: THE ENERGY EFFICIENCY AS AN ARCHITECTURE PRINCIPLE PRODUCT. 546
- F. CESB'2013 - CENTRAL EUROPE TOWARDS SUSTAINABLE BUILDING. PRAGA, REPÚBLICA CHECA, 2013. ARTÍCULO: DESIGNING "SUSTAINABLE HOUSES" BEFORE THE ESTABLISHMENT OF THIS CONCEPT. 557

OTRAS PRODUCCIONES ACADÉMICAS	532
G. ARTÍCULOS ACEPTADOS	533
H. RESÚMENES ACEPTADOS	534
I. PRESENTACIONES REALIZADAS	535
J. CONGRESOS REALIZADOS	536
ESTUDIOS REALIZADOS	537
K. ESTUDIO 1	538
L. ESTUDIO 2	579
M. ESTUDIO 3	593
N. ESTUDIO 4	606
O. ESTUDIO 5	620
P. ESTUDIO 6	681
Q. ESTUDIO 7	715
INCONSTANCIAS Y EQUILIBRIOS	922
R. CUADRO DE ECUACIONES	923
S. DIAGRAMAS DE VARIABLES	925
MATERIALES COMPLEMENTARES	946
T. MAPAS DEL ESTADO DE GOIÁS	947
U. MAPAS DEL PLAN DIRECTOR DE GOIÂNIA	951
V. POEMA GOYANIA	962
GLOSARIO	997

ÍNDICE DE FIGURAS

FIG. 1 – LOCALIZACIÓN DE GOIÂNIA	56
FIG. 2 - ESTRUCTURA DEL ANÁLISIS	77
FIG. 3 – ELEMENTOS DE NORBERG-SCHULZ	109
FIG. 4 – ELEMENTOS DE SERRA Y COCH	110
FIG. 5 – ELEMENTOS DE ROMERO	111
FIG. 6 - ELEMENTOS FUNDAMENTALES DE LA ARQUITECTURA	114
FIG. 7 – DESCANSO EN LA SOMBRA	116
FIG. 8 – COMPORTAMIENTO DE LA RADIACIÓN SOLAR	138
FIG. 9 – GENERACIONES DE ARQUITECTOS MODERNOS	141
FIG. 10 – ESCALAS GEOGRÁFICAS	143
FIG. 11 – GENERACIONES DE ARQUITECTOS MODERNOS BRASILEÑOS	150
FIG. 12 – REGIONES DE PLANIFICACIÓN DEL ESTADO DE GOIÁS	158
FIG. 13 – INFRAESTRUCTURA VIÁRIA DE LA MICRO-REGIÓN DE GOIÂNIA	159
FIG. 14 – MACRO RED VIÁRIA BÁSICA DE GOIÂNIA (SIMPLIFICADA)	160
FIG. 15 – PARQUES DE GOIÂNIA	161
FIG. 16 – RASCACIELOS DE LA CIUDAD	162
FIG. 17 – CUATRO CAPITALES EN 100 AÑOS	163
FIG. 18 – VISTA AÉREA DE GOIÂNIA EN 1936	168
FIG. 19 – CONSTRUCCIÓN DEL PALACIO DE ESMERALDAS EN 1937	168
FIG. 20 – CARTÃO DE BOAS FESTAS DE 1939	169
FIG. 21 – GOIÂNIA EN LOS AÑOS 50	171
FIG. 22 – GOIÂNIA EN LOS AÑOS 60	172
FIG. 23 – GRADUACIÓN EN 1960 CON LA PRESENCIA DE JK	173
FIG. 24 - PRIMER EDIFICIO DE LA UCG. FACULTAD DE FILOSOFÍA	174
FIG. 25 – SEMANA DE ARTE MODERNA	174
FIG. 26 – TRANSFERENCIA TÉRMICA A TRAVÉS DE UN COMPONENTE (ESTADO ESTÁTICO)	194
FIG. 27 – ANALOGÍA ELÉCTRICA CON LA TRANSFERENCIA DE CALOR (ESTADO ESTÁTICO)	195
FIG. 28 – COEF. TRANSFERENCIA TÉRMICA POR CONVECCIÓN (MOD. DE GLICKSMAN, 2010)	199

FIG. 29 – VARIABLES DE ABNT NBR 15220	212
FIG. 30 – VARIABLES DE TRANSFERÊNCIA TÉRMICA	256
FIG. 31 – VARIABLES ARQUITECTÓNICAS Y AMBIENTALES	257
FIG. 32 – DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL BALANCE TÉRMICO EN UNA DE- TERMINADA ZONA	270
FIG. 33 – ITERACIONES. (MODIFICADO DE ASHRAE 2005 30.19)	279
FIG. 34 – AMBIENTE ARQUITECTÓNICO	328
FIG. 35 – PARALELO ENTRE ESCALAS	331
FIG. 36 – PARALELO ENTRE TEMAS	331
FIG. 37 – ESCALAS DE ESTUDIO	332
FIG. 38 – ORGANIZACIÓN DEL ANÁLISIS	332
FIG. 39 – LOCALIZACIÓN DE LA REGIÓN DE ESTUDIO EN GOIÂNIA	338
FIG. 40 – BARRIOS SELECCIONADOS	339
FIG. 41 – DISTRIBUCIÓN DE EDIFICACIONES MODERNAS EN GOIÂNIA	339
FIG. 42 – MAPA DE EDIFICACIONES MODERNAS EN GOIÂNIA	340
FIG. 43 – INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA Y DOCUMENTAL	341
FIG. 44 – LEVANTAMIENTO DE OBRAS	342
FIG. 45 – ESTUDIO 1	342
FIG. 46 – ESTUDIO 2	344
FIG. 47 – ESTUDIO 3	345
FIG. 48 – ESTUDIO 4	346
FIG. 49 – ESTUDIO 5	347
FIG. 50 – ESTUDIO 6	349
FIG. 51 – MACRO-RELACIÓN	350
FIG. 52 – MATRIZ DE ANÁLISIS	351
FIG. 53 – ORGANIZACIÓN DEL ESTUDIO 7	354
FIG. 54 – ELEMENTOS ANALIZABLES Y HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS	357
FIG. 55 – MODELOS VIRTUALES	359
FIG. 56 – ZONAS TÉRMICAS	360
FIG. 57 – CASOS A Y B	363
FIG. 58 – PLANOS DE LOS CASOS DEL ESTUDIO 7	364
FIG. 59 – ORGANIZACIÓN DE LOS RESULTADOS	368
FIG. 60 – ÁBACO PSICROMÉTRICO (GOIÂNIA)	370

FIG. 61 – TEMPERATURA PROMEDIA HORÁRIA DE GOIÂNIA	374
FIG. 62 – HUMEDAD RELATIVA PROMEDIA DE GOIÂNIA	375
FIG. 63 – RADIACIÓN SOLAR PROMEDIA HORARIA DE GOIÂNIA	376
FIG. 64 – PERÍODOS DE DISCONFORT DE GOIÂNIA	377
FIG. 65 – NECESIDAD DE CONFORT (CLIMA URBANO)	379
FIG. 66 – PLAZA CÍVICA EN 1940	381
FIG. 67 – GOIÂNIA EN LOS AÑOS 60 (HÉLIO DE OLIVEIRA)	382
FIG. 68 – PLAZA CÍVICA EN 2012	383
FIG. 69 – TRANSFORMACIONES EN EL SUELO DE LA PLAZA CÍVICA	384
FIG. 70 – TRANSFORMACIONES EN LA PLAZA CÍVICA	385
FIG. 71 – DIAGRAMA DE TRANSFORMACIONES EN LA PLAZA CÍVICA	386
FIG. 72 – TRANSFORMACIONES PAISAGÍSTICAS EN LA PLAZA CÍVICA	387
FIG. 73 - MAPAS DE SOMBREAMIENTO - 1940 (10H-17H)	388
FIG. 74 - MAPAS DE SOMBREAMIENTO - 1960 - 1940 (10H-17H)	388
FIG. 75 - MAPAS DE SOMBREAMIENTO NO AÑO DE 2012 - 2012 (10H-17H)	389
FIG. 76 – CASO A: ENTORNO CERCANO	390
FIG. 77 – CASO B: ENTORNO CERCANO	391
FIG. 78 – HORAS DE DISCONFORT POR CASO Y MES (AMBIENTE EXTERIOR)	392
FIG. 79 - CONDICIONES TÉRMICAS DE ENTORNOS	393
FIG. 80 – CONDICIONES HIGROMÉTRICAS DE ENTORNOS	394
FIG. 81 – VARIABLES DEL DISCONFORT	397
FIG. 82 – ÁBACOS PSICROMÉTRICOS DE LAS CORRECCIONES DE ENTORNO EN LOS CASOS A Y B. ARRIBA) DATOS DE LA CIUDAD; EN MEDIO) CASO A; ABAJO) CASO B. AZUL ES JUNIO. ROJO ES SEPTIEMBRE. LILA ES DICIEMBRE	400
FIG. 83 – AMPLITUD TÉRMICA ENTRE EL INTERIOR Y EL EXTERIOR. MES DE JUNIO.	401
FIG. 84 – AMPLITUD TÉRMICA ENTRE EL INTERIOR Y EL EXTERIOR. MES DE SEPTIEMBRE	402
FIG. 85 – AMPLITUD TÉRMICA ENTRE EL INTERIOR Y EL EXTERIOR. MES DE DICIEMBRE	402
FIG. 86 - AMPLITUD TÉRMICA DIARIA (INTERIOR - EXTERIOR)	404
FIG. 87 - PERIODOS FAVORABLES A LA VENTILACIÓN (SALÓN, CUARTO)	406
FIG. 88 – HORAS DIÁRIAS DE DISCONFORT	409

FIG. 89 – DISTRIBUCIÓN DE SUPERFÍCIES TRANSLÚCIDAS EN LOS CASOS DEL ESTUDIO 1	412
FIG. 90 - DISTRIBUCIÓN DE SUPERFÍCIES TRANSLÚCIDAS EN CADA CASO DEL ESTUDIO 1	413
FIG. 91 – MEDIA PERCENTUAL DE SUPERFÍCIES TRANSLÚCIDAS PARA CADA FACHADA	414
FIG. 92 – PROPORCIÓN ENTRE DIFERENTES SUPERFÍCIES EN LOS CASOS DEL ESTUDIO 5	415
FIG. 93 – RADIACIÓN SOLAR INCIDENTE EN EL INTERIOR DE LA CASA UGALDE	416
FIG. 94 – SIMULACIÓN CON HELIODON (CASA UGALDE)	417
FIG. 95 – PROPORCIÓN DE SUPERFÍCIES EN LA CASA UGALDE	417
FIG. 96 – PROPORCIÓN DE SUPERFÍCIES EN LA CASA UGALDE	418
FIG. 97 – RADIACIÓN SOLAR INCIDENTE Y HORAS DE INSOLACIÓN EN LA CASA UGALDE	418
FIG. 98 – BALANCE TÉRMICO - PAPEL INDIVIDUAL DE LOS COMPONENTES DE LA PIEL.	420
FIG. 99 – CASOS DEL ESTUDIO 6	423
FIG. 100 – RADIACIÓN SOLAR INCIDENTE EN DIFERENTE PLANOS	426
FIG. 101 – PERFILES DE BALANCE TÉRMICO	427
FIG. 102 – CARTA SOLAR DE GOIÂNIA (16,41°N)	428
FIG. 103 – ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS	430
FIG. 104 - COMPARATIVO DE MÉTODOS PREDICTIVOS DE CONFORT	432
FIG. 105 – ANÁLISIS DE LAS ESTRATEGIAS DE CONDICIONAMIENTO TÉRMICO PASIVO	433
FIG. 106 - CASO A: VENECIANAS Y PERSIANAS	439
FIG. 107 – OBSTRUCCIONES PROPIAS EN EL CASO A A DIFERENTES ALTURAS	440
FIG. 108 – PROTECCIÓN SOLAR EN LOS CASOS DEL ESTUDIO 2	444
FIG. 109 – EFICIENCIA DE LA PROTECCIÓN SOLAR DEL MES	445
FIG. 110 – EFICIENCIA DE LA PROTECCIÓN SOLAR DEL BEG	446
FIG. 111 – CASO A . SISTEMAS DE CONTROL DEL AIRE	447
FIG. 112 – VARIACIONES DE LA TEMPERATURA EN FUNCIÓN DE LAS RENOVACIONES HORARIAS	450
FIG. 113 – VARIACIONES TÉRMICAS EN SEPTIEMBRE COMPARANDO EL SALÓN DE LOS DOS CASOS	453

ÍNDICE DE TABLAS

TAB. 1 – COEFICIENTES DE DESCARGA	225
TAB. 2– COMPARACIÓN ENTRE REFERENCIAS	333
TAB. 3 – HORAS PICO DE DISCONFORT	371
TAB. 4 – CONDICIONES HIGROTÉRMICAS DE ENTORNOS	392
TAB. 5 – DATOS DIARIOS DE AMPLITUD TÉRMICA MEDIA (INT. X EXT.)	405
TAB. 6 – CONDICIONES HIGROTÉRMICAS DE AMBIENTES INTERIORES (DATOS MENSUALES)	407
TAB. 7 – RECOMENDACIONES ABNT	421
TAB. 8 – CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DE LAS VIVIENDAS	422
TAB. 9 – MATERIALES USADOS EN LAS CUBIERTAS DE LOS CASOS DEL ESTUDIO 6	424
TAB. 10 – PROPIEDADES TÉRMICAS DE LAS CUBIERTAS DE LOS CASOS DEL ESTUDIO 6	425
TAB. 11 – PERFILES DE BALANCE TÉRMICO DE DIFERENTES ELEMENTOS DE LA PIEL	426
TAB. 12 – SÍNTESIS DE LAS ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS	431
TAB. 13 – ESTRATEGIAS MÁS APROPIADAS	432
TAB. 14 – DIFERENTES MODELOS DE SIMULACIÓN	449
TAB. 15 – EFECTOS DE LA APLICACIÓN DE LA REFRIGERACIÓN EVAPORATIVA EN ESPACIOS ABIERTOS	452
TAB. 16 – COMPARACIÓN ENTRE SALONES (MEDICIONES)	453

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1 – TASA DE CONDUCCIÓN DE CALOR (PROPORCIONALIDAD)	192
ECUACIÓN 2 – ECUACIÓN DE FOURIER	192
ECUACIÓN 3 – TASA DE CONDUCCIÓN DE CALOR	193
ECUACIÓN 4 - TRANSMITANCIA TÉRMICA DE UN COMPONENTE	193
ECUACIÓN 5 - INTENSIDAD DE FLUJO TÉRMICO POR CONDUCCIÓN	193
ECUACIÓN 6 – TASA DE CONDUCCIÓN PARA UNA CAPA CUALQUIER	194
ECUACIÓN 7 - TASA DE CONDUCCIÓN PARA LA CAPA 1	194
ECUACIÓN 8 - TASA DE CONDUCCIÓN PARA LA CAPA 2	195
ECUACIÓN 9 - TASA DE CONDUCCIÓN PARA UN CONJUNTO DE CAPAS	195
ECUACIÓN 10 - TASA DE CONDUCCIÓN PARA UN CONJUNTO DE CAPAS	195
ECUACIÓN 11 – RESISTENCIA TÉRMICA	195
ECUACIÓN 12 - TASA DE CONDUCCIÓN ELÉCTRICA PARA UN CONJUNTO DE CAPAS	196
ECUACIÓN 13 - INTENSIDAD DE FLUJO TÉRMICO POR CONDUCCIÓN	196
ECUACIÓN 14 – TASA DE CONDUCCIÓN DE CALOR (PROPORCIONALIDAD)	197
ECUACIÓN 15 – TASA DE CONVECCIÓN DE CALOR	197
ECUACIÓN 16 – TASA DE CONVECCIÓN DE CALOR	198
ECUACIÓN 17 - COEFICIENTE DE CONDUCTANCIA TÉRMICA SUPERFICIAL	198
ECUACIÓN 18 – TASA DE CONDUCCIÓN DE CALOR	200
ECUACIÓN 19 – TASA DE CONDUCCIÓN DE CALOR	200
ECUACIÓN 20 - TASA DE CONDUCCIÓN DE CALOR (COND. X CONV.)	200
ECUACIÓN 21 – PARCELA DE CONDUCCIÓN	200
ECUACIÓN 22 - TASA DE CONDUCCIÓN DE CALOR (COND. X CONV.) – CASO HETEROGÉNEO	201
ECUACIÓN 23 – RESISTENCIA EQUIVALENTE EN SERIE	201
ECUACIÓN 24 – INTENSIDAD TOTAL DE RADIACIÓN TÉRMICA EMITIDA POR UN CUERPO	202
ECUACIÓN 25 - ENERGÍA EMITIDA POR UN CUERPO	202
ECUACIÓN 26 - CONSTANTE DE STEFAN-BOLTZMANN	203
ECUACIÓN 27 - CONSTANTE DE STEFAN-BOLTZMANN	203

ECUACIÓN 28 – TASA DE RADIACIÓN DE CALOR	203
ECUACIÓN 29 – ENERGÍA EMITIDA POR UNIDAD DE TIEMPO POR CUERPOS REALES	204
ECUACIÓN 30 – TRANSF. DE RADIACIÓN EN UNA SITUACIÓN ABSTRACTA (SIMPLIFICADA)	204
ECUACIÓN 31 – EMISIVIDAD EFECTIVA	204
ECUACIÓN 32 – TRANSFERENCIA DE RADIACIÓN EN UNA SITUACIÓN ABSTRACTA	204
ECUACIÓN 33 –TASA DE RADIACIÓN DE CALOR PARA SITUACIONES REALES	205
ECUACIÓN 34 – TASA DE RADIACIÓN DE CALOR PARA SITUACIONES REALES	205
ECUACIÓN 35 – TRANSFERENCIA DE RADIACIÓN PARA SITUACIONES REALES	205
ECUACIÓN 36 – TEMPERATURA EQUIVALENTE	206
ECUACIÓN 37 – TEMPERATURA EQUIVALENTE	207
ECUACIÓN 38 – RESISTENCIA TÉRMICA ADECUADA A LOS CUERPOS	208
ECUACIÓN 39 – BALANCE TÉRMICO ESTÁTICO	211
ECUACIÓN 40 – INTENSIDAD DE FLUJO TÉRMICO POR CONDUCCIÓN	211
ECUACIÓN 41 – TRANSMITANCIA TÉRMICA DE UN COMPONENTE	212
ECUACIÓN 42 – RESISTENCIA TÉRMICA	212
ECUACIÓN 43 – INTENSIDAD DE FLUJO TÉRMICO POR CONDUCCIÓN	212
ECUACIÓN 44 – RESISTENCIA TÉRMICA TOTAL	212
ECUACIÓN 45 – RESISTENCIA TÉRMICA SUPERFICIAL	213
ECUACIÓN 46 – RESISTENCIA TÉRMICA TOTAL	213
ECUACIÓN 47 – RESISTENCIA TÉRMICA TOTAL APLICABLE A CAPAS HOMOGÉNEAS Y HETEROGÉNEAS	214
ECUACIÓN 48 – RESISTENCIA TÉRMICA TOTAL APLICABLE A CAPAS HOMOGÉNEAS Y HETEROGÉNEAS	214
ECUACIÓN 49– TRANSMITANCIA TÉRMICA DE UN COMPONENTE	214
ECUACIÓN 50 – TASA DE CONDUCCIÓN DE CALOR A TRAVÉS DE DIVERSOS COMPONENTES	215
ECUACIÓN 51 – DIFERENCIA DE TEMPERATURAS EN CASOS DE EXPOSICIÓN SOLAR	215
ECUACIÓN 52 – TEMPERATURA EQUIVALENTE	215
ECUACIÓN 53 – TEMPERATURA EQUIVALENTE	216

ECUACIÓN 54 - DIFERENCIA DE TEMPERATURAS EN CASOS DE EXPOSICIÓN SOLAR	217
ECUACIÓN 55 – INTENSIDAD DE FLUJO TÉRMICO POR CONDUCCIÓN	217
ECUACIÓN 56 - INTENSIDAD DE FLUJO TÉRMICO POR VENTILACIÓN	217
ECUACIÓN 57 – MASA ESPECÍFICA DEL AIRE	218
ECUACIÓN 58 - INTENSIDAD DE FLUJO TÉRMICO POR VENTILACIÓN (SIMPLIFICADA)	218
ECUACIÓN 59 - INTENSIDAD DE FLUJO TÉRMICO POR VENTILACIÓN	219
ECUACIÓN 60 - INTENSIDAD DE FLUJO TÉRMICO SENSIBLE Y LATENTE POR VENTILACIÓN	219
ECUACIÓN 61 – VENTILACIÓN NATURAL GENERAL EN ESPACIOS CERRADOS, DEBIDO AL VIENTO	220
ECUACIÓN 62 – ECUACIÓN DE BERNOULLI	221
ECUACIÓN 63 – COEFICIENTE DE PRESIÓN	221
ECUACIÓN 64 – VENTILACIÓN NATURAL GENERAL EN ESPACIOS CERRADOS POR EFECTO CHIMENEA	222
ECUACIÓN 65 – VENTILACIÓN NATURAL GENERAL EN ESPACIOS CERRADOS POR ACCIÓN COMBINADA	223
ECUACIÓN 66 – CAUDAL PARA REMOCIÓN DE CALOR	223
ECUACIÓN 67 – FLUJO DE AIRE POR UN ORIFICIO	224
ECUACIÓN 68 – DIFERENCIAL DE PRESIÓN	226
ECUACIÓN 69 – ECUACIÓN DE CONTINUIDAD	226
ECUACIÓN 70 – FLUJO DE AIRE POR UN ORIFICIO	226
ECUACIÓN 71 – ECUACIÓN DE CONTINUIDAD	227
ECUACIÓN 72 – CAUDAL DE ABERTURAS EXISTENTES	227
ECUACIÓN 73 – FRACCIÓN DE ABERTURA	228
ECUACIÓN 74 – ECUACIÓN DE CONTINUIDAD	228
ECUACIÓN 75 – ABERTURAS NECESARIAS	228
ECUACIÓN 76 – RELACIÓN CON EL CAUDAL DE MASA DE AIRE	228
ECUACIÓN 77 – SUPERFICIE NECESARIA PARA CADA ABERTURA	229
ECUACIÓN 78 – CAUDAL PARA REMOCIÓN DE HUMEDAD	229
ECUACIÓN 79 – HUMEDAD RELATIVA	230
ECUACIÓN 80 – RELACIÓN ENTRE HUMEDAD DEL AIRE INTERIOR Y EXTERIOR	230

ECUACIÓN 81 – HUMEDAD RELATIVA INTERIOR	230
ECUACIÓN 82 – GANANCIAS TÉRMICAS SOLARES	231
ECUACIÓN 83 - GANANCIAS TÉRMICAS SOLARES	232
ECUACIÓN 84 – FACTOR SOLAR DE COMPONENTES OPACOS	232
ECUACIÓN 85 – FACTOR SOLAR SIMPLIFICADO DE COMPONENTES OPACOS	232
ECUACIÓN 86 – FACTOR SOLAR DE COMPONENTES TRANSPARENTES	232
ECUACIÓN 87 – GANANCIAS TÉRMICAS SOLARES (SIMPLIFICADA)	233
ECUACIÓN 88 – GANANCIAS TÉRMICAS INTERNAS	233
ECUACIÓN 89 - INTENSIDAD DE FLUJO TÉRMICO DEBIDO A LA EVAPORACIÓN	234
ECUACIÓN 90 – BALANCE TÉRMICO ESTÁTICO	235
ECUACIÓN 91 - GANANCIAS TÉRMICAS SOLARES	235
ECUACIÓN 92 - SUPERFICIE EQUIVALENTE DE ABERTURA	236
ECUACIÓN 93 - GANANCIA TÉRMICA INTERNA MEDIA	236
ECUACIÓN 94 - COEFICIENTE DE INTERCAMBIO TÉRMICO	236
ECUACIÓN 95 - FLUJO TÉRMICO POR TRANSMISIÓN	237
ECUACIÓN 96 - FLUJO TÉRMICO POR VENTILACIÓN	237
ECUACIÓN 97 – BALANCE TÉRMICO ESTÁTICO (COMPLETO)	238
ECUACIÓN 98 – BALANCE DE PÉRDIDAS DE CALOR (CSTB)	239
ECUACIÓN 99 – TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR	239
ECUACIÓN 100 – BALANCE TÉRMICO DE VERANO	239
ECUACIÓN 101 - GANANCIAS TÉRMICAS SOLARES	240
ECUACIÓN 102 – FACTOR SOLAR EN COMPONENTES OPACOS	240
ECUACIÓN 103 – FACTOR SOLAR EN COMPONENTES TRANSPARENTES	241
ECUACIÓN 104 - INTENSIDAD DE FLUJO TÉRMICO POR CONDUCCIÓN	241
ECUACIÓN 105 - INTENSIDAD DE FLUJO TÉRMICO POR VENTILACIÓN	241
ECUACIÓN 106 – TEMPERATURA INTERIOR MÁXIMA	242
ECUACIÓN 107 – BALANCE TÉRMICO DINÁMICO	244
ECUACIÓN 108 - OSCILACIÓN EFECTIVA DE LA TEMPERATURA EXTERIOR	244
ECUACIÓN 109 – MASA TÉRMICA	244
ECUACIÓN 110 – CAPACIDAD TÉRMICA DE COMPONENTES CON CAPAS HOMOGÉNEAS	245
ECUACIÓN 111 - CAPACIDAD TÉRMICA DE COMPONENTES CON CAPAS HOMOGÉNEAS Y HETEROGÉNEAS	246

ECUACIÓN 112 – RETRASO TÉRMICO DE ELEMENTOS HOMOGÉNEOS	246
ECUACIÓN 113 - RETRASO TÉRMICO DE ELEMENTOS HOMOGÉNEOS	246
ECUACIÓN 114 – RETRASO TÉRMICO DE ELEMENTOS HETEROGÉNEOS	247
ECUACIÓN 115 – INERCIA TÉRMICA	248
ECUACIÓN 116 - INTENSIDAD DE FLUJO TÉRMICO POR CONDUCCIÓN	249
ECUACIÓN 117 - INTENSIDAD DE FLUJO TÉRMICO POR CONDUCCIÓN	251
ECUACIÓN 118 – REQUERIMIENTOS DIARIOS (DATOS CONTINUOS)	251
ECUACIÓN 119 – REQUERIMIENTOS DIARIOS (DATOS HORARIOS)	251
ECUACIÓN 120 – REQUERIMIENTOS DIARIOS (GRADOS-DÍA)	251
ECUACIÓN 121 – GRADOS-DÍA DE CALEFACCIÓN	252
ECUACIÓN 122 – GRADOS-DÍA DE REFRIGERACIÓN	252
ECUACIÓN 123 – FLUJO EXOTÉRMICO DIARIO	252
ECUACIÓN 124 – FLUJO ENDOTÉRMICO DIARIO	252
ECUACIÓN 125 – REQUERIMIENTOS MENSUALES	253
ECUACIÓN 126 – REQUERIMIENTOS ANUALES	253
ECUACIÓN 127 – TEMPERATURA BASE (CALEFACCIÓN)	253
ECUACIÓN 128 - TEMPERATURA BASE (REFRIGERACIÓN)	253
ECUACIÓN 129 – VALORES USUALES PARA VARIABLES DE LA TEMPERATURA BASE	253
ECUACIÓN 130 – VALORES USUALES PARA LA TEMPERATURA BASE	254
ECUACIÓN 131 – BALANCE TÉRMICO DE SUPERF. EXTERIORES.	272
ECUACIÓN 132 – BALANCE TÉRMICO DE SUPERF. INTERIORES	273
ECUACIÓN 133 – BALANCE TÉRMICO DEL AIRE	274
ECUACIÓN 134 – TEMPERATURA SUPERFICIAL EXTERIOR	276
ECUACIÓN 135 - FLUJO TÉRMICO CONVECTIVO PARA EL AIRE DE LA ZONA	276
ECUACIÓN 136 - TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR	277
ECUACIÓN 137 – CARGA DE REFRIGERACIÓN	277
ECUACIÓN 138 - FLUJO TÉRMICO CONVECTIVO PARA EL AIRE DE LA ZONA	277
ECUACIÓN 139 - INTENSIDAD DE FLUJO TÉRMICO	282
ECUACIÓN 140 – ENTRADA DE CALOR N HORAS ATRÁS (RTS)	282
ECUACIÓN 141 - GANANCIAS TÉRMICAS HORARIAS POR CONDUCCIÓN (RTS)	282
ECUACIÓN 142 – CARGA TÉRMICA RADIANTE DE REFRIGERACIÓN EN LA HORA CORRIENTE (RTS)	283

ECUACIÓN 143 – CARGA SENSIBLE	289
ECUACIÓN 144 – CARGA LATENTE	289
ECUACIÓN 145 – CARGA DE SUPERFICIES OPACAS	290
ECUACIÓN 146 – FACTOR DE REFRIGERACIÓN	290
ECUACIÓN 147 - CARGA DE SUPERFICIES OPACAS	290
ECUACIÓN 148 – CARGA DE ABERTURAS TRANSPARENTES	291
ECUACIÓN 149 – FACTOR DE REFRIGERACIÓN DE LA SUPERFICIE	291
ECUACIÓN 150 - CARGA DE ABERTURAS TRANSPARENTES	291
ECUACIÓN 151 – CALOR PRESENTE EN EL AIRE	291
ECUACIÓN 152 – CARGA DE VENTILACIÓN E INFILTRACIÓN	292
ECUACIÓN 153 – CARGA DE GANANCIAS INTERNAS	292

LISTADO DE SÍMBOLOS

Área (A) - m^2

Balance térmico total (Q_{total}) - W

Calor específico del aire (c) - $kJ/kg \cdot K$

Calor latente de la evaporación (L) - $J/kg \cdot K$

Capacidad térmica de la última capa del componente junto a la cara exterior (C_{Text}) - $kJ/m^2 \cdot K$

Capacidad térmica del componente (C_T) - $kJ/m^2 \cdot K$

Coefficiente de absorción (α) - adimensional

Coefficiente de absorción del espacio (α_{es}) - adimensional

Coefficiente de amortiguamiento de la edificación (m) - adimensional

Coefficiente de captación (γ)

Coefficiente de conductancia térmica superficial externo (h_e) - $W/m^2 \cdot K$

Coefficiente de conductancia térmica superficial interno (h_i) - $W/m^2 \cdot K$

Coefficiente de conductividad térmica del material (λ) - $W/m \cdot K$,

Coefficiente de emisividad térmica superficial (ϵ) - adimensional

Coefficiente de la superficie equivalente (c_{eq})

Coefficiente de transferencia de calor por radiación (h_r) - adimensional

Coefficiente de transmisividad a la radiación solar (τ) - adimensional

Coefficiente según la orientación y las obstrucciones (CR)

Coefficiente volumétrico de pérdidas de calor (G)

Constante de Stefan-Boltzmann (σ) - $W/m^2 \cdot K^4$

Densidad del aire (ρ) - kg/m^3

Diferencia de entalpía (ΔH) - $kJ/kg_{aire\ seco}$

Energía que desprende cada elemento (e) - W

Equivalente térmico (T_t)

Espesor (e) - m

Factor de tiempo (f_t)

Factor solar (FS) - adimensional

Grados-día (GD) - K
 Humedad relativa o Grado higrométrico (HR) - %
 Humedad relativa del aire exterior (HR_e) - %
 Humedad relativa del aire interior (HR_i) - %
 Humedad relativa máxima del aire (HR_{max}) - %
 Humedad relativa media del aire (\overline{HR}) - %
 Humedad relativa mínima del aire (HR_{min}) - %
 Intensidad de flujo térmico debido a las ganancias térmicas internas (Q_i) - W
 Intensidad de flujo térmico debido a las ganancias térmicas solares (Q_s) - W
 Intensidad de flujo térmico por conducción (Q_c) - W
 Intensidad de flujo térmico por ventilación (Q_v) - W
 Intensidad de radiación solar global incidente (I_g) - W/m^2
 Intensidad de rad. solar global media incidente en un plano vertical orientado a sur (I_{vs}) - W/m_2
 Intensidad total de radiación térmica (I) - W/m_2
 Número de elementos que desprenden calor (n)
 Número de horas diarias que desprenden calor (nh) - h
 Número de renovaciones horarias (N) - rh
 Peso total del componente (P_c) - kg/m^2
 Potencia (P) - W
 Potencia de cada elemento que desprende calor (P) - W
 Resistencia superficial externa (R_{se}) - $m^2 \cdot K/W$
 Resistencia superficial interna (R_{si}) - $m^2 \cdot K/W$
 Resistencia térmica (R) - $m^2 \cdot K/W$
 Resistencia térmica total (R_T) - $m^2 \cdot K/W$
 Retraso térmico (φ) - h
 Superficie equivalente (S_{eq})
 Superficie equivalente de abertura a sur (S_{es}) - m^2/m^3
 Tasa de conducción de calor ($Q_{conducción}$) - W
 Tasa de convección de calor ($Q_{convección}$) - W
 Tasa de evaporación de calor ($Q_{evaporación}$) - kg/s
 Tasa de radiación de calor ($Q_{radiación}$) - W
 Temperatura de confort (T_c) - K, °C

Temperatura de rocío del aire (T_r) - K, °C
Temperatura del aire exterior (T_e) - K, °C
Temperatura del aire interior (T_i) - K, °C
Temperatura equivalente o Sol-aire (T_{eq}) - K, °C
Temperatura máxima del aire (T_{max}) - K, °C
Temperatura media del aire (\bar{T}_e) - K, °C
Temperatura mínima del aire (T_{min}) - K, °C
Temperatura radiante de la superficie interior (T_{si}) - K, °C
Tiempo (t) - s
Tipo de inercia (In) - muy baja, baja, media o alta
Transmitancia térmica (U) - W/m²K
Variación de la energía (ΔE) - J
Variación del tiempo (Δt) - s
Volumen de aire (V) - m³
Volumen de intercambio de aire con valores típicos para el verano y el invierno (rh) - m³/m³·h

4. Razón humana.

4 elementos de la materia.

4 estados físicos de la materia.

4 operaciones básicas de la matemática.

Nacimiento. Crecimiento. Maduración. Muerte.

Primavera. Verano. Otoño. Invierno.

Frío. Cálido. Húmedo. Seco.

Norte. Sur. Este. Oeste.

4 semanas. 1 mes

4 tercios. 1 rosario.

4 estrofas. 1 soneto.

Objeto. Fundamentación. Estudio. Realización.

Invariancias. Elementalidades. Inconstancias. Equilibrios.

Materia. Energía. Espacio. Información.

1... 2... 3... 4.

$$Q_{\text{día}} = UA \times \int_{\text{día}} (T_i - T_e) \times \Delta_t \quad \text{Atendiendo a los objetos de las dimensiones urbanas y arquitectónicas en la capital del Estado de Goiás}$$

$$GD_c = \frac{\sum_{h=1}^{24} (T_{i_h} - T_e) \times \Delta_t}{24}$$

$$Q_{\text{día}} = UA \times \sum_{h=1}^{24} (T_{i_h} - T_e) \times 3600 \quad \text{Este modo de texto no$$

$$Q_{\text{día}} = UA \times \int_{\text{día}} (T_i - T_e) \times \Delta_t$$

$$Q_{\text{día}} = UA \times \int_{\text{día}} (T_i - T_e) \times \Delta_t$$

En un proceso de t
mentos arquitectónic

$$\sum_{h=1}^{24} (T_{i_h} - T_e) \times \Delta_t$$

$$Q_{\text{día}} = UA \times \int_{\text{día}} (T_i - T_e) \times \Delta_t$$

$$Q_{\text{día}} = UA \times \int_{\text{día}} (T_i - T_e) \times \Delta_t \quad \text{Atendiendo a los objetos de las dimensiones urbanas y arquitectónicas en la capital del Estado de Goiás}$$

$$GD_c = \frac{\sum_{h=1}^{24} (T_{i_h} - T_e) \times \Delta_t}{24}$$



INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la Tesis pasa por un camino de persistencia exploratoria, de incertidumbres y comprobaciones científicas. Es un seguir adelante, en medio a consecutivas interrogaciones y consecuentes afirmaciones. El planteamiento del problema parte de la indagación respecto a la integración ambiental de unos elementos arquitectónicos que han sido desplaza-

dos de su sitio original e implantados en diferentes momentos históricos. La cúpula, semi-esfera, que aparece y reaparece en distintos momentos de la historia y en diferentes lugares, por ocasión a una cultura, una forma de pensar, al mismo tiempo que, conserva características que son benéficas para el clima del lugar.

La idea de la Tesis, en ningún momento, es el de realizar un estudio puramente técnico, sino, de integrarlo al universo arquitectónico tratando el tema a partir de la mirada del arquitecto y no tanto de un experto técnico en construcciones arquitectónicas o en la tecnología del ambiente construido. Esto lleva a considerar el objeto desde los puntos de vista de dos campos de la arquitectura: la composición y crítica; y la tecnología.

El recorte histórico parte del estudio del período victoriano en Inglaterra a partir de Banham (1967), avanza a los principios de la arquitectura moderna, se concentra en la continuidad y discontinuidad de Montaner (2001, 2008), así como el nuevo regionalismo de Frampton (1982, 1997) y las diferentes posturas arquitectónicas. Pero solo se desarrolla a partir de Norberg-Schulz (1975, 1980, 2005) y el entendimiento del lugar. Es a partir del lugar, que los campos de la tecnología del ambiente construido y de la composición y crítica se confluyen y abren las bases para la realización de la Tesis.

Las experiencias de identificación con el lugar y las relaciones que se establecen entre distintas partes del mundo son ideas que están siempre presentes en todo el desarrollo de la Tesis. Y termina por influenciar la definición por el estudio de transcendencias y transformaciones, que se inicia a través del estudio de cuatro obras de cuatro arquitectos modernos, de cuatro países de Latinoamérica y Península ibérica. Pasando por el estudio de dos iconos arquitectónicos que hacen referencia a la relación de transcendencia de la postura en la interiorización de lo moderno en Brasil. Así como estudios sobre los espacios públicos más característico de la época. Bien como aspectos de forma, piel e interior de viviendas modernas venti-

ladas naturalmente, contruidas en la ciudad de Goiânia en las décadas de 1950 y 1960.

La confluencia de los campos y las características de transcendencia y transformación de elementos arquitectónicos establecen la relación entre invariantes e inconstancias, a partir de la apropiación de los conceptos de elementalidad y equilibrio. Invariancias, elementalidades, inconstancias y equilibrio son cuatro claves del entendimiento conceptual de la relación que subsiste en medio a las transcendencias y transformaciones ocurridas en la arquitectura moderna, desde la pre-modernidad hasta su difusión en sitios particulares como la ciudad de Goiânia, ubicada en el interior continental de Brasil.

En esta ciudad, la Tesis termina por realizarse en el estudio de una realidad más cercana al autor, estableciendo los paralelos necesarios entre el tiempo, el espacio y los campos de investigación.

La Tesis se organiza en 3 partes, contruidos por medio de 7 capítulos, donde se expone la problemática al cual la Tesis se ubica, así como los objetivos, las justificaciones y el método utilizado en su desarrollo:

- **Ambiente y Arquitectura**
 - ◆ compuesto por 4 capítulos que tratan de elementalidades, transcendencias, inconstancias y equilibrios en la arquitectura y en el ambiente;
- **Ambiente Arquitectónico**
 - ◆ compuesto por 2 capítulos, donde el primero trata del concepto y del método y, en el segundo, trata de los resultados y las discusiones;
- **Ambiente y Crítica**
 - ◆ compuesto por 3 sub-capítulos que tratan de la relación entre ambiente y crítica

Partiendo de la transcendencia espacial de la arquitectura y sus aspectos de inconstancia e invariancia, con enfoque en el Movimiento Moderno y el proceso de revisión crítica que se establece en su expansión, internacionalización e interioriza-

ción en Brasil. A partir de la caracterización de dicho proceso, nos centramos en la búsqueda por el carácter regional presente en el nuevo regionalismo.

En seguida, es indagado acerca de la relación existente entre invariantes arquitectónicos y variables ambientales locales. Haciendo una relectura contemporánea desde los invariantes que trascendieron climas en la internacionalización de la arquitectura moderna, su interiorización en Brasil y consolidación en Goiânia, en las décadas de 1950 y 1960, hacia sus posibles correspondencias con las variables ambientales de la región a la que han sido importados.

La relectura contemporánea propuesta a partir de la reflexión acerca de la transcendencia de invariantes en el proceso de revisiones críticas modernas parte de la fragmentación del artefacto arquitectónico en búsqueda de la identificación de invariantes y sus elementos fundamentales, sus elementalidades. La desconstrucción del todo permite el aislamiento de las partes y el estudio de sus transformaciones frente a las transcendencias.

Los aspectos arquitectónicos e históricos son planteados partiendo del entendimiento de lo que es inherente al artefacto, en cuanto composición y contextualización, hacia su caracterización, en lo tocante a la identificación de vestigios y enlaces que conectan mundos, lugares y climas, pasando por métodos de estudio que contribuyen a la complementación del análisis de las inconstancias y búsquedas de equilibrio presentes en la relación entre la materia y la energía. La síntesis final busca evidenciar las invariancias de elementos arquitectónicos inherentes al proceso histórico de transcendencia de lo moderno y su apropiación en la ciudad de Goiânia.

Los aspectos ambientales y energéticos son planteados partiendo de la introducción a sus aspectos elementales, que busca aislar y caracterizar elementos según su relación con el desempeño térmico de viviendas. En seguida, se estudia las relaciones entre la materia y la energía, transferencias por con-

ducción, convección, radiación, evaporación y condensación. En secuencia, se centra en la exploración de métodos de cálculo y análisis de los estados estacionario y dinámico de las relaciones entre materia y energía. Al final se busca evidenciar las inconstancias propias a las transferencias de calor, ocasionadas por la búsqueda por un equilibrio energético en la materia.

La construcción de la base explicativa que fundamenta la lectura del proceso de transcendencia y transformación presente en la apropiación de lenguajes arquitectónicos ajenos se da alrededor de la relación entre arquitectura y ambiente, a través de la realización de un paralelismo entre los aspectos arquitectónicos-históricos y los ambientales-energéticos, formando cada cual un capítulo independiente que culmina sus ideas alrededor de las claves mencionadas:

- transcendencias y transformaciones
- invariancias y elementalidades
- inconstancias y equilibrios.

En el estudio del Ambiente Arquitectónico se propone un procedimiento de análisis basado en la conceptualización realizada en la fundamentación teórica y, en el capítulo siguiente, se discuten los resultados obtenidos a partir del análisis experimental y simulacional de las obras arquitectónicas.

La reflexión entre el Ambiente y la Crítica se realiza a partir de la síntesis de los aspectos compositivos y ambientales de la arquitectura moderna de viviendas pasivas construidas en las décadas de 50 y 60 del siglo XX en la ciudad de Goiânia. Permeando relaciones dialécticas presentes en el Movimiento, a fin de dar luz a la problemática de las transformaciones y transcendencias propias a esta producción arquitectónica.

Leer la arquitectura a partir de sus relaciones favorece el entendimiento sobre sus elementos constitutivos y sus estados frente al tiempo y al espacio. En el proceso estudiado, la contradicción, la inconsciencia y la limitación coexisten junto a la sensibilidad, la intencionalidad y la postura arquitectónica de la época.

Problemática

Las 'neo-arquitecturas' bien como la internacionalización y nacionalización de un lenguaje arquitectónico nos demuestra que la arquitectura no simplemente trasciende en el tiempo y en el espacio sino que lo hace a partir de un proceso caracterizado por cambios e invariancias, relativos al momento en que se dan y al lugar en que se encuentran.

Destacamos dos ideas clave referentes a este proceso:

- **Transcendencia**, en el sentido de superar límites espaciales a lo largo del tiempo; comprendida a partir de dos dimensiones:
 - ◆ **temporal**
 - ◆ **espacial**
- **Transformación**, como proceso de evolución caracterizado por ciertas invariancias; comprendida a partir de dos dimensiones:
 - ◆ **cambios**
 - ◆ **invariancias**

42

Por medio de la dimensión temporal de la transcendencia podemos percibir el desarrollo histórico de productos de diversos órdenes, como social, cultural, etc. Ya a través de su dimensión espacial tenemos la posibilidad de centrarnos en la relación entre un lenguaje arquitectónico determinado y una región específica, donde se haya extendido.

La transcendencia temporal es evidenciada por la configuración de vestigios en el desarrollo de productos culturales. Para Otto Koenig (apud Lorenz, 1974) esta configuración se utiliza del concepto de la homología y analogía y se manifiesta como en la filogénesis. Konrad Lorenz (1974) describe algunos distintivos de formas no funcionales que se conservan como señales del siglo XIX, presentando con cuánta pertinacia se aferra el hombre a las tradiciones presentando este proceso de transcendencia como 'proceso filogenético de diferenciación' donde el enlace a lo experimentado, lo conocido y la resistencia

al ensayar lo nuevo son característicos del ‘pensamiento mágico’, una propensión humana al conservadurismo definido por la ritualidad. De hecho, la selección y no la planificación racional desempeña un papel principal en el desarrollo histórico y en el devenir filogenético, donde se nota la pérdida del carácter funcional a partir de su sustitución por lo simbólico.

La transcendencia espacial se da a partir de diferentes escalas de estudio, de acuerdo con su relación con el Movimiento Moderno:

- Escala global: internacionalización
- Escala regional: nacionalización e interiorización
- Escala urbana: la apropiación, en este caso, en Goiânia
- Escala arquitectónica: el acervo arquitectónico moderno, mas propiamente, viviendas unifamiliares ventiladas naturalmente.

Las escalas hacen referencia a la extensión y difusión del Movimiento Moderno en el Mundo, a partir de generaciones anteriores al Movimiento, como Frank Lloyd Wright (1867-1959) y las generaciones modernas en Europa y América citadas por Montaner (2001)¹, como Le Corbusier (Charles-Edouard Jeanneret, 1887-1965); y tantos otros como:

- Luis Barragán (1902-1988); Coderch (José Antonio Coderch i Sentmenat, 1913-1984); Álvaro Siza (1933-); y Severiano Mário Porto (1928-).

Hasta en la ciudad de Goiânia:

- David Libeskind (1928-), Eurico Calixto de Godoy (1925-), Luiz Osório Leão y Silas Rodrigues Varizo.

Pasando por:

- Lucio Costa (1902-1998), Vilanova Artigas (1915-1985), Oscar Niemeyer (1907-2012), Luis Nunes (1909-1937), Acácio Gil Borsoi (1924-), Atílio Corrêa Lima (1901-1943) y Edgar Albuquerque Graeff (1921-1990).

El enfoque se da a las últimas escalas, concentrándose en

la producción moderna en la ciudad de Goiânia. De este modo, el texto no sigue un orden cronológico sino que hace diferentes referencias a las distintas escalas a lo largo de la presentación y descripción de las dimensiones urbana y arquitectónica de la concretización de lo moderno en la capital del Estado de Goiás.

En un proceso de transcendencia espacial, principios compositivos y elementos arquitectónicos son transmitidos por territorios, transformándose a través de un proceso singular que permite ser percibido a partir de vestigios y enlaces que conectan mundos, lugares y climas.

Las transformaciones pueden ser originadas a partir de un proceso que conserve algunas características en detrimento de otras, al mismo tiempo que se cambie al relacionarse con diferentes variables regionales y locales, como las variables ambientales. De este modo, podemos encontrar enlaces entre arquitecturas de diferentes países o de diferentes épocas. Pero también podemos notar una estrecha relación entre estas arquitecturas y la esencia del lugar donde se encuentran.

44

Wright se asume como un auténtico norteamericano y Gaudí alude a las formas de Montserrat en sus obras y no por eso sus arquitecturas dejan de ser referencias globales. Del modo como la arquitectura de Aalto es esencialmente moderna y nórdica, comprobando que es posible realizar esta síntesis indagada por Ricoeur (1961): “¿cómo tornarse moderno y volver a las raíces; cómo revivir una civilización antigua y adormecida y participar de la civilización universal?”²

“(..) sería de gran interés (...) un estudio de las relaciones entre los estilos y la región a la que fueron importados. Es un hecho bien conocido que la arquitectura clásica cambió cuando pasó de Italia a la Europa central y del norte. Los edificios clásicos son distintos en París, Londres, Berlín y San Petersburgo. Pero esas diferencias rara vez se han descrito en relación con el espacio y la forma, ni se han explicado en función del *genius loci* del lugar en cuestión.(..)

la Stimmung de las diversas localidades influye evidentemente en los lenguajes generales de la forma, al igual que 'pone a tono' a la gente que vive en ellas. Sin embargo, (...) los estilos también han conservado su identidad general, un hecho que ha proporcionado cierto internacionalismo a la arquitectura." (NORBERG-SCHULZ, 2005 p. 192).³

Norberg-Schulz (2005) señala la necesidad de un estudio respecto a la relación entre arquitecturas y territorios desde una perspectiva del *genius loci*, el espíritu del lugar.

La asociación entre artefacto y lugar a los cuales Norberg-Schulz, Ricoeur, Frampton y Montaner hacen mención es análoga a la relación entre los invariantes que trascienden climas y las variables ambientales de un lugar^{xiii}.⁴ Y es aplicada en la relectura arquitectónica propuesta a partir de la reflexión acerca de la trascendencia de invariantes en el proceso de revisiones críticas modernas.

45

El proceso de identificación de invariantes se da por medio de dos cualidades propias al objeto que dan forma al estudio de transformaciones arquitectónicas del Movimiento:

- Transcendencia. En el sentido en que debe hacer referencias a arquitecturas presentes en otros lugares.
- Inmanencia. En el sentido en que pasa por la relación con las variables del lugar.

La trascendencia trata de estudiar las relaciones del objeto con los contextos ajenos y la inmanencia trata de estudiarlas con relación a los contextos cercanos. Así que el primero da luz a las conexiones temporales y espaciales, en cuanto el segundo lo relaciona con el lugar en cuestión.

xiii Unwin (1997) se refiere a las cuestiones ambientales como aquellas que ofrecen e imponen condiciones a la arquitectura, clasificándolas como elementos variables frente a los elementos fundamentales de la arquitectura.

La cuestión del lugar^{xiv} pasa a ser el elemento clave en las relaciones de trascendencia e inmanencia del objeto y por eso, es imprescindible definirlo de modo a dar condiciones para la inserción de límites entre dichas relaciones.

“O tecnicismo se manifesta na arquitetura sob diferentes formas, mas principalmente a partir de uma admiração destemperada pelas máquinas e os mecanismos, os novos materiais de edificação e os mais avançados métodos e sistemas construtivos – destemperado de que resulta uma superestimação da importância dos meios de edificação no processo de realização da obra de arquitetura (...). As obras produzidas para essa sombra de gente erguem-se nos quatro cantos do mundo. São indiferenciadas, quase idênticas umas às outras, cosmopolitas e tão estereotipadas quanto os fantasmas aos quais se destinam.” (GRAEFF, 1979, p. 44 apud BASTOS, 2001, P. 185)⁵

46

Luz en la estructura designa la distancia libre entre columnas y también es empleada para definir el espacio abierto en una pared que deja pasar esta forma de energía.⁶ El “vacío” ocasionado por la ausencia de lo “lleno” da sentido a la palabra lugar. El lugar, en cuanto territorio de identificación del hombre, se realiza en el espacio y no en la materia. Aunque el espa-

xiv Para Norberg-Schulz (1984), el nombre concreto para ambiente es lugar, considerado como parte de la existencia. Etimológicamente, la palabra lugar tiene su origen en la palabra *lucaris*, un dialectalismo itálico de habla vulgar dentro del latín, que sustituye en la práctica la forma clásica *lucus*, claro o claridad en el bosque. Un *lucus* o un *lucaris* se destinaba a la protección de una divinidad o a una sede de establecimiento de una pequeña población, único significado que ha sido conservado por el cristianismo tras eliminar cualquier dedicación sagrada al término. De este modo, las palabras *lucus* y *lucaris*, claro o claridad, son un derivado de la raíz del latín *lux* (luz), del griego *leukos* (blanco, brillante), de raíz indoeuropea *leuk* (luz, luminosidad, brillar).

cio es determinado por la materia. Y el sentido de existencia de la materia es generar el espacio.

Para Bastos (2001)⁷, existe una comunión inseparable entre luz y estructura, arquitectura e intención, arte y tecnología, contemplación y piedra. La tecnología, los materiales y las formas se deben antes a una intención de creación, la creación de un ambiente en comunión con lo que se cumplirá la existencia humana.

Al decir que la materia se debe antes a una intención de creación de un ambiente donde se realiza la existencia humana, se establece un orden de prioridad entre los elementos arquitectónicos.

La materia es entendida como fundamento, elemento generador de los demás, una vez que está para la creación del espacio. El espacio como producto de las relaciones materiales todavía no es capaz de generar un lugar, aunque este tenga origen en el *lucaris*. Para que la existencia humana se cumpla es necesario algo más que materia y espacio.

El *lucaris* / *lux* comprendido como algo más que el simple territorio, abarca algo más que una relación entre materia y espacio.

47

“(..) ‘place’ means something more than location.” (NORBERG-SCHULZ, 1984)

La *lux* a la que la etimología afirma como origen del *lucaris* no solamente designa lugar, sino también energía e información. Al mismo tiempo que luz es una forma de energía que produce un brillo que permite ver, luces son conocimientos científicos y culturales; inteligencia (a todas luces, o sea, de manera clara y segura).⁸ Luz como información significa una relación de conocimiento y reconocimiento entre el objeto y el hombre, a partir de sus facultades mentales y su experiencia cultural. Luz es de una cierta forma, contenido energético-informativo que contribuye a la identificación del lugar.

La arquitectura moderna nos presenta un escenario particular acerca de la relación entre un lenguaje arquitectónico determinado y la región donde haya sido importado. El gusto por lo nuevo revela que la resistencia al ensayarlo ha sido superada, lo que implicaría en un modo distinto de tratar el fenómeno de la invariancia, con cierta discrepancia al ‘pensamiento mágico’. Además, su extensión e internacionalización demuestra el carácter espacial de la transcendencia al mismo tiempo que las dualidades presentes en el Movimiento Moderno^{xv} revelan un complejo de relaciones intervinientes en dicho fenómeno.

La razón de la arquitectura moderna ha sido ayudar al hombre a identificarse con un nuevo entorno físico y social, un ‘nuevo mundo’. El mundo moderno exigía de las Vanguardias Europeas una respuesta arquitectónica pautada en formas originales desvinculadas de las formas del pasado. La concepción espacial, el sentido de espacio y de tiempo, advenía de cambios en la relación del hombre y su entorno, entendido a través de aspectos como apertura, continuidad, movilidad, interacción y simultaneidad, entre otros.⁹ Para Giedion (1958), la arquitectura debería volver a empezar. Y para Norberg-Schulz (2005), para ponerse en práctica tal concepción de espacio se exigía un nuevo lenguaje formal.¹⁰

Por un lado, las estructuras espacio-temporales de la arquitectura moderna revelan una postura^{xvi} que interviene en

xv Con base en Montaner (2001) y Norberg-Schulz (2005), consideramos como “Vanguardias Modernas”, aquellas corrientes compuestas por autores que proponen innovaciones arquitectónicas entre los años 1919 y 1930 y como “Movimiento Moderno”, la corriente de tendencia internacional que parte de las vanguardias europeas de principios del siglo XX y se extiende, internacionaliza y produce a lo largo de los años 20.

xvi La relación que se establece entre los elementos variables y los fundamentales resulta de una postura, un principio resolutivo adoptado por el arquitecto frente al problema. Landau apud

su ‘proceso filogenético de diferenciación’. Por otro, su difusión e internacionalización va a caracterizarse por una dualidad de posturas¹¹ que, indirectamente, cuestiona y pone en dudas el fenómeno de la invariancia. En suma, tanto las Vanguardias Europeas como el Movimiento Moderno intervienen en el fenómeno de la invariancia, sea favoreciéndolo, sea limitándolo.

Si la arquitectura moderna nace con las Vanguardias Europeas como una respuesta que busca satisfacer una necesidad de identificación y que implica en el sentido de pertenencia y participación, siendo por tanto, expresión de una nueva forma de amistad entre el hombre y su entorno.¹² Su extensión, internacionalización y producción se dan en medio de divergencias que naturalmente producen espacios con diferentes cualidades ambientales.

Los cambios de proporciones globales que culminaron en la Segunda Guerra Mundial, juntamente con la expansión de la nueva arquitectura hacia mundos de realidades distintas, como Brasil, han provocado el surgimiento de un nuevo escenario caracterizado por una dualidad de posturas: acrítica y crítica.

- Postura acrítica de continuidad formal, un Método Internacional ^{xvii} institucionalizado a los moldes de la Vanguardia;
- Postura crítica de crisis del Movimiento, manteniendo la postura de la Vanguardia, desconfiando de ella misma y proponiendo los primeros ensayos de modo a contribuir al desarrollo de la ‘nueva tradición’.

Montaner (2008) considera que cada arquitecto posee un conjunto de principios inviolables que nos ayudan a identificarlo individualmente y a agruparlo en ciertas posturas.

xvii Utilizaremos la denominación de “Método Internacional” a la postura institucionalizada en 1932 por Hitchcock y Johnson, y “Nuevo Regionalismo” para hacer referencia a los arquitectos, o su producción, que han realizado un proceso de continua revisión del Movimiento.

Los aspectos básicos de la arquitectura, según Norberg-Schulz (2005, p.33): la organización del espacio y la forma construida, o, resumiendo, el ‘espacio’ y la ‘forma’, son consecuencias de las dichas posturas, crítica y acrítica, que tienen inicio en el mismo año, 1931^{xviii}. En este año, al mismo tiempo en que se instituye el Método, se dan los primeros pasos hacia su descomposición:

- Por un lado, la búsqueda por un canon que generó un Método que buscaba falsamente la unidad y silenciaba la diversidad,^{xix} apoyándose en bases contradictorias que limitaban y reducían la propia base de la arquitectura moderna. Esta postura ha contribuido a la creación de ejemplares con un fuerte carácter de invariancia espacial.
- Por otro, un proceso continuo de revisiones críticas realizadas por sucesivas generaciones de arquitectos. Esta postura asimila un cierto ‘proceso filogenético de diferenciación’ poniendo en duda el carácter de invariancia espacial a partir de la búsqueda por un carácter regional.

La idea de un **proceso continuo de revisiones críticas** realizado por sucesivas generaciones de arquitectos es apoyada por la historiografía más reciente, basándose en:

- las ideas de diversidad y complejidad presentes en el Movimiento – ideas adoptadas por Landau, Frampton y Montaner;
- el criterio de generación para tratar la arquitectura del siglo XX – ampliamente aceptado y utilizado por Giedion, Norberg-Schulz, Banham, Frampton y Montaner.

xviii Montaner cita la fecha de 1932, cuando Norberg-Schulz cita la fecha de 1931.

xix Como diversidad, nos referimos a los experimentos que encajaban en la unidad pretendida como los organicistas y otros.

Las generaciones modernas son clasificadas por Montaner (2001)¹³ en cinco grupos distintos:

- Anteriores a los protagonistas del Movimiento Moderno, como Frank Lloyd Wright;
- 1ª Generación – los protagonistas, que empiezan a desarrollar sus obras a partir de los años 10, como Le Corbusier;
- 2ª Generación – los discípulos directos de los maestros, que empiezan a desarrollar sus obras a partir de los años 30, como Aalto, Lucio Costa y Oscar Niemeyer;
- 3ª Generación – los que empiezan a desarrollar obras destacables a partir de 1945-50, como Corderch y Alfonso Eduardo Reidy;
- 4ª Generación – los que empiezan a desarrollar obras con más destaque a partir de los años 60, como Siza y Severiano Porto.

Tales generaciones parten de una etapa inicial donde la 1ª Generación no ha prestado mucha atención al **carácter regional**.¹⁴ La necesidad de establecer un canon les ha obligado a hacer cierta abstracción de las condiciones circunstanciales, lo que llevó al surgimiento de una arquitectura “internacional”.

Pero, aunque haya partido de una cierta escala global, la Arquitectura Moderna no ha tardado en percibir la necesidad de tal carácter, propiedad necesaria de cualquier arquitectura auténtica. En 1930, la 2ª Generación ya demostraba eso y también Le Corbusier, a través de sus obras. De este modo, al mismo tiempo en que se instituye el Método, se dan los primeros pasos hacia una postura crítica al Movimiento.

El proceso de continua revisión crítica^{xx} significó un proceso de crisis del Movimiento Moderno hacia un nuevo regionalismo (Giedion, 1958), también llamado regionalismo

^{xx} a partir de aquí denominado “proceso de revisión crítica”, o simplemente “crítica”.

crítico^{xxi} por Tzonis y Lefraive (1981), donde se trataba de rescatar el vínculo con el lugar y necesariamente, con el entorno inmediato, nivel más bajo entre los demás: paisaje, región, país y mundo.

El nuevo regionalismo se da a partir de un cierto consenso anticentralista inspirado por una forma de independencia cultural, económica y política, surgiéndose de paradojas y contrastes y resultándose de cuestionamientos que hacen crítica al Movimiento Moderno que buscan devolverle un sentido de lugar y significado.

Se trata de un raciocinio que parte del entendimiento del embate entre la civilización universal y la cultura local, que diagnostica la queda del espíritu libertador de las Vanguardias y, sin deshacerse de las técnicas universales, propone una postura conservadora que valora las especificidades locales sin pretender denotar el anterior vernáculo, realizado espontáneamente a partir de la combinación entre clima, cultura, mito y artesanía.

52

Las características del nuevo regionalismo presentadas por Frampton (1997) pueden ser agrupadas en tres aspectos:

- Aspectos generales de lugar ^{xxii}
 - ◆ arquitectura como hecho tectónico
 - ◆ énfasis en el territorio en detrimento del edificio
 - ◆ valoración de aspectos específicos del lugar y de la topografía
- Aspectos culturales (cultura de vivir)
 - ◆ cultura mundial de base regional

xxi El término “regionalismo crítico” adviene de los textos *Die Frage des Regionalismus* y *The Grid and the Pathway*, de Alexander Tzonis y Liane Lefaivre de 1981; y de las reflexiones de Paul Ricoeur, en el libro *Universalization and National Cultures* de 1961.

xxii Los aspectos generales permean los demás mientras que los aspectos culturales y ambientales son más específicos.

- ◆ reinterpretación de lo vernáculo
- Aspectos ambientales
 - ◆ valoración de la luz y de lo táctil
 - ◆ intercambio con el exterior con aberturas como zonas de transición

La clave está en la búsqueda por procedimientos contextualizados de valoración de especificidades locales, en lugar de una actitud cerrada en códigos arquitectónicos de costumbres locales. Lo que significa una postura contraria al atomismo que cita Norberg-Schulz (2005), caracterizado por el fenómeno de la invariância, que carece de carácter, elemento a ser identificado en la recuperación del *genius loci*, el espíritu del lugar.¹⁵

Esta postura se identifica con las recomendaciones del Tratado de Vitrubio, “Da Arquitectura” del siglo I a.C., cuanto al Decoro o Conveniencia y la Distribución u Oikonomía.¹⁶ De este modo, para Cook (1988) apud Romero (2001), la arquitectura llega a ser regional cuando responde al lugar con un diseño adecuado. Para él, el diseño solar pasivo es una creación reciente de un viejo concepto.¹⁷

53

De este modo, el proceso de revisión crítica debería asemejarse a un proceso filogenético de diferenciación caracterizado por invariâncias y variancias donde las últimas se corresponderían a una adecuada respuesta arquitectónica acerca de las variables ambientales del lugar en cuestión, ya que, a la vez, dicho proceso debería desarrollarse hacia un rescate del carácter regional, centrado en el embate entre la civilización universal y la cultura local.

Concerniente a estas relaciones, Montaner (2008) afirma que “el tópico de que rechazaban la naturaleza a favor del mundo de la máquina es falso (...) pensaron unas nuevas formas abiertas e independientes para poder integrar la naturaleza, para que el verde no quedase segregado, sino integrado”.¹⁸ Bruand (1997), respecto al desarrollo de la arquitectura moder-

na en Brasil, también afirma que “sem dúvida alguma, foi o clima o fator físico que mais interferiu na arquitetura brasileira”.¹⁹ Los autores hacen referencia a las generaciones responsables por la extensión e internacionalización de la arquitectura moderna, abordada en esta Tesis con particular interés cuanto al proceso de transcendencia espacial hacia Brasil, su interiorización y consolidación en Goiânia, en los años 50 y 60 del siglo XX.

En **Brasil**, la historiografía afirma que la nacionalización de la arquitectura moderna ha recibido, especialmente, la influencia de arquitectos de la primera generación moderna^{xxiii} - como Le Corbusier, Mies Van der Rohe y Walter Gropius - siendo caracterizada por el uso de elementos modernos, con destaque al proyecto de la vivienda por constituirse uno de los más significativos medios de expresión de la nueva arquitectura.^{xxiv}

La vivienda pasa a ser la protagonista de la época. Le Corbusier, en 1923, afirma que:

“El problema de la casa es un problema de la época. El equilibrio de las sociedades depende actualmente de él. El primer deber de la arquitectura, en una época de renovación, consiste en revisar los valores y los elementos constitutivos de la casa”. (LE CORBUSIER, 1923, P. XXXII)²⁰

Norberg-Schulz (2005) sostiene que:

xxiii Aunque Wright haya visitado Brasil en la misma época que Le Corbusier, no ha tenido mucha repercusión en la arquitectura moderna brasileña, con pequeñas influencias en la obra de Artigas, en los años 30, en São Paulo.

xxiv Además de les 5 points d'une architecture nouvelle de Le Corbusier - en especial los brises-soleil - los elementos que más se destacan en la caracterización de la piel de los edificios modernos en Brasil son las celosías y el uso del ladrillo cerámico como material de constitución de los cerramientos opacos.

“(..) la intención general de la arquitectura moderna es proporcionar al hombre una nueva ‘vivienda’”. (NORBERG-SCHULZ, 2005, P.17) ²¹

La arquitectura moderna brasileña ha sido liderada por Lucio Costa en Rio de Janeiro y esta arquitectura, conocida como ‘Escola Carioca’ (1930-1950), es considerada como la cuna de la arquitectura moderna brasileña.

“Cria um estilo nacional de arquitetura moderna: uma espécie de brazilian style, que se dissemina pelo país entre os anos 1940 e 1950, contrapondo ao international style, hegemônico até os anos 1930.” (ITAÚ CULTURAL, 2010) ²²

Costa describe la Escola Carioca como:

“um conjunto de profissionais interessados na renovação da técnica e da expressão arquitetônicas, constituindo-se de 1931 a 1935, pequeno reduto purista consagrado ao estudo apaixonado, não somente das realizações de Gropius e de Mies van der Rohe, mas principalmente, da doutrina e obra de Le Corbusier, encaradas já então, não mais como um exemplo entre tantos outros, mas como Livro Sagrado da Arquitetura”. (COSTA, 1962, P.33) ²²

55

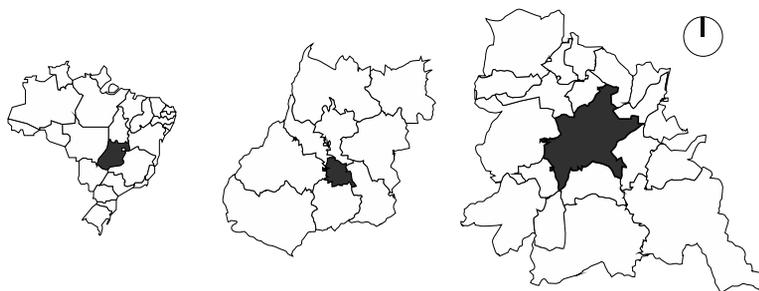
En São Paulo, la Escola Paulista, como es conocida, ha tenido como protagonista Vilanova Artigas y ha realizado una arquitectura marcada por el énfasis en la técnica constructiva, por la adopción del hormigón armado aparente y la valoración de la estructura.

Poco se ha producido académicamente sobre la arquitectura moderna realizada en el interior del país. En este sentido la historiografía brasileña no deja de ser un reflejo de lo que es Brasil, un país caracterizado por la diferencia en la forma de diversidades y desigualdades. Los contrastes entre la costa y el interior, y entre las porciones norte y sur del país, están presen-

tes en muchas áreas, así como en el área académico. Cuando la historiografía sale del eje Rio – São Paulo, llega a la Escola de Recife, protagonizada por Luis Nunes, o al sur del país con la arquitectura producida en el Estado del Rio Grande do Sul, manteniéndose geográficamente en la propia costa y convirtiendo la interiorización del Movimiento en mera variación regional de una arquitectura ya gestada en el eje dicho principal.

De este modo, el tema queda restringido a una porción geográfica resultando en el desconocimiento de buena parte del legado arquitectónico nacional, que pasa a ser infravalorado incluso en sus propias ubicaciones, perjudicando, además, a la preservación del patrimonio, como es el caso de la ciudad de **Goiânia** (Fig. 1).

56



En la bibliografía disponible sobre la arquitectura moderna producida en Goiânia en las décadas de 1950 y 1960, destacamos los estudios de Vaz & Zárte (1994, 2004, 2005) y Moura (2009)²⁴. Los demás estudios realizados tienen enfoques en otros campos como la historia, la composición, el urbanismo o el paisajismo.

La ciudad de Goiânia ha sido creada en 1937 con el intuito de ser la nueva capital del Estado de Goiás. Para Vaz & Zárte (2005),²⁵ su creación se ha dado en medio a un contexto nacional de transformaciones de distintos órdenes (económicos, sociales, políticos, etc.) y se ha destacado como ciudad planeada y expresión del progreso en la búsqueda por la modernización del “cerrado goiano”.^{xxv}

Fig. 1 – Localización de Goiânia (de la izq. a la der.: Estado de Goiás / Región metropolitana / Goiânia)

xxv

Cerrado: bioma que está ubicado en parte de las re-

El inicio de los años 50 se destaca principalmente por: la política de interiorización del desarrollo nacional de Juscelino Kubitschek presidente de Brasil en la época; y por la creación de Brasilia, nueva capital de Brasil; además de otros aspectos como la ampliación de la infraestructura en sectores como comunicación, transporte y energía. En esta década, los primeros edificios modernos pasan a ser construidos en Goiânia, constituidos todavía como obras aisladas aunque muy significativas por su lenguaje nuevo y diferenciado. A partir de este momento la cantidad de edificios modernos ha aumentado considerablemente.

Aún así, la ciudad nació inserida en un contexto muy regional, desvinculado de las grandes ciudades. Este período era caracterizado por ciertos contrastes que ejercían un papel determinante en la producción arquitectónica. Muchos eran los aspectos intervinientes:

- Por parte de la sociedad, unas exigencias programáticas vinculadas a unos hábitos y costumbres propios de su cultura de vivir:
 - ◆ El enraizamiento regional y la dificultad en la aceptación de lo moderno. Se trata de una sociedad arraigada en una cultura y costumbres tradicionales. La construcción del sentido de lugar pasa por estos aspectos.
- Por parte de los arquitectos, la búsqueda por la implantación de una nueva arquitectura:
 - ◆ La facilidad en absorber influencias externas “filtradas” por sus formadores y asociadas a tendencias formalistas y hacia al gusto por el nuevo;
 - ◆ El riesgo de una mala incorporación de lenguajes ajenos, advenidos de otras culturas la tentación de una aplicación local directa de lo

57

giones centro-oeste, sureste y noreste de Brasil. La palabra “goiano” significa aquello que pertenece al Estado de Goiás.

experimentado fuera del contexto donde van a actuar. Todavía hoy, gran parte de las edificaciones brasileñas siguen siendo construidas de forma casi siempre uniforme, incorporando, muchas veces, lenguajes de otras culturas y difundiendo una tipología “universal” por ciudades de condiciones climáticas considerablemente distintas;

- ◆ La consciencia, visión y capacidad de aquellos arquitectos en discernir las influencias recibidas y el contexto en que actuaban.

Entre los arquitectos actuantes en la ciudad de Goiânia a partir de los años 50, mencionados en la bibliografía disponible, destacamos dos, que podemos clasificar como pertenecientes a la 4ª Generación Moderna:

- David **Libeskind**, con origen en el Estado del Paraná y licenciado en Arquitectura por la Universidad Federal de Minas Gerais;
- Eurico Calixto **Godoy**, con origen en el Estado de Goiás y licenciado en Arquitectura por la Facultad Nacional de Arquitectura de la Universidad del Brasil en Rio de Janeiro;

Licenciados en universidades de Rio de Janeiro, São Paulo y Minas Gerais, los arquitectos de la 4ª Generación Moderna y actuantes en Goiânia son los responsables por la difusión, concepción y materialización de la imagen de modernidad en Goiânia, fruto de la influencia de la 2ª y 3ª generaciones de la arquitectura moderna brasileña, definida por Bruand (1997) como una arquitectura “racionalista organicista”.

Aunque son realizados inúmeros proyectos públicos y privados, el programa que más se destaca cuando la nueva arquitectura pasa a hacer parte del paisaje de la ciudad es la **vivienda unifamiliar**.

Entre las viviendas proyectadas en las décadas de 50 y 60 del siglo XX, la bibliografía disponible cita la existencia ac-

tual de 78 obras. Entre estas, destacamos dos, ubicadas en la región central de la ciudad: ^{xxvi}

- **Caso A - Vivienda Abdala Abrão** (Libeskind, 1961)
- **Caso B - Vivienda Eurípedes Ferreira** (Godoy, finales de los años 50)

Se tratan de algunas de las viviendas que se destacan en la producción arquitectónica del periodo y en la actuación profesional de estos arquitectos, participando del proceso de revisión crítica de la arquitectura moderna brasileña, el nuevo regionalismo en Goiânia.

Entre las características del nuevo regionalismo presentadas por Frampton (1997), el “**intercambio con el exterior** con aberturas como zonas de transición” es la que más caracteriza la respuesta arquitectónica acerca de las variables ambientales del lugar por sintetizar la relación edificio x entorno. En otras palabras, por destacar el modo como el edificio se relaciona con el exterior, la forma como los elementos variables son tratados.

Los elementos espaciales y sus relaciones con los elementos variables pueden ser clasificados de diferentes formas. Ashrae (2006, p.55) señala cinco elementos del diseño que intervienen en esta relación: la ubicación, orientación del sitio, la forma, la piel, organización interior de los espacios y las características climáticas locales. Serra et al. (1995) señalan otros cinco elementos a través de una escala de análisis de edificios: ubicación, entorno, forma, piel e interior. Romero (2001) propone tres elementos distintos en la caracterización del espacio urbano: entorno, base y superficie frontera.

Cuanto a las zonas de transición, Serra (2005) ²⁶ reconoce el papel importante de las aberturas pero resalta que es en toda la piel donde ocurren los intercambios con el exterior, determinando el desempeño ambiental del edificio.

^{xxvi} Las dos primeras siguen siendo utilizadas como vivienda unifamiliar y la tercera, actualmente es la sede del Instituto de Patrimonio Histórico y Artístico Nacional en Goiás - IPHANGO.

Bruand (1997) afirma que la piel de los edificios modernos en Brasil sufrió modificaciones habiendo una sustitución de los elementos tradicionales por los modernos, sin provocar el desaparecimiento de uso de los primeros.

Norberg-Schulz (2005, p.33) que deduce que “la arquitectura puede entenderse a través de dos aspectos básicos: la organización del espacio y la forma construida, o, resumiendo, el ‘espacio’ y la ‘forma’”. Análogamente, Romero (2001) vincula las características ambientales a las espaciales en la lectura y conformación de las relaciones en el espacio:

“As duas grandes categorias temáticas a serem apreciadas para o tratamento do espaço (...) dentro de uma concepção bioclimática são o ambiente e o espaço. Essas macrocategorias, quando aplicadas concomitantemente, permitem a verificação de inter-relações no espaço (...)” (ROMERO, 2001, P.154) ²⁷

60

Con base en las afirmaciones de Serra sobre el ambiente, de Bruand sobre los elementos arquitectónicos y de Romero sobre las relaciones entre ellos, en el análisis de la piel de edificios es necesario evidenciar dos lados:

- Por un lado, los **elementos arquitectónicos**, relacionando las caracterizaciones ambientales con las compositivas realizadas por tratadistas. Entre ellos, Norberg-Schulz (2005) que establece una lectura de la totalidad arquitectónica a través de tres elementos: elementos-masa, espacio y superficie.
- Por otro, los aspectos relacionados al **intercambio térmico**, donde establecemos tres campos generales del edificio: el interior, el exterior y la transición entre ellos. En el campo de transición, destacamos los aspectos de la piel relacionados a la forma como los responsables por importantes repercusiones ambientales y energéticas, por tanto, importantes indicadores de la relación entre el edificio y su entorno.

Hegger et al. (2008)²⁸ definen estrategias pertinentes al concepto de la energía, enfatizando dos macro acciones de optimización energética de edificios: la minimización de los requerimientos y la optimización de su cobertura. Sobre la primera, indica el desempeño ambiental relacionado a las condiciones climáticas y de diseño del edificio como uno de sus aspectos más determinantes.^{xxvii 29}

Según Nayak et al. (2006)³⁰, el desempeño ambiental relacionado a las condiciones climáticas, o **desempeño térmico de un edificio**, se refiere al proceso de transferencia de energía entre un edificio y su entorno. Para un edificio acondicionado, el desempeño térmico estima las necesidades de calefacción y refrigeración y así, el dimensionado y selección de equipos de aire acondicionado puede ser realizado correctamente. Para un edificio pasivo, nos sirve en el cálculo de las variaciones de las temperaturas interiores del edificio, durante un periodo de tiempo determinado, ayudándonos a estimar la duración de los periodos discomfortables. Estas cuantificaciones nos permiten determinar la eficiencia del diseño de un edificio y nos ayuda a perfeccionarlo a fin de realizar mutuamente edificios más eficientes energéticamente y con unas condiciones ambientales interiores más confortables.

Según Serra et al. (1995)³¹, la estimación del desempeño térmico puede ser dada a través de dos métodos: estático y dinámico. El primer tiene como objetivo conocer las características

xxvii Para la noción castellana, el término “desempeño” no es algo muy usual, “comportamiento” sería la expresión más utilizada. Entretanto, los dos términos no cubren los mismos campos del conocimiento. Comportar se refiere a modos, maneras, conductas, al paso que desempeñar se refiere a resultados, cumplimientos. En este sentido, el desempeño sería el efecto de un comportamiento. A partir de un determinado comportamiento se podría predecir un cierto desempeño. En la Tesis, utilizaremos el término “desempeño” por su semántica anglo-sajona y portuguesa - respectivamente, “performance” y “desempenho”; y por su sentido de resultado, respuesta a una determinada acción, dado un determinado comportamiento.

térmicas medias interiores de un edificio con comportamiento natural (temperatura media interior). Y el segundo, objetiva estimar las oscilaciones-tipo interiores respecto a las variaciones del clima exterior de un edificio sometido a las mismas condiciones naturales pero en un período determinado.

El método estático considera las temperaturas interior y exterior constantes, ya que no hay acumulación de energía en el edificio, en un periodo infinitesimal de tiempo. De este modo, nos presenta la ventaja de la simplicidad de cálculo, a través de la obtención de unos valores de referencia donde, según Martín (2009), más importante que calcular con precisión es calcular correctamente.³²

La norma brasileña que reglamenta los procedimientos de cálculo y simulación, las estrategias de acondicionamiento térmico y los valores límites admisibles concernientes al desempeño térmico, ABNT NBR 15220:2005, se fundamenta en métodos estáticos de cálculo. Normas más recientes, como la ABNT NBR 15575:2013, conocida como Norma del Desempeño, consideran métodos estáticos y dinámicos en el análisis del comportamiento térmico de edificaciones.

El método dinámico, que considera las oscilaciones climáticas y la acumulación de energía en el edificio en un determinado período de tiempo, es compuesto por procesos de cálculo tan complejos que inviabilizan e imposibilitan su realización manual. Se hace necesaria la adopción de herramientas informáticas en auxilio al cómputo de las variables, a fin de viabilizar la estimación de resultados con un cierto dominio y garantía sobre el proceso y el producto.

La simulación térmica es un procedimiento metodológico satisfactorio y resultante de un proceso de evolución de instrumentos y herramientas de auxilio al análisis y desarrollo de proyectos de edificios, que debe ser realizada considerando sus márgenes de error del intento de creación de un modelo en un ambiente virtual que simule un modelo en un ambiente real. En general se busca utilizar una diversidad de herramientas de

simulación de edificios, sacando provecho de la utilidad y complementariedad entre ellas.

Para la simulación térmica de edificios, el Instituto de Investigaciones Tecnológicas de São Paulo – IPT recomienda las herramientas creadas por el Departamento de Energía de los Estados Unidos: el software BLAST y principalmente el software EnergyPlus en la evaluación de edificios no climatizados y menciona el software DOE-2 como el más completo en la evaluación de edificios climatizados.^{33 xxviii}

El estudio del balance y de la demanda térmica de los edificios depende también de la difícil estimación previa del comportamiento del usuario. Esta dificultad se incrementa cuando se analiza la ocupación de edificios en décadas atrás. Entretanto, apoyándose en las definiciones de índices de confort, se puede estimar las solicitaciones térmicas y comparar edificaciones distintas según sus demandas térmicas.

Según Alucci y Monteiro (2007),³⁴ los principales intentos de establecer un índice genérico para la predicción del confort por medio de una escala de sensación térmica se realizaron a través de los trabajos de Houghten e Yaglou, en 1923, seguidos de diversos otros los cuales podemos destacar: Olgyay (1963); Givoni (1969); Humphreys (1978); y Nicol et al. (1994).

Los dos primeros relacionan los efectos de la temperatura y de la humedad y los dos otros estudian la relación entre la variación de la temperatura de confort con la de los medios exterior e interior.

Estos índices, juntamente con la correcta aplicación de los métodos estático y dinámico, permiten calcular y comparar:

- las condiciones térmicas del ambiente, como la oscilación de la temperatura interior; y
- las cualidades térmicas del edificio y sus componen-

xxviii Como complementación y contraste de resultados, es aconsejable que se realice mediciones con tomas de datos “in situ” de variables térmicas estratégicas.

tes, relacionadas a los mecanismos de intercambio térmico seco (conducción, convección y radiación).

Sin embargo, planteamos un estudio que extienda el análisis hacia los aspectos compositivos de modo que el método a ser aplicado englobe aspectos cualitativos, además de los citados. Para ello, proponemos realizar el estudio con base en un concepto que tiene origen en la '**teoría integrada de totalidad arquitectónica**' de Norberg-Schulz (2005) que unifica de forma lógica y empírica diversos conceptos en un mismo sistema y en el concepto de '**ambiencia arquitectónica**' de Graeff.

El concepto propuesto, intitulado '**ambiente arquitectónico**', define las características ambientales como resultantes directas de la propia arquitectura. La proposición del concepto resulta en la aplicación de un procedimiento de análisis donde el desempeño térmico es inserido en un contexto más amplio, más arquitectónico.

En general, la demanda por estudios de desempeño térmico es más común en edificios contemporáneos, sea en obra nueva o en reformas. Los estudios arquitectónicos de edificios antiguos son más bien de carácter histórico o compositivo. En la bibliografía disponible sobre las viviendas unifamiliares modernas construidas en Goiânia en las décadas de 50 y 60 del siglo XX tampoco se encuentran estudios de desempeño térmico realizados contemporáneamente a la construcción de las obras o posteriores a este periodo. Los primeros estudiosos del tema en Goiânia pertenecen a la generación posterior a estas que realizaron las primeras experiencias arquitectónicas modernas en la capital de Goiás.

Respecto a las cualidades ambientales de estas viviendas, lo que se encuentra en la bibliografía disponible son observaciones generales que parten de críticos de arquitectura que describen con sencillez sus características de la iluminación y ventilación naturales, en función del diseño de las aberturas, de la integración del patio, o bien, de la existencia de protecciones solares o de aberturas cenitales. Así como Vaz y Zárate

(2005) considera que el jardín interno representa un elemento importante en la organización espacial, por contribuir con la reducción del pasillo, la sensación de ampliación del espacio interior proporcionando más iluminación y ventilación a los ambientes.³⁵ Y según Brasil, L. T. (2007) que afirma que los patios internos favorecen la ventilación.³⁶

Como las viviendas unifamiliares de este periodo no poseían climatización artificial, los estudios de desempeño térmico sobre ellas deben concentrarse en las soluciones pasivas de la piel del edificio a través del análisis de las variaciones de las temperaturas interiores, la estimación de la duración de los períodos desconfortables y sus consecuentes necesidades de calefacción y refrigeración, fruto de los límites de la climatización natural.

Dado el panorama del proceso continuo de revisiones críticas modernas,^{xxix} bien como, la internacionalización y consolidación del Movimiento Moderno en Goiânia, pretendemos reflexionar cuanto a las cualidades térmicas de la vivienda unifamiliar ventilada naturalmente, construida en esta ciudad en las décadas de 1950 y 1960, como indicador del rescate del carácter regional presente en este proceso de transcendencia y evolución, caracterizado por ciertas invariancias. La reflexión se establece a partir de la dialéctica entre las generaciones modernas y sus diferentes posturas arquitectónicas, con base especialmente en las afirmaciones de: Norberg-Schulz (1975, 1980, 2005), Montaner (2001, 2008), Serra (1995, 2002) y Romero (2001, 2011).

De este modo, el marco central de la Tesis se ubica en la confluencia de dos campos del conocimiento en la arquitectura: la teoría, historia y composición arquitectónicas; y, la tecnología del ambiente construido; tratándose de un estudio ambiental

xxix Este proceso es interpretado como un proceso de rescate del carácter regional, entendiendo que una arquitectura llega a ser regional cuando responde al lugar con un diseño adecuado al clima.

contextualizado por aspectos relacionados a su composición. Al mismo tiempo en que se propone una reflexión histórica fundamentada en aspectos ambientales, se plantea una reflexión ambiental bajo una perspectiva histórica, que nos permite analizar el modo como el tema ambiental ha sido abordado antes del establecimiento del paradigma de la sostenibilidad, permitiéndonos discurrir acerca de los aspectos ambientales desde una mirada puramente arquitectónica.

La Tesis pretende relacionar aspectos compositivos y térmicos del edificio, con enfoque en los intercambios de calor con el exterior en distintas escalas:

- diseño de la totalidad arquitectónica (nivel más general) - programa de necesidades, partido arquitectónico, organización geométrica, sectorización funcional, sistema de distribución, zonificación térmica, etc.;
- diseño y eficiencia de los componentes de la piel (nivel más específico) - cerramientos opacos, transparentes, patios, etc.;
- uso y adecuación de materiales - vidrio, ladrillo cerámico, teja cerámica o de cemento-amiante, etc.

66

Por encima de todo, la Tesis busca rescatar y valorar sobretodo la autenticidad en la arquitectura. Todavía es necesario recordar la importancia de:

- carácter regional;
- buscar la innovación a través de una continua revisión crítica de su propia producción;
- responder bien a su clima y al entorno ambiental;
- buscar la coherencia y la verdad de las cosas como principio sostenible, fundamental a su propia existencia.

El 'reflexionar sobre' nos lleva a aprehender más de nosotros mismos y a mejorar hacia una arquitectura más íntegra, menos movida por la especulación e intereses de grupos específicos, menos dependiente de aquellos que menos la conoce y aprecia.

OBJETIVOS

- Contribuir para la discusión sobre la **relación** entre la edificación y el lugar en la arquitectura moderna, a través de una relectura contemporánea que contextualiza el empleo de la tecnología del ambiente construido con el proceso de composición arquitectónico.
- Contribuir para la comprensión del **objeto** arquitectónico a partir de sus relaciones internas y externas, desde una mirada basada en: el comportamiento térmico de viviendas unifamiliares modernas ventiladas naturalmente y construidas en la ciudad de Goiânia en las décadas de 1950 y 1960; y la transcendencia de invariantes arquitectónicos en el proceso continuo de revisiones críticas modernas:
 - ◆ identificando invariantes arquitectónicos, por medio de estudios de transcendencias e inmanencias, presentes en el proceso de revisión crítica que se establece en la interiorización del Movimiento Moderno en Brasil, después de su expansión e internacionalización en la escala global;
 - ◆ correlacionando invariantes arquitectónicos y variables ambientales locales, a partir de un estudio que extienda el análisis del desempeño térmico hacia los aspectos compositivos de la arquitectura, de modo a caracterizar la arquitectura residencial unifamiliar moderna producida en la ciudad de Goiânia en las décadas de 1950 y 1960; y
 - ◆ estructurando dicho estudio con base en la proposición de un concepto intitulado ‘ambiente arquitectónico’.

JUSTIFICACIÓN

La relectura de lo moderno a partir de la reflexión propuesta contribuye a la **formación de una postura** más coherente a la demanda actual, integrando el tema ambiental a la propia arquitectura, evitando que sea tratado de modo aislado y defendiendo una **visión de conjunto**; al mismo tiempo que puede **comprobar afirmaciones** acerca de ciertas virtudes o debilidades ambientales presentes en obras analizadas por profesionales del campo de la composición. Además, la delimitación del estudio a la arquitectura de Goiânia favorece a la valoración, conservación y **preservación de su patrimonio** construido, poco conocido por parte de la propia población local y en el resto del país.

Así como la clave para una sociedad más sostenible es la consciencia ambiental, la respuesta hacia una arquitectura sostenible empieza por la postura del arquitecto y los principios compositivos que adopta. Comprender como la postura de revisión crítica llevó diferentes generaciones de arquitectos modernos a una búsqueda por el rescate del carácter regional nos permite analizar el modo como el tema ambiental ha sido abordado antes del establecimiento del paradigma de la sostenibilidad, como en la arquitectura popular, posibilitándonos discurrir acerca de estos aspectos desde una mirada más arquitectónica, y por tanto, más cercana al arquitecto.

68

“La búsqueda de un nuevo regionalismo ha traído consigo un vivo interés por la arquitectura popular. (...) Los espacios interiores de la arquitectura popular constituían mayoritariamente un complemento del entorno natural. (...) Al mismo tiempo, los interiores permiten que surja el carácter de un entorno determinado. Nos llevaría mucho tiempo estudiar de qué modo algunas formas como los huecos o las cubiertas ‘concentran’ y mantienen las cualidades del entorno. Permítasenos indicar tan sólo que la arquitectura moderna habría sacado más partido de un estudio

de estas cosas que de los ejercicios abstractos de la Bauhaus. Otra investigación que sería de gran interés como preparación para un nuevo regionalismo es un estudio de las relaciones entre los estilos y la región a la que fueron importados.” (NORBERG-SCHULZ, 2005 p. 190-192)

Necesitamos de referencias más arquitectónicas si queremos seguir hacia una arquitectura sostenible. No obstante, no se trata de reinterpretar lo vernáculo centrandó nuestros estudios en la arquitectura popular. Tampoco de reavivar neo-arquitecturas como un neo-regionalismo. Se trata de comprender las estructuras arquitectónicas en su conjunto, percibiendo como los ‘invariantes que trascienden climas’ determinan o condicionan los ambientes que concebimos. De este modo, reflexionar sobre los aspectos ambientales desde una visión de conjunto nos auxilia a introducir más calidad a la arquitectura y contribuye a la formación de una postura sostenible y contemporánea, menos falible y anacrónica.

La propuesta de relacionar distintos campos de la arquitectura coincide con el posicionamiento de Segawa (2003) que, desde una mirada histórica, percibe las claves de un proceso de alejamiento entre ‘mundos’ que hacen parte de un mismo ‘universo’ y que, por supuesto, jamás deben independizarse sino mantenerse dentro de una distancia favorable a la apreciación individual y conjunta, a fin de garantizar la integralidad del todo y la identidad de las partes.

69

“No limiar do século 21, ainda é preciso abandonar o estado de inocência que circunscreve o conforto ambiental nos limites da temperatura, da umidade, dos ventos, da luminosidade. (...) O higrômetro não rege a estética, o anemômetro não registra crenças, o termômetro não mede a temperatura das práticas sociais. Mas o conhecimento de que o ambiente é tributário de tudo isso é um passo para a formação de uma consciência.” (SEGAWA, 2003)³⁷

Es común encontrar observaciones de carácter ambiental en análisis arquitectónicos producidos por profesionales que se dedican al campo de la composición, siendo realizadas muchas veces, sin una consistencia técnica apropiada, capaz de verificar lo dicho con total veracidad y fiabilidad de datos.

De este modo, además de ubicar una realidad local en un escenario global e integrar diferentes campos en el análisis de la arquitectura, el presente estudio permite verificar las afirmaciones realizadas respecto al carácter ambiental de la producción arquitectónica moderna en Goiânia, posibilitándonos confrontar informaciones de análisis empíricos, como los citados Vaz y Zárata (2005) y Tombi (2007), difundidas por generaciones, desenmascarando mitos respecto sus virtudes o debilidades ambientales.

Una ciudad no deja de ser depositaria de diferentes generaciones, de modo que podemos percibir en ella la presencia de diferentes legados arquitectónicos, con distintas contribuciones e importancias. En la ciudad de Goiânia, el legado arquitectónico moderno es evidente hasta hoy. La nueva capital, creada con base en estos ideales, se ha transformado en el escenario de la popularización de lo moderno, contribuyendo a la realización de su arquitectura contemporánea a partir de la existencia de 'resquicios' del pensamiento moderno, permitiendo que los mismos sean identificados y sirvan de soporte a su propio análisis. De modo que, para comprender la arquitectura producida actualmente es necesario comprender el origen de sus causas, los ideales de su surgimiento y sus primeras experiencias.

La comprensión del origen de los hechos provee embasamiento para intervenciones futuras posibilitando una transformación profunda de la realidad, donde la esencia de la sostenibilidad pasa a hacer parte de la esencia de la propia arquitectura creando una relación indisociable y natura entre las ambas. Del contrario, el concepto de la sostenibilidad en la arquitectura se reduciría a un listado de acciones a ser respectado, especie de check list, un agregado más, no integrado, a lo que

se ha ‘convenido’ llamar de arquitectura, así como son hoy por hoy las instalaciones y la propia tecnología, que son tratados equivocadamente casi que de forma independiente a la propia arquitectura, como temas aparte, disociados de ella.

El enfoque en la producción arquitectónica de Goiânia busca amenizar el abordaje centralista y la visión hegemónica de la historiografía brasileña que niega u omite la producción realizada en el interior del país. En paralelo, la difusión de estas ‘arquitecturas desconocidas’ contribuye a la valoración, conservación y preservación de su patrimonio construido, que viene siendo destruido con demasiada rapidez debido a un conjunto de causas, como:

- mutaciones propias del espacio urbano, generadas por demandas programáticas o por fuerza del mercado inmobiliario especulativo;
- falta de nivel cultural y educacional de la población, evidenciado por el conocimiento insuficiente de su propia historia. Esta carencia causa reflejos también en la actuación de organismos como el IPHANGO, citado anteriormente, que se ve obligado a buscar salidas a favor de la preservación del patrimonio a través de la fuerza de la Ley (proceso de tombamiento), cuando, a través de la simple concienciación de la población, todo el proceso podría ser desnecesario;
- falta de voluntad política que genera un descaso por parte de los organismos e instituciones públicas que deberían legislar, fiscalizar, proteger, cuidar y mantener el patrimonio en un buen estado de conservación.

MÉTODO

La inserción del paradigma de la sostenibilidad en el contexto arquitectónico actual exige de los arquitectos una postura de rescate de valores tradicionales en la arquitectura, como la adecuación ambiental y el carácter regional. El rescate de tales valores pasa por la búsqueda de una alta eficiencia energética en los edificios a partir de la mejora de su desempeño térmico, lo que requiere por su vez un dominio en el cómputo y estimación del mismo.

La falta de este dominio por parte de los arquitectos puede generar intervenciones arquitectónicas falibles, anacrónicas e insostenibles, limitadas en contestar a las demandas de su época, una vez que una capacidad de respuesta pasa por una capacidad de análisis. Además, esta limitación dificultanos a justificar nuestras decisiones con base en datos cuantitativos ambientales y energéticos como el ahorro energético o el cambio en la temperatura interior, informaciones demandadas por el mercado en que actuamos.³⁸

72

El acercamiento de estos temas a los arquitectos es el primer paso a su comprensión y dominio. De este modo, el planteamiento de un estudio que reúna aspectos ambientales y compositivos viene a ser un intento de aproximación de las partes a través de un lenguaje propio, diseñado específicamente para este tipo de público.

Además de posibilitarnos la confluencia de campos y de asegurar una visión de conjunto en la construcción del concepto de 'Ambiente Arquitectónico', permite la comparación de diferentes realidades espaciales y temporales. Debido a que la reflexión parte de la transcendencia entre lugares y climas, es imprescindible que el método a ser utilizado nos permita comparar dichas realidades cuantitativamente, independientemente de la estación del año o del clima en cuestión.

De este modo, el Análisis debe considerar la identificación de los elementos compositivos del edificio bien como

su caracterización térmica, con enfoque en la piel del edificio como el macro-componente donde ocurren los intercambios térmicos entre el interior y el exterior.

Los resultados deben buscar establecer referencias posibles de ser comparables y generalizables, con base en tres características básicas:

- Universalidad
 - ◆ Capacidad de comparar situaciones distintas en relación a un estado óptimo, independientemente del tiempo (estación del año) y do espacio (climas o lugares geográficos).
- Referencialidad
 - ◆ Capacidad de reunir y sintetizar diferentes datos referentes al acondicionamiento térmico de edificios, a fin de auxiliar el análisis y desarrollo de proyectos de arquitectura.
- Practicidad (fácil comprensión y utilización)
 - ◆ Fácil utilización por parte de no expertos;
 - ◆ Uso de datos accesibles, disponibles en el conjunto de informaciones propias del desarrollo de proyectos arquitectónicos.

73

En base a Gil (1988), la presente investigación es realizada con base en el método **Explicativo**, cuanto a sus objetivos, por fragmentar y reconstruir el fenómeno, siendo desarrollada a través de un **abordaje deductivo**, una vez que parte de un referencial teórico amplio, el abordaje del proceso de composición arquitectónico, hacia el fenómeno particular, propiamente el comportamiento térmico de las edificaciones, estableciendo relaciones entre escalas espacio-temporales en la confluencia de campos de estudio arquitectónico.

Utilizaremos diferentes **procedimientos y técnicas de colecta de datos**, como en la colecta de datos primarios, el levantamiento y la observación directa necesarios al estudio de casos múltiples, así como, posibles investigaciones documentales que

complementen la información sobre las obras y el período arquitectónico adquiridos a través de la investigación bibliográfica.

El desarrollo de la Tesis y su redacción se confunden por estructurarse según la misma organización: la construcción de una Base Explicativa que precede a la Realización de la Tesis.³⁹ La Base Explicativa está organizada en dos partes:

- Fundamentación Teórica
- Estudio Experimental

Fundamentación

De este modo, buscamos construir una base teórica que sea capaz de alcanzar los objetivos propuestos en la Tesis:

- Por un lado, el estudio de los invariantes arquitectónicos y su relación con las inconstantes ambientales, pasando por las relaciones entre la materia y la energía y fundamentando conceptos como: la Elementalidad y el Equilibrio;
- Por otro lado, como respuesta a la integración de los temas citados, se desarrolla una proposición conceptual de ‘Ambiente Arquitectónico’.

De este modo, la Fundamentación Teórica se estructura a partir de 3 tres capítulos que permea temas relacionados a aspectos arquitectónicos/históricos y ambientales/energéticos, antecedendo a la proposición del concepto ‘Ambiente Arquitectónico’.

El concepto da luz a la estructuración del procedimiento de análisis, tema inicial del capítulo que trata el Estudio Experimental: el Análisis del Ambiente Arquitectónico. De este modo:

- El abordaje de los **aspectos arquitectónicos** pasa por el estudio de teóricos como: Vitrubio y Guadet; Giedion, Norberg-Schulz, Piñón, Montaner, Banham, Frampton, Segawa y Mahfuz; Lemos, Vaz, Zárate,

Peixoto, Boaventura, Oliveira y Jubé. Enfocando:

- ◆ por un lado, los aspectos pertinentes al proceso de revisiones críticas modernas (posturas, transcendencias e invariancias) y los antecedentes arquitectónicos regionales propios del Estado de Goiás;
- ◆ por otro lado, los aspectos que caracterizan la arquitectura residencial moderna realizada en Goiânia en las décadas de 50 y 60 del siglo XX.
- El estudio de los **aspectos ambientales y energéticos** se centra en aquellos pertinentes al desempeño térmico de viviendas unifamiliares, enfocando los más relacionados a la forma y a la piel de los edificios, a partir del estudio de una línea de pensamiento entre: Olgyay, Givoni, Serra y Romero y otros como Monteiro, Alucci, Jeffrey Cook, Szokolay, Hunn, Nayak, Frota, Schiffer, Rivero, Lamberts, etc.. De modo que: Primeramente, nos centramos en el estudio de los fundamentos termodinámicos y ambientales en los mecanismos de intercambio térmico; y En un segundo momento, realizamos un recorrido entre los diferentes métodos y herramientas utilizados en el análisis del desempeño térmico.

75

Son 4 los temas permeados: Invariancias, Elementalidades, Inconstancias y Equilibrio. Los dos primeros hacen parte del universo de los aspectos arquitectónicos, siendo que los últimos trata de los aspectos ambientales. Así:

- Invariancias enfoca las transcendencias y transformaciones arquitectónicas dentro del proceso de revisión crítica moderna, evidenciando la cuestión del carácter regional y del lugar, culminando en la explicación sobre Goiânia, como nueva ciudad moderna y sus viviendas unifamiliares ventiladas naturalmente.

- Elementalidades busca diseccionar los contenidos relacionados a la composición arquitectónica y al ambiente construido a fin de identificar sus elementos constitutivos (partes) dentro de una visión de conjunto (todo).
- Inconstancias trabaja las consideraciones de estados estacionario y dinámico de las relaciones entre materia y energía, base fundamental al Estudio Experimental.
- Equilibrio busca relacionar dicho intercambio inconstante entre materia y energía, en una búsqueda de equilibrio dentro del tema del balance térmico.

En seguida, se realiza una síntesis de los temas abordados en forma de concepto basado en teorías del campo de la composición arquitectónica, integradas a aspectos ambientales pertinentes a la estructuración del análisis.

El **procedimiento técnico** utilizado en la Fundamentación Teórica es básicamente la investigación bibliográfica, con posibles complementaciones a partir de investigaciones documentales sobre la información sobre las obras y el período arquitectónico. La investigación se desarrolla a partir de la:

- Identificación de fuentes;
- Obtención de material;
- Tratamiento de datos, cuando necesario;
- Lectura y síntesis del material;
- Análisis e interpretación del material a la luz de los objetivos de la tesis;
- Creación de contenidos; y
- Redacción del texto.

Estudio

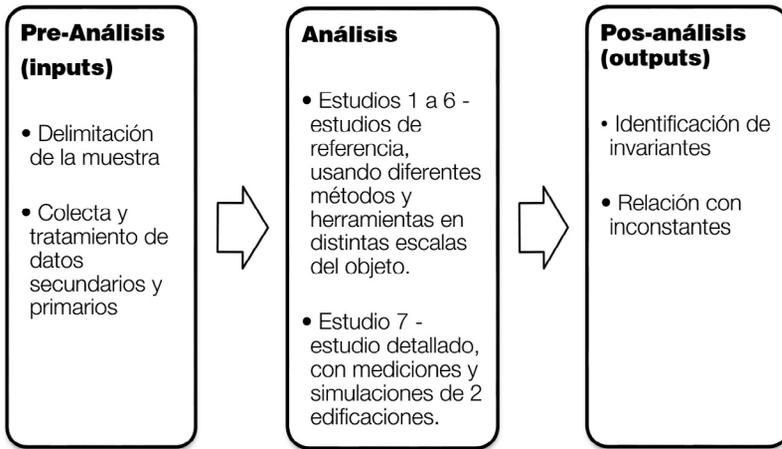
El Estudio consiste básicamente en la realización del análisis del Ambiente Arquitectónico. Su redacción está divi-

didada en tres partes y se basa en los artículos publicados en los diferentes congresos, presentes en los Anexos A a F de la Tesis, bien como en otras producciones académicas, presentes en los Anexos G a J:

- Presentación del concepto
- Explicación detallada del procedimiento de análisis con un breve presentación de los casos de estudio
- - Presentación de los resultados y discusiones

El Análisis es estructurado en 7 estudios, conforme la

Fig. 2:



77

Los estudios se originan en la premisa de la Tesis: las ideas de trascendencia y transformación. Desde la idea de trascendencia espacial se establece la dualidad de escalas global y local. Desde la idea de transformación se origina la dualidad de inconstancia e invariancia.

De las ideas de escalas y cambios nacen los 6 primeros estudios que permiten sacar informaciones respecto a los invariantes que trascienden del clima y del lugar que complementan y sirven de referencia a las conclusiones sacadas en el estudio 7.

Las diferentes escalas exigen una aproximación propia al objeto. De este modo, los estudios están estructurados en diferentes escalas de abordaje: global, regional, urbana, entorno, forma, piel, interior.

El estudio 7 está compuesto por 2 tipos de análisis, que

Fig. 2 - Estructura del Análisis

tratan el objeto desde los métodos estacionario y dinámico, a través del estudio de 2 casos (escala del edificio), abordando:

- Cálculos prescriptivos de desempeño térmico
- Mediciones higrotérmicas
- Simulación con EnergyPlus
- Simulación con Heliodon
- Simulación con AnalisisBio

El estudio permite comparar las 2 viviendas unifamiliares ventiladas naturalmente entre si (Casos A y B), haciendo referencia a sus entornos cercanos y a la ciudad en que se ubican. La temperatura del aire y la humedad relativa del aire son analizadas a través de mediciones y simulaciones por ordenador, realizadas en los meses típicos del año (período integral) y la semana típica en cada período (período parcial), buscando abarcar los 3 climas presentes en la ciudad durante el año: clima frío-seco (junio), cálido-seco (septiembre) y cálido-húmedo (diciembre). La comparación de los casos es realizada considerando los diferentes sectores funcionales del edificio, los ambientes más importantes para el análisis (salón y cuarto de dormir), así como, los diferentes componentes de la piel y del interior de cada caso (cubierta, cerramiento interiores y exteriores, y aberturas) y los sistemas de control solar instalados en las fachadas. Además, el estudio permite concluir cuanto a las estrategias bioclimáticas (ventilación, masa térmica y resfriamiento evaporativo) aplicadas en los casos.

78

Realización

La Realización de la Tesis es la fase conclusiva donde pretendemos presentar si el problema asumido ha podido ser solucionado, si el tema ha sido suficientemente tratado, qué se ha conseguido solucionar y qué queda por solucionarse.^{xxx}

Su redacción se resume a un único capítulo que nombra la Tesis, Ambiente y Crítica, donde son evidenciados, a partir de las conclusiones del análisis, los aspectos relevantes cuanto a

^{xxx} Las pistas para investigaciones futuras serán presentadas en las consideraciones finales.

la relación entre el ambiente y la crítica, presente en la arquitectura residencial unifamiliar moderna realizada en la ciudad de Goiânia en las décadas de 1950 y 1960), marcando las relaciones entre invariantes e inconstantes en la consolidación de la revisión crítica en esta producción arquitectónica.

Referencias de análisis

MARCO NORMATIVO

Creado en 1985, el Programa Nacional de Conservación de Energía Eléctrica (Procel) ha sido instituido dentro de una amplia visión por el Ministerio de Minas y Energía (MME) para integrar las acciones de conservación de energía eléctrica. En 1986, el Procel ha apoyado el Instituto Nacional de Metrología, Estandarización y Calidad Industrial (Inmetro) en el lanzamiento de la Etiqueta Nacional de Conservación de Energía. En 1993, ha creado el Sello Procel de Ahorro de Energía.⁴⁰

79

En 2001, ha promulgado la Ley de Eficiencia Energética (Ley 10.295/01) con el objetivo de restringir la comercialización de equipos menos eficientes y, en el mismo año, el Decreto n° 4.059 que la reglamenta. En 2003, el Procel ha lanzado el Plan de Acción para la Eficiencia Energética en Edificaciones (Procel Edifica). En 2009, juntamente con el Inmetro, ha lanzado los reglamentos para el etiquetaje de edificios comerciales, públicos y de servicios como parte del Programa Brasileño de Etiquetaje (PBE), revogados en 2010, con la aprobación del Reglamento Técnico de la Calidad (RTQ), no obligatorio todavía.

En noviembre de 2010, ha sido lanzado el RTQ para edificaciones residenciales a través de la Portaria n° 449. El reglamento aborda el método estático (prescriptivo) y el dinámico (simulación), que compara sus resultados con modelos de edificios similares que cumplen los requisitos prescriptivos. Estos requisitos son relativos a tres aspectos diferentes: iluminación,

condicionamiento del aire y la piel del edificio, aspecto utilizado como referencia normativa en la Tesis.

Según el Catálogo de la Asociación Brasileña de Normas Técnicas (ABNT), existen diversas Normas Técnicas Brasileñas – NBR que tratan de temas relacionados al confort térmico, la gran mayoría trata del aislamiento térmico, características térmicas de materiales y sistemas de acondicionamiento de aire.

Tal y como describimos, aplicaremos como referencia absoluta de orden normativa, lo expuesto en la ABNT NBR 15220:2005 y en la ABNT NBR 15575:2013, realizada por el Comité de Construcción Civil (CB-02), publicada el 29/4/2005, y que trata del desempeño térmico en edificaciones.

La ABNT NBR 15220:2005 está compuesta por cinco partes y, en Brasil, actualmente, es una de las más importantes en el tema. Son ellas:

- NBR 15220-1:2005 - Definiciones, símbolos y unidades.
 - ◆ Establece las definiciones y los correspondientes símbolos y unidades de términos relacionados con el desempeño térmico de edificaciones.
- NBR 15220-2:2008 - Métodos de cálculo de la transmitancia térmica, de la capacidad térmica, del retraso térmico y del factor solar de elementos y componentes de edificaciones.
 - ◆ Establece los procedimientos de cálculo de las propiedades térmicas de elementos y componentes de edificaciones haciendo referencia a la ISO 6946.
- NBR 15220-3:2005 - Zonificación bioclimática brasileña y directrices constructivas para viviendas unifamiliares de interés social.
 - ◆ Establece una zonificación que alcanza un conjunto de recomendaciones y estrategias constructivas.
- NBR 15220-4:2005 - Medición de la resistencia tér-

mica y de la conductividad térmica por el principio de la placa caliente protegida.

- NBR 15220-5:2005 - Medición de la resistencia térmica y de la conductividad térmica por el método fluximétrico.

La ABNT NBR 15575:2013 establece requisitos y criterios a partir de las exigencias de los usuarios, clasificadas como seguridad, habitabilidad y sostenibilidad. El comportamiento térmico es considerado uno de los componentes de la habitabilidad de los espacios, abordado en capítulo específico en las seis partes que compone la norma:

- Parte 1: Requisitos generales;
- Parte 2: Requisitos para los sistemas estructurales;
- Parte 3: Requisitos para los sistemas de pavimentaciones;
- Parte 4: Requisitos para los sistemas de cerramientos verticales internos y externos;
- Parte 5: Requisitos para los sistemas de cubiertas;
- Parte 6: Requisitos para los sistemas hidráulicos y sanitarios.

81

Serán consultadas, según la necesidad:

- ABNT NBR 16401:2008, publicada el 04/08/2008, que trata de instalaciones de aire acondicionado en sistemas centrales y unitarios. Está compuesta por tres partes, las cuales nos centraremos en las dos últimas que tratan de los parámetros de confort y de la calidad del aire interior de espacios climatizados artificialmente.
- ABNT NBR ISO 31-4:2006, publicada el 03/07/1992, que trata de las grandezas y unidades de calor, forneciendo taxonomías, simbologías y factores de conversión.

Para los procedimientos de cálculo y simulación, definición de estrategias de acondicionamiento térmico, bien como, valores límites admisibles, también consultaremos bibliografía especializada y artículos científicos recientes y relevantes, a fin de contrastar informaciones.

Respecto a las referencias arquitectónicas, el análisis del objeto pasa por la comparación de distintas obras, claramente definidas por la dualidad de posturas, continuidad o crisis, ruptura o vínculo con lo tradicional y regional.

El establecimiento de la dualidad a través de opuestos nos permite utilizar los diferentes sistemas arquitectónicos como referencias a la comparación de sus cualidades conceptuales: por un lado, la universalidad, generalidad, uniformidad, rigidez y contraste; y por otro, sus opuestos, lo regional, específico, plural, flexible e integrado.

Relacionando algunas fechas, percibimos que existen algunas relaciones interesantes entre el sitio y la arquitectura estudiados:

- Años 30: un marco temporal inicial
 - ◆ 1932 - Establecimiento de la dualidad.
 - ◆ 1933 - Fundación de la ciudad de Goiânia.
- Años 50/60: un momento en el proceso
 - ◆ Política de interiorización del desenvolvimiento de la región centro-oeste, construcción de Brasília y aumento significativo de la producción arquitectónica moderna en Goiânia.

Dada la contemporaneidad entre la dualidad de posturas y la fundación de la ciudad, podemos definir el inicio de los años 30 como un marco en el proceso de revisión crítica y desarrollo de la arquitectura local. Pasadas dos décadas, tendremos la inserción de aquella dualidad en el local específico, la ciudad de Goiânia.

A partir de esta relación, levantamos algunas posibles referencias que pueden servir para analizar las características regionales presentes en la arquitectura moderna en Goiânia, a través de dos criterios distintos: la postura y el momento de su producción o generación moderna a la que hace parte.

- Lo tradicional (anterior al marco^{xxxí})
 - ◆ Hasta la fundación de la ciudad de Goiânia, la capital de Estado de Goiás era la actual Ciudad de Goiás. La arquitectura producida en este territorio, hasta entonces, era la arquitectura tradicional del Estado, presente en muchas otras localidades. La referencia de regional que se tiene en la nueva capital es aquella más propia del interior del Estado y en la antigua capital. Coherentemente, un nuevo regionalismo en Goiânia debería, necesariamente, buscar vínculos con esta arquitectura tradicional.
- La Vanguardia (1ª Generación)
 - ◆ Ruptura producida por las vanguardias se establece como referencial a la continuidad o crisis producida por las generaciones inmediatamente posteriores al marco establecido.
- La Continuidad acrítica (generaciones posteriores al marco)
 - ◆ Producción acrítica desarrollada por los seguidores del Movimiento Moderno nos sirve de referencial que nos permite evaluar el distanciamiento entre las opciones de continuidad y crisis.
- La Crisis crítica (generaciones posteriores al marco)
 - ◆ Producción crítica al Movimiento Moderno se extiende y se internacionaliza estando presente en diversas localidades. El modo como se ha materializada la arquitectura en otras localidades nos permite comparar una con la otra y constatar posibles similitudes y diferencias.

xxxí No es el objetivo de la Tesis hacer un repaso en los diferentes sistemas arquitectónicos desde el tradicional hasta el moderno, sino, simplemente, relacionar los dos.

Podemos clasificar las dos primeras como referencias absolutas a las demás. En otras palabras, si las visualizamos en una escala, tenemos en un extremo lo tradicional, y en el otro, las vanguardias, y como elementos intermediarios, toda la producción arquitectónica a partir del marco establecido.

REFERENCIAS

- 1 MONTANER, Josep Maria. **Depois do Movimento Moderno.** Arquitetura da segunda metade do século XX. 1ed. Barcelona: GG, 2001. P.36
- 2 RICOEUR, Paul. **Universal Civilization and National Cultures.** 1961. In FRAMPTON, Kenneth. História crítica da arquitetura moderna. São Paulo: Martins Fontes, 1997. P. 381
- 3 NORBERG-SCHULZ, C. **Los principios de la arquitectura moderna.** Sobre la nueva tradición del siglo XX. Barcelona: Reverté, 2005. P. 192
- 4 UNWIN, Simon. **Análisis de la arquitectura.** Barcelona: GG, 1997.
- 5 BASTOS, R. A. **Catedral gótica, estrutura e luz para a contemplação.** Revista da Universidade Católica de Goiás. Série Estudos. V. 28 N. 1 p. 179-209. UCG: Goiânia, 2001. p.186
- 6 SEÑAS : **Diccionario para la enseñanza de la lengua española para brasileños.** Universidad de Alcalá de Henares. Departamento de Filosofía; [traducción de Eduardo Brandão y Claudia Berliner]. Martins Fontes: São Paulo, 2000.
- 7 BASTOS, R. A. **Catedral gótica, estrutura e luz para a contemplação.** Revista da Universidade Católica de Goiás. Série Estudos. V. 28 N. 1 p. 179-209. UCG: Goiânia, 2001. p.184
- 8 SEÑAS : **Diccionario para la enseñanza de la lengua española para brasileños.** Universidad de Alcalá de Henares. Departamento de Filosofía; [traducción de Eduardo Brandão y Claudia Berliner]. Martins Fontes: São Paulo, 2000.
- 9 NORBERG-SCHULZ, C. **Los principios de la arquitectura moderna.** Sobre la nueva tradición del siglo XX. Barcelona: Reverté, 2005. P. 19
- 10 GIEDION, 1958 apud NORBERG-SCHULZ, C. **Los principios de la arquitectura moderna.** Sobre la nueva tradición del siglo XX. Barcelona: Reverté, 2005. P.23.
- 11 MONTANER, Josep Maria. **Depois do Movimento Moderno.** Arquitetura da segunda metade do século XX. 1ed. Barcelona: GG, 2001. P.12
- 12 NORBERG-SCHULZ, Christian. **Los principios de la arquitectura moderna.** Sobre la nueva tradición del siglo XX. Barcelona: Reverté, 2005. P.17
- 13 MONTANER, Josep Maria. **Depois do Movimento Moderno.** Arquitetura da segunda metade do século XX. 1ed. Barcelona: GG, 2001. P.36
- 14 NORBERG-SCHULZ, Christian. **Los principios de la arquitectura moderna.** Sobre la nueva tradición del siglo XX. Barcelona: Reverté, 2005. P.187

- ¹⁵ NORBERG-SCHULZ, Christian. **Genius Loci**. Towards a phenomenology of architecture. New York: Rizzoli International Publications, 1980. P.11
- ¹⁶ VITRUVIO, M.L. **Los Diez Libros de Arquitectura**. Traducción, Prólogo y Apuntes por Agustín Blánquez, Barcelona: Editorial Ibérica, 1997. P. 14-15. In KEIKO, Mirian & OLIVEIRA, Beatriz Santos. Por um regionalismo eco-eficiente: a obra de Severiano Mário Porto no Amazonas. Vitruvius. Arquitectos 047.04. Año 04, abr 2004.
- ¹⁷ ROMERO, Marta Adriana Bustos. **Arquitetura bioclimática do espaço público**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2001. P. 28
- ¹⁸ MONTANER, Josep Maria. **Sistemas arquitectónicos contemporâneos**. Barcelona: GG, 2008. P.22
- ¹⁹ BRUAND, Yves. **Arquitetura Contemporânea no Brasil**. 3ed. São Paulo: Perspectiva, 1997. P.12
- ²⁰ LE CORBUSIER. Vers une architecture. Paris: Crès, 1923; versión castellana: **Hacia una arquitectura**. Buenos Aires: Poseidón, 1964. P. XXXII
- ²¹ NORBERG-SCHULZ, Christian. **Los principios de la arquitectura moderna**. Sobre la nueva tradición del siglo XX. Barcelona: Reverté, 2005. P.17
- ²² Itaú Cultural. **Escola Carioca**. Artículo disponible en: http://www.itaucultural.org.br/AplicExternas/enciclopedia_IC/index.cfm?fuseaction=termos_texto&cd_verbete=8816 (Acceso en: 30/12/2010).
- ²³ COSTA, Lucio. **Muita Construção, Alguma Arquitetura e um milagre** (1951). In COSTA, Lúcio. Sobre Arquitetura. Porto Alegre: Centro dos Estudantes Universitários de Arquitetura, 1962, p. 33. In ARRUDA, A. M. A popularização dos elementos da casa moderna em Campo Grande, Mato Grosso do Sul. Revista Vitruvius. Arquitectos 047.06. Año 04, abr 2004.
- ²⁴ MOURA, Ana Amélia de Paula. **Arquitetura residencial moderna em Goiânia**: delineando um cenário. Programa de Especialização do Patrimônio – PEP. Goiânia: IPHAN-GO, 2009.
- ²⁵ VAZ, Maria Diva Araújo Coelho & ZÁRATE, Maria Heloisa Veloso e. **A experiência moderna no cerrado goiano**. Vitruvius. Arquitectos 067. Año 06, dic 2005.
- ²⁶ SERRA, Rafael. **Arquitetura y climas**. Barcelona: GG, 2002.
- ²⁷ ROMERO, Marta Adriana Bustos. **Arquitetura bioclimática do espaço público**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2001. P. 154
- ²⁸ HEGGER, M. FUCHS, M. STARK, T. ZEUMER, M. **Energy Manual**. Munich: Detail, 2008. P.178
- ²⁹ SEÑAS - **diccionario para la enseñanza de la lengua española para brasileños**. Universidad de Alcalá de Henares. Departamento de

- Filología; traducción Eduardo Brandão y Claudia Berliner. São Paulo: Martins Fontes, 2000.
- 30 NAYAK, J. K. & PRAJAPATI, J. A. **Handbook on Energy Conscious Buildings**. Indian Institute of Technology: Bombay, 2006.
- 31 SERRA & COCH, Rafael & Helena. **Arquitectura y energía natural**. Barcelona: UPC, 1995. p.378-381
- 32 MARTÍN, J. R.; ANMELLA, J. M. N. **Guía rápida de necesidades térmicas para calefacción y aire acondicionado**. Barcelona: Ediciones Experiencia, 2009.
- 33 IPT. **Relatório Técnico Final nº 72 919-205. Validação de softwares aplicativos para simulação do comportamento térmico de habitações**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, 2004.
- 34 MONTEIRO, Leonardo Marques; ALUCCI, Marcia Peinado. **Questões teóricas de conforto térmico em espaços abertos: consideração histórica, discussão do estado da arte e proposição de classificação de modelos**. Ambiente Construído, v. 7, n. 3, p. 43-58, jul./set. 2007. Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2007.
- 35 VAZ, Maria Diva Araújo Coelho & ZÁRATE, Maria Heloisa Veloso e. **A experiência moderna no cerrado goiano**. Vitruvius. Arquitectos 067. Año 06, dic 2005.
- 36 BRASIL, Luciana Tombi. **David Libeskind – ensaio sobre as residências unifamiliares**. São Paulo: Edusp, 2007.
- 37 SEGAWA, H. **Clave de Sol: notas sobre a história do conforto ambiental**. **Revista Ambiente Construído**. V. 3, nº 2. Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, abr/jun 2003. P. 45
- 38 NAYAK, J. K. & PRAJAPATI, J. A. **Handbook on Energy Conscious Buildings**. Indian Institute of Technology: Bombay, 2006.
- 39 DEMO, Pedro. **Metodologia do conhecimento científico**. 1ed. São Paulo: Altas, 2000. P.160-166
- 40 PALME, M.; ALBANO, L.; COCH, H.; ISALGUÉ, A.; GUERRA, J.. **Latin-American buildings energy efficiency policy: the case of Chile**. Paper published in the 4th International Congress on Sustainability in Energy and Buildings 2012 - SEB12. A. Håkansson et al. (Eds.): Sustainability in Energy and Buildings, SIST 22, pp. 337–346. DOI: 10.1007/978-3-642-36645-1_31. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013. Stockholm, Sweden, 2013.

$$Q_{\text{día}} = UA \times \int_{\text{día}} (T_i - T_e) \times \Delta_t \quad \text{si } T_i < T_e$$

$$GD_c = \frac{\sum_{h=1}^{24} (T_{i_h} - T_e) \times \Delta_t}{24}$$

$$Q_{\text{día}} = UA \times \sum_{h=1}^{24} (T_i - T_e) \times 3600 \quad \text{si } T_i > T_e$$

$$Q_{\text{día}} = UA \times \int_{\text{día}} (T_i - T_e) \times \Delta_t \quad \text{si } T_i > T_e$$

$$Q_{\text{día}} = UA \times \int_{\text{día}} (T_e - T_i) \times \Delta_t \quad \text{si } T_i < T_e$$

$$\sum_{h=1}^{24} (T_{e_h} - T_{i_h}) \times \Delta_t$$

$$Q_{\text{día}} = UA \times \int_{\text{día}} (T_i - T_e) \times \Delta_t \quad \text{si } T_i < T_e$$

$$Q_{\text{día}} = UA \times \int_{\text{día}} (T_i - T_e) \times \Delta_t \quad \text{si } T_i < T_e$$

$$GD_c = \frac{\sum_{h=1}^{24} (T_{e_h} - T_{i_h}) \times \Delta_t}{24}$$



referencias a las distintas escalas a lo
de las dimensiones urbanas / arquite
como en la capital del Estado de Goiás
En un proceso de independencia es
mentos arquitectónicos son transfor
través de concentrándose en
Este modo de entender no
referencias a las distin
de las dimensiones ur
Atendiend
con
este mo
este m
de las c
referen
GD
de las u
mentos
En
mento

El sentido elemental de la invariancia pasa por la idea de unidades que poseen la capacidad de trascender lugares a lo largo del tiempo, dentro de un proceso de transformación identificable por medio del desarrollo de vestigios arquitectónicos.

La esencia de la invariancia reside en dos sentidos complementarios e interrelacionados: las naturalezas compositiva y ambiental de los vestigios intangibles y materiales.

- La naturaleza compositiva revela un sentido en el plano de los principios, ideas y pensamientos intangibles y, por tanto, de carácter informativo, al mismo tiempo que es identificable en los productos realizados en el cuerpo material y espacial de la arquitectura.
- La naturaleza ambiental se presenta a través del plano que envuelve y se relaciona con la arquitectura, sea de modo energético, material, espacial o informativo.

90

Los sentidos compositivo y ambiental revelan posibilidades de vestigios que, por un lado, estructuran y componen la esencia de elementos y, por otro, demuestran transcendencias y transformaciones propias de un proceso coeso entre ambiente y arquitectura. A ejemplo de Banham (1985), “a fin de no fatigar al lector”⁴¹, y por el sentido de recorte temático, se describen los sentidos compositivos y ambientales dentro de una perspectiva panorámica de contextualización, a partir de un recorrido histórico por medio de la citación de los personajes y contenidos más importantes del periodo o del tema, con el enfoque mayor en la captación de la visión general que en el detallamiento de pormenores, citando los nombres de los arquitectos y obras arquitectónicas, bien como, teóricos y obras bibliográficas, que hacen parte de esta historia.

1.1 SENTIDO COMPOSITIVO

El estudio del sentido compositivo de la transcendencia nos permite hacer un recorrido entre diversos arquitectos agentes en el desarrollo de productos intelectuales y arquitectónicos, bien como, entre los teóricos que analizan y critican las obras del período. Desde la casa premoderna de Wright hasta la casa moderna de Le Corbusier,⁴² y la consolidación del pensamiento y de la arquitectura modernos en la ciudad de Goiânia.

“En general, la historia de la casa premoderna durante la segunda mitad del siglo XIX muestra un característico deseo de desarrollar una nueva clase de vivienda, adaptada al mundo abierto pero sin abandonar el enraizamiento local.” (NORBERG-SCHULZ, 2005)⁴³

Según Norberg-Schulz (2005), “la casa moderna es el resultado de un desarrollo gradual, si bien ese arquitecto (Wright) fue responsable del paso decisivo que hizo que la casa se convirtiese en ‘lo que quería ser.’”⁴³

91

“La relación del hombre con los lugares y, a través de ellos, con los espacios, consiste en la residencia. (...) Sólo cuando somos capaces de residir podemos construir. La residencia es la ‘propiedad esencial’ de la existencia.” (NORBERG-SCHULZ, 1975)⁴⁵

Los comienzos de la transformación de la vivienda de modelos medievales ingleses, precedente de la casa premoderna, se hizo en Estados Unidos durante la mitad del siglo XIX, tal y como presenta Vincent Scully (1971).

Entre los invariantes de las obras estadounidenses del siglo XIX, se destaca el esquema asimétrico de adaptación al emplazamiento, el porche, galería o piazza como elemento de transición, el volumen predominantemente horizontal caracterizado por el uso de la madera con las interrupciones verticales

provocadas por chimeneas y ventanas que acentúan la continuidad. Estos elementos daban a la vivienda premoderna la “expresión de su finalidad”, tan importante para Andrew Jackson Downing (1842). Así, en la obra de Wright, había un deseo simultáneo de diferenciación y unidad, dejando de ser una ‘caja’ para ser un volumen descompuesto con sus partes unidas en un todo.

Según Norberg-Schulz (2005), la naturaleza y el carácter humano son dos aspectos fundamentales en la obra de Wright, descritas por sus propias palabras y en las palabras de Scully, respectivamente: ⁴⁶

“Mi noción de ‘muro’ ya no era el lado de una caja; era la delimitación del espacio proporcionando protección frente a las tormentas y el calor sólo cuando era necesario.” (Wright)

“Detrás de todo el desarrollo del diseño libre estaba la persistente creencia de que el hombre debe vivir como un ser humano libre, en íntimo contacto con la naturaleza, con el fin de hacer realidad sus propias posibilidades.” (Scully)

92

Estos aspectos contudo no son entendidos por medio de un análisis racional, sino que el sentido de naturaleza y el carácter humano son comprendidos a través de una experiencia de las “cualidades significativas y originarias”⁴⁷, que implican en el desarrollo de un sentido más profundo de las cosas y de un deseo de enraizamiento e identificación con el lugar.

Dos publicaciones también merecen destaque por su importancia en el camino para el advenimiento de la casa moderna: *The English Gentleman’s House* de Robert Kerr (1864) y *Houses and Gardens* de Mackay Hugh Baillie Scott (1906), que describe el ‘alma de la casa’, considerándola como una verdadera vivienda, un ambiente para la vida familiar. Así como, igualmente importantes, las obras de Charles Rennie Mackintosh en torno de 1900 con nuevas interpretaciones de la vivien-

da premoderna.

El desarrollo de la arquitectura moderna se da en acciones revolucionarias registradas alrededor de 1910, conectadas con los movimientos cubista y futurista. Para Banham (1985), estas causas preparatorias de la arquitectura moderna tienen origen en el siglo XIX, con exponentes en Inglaterra, Francia y Alemania, a partir de 3 ideas principales:⁴⁸

- El sentido de la responsabilidad del arquitecto ante la sociedad en la cual vive - idea de ascendencia sobre todo inglesa, con origen en Pugin, Ruskin y Morris, y que se materializó en una organización fundada en 1907, el Deustcher Werkbund.
- El enfoque racionalista de la arquitectura - con destacados exponentes como Willis en Inglaterra, Viollet-le-Duc en Francia, Auguste Choisy.
- La tradición de la enseñanza académica - École des Beaux-Arts en París, de donde surgió Julien Guadet.^{xxxii}

93

“La influencia de Wright en arquitectos como Gropius, Oud, Rietveld, Dudok y Mies se ha señalado con frecuencia. Sin embargo, no era posible adoptar directamente las tipologías de Wright. Pensadas para situaciones suburbanas o rurales, tenían que adaptarse al entorno urbano habitual en Europa. En general, esto implica que la planta libre y la forma abierta tuvieron que combinarse con cierta compacidad de volumen y con una escala pública; o, resumiendo, con un tipo de orden más ‘clásico’. Este problema lo afrontaron muchos arquitectos y encontró su solución básica en las obras iniciales de Le Corbusier.” (NORBERG-SCHULZ, 2005)⁴⁹

xxxii Además de los nombres citados, Garnier, Perret, Le-thaby, Scott y Loos, también merecen destaque como importantes contribuyentes a la origen de la arquitectura moderna.

Le Corbusier también encuentra en la casa pompeyana una fuente de inspiración a su deseo de lograr una síntesis de libertad y orden clásico, haciendo referencia a ella en *Hacia una arquitectura*.

En suma, el desarrollo de la vivienda moderna es marcado por las casas de Le Corbusier (Villa Stein, Villa Saboya, etcétera) y, con igual destaque, por la casa Tugendhat. Estas casas, al mismo tiempo, se relacionan con sus emplazamientos y ponen de manifiesto dos invariantes modernos identificables en la arquitectura brasileña: la planta libre y la forma abierta.

“Más que introducir una nueva tipología, lo que hace la villa Mairea es ampliar el concepto de vivienda moderna para incluir en él la identificación con el carácter local, un deseo que se sentía intensamente en la mayoría de los países en torno a 1900, pero que se olvidó durante la fase internacional. La diferencia entre el regionalismo premoderno y la modernidad localmente interpretada de Aalto es que esta última explota la planta libre y la forma abierta.” (NORBERG-SCHULZ, 2005)⁵⁰

94

Las soluciones arquitectónicas ‘libres’, ‘abiertas’ y con ‘expresión de su finalidad’, son los primeros vestigios identificables en la fase de difusión internacional de la arquitectura moderna.

Algunos invariantes arquitectónicos demuestran tales vestigios como los que han ido siendo incorporados por Le Corbusier, a partir de su lectura moderna de la arquitectura, como en el manifiesto de 1926,⁵¹ donde Le Corbusier describe los 5 points d’une architecture nouvelle: les pilotis, les toits-jardins, le plan libre, la fenêtre en longueur, la façade libre.⁵²

Los cinco puntos revelan conceptos inherentes a la arquitectura moderna, relacionados a la libertad, el carácter de la edificación y su relación con la naturaleza. Por ejemplo, el pilotis es la revelación del deseo moderno de mantener la natura-

leza intacta. En la leyenda de uno de sus dibujos, Le Corbusier registra:

“Composition: géométrique + nature = humain”

marcando la interdependencia de la geometría y de la naturaleza en el pensamiento moderno del arquitecto.⁵³

“L’architecture scelle l’alliance de l’homme et de la nature para la géométrie réglée sur les lois de l’univers”(LE CORBUSIER, 1948)⁵⁴

De este modo, los cinco puntos de Le Corbusier, una vez trascendidos a diversos países del mundo, incluso a Brasil, se convierten en cánones de la arquitectura moderna, algunos de los invariantes que trascienden climas y lugares.

“L’architecture moderne est devenue un mouvement légitime qui ne pourra plus être arrêté”(GIEDION, 1927)⁵⁵

95

La invariancia se realiza a partir de estos vestigios por poseer la capacidad de trascender y de transformarse. Estos elementos son comprendidos a través de dos conceptos elementales, inherentes a la idea de invariancia:

- Concepto de Tipo
- Concepto de Parte

“Um dos fatores que distingue a arquitetura da mera construção é que em uma obra de arquitetura sempre existe algum tipo de atitude em relação ao entorno imediato, e essa atitude se reflete na forma do artefato.” (MAHFUZ, 1995)⁵⁶

Las características térmicas de un edificio están íntimamente relacionadas a las cualidades arquitectónicas del mismo.

Esta relación refuerza la interdependencia existente entre ambos. El principio del conjunto en la arquitectura y, por supuesto, de la síntesis, es identificable en toda buena producción arquitectónica. La arquitectura vernácula exploraba su principio y generaba un producto que reunía cualidades diversas y coexistentes, tales como compositivas, tecnológicas, ambientales, etc.

Si la calidad ambiental es condicionada por la arquitectónica, los principios de concepción arquitectónica también pueden ser entendidos como principios que, de alguna manera, pueden influir en el carácter ambiental.

Relacionar los aspectos ambientales con los compositivos permite crear principios ambientales inherentes a la concepción arquitectónica. Propicia hacer del hecho proyectivo una búsqueda por un ambiente, por concebir un espacio a partir de sus características ambientales.

¿Existe calidad arquitectónica sin calidad ambiental?

¿Existe calidad ambiental sin calidad arquitectónica?

96

Para ambas cuestiones, si tratamos a la arquitectura y al ambiente como sujetos interdependientes por supuesto que sí, la respuesta es afirmativa. Pero, para la primera interrogación, la respuesta es: sí puede, pero no debería haber. Y para la segunda es: sí puede, pero con dificultades que limitan, tornan menos eficiente e, incluso quizás, inviabilicen su realización. En las dos situaciones, las cuestiones contemporáneas vigentes que relacionan artefacto y lugar no son consideradas relevantes y, por tanto, independientemente de sus características formales/funcionales, conceptualmente esta arquitectura ya corre riesgo de fallir por ser anacrónica e insostenible. Responder a las demandas contemporáneas pasa por una asociación entre espacio y ambiente.

De este modo, análogicamente, un análisis ambiental pasa por un análisis arquitectónico. Y ciertamente realizado con vistas a críticos, escritores, historiadores, filósofos, teóricos

como: Max Weber, Quatremère de Quincy, Aldo Rossi, Carlo Aymonino, Saverio Muratori, Paulo Caniggia, Philippe Panerai, Jean Castex, Jean Charles Depaule, Giulio Carlo Argan, Rob Krier. Bien como: Bruno Zevi, Sigfried Giedion, Theodor W. Adorno, José Ferrater Mora, Denis Diderot, Jurgen Joedicke, Philipp Drew, Reyner Banham, Kenneth Frampton, Willian Curtis, Martin Heidegger, Norberg-Schulz, Walter Benjamin, Jacques Derrida, Jean-François Lyotard, Maria Lambrano; entre otros.

Un análisis arquitectónico debe ser capaz de presentar las características esenciales del proyecto, llegando a informar cuanto a su principio compositivo básico, singularidad y definidores significativos.

“Assim como o significado de uma frase completa é diferente do de um grupo de palavras, ou como uma palavra significa mais do que uma linha de letras do alfabeto, a idéia criativa ou imagem é um meio de expressão de coisas e eventos diferentes como um todo, como algo coerente. (...) o processo de projeto começa com uma imagem conceitual, que forma o princípio básico em torno do qual o todo é organizado, então é possível desenvolver, dentro dessa imagem, a extensão total da imaginação” (MAHFUZ, 2002, p.19)

97

Así como proyectar con imágenes conceptuales hace posible salir del pragmatismo en dirección a la creatividad. La descubierta de invariantes se da a través de un proceso de eliminación de variantes, pudiendo ser realizada a través del proceso de tipificación.

El proceso de tipificación de una producción arquitectónica debe ser un proceso basado más en valores cualitativos que cuantitativos, que se concentra más en síntesis que en análisis. Un ejercicio de síntesis cualitativa y de identificación del “parti” entendido como esencia del proyecto. Síntesis de los aspectos

más importantes de un problema arquitectónico, donde están presentes los imperativos del proyecto, interpretados y jerarquizados por el arquitecto.

La aplicación del concepto a la arquitectura como principio que la direcciona explica la definición e importancia del tipo en la arquitectura. El concepto de tipo favorece el acumulo de conocimientos a lo largo del tiempo, contribuyendo al desarrollo de la metamorfosis presente en la arquitectura sin perjuicio de perder su autenticidad.

De este modo, los arquitectos pueden dirigir sus intereses a la naturaleza conceptual del problema descubriendo invariantes, aspectos compositivos y principios espaciales. El tipo, resultado del proceso de tipificación, puede distinguir variantes e invariantes en el objeto arquitectónico.

Para Mahfuz (2002, p. 22), el tipo es un principio y no una forma: “principio que contém a possibilidade de variação formal infinita, e até de sua própria modificação estrutural”. Según el autor, la definición canónica sigue siendo la de Antoine-Chrysostome Quatremère de Quincy, establecida en el *Dictionnaire historique de l'architecture* (1832, p. 629-630):

98

“(...) o tipo é uma espécie de cerne em torno do qual, e de acordo com ele, são ordenadas todas as variações de que um objeto é suscetível”. “A palavra tipo representa não a imagem de uma coisa a ser copiada ou perfeitamente imitada, mas a idéia de um elemento que deverá servir de regra ao modelo. (...) O modelo, entendido em termos de execução prática da arquitetura, é um objeto que deve ser repetido como é um princípio que pode reger a criação de vários objetos totalmente diferentes. No modelo, tudo é preciso e dado; no tipo, tudo é vago.” (QUATREMÈRE DE QUINCY, 1832, p.629-630)

Según Montaner (2001, p.148) el concepto de tipo en la cultura contemporánea procede de Max Weber, con su ensayo

de 1904. Weber definía los tipos ideales como medios y no metas; abstracciones conceptuales extremas, puramente ideales; artificios historiográficos cuyo pasado y presente podían ser caracterizados, medidos y comparados a fin de esclarecer elementos significativos de su contenido empírico y de su singularidad.

El “tipo ideal” weberiano está presente en la esencia de diversas interpretaciones de la arquitectura moderna, como en la de Henry-Russell Hitchcock y Philip Johnson en la institución del Método Internacional, en 1931, donde cada ejemplo arquitectónico era medido y comparado según algunos cánones cuyos tres principios formales eran: arquitectura como volumen y juego de planos; predominio de regularidad en lugar de la simetría axial académica; y ausencia de ornamentación que surge de la perfección técnica. Los “tipos ideales” considerados eran: Villa Savoye de Le Corbusier; Pabellón de Barcelona y Casa Tughendaht de Mies van der Rohe.

Giulio Carlo Argan y Manfredo Tafuri contribuyen a una definición posterior de crítica tipológica se diferencia de los estudios analíticos de los maestros del racionalismo europeo siendo definida a partir de un material más amplio y entiende tipológico como fenómenos de invariabilidad formal.

Argan, a partir de los años 50, y especialmente en 1962 con el ensayo “Sobre o conceito de tipologia arquitetônica”, ha revisado los conceptos de tipo y modelo de Quatremère de Quincy. Y Manfredo Tafuri, en 1968 en el libro “Teorias e historia da arquitetura”, presenta un nuevo escenario de la crítica tipológica a partir de consideraciones de muchos autores, entre ellos, Carlo Aymonino y Aldo Rossi, que consideran que las estructuras tipológicas, o sea, su tradición interna, constituyen lo más racional de la arquitectura.

“a crítica tipológica insiste naquilo que permanece, no que é essencial. Arquétipos, estruturas e tipologias remetem-se ao que é idêntico, imutável, intemporal e genérico.” (MONTANER, 2001, p.152)

Aymonino, en textos como “Orígenes e desenvolvimento da cidade moderna” de 1965 y “Lo studio dei fenomeni urbani” de 1977, sintetiza que “o milenarismo marxista, baseado na preeminencia da infra-estrutura económica; e o milenarismo estruturalista, baseado na certeza da intemporalidade e da permanencia das formas, e expresado em conceitos como tipo arquitetônico e morfología urbana.”.

La unidad significativa es para Argan (2000, p. 66-67) lo que los conceptos de intemporalidad y permanencia de las formas son para Aymonino: “o tipo se configura assim como um esquema, deduzido através de um processo de redução de um conjunto de variantes formais a uma forma-base comum. Se o tipo é o resultado deste processo regressivo, a forma-base que se encontra não pode ser entendida como mera moldura estrutural, mas como estrutura interior da forma ou como princípio que implica em si a possibilidade de infinitas variantes formais e, até, da ulterior modificação estrutural do tipo mesmo.”

100

Para Rossi y Argan, el repertorio de tipos arquitectónicos tiene una relación analógica con la tradición donde lo importante es recriar algunas formas donde se pueda revelar estructuras pertenecientes a la memoria colectiva. Esta consciencia del pasado está presente en las afirmaciones de Giorgio Grassi cuanto a la imposibilidad del nuevo, cuando reconoce en sus proyectos el uso de un lenguaje antiguo.

Estas ideas de pertenencia del arte a un tiempo detenido en la permanencia, conceptos de intemporalidad, universal, estático y general son contrapuestas por las ideas de Rafael Moneo que alerta cuanto a los peligros de un fundamentalismo cerrado y excesivamente conservador. Para Moneo, el concepto de tipología podría implicar en cambio, transformación. Consciente de que la noción de “tipo ideal” de Weber se basaba en la propia capacidad de transformación de este, afirmaba que el tipo sería la estructura donde dentro de su espacio interno ocurre el cambio, adoptándolo en función de su carácter abierto y

dinámico.

Para Oriol Bohigas (1985, p. 97) “tipo é uma referência metodológica e não-formal”. Para Montaner, el tipo ilustra elementos significativos.

Según Montaner (2001, p.110), “é possível estabelecer conceitos-limite ideais com os quais a realidade pode ser medida e comparada com o fim de ilustrar determinados elementos significativos. Estes ‘tipos ideais’ são abstrações ou construções racionais que atuam como modelos de referência”.

De acuerdo con Mahfuz (2002, p. 23-24), los estudios tipológicos realizados o se interesan por una clasificación por tipos formales, especie de estudio de constantes formales, o por una clasificación por tipos funcionales, estudio de constantes organizacionales y estructurales. Algunas categorías resultan del desdoblamiento del concepto de tipo para llegar-se a una tipología más amplia: Forma arquitectónica; Relaciones espaciales; Definición y articulación del espacio; Circulación y recorrido; Principios de organización espacial; Grandes elementos constructivos; Relaciones entre edificio y contexto; Principios de ordenación; Elementos decorativos.

Para Mahfuz (2002), formas arquitectónicas son generadas a través de cuatro métodos: innovativo, normativo, tipológico y mimético.

Mahfuz afirma que en la categoría de principios de organización espacial existen seis sub-categorías agrupadas en dos principios que son citados por Norberg-Schulz:

- geométricos - organizaciones en relación a un punto, una línea, una malla y a un volumen elemental;
- topológicos - proximidad y cerramiento.

“Ao observarmos o vasto conjunto de edifícios que se constitui o domínio da arquitetura, com vistas a entender o fenômeno complexo da forma arquitetônica, seja esta visão histórica, vertical, ou horizontal, abrangendo a produção atual, observaremos que

estes edifícios, além das diferenças acidentais que ostentam entre si, apresentam diferenças muito mais profundas, relacionadas com as estruturas elementares de conceitos sob os quais estes edifícios foram concebidos. A estas estruturas chamamos de categorias da forma arquitetônica.” (COLIN, 2000) ⁵⁷

Los conceptos bajo los cuales la arquitectura es concebida acerca y aleja obras según sus similitudes y diferencias permitiendo su clasificación. Según Colin (2000)⁵⁸, son diez las principales categorías de formas arquitectónicas:

- tipológica, geométrica, libre, topológica, analógica, tectónica, orgánica, sistémica, anamorfismo y superposición de categorías.

Es importante no confundir el concepto de tipo con forma tipológica. Tipo no es una forma. La forma tipológica es derivada de los tipos arquitectónicos, presentes tanto en la arquitectura histórica como en la contemporánea.

102

“A presença de valores históricos na arquitetura moderna brasileira se baseava na utilização da substância dos precedentes históricos, ao invés da sua aparência, em um aproveitamento muito mais tipológico do que mimético da sua tradição.” (MAHFUZ, 2002, p. 100)

Según Mahfuz (1995), los sentidos de todo y de parte se mesclan. La parte compone el todo y el todo es hecho de cada una de sus partes.

“A paixão intuitiva se une ao espírito intelectual quando um objeto arquitetônico é mais do que um agregado de partes.” (UNGERS, 1982, p.7 apud MAHFUZ, 2002, p.19)

La definición de parte varia según la teoría.⁵⁹ Idea esta también sostenida por J. C. Smuts, Viollet-le-Duc y Nobergh-Schulz.

“O que parece definir um todo como algo mais do que uma soma de partes é a presença de um principio de organização, com seu efeito sobre as partes.” (MAHFUZ, 1995)

Tal y como es posible afirmar que el conocimiento teórico en arquitectura está establecido sobre la tríade de Marcus Vitruvius (90 – 20 a.C): firmitas, utilitas y venustas. El Tratado de Alberti – De Re Aedificatoria (siglo XV), conocido como la 1ª Teoría Moderna de la arquitectura, también contribuye al concepto intelectual y universal de la arquitectura, dentro del arquetipo del humanismo.

Leon Battista Alberti (1404-1472) describe la arquitectura a través de 10 expresiones de las cuales es posible destacar dos. El filósofo, poeta, arqueólogo, ingeniero, cartógrafo, matemático y arquitecto resalta la importancia del todo cuando describe la organización harmónica del conjunto, llamado de Concinnitas, como la cualidad resultante de la conexión y de la unión de todos los elementos del organismo, y que debe conformar todas las partes del cuerpo, de modo que ellas correspondan totalmente unas a las otras. También destaca el Lineamenti, la composición formal de líneas y ángulos del edificio, desde su concepción, hasta la disposición conveniente y apropiada de las partes. A través del Lineamenti, es posible articular las partes con el todo en la construcción del organismo, donde cada miembro se encuentra conectado a los demás y a la totalidad del cuerpo.⁶⁰

Alberti destaca el valor espacial a las partes, definidas por: región, plataforma, compartimiento, cerramientos, cubierta y aberturas. Así como jerarquiza las partes como principales y secundarias, tratando respectivamente de: espacios interiores, exteriores y específicos como pórticos, vestíbulos, patios, torres;

y detalles arquitectónicos como órdenes, ventanas y puertas.

Precedido por Charles Perrault (1628-1703), Marc-Antoine Laugier (1713-1769), publica *Essai sur l'Architecture* en 1753, destacando el valor constructivo de las partes y resaltando que la arquitectura debería imitar la naturaleza. Laugier afirma que las fallas en la arquitectura son causadas por hechos no basados en la razón o en la naturaleza. Y reduce los elementos de la arquitectura en 3 partes fundamentales: columna, entablamiento y frontón.

Jean-Nicolas-Louis Durand (1760-1834), a través de *Précis des leçons d'architecture* (1825) y *Recueil et parallèle des édifices de tout genre, anciens et modernes* (1801), hace una distinción entre los elementos constructivos y las partes, clasificando los elementos de la arquitectura entre los principales y los accesorios, respectivamente: pórticos, vestíbulos, escaleras, patios, etc; y escaleras exteriores, pergolados, fuentes, etc..

“Durand realizou uma sistematização de projetos de arquitetura com categorias conceituais similares, a partir de estudos retirados de publicações. Ele incluiu exemplos de todos os estilos e períodos históricos, e os apresentou como tipos edilícios particulares, agrupados por programas, e desenhados na mesma escala. Dessa maneira, em sua obra *Recueil et parallèle des édifices en tous genres anciens et modernes* [Coleção e paralelo dos edifícios de todos os gêneros antigos e modernos], de 1800, apresentou um catálogo com todo tipo de exemplares da história da arquitetura e constituiu um portfeuille que serviu como referência para os arquitetos durante todo o século XIX. Esse procedimento inspirou uma prática característica do Ecletismo. As teorias de Durand foram duradouras contribuições que influenciaram muitos arquitetos importantes; os ideais da arquitetura revolucionária se encontram na base de toda arquitetura européia.” (PEDONE, 2005)⁶¹

Julien-Azaïs Guadet (1834-1908), gran contribuyente a la teoría moderna de la arquitectura, establece una clasificación que separa los elementos de arquitectura de los elementos de composición, a través de *Éléments et théorie de l'Architecture* (1901).

Según Reyner Banham (1985)⁶², este libro ha llegado a influenciar a Le Corbusier en el desarrollo de la arquitectura moderna. Los primeros serían los responsables por la construcción y por el carácter de los elementos de composición. Estos son divididos en principales (espacios habitables) y secundarios (espacios auxiliares) como vestíbulos, peristilos, atrios, galerías, pasillos, escaleras, patios para iluminación y ventilación.

Aldo Rossi (1913-1997) no jerarquiza las partes. Todas parecen tener el mismo valor. Rossi considera la tipología como la base esencial del desarrollo del proyecto. Y la forma con un papel fundamental en la organización funcional. Para Rossi, los elementos constructivos son las partes irreductibles de la arquitectura. Rossi, a través de *A arquitetura da cidade* (1966), introduce en la arquitectura el término *genius loci* para indicar el carácter del lugar y el espíritu del lugar.

105

Esta expresión también es usada por Christian Norberg-Schulz (1926-2000) en *Genius loci* (1980), en un abordaje fenomenológico de la arquitectura, basado en la filosofía de Heidegger como catalizadora de su pensamiento.

“El *genius loci* depende pues de la estructura arquitectónica concreta de los alrededores que debería ser descrita en función de los lugares, caminos y regiones. Sobre todo, *genius loci* significa un carácter distinto. (...) Todo carácter corresponde a una estructura que puede ser descrita y precisamente hemos de desarrollar los conceptos necesarios para su descripción. El espacio arquitectónico como una concretización del espacio existencial nos da la clave del problema. El espacio arquitectónico concretiza la existencia del hombre en el mundo.” (NORBERG-SCHULZ, 1975)⁶³

La definición de los elementos del espacio arquitectónico pasa por una comprensión topológica del lugar y del espacio. Para Norberg-Schulz (1975), el 'espacio arquitectónico' es una concretización del 'espacio existencial', una contrapartida física a una de las estructuras psíquicas que forman parte de la existencia del hombre en el mundo. Para él, "el espacio existencial del hombre está, pues, determinado por la estructura del ambiente que le rodea, pero sus necesidades y deseos crean una regeneración. La relación entre el hombre y su entorno es, por lo tanto, un proceso de dos vías, una interacción real. El espacio arquitectónico es un aspecto de ese proceso."⁶⁴

La definición de las partes adviene del estudio topológico del espacio. La creación de un centro implica en la creación de un lugar. Y la definición de un lugar está basada en los principios de la Gestalt de 'proximidad' y 'cierre'. Otro concepto en la identificación de las partes es la 'concentración'. Las masas-centro hacen contraste con el movimiento de ir y venir. Este movimiento establece un camino o eje, que es basado por el principio de 'continuidad' y ' semejanza' de los elementos masa o de espacio que constituyen una composición.

106

"El carácter de un camino está pues determinado por la relación de lugares. O bien conduce hacia una meta separada o alejada del punto de partida o forma un anillo alrededor de un lugar (...). Como todo lugar vive de la tensión entre fuerzas centrípetas y centrífugas, lugar y camino son necesarios y mutuamente dependientes uno de otro." (NORBERG-SCHULZ, 1975) ⁶⁵

La relación entre exterior e interior establece una 'continuidad' significada por la 'profundidad', un adentrarse a algo, presente tanto en espacios interiores como en iglesias como en espacios exteriores como en calles históricas. Aunque la continuidad en profundidad puede ser creada a partir de la articulación de elementos constructivos, no es dependiente de la geo-

metría, sino que es determinada por “elementos de guías que pertenecen simultáneamente a dos o más elementos superiores (edificios, espacios).”⁶⁶

El ‘cierre’ y la ‘ semejanza’, así como el contorno y la textura, son propiedades definitorias básicas de regiones y distritos. El contorno define una región en relación a sus alrededores y la textura nos permite conocer el carácter general del distrito.

Los cambios de una región a otra genera un problema de conexión, realizado por la puerta. Así como el camino tiene elementos singulares como el puente o la escalera que realizan conexiones horizontales o verticales entre espacios, representando la pose de espacios no accesibles hasta entonces o una victoria sobre la gravedad. La salida, el abandono, fuga, desprendimiento, desconexión, partida o entrada, llegada, conexión, encuentro... a un nuevo mundo existencial, sea por caminos, ejes o

“En el espacio arquitectónico como en el espacio existencial, lugar, camino y región forman un todo integrado. Juntos constituyen lo que podemos llamar un ‘campo’. (NORBERG-SCHULZ, 1975)⁶⁷

107

Un campo arquitectónico, en general, es relativamente inarticulado con una región que lo rodea y en la que penetran unos pocos caminos.

Norberg-Schulz (1975) establece una jerarquía entre los niveles del espacio arquitectónico, definida por: paisaje rural, nivel urbano y el edificio. De los tres, el edificio es la que nos aporta un espacio ‘interior’, esencia de su ser.

“En la ciudad estamos todavía ‘fuera’, aun después de abandonar la campiña. En la casa, estamos solos con nosotros mismos: nos hemos retirado. Si abrimos la puerta a otros es por nuestra libre decisión, hacemos que el mundo venga a nosotros en lugar de mirarlo al exterior.” (NORBERG-SCHULZ, 1975)⁶⁸

Para Norberg-Schulz (1975), aunque la arquitectura moderna haya abolido la idea de espacio interior, siendo reemplazada por la idea de “espacio fluyente” sin distinción entre interior y exterior. Tal nuevo ideal apenas llegó a ser puesto en práctica. Revelando contradicciones en las arquitecturas del Wright, Le Corbusier y Mies, con la constitución de espacios siempre distintamente identificables como interior y exterior.

Venturi apud Norberg-Schulz (1975) afirma que, como el interior es diferente del exterior, la pared (que es el punto de cambio) constituye un acontecimiento arquitectónico. Y sigue, refiriéndose también a las aberturas. Además, dice que “al proyectar hacia adentro desde el exterior o hacia afuera desde el interior, se crean necesariamente tensiones que contribuyen a hacer arquitectura.

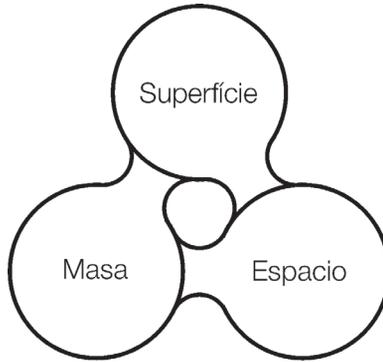
Norberg-Schulz (1975) afirma que la articulación de esta tensión siempre consiste en la interacción de los aspectos de ‘separación’ y ‘unificación’. Y concluye:

“Espacios, masas y elementos de pared están separados para expresar el hecho de que todo edificio consta de diferentes partes funcional o simbólicamente determinadas. Sin embargo, como esas partes lo son de un ‘organismo’, tienen que ser unificadas mediante la continuidad, la repetición (semejanza), interdependencia o interpenetración.” (NORBERG-SCHULZ, 1975)⁶⁹

“(…) ‘la arquitectura se encuentra en la unión del interior con el exterior’. El ‘muro’ o ‘pared’, efectivamente, define tanto el espacio como la masa. Es el elemento concreto real de la arquitectura, aunque está determinado por nociones más abstractas de masa y espacio.” (VENTURI apud NORBERG-SCHULZ, 1975)

En base a lo expuesto, Norberg-Schulz (1967) define los

elementos de la arquitectura como: espacio, masa y elementos de superficie.⁷⁰ Para él, espacio viene a ser el volumen definido por superficies, masa puede ser definido como un cuerpo tridimensional y elementos de superficie son entendidos como los límites de masas y espacios. Relacionamos dichos elementos conforme la Fig. 3.



El punto de cambio al que se refiere Venturi es totalizado como la figura de la piel, por Rafael Serra y Helena Coch (1995), cuando definen cinco niveles del espacio interior al exterior: interior, forma, piel, entorno, ubicación.

109

Para Serra & Coch (1995), la forma es un conjunto de características geométricas que un edificio puede tener y que lo define según su: compacidad, porosidad (proporción entre volúmenes llenos y vacíos) y esbeltez (relación entre la altura y su proyección horizontal). La compacidad es un coeficiente adimensional más apropiado que el factor de forma^{xxxiii}, donde los sólidos geométricos semejantes tienen el mismo coeficiente aunque tengan volúmenes distintos.

Estos elementos definen la forma de los edificios pero podemos utilizarlos también para agrupaciones urbanas donde, en general, encontraremos formas que se relacionan bien con el clima, al alterar el estado natural de los flujos de aire, protegerse o exponerse a la radiación solar y relacionarse favo-

xxxiii $f = Sg / Vt$ (una superficie dividida por su volumen).

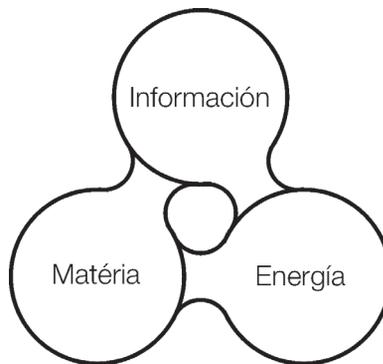
Fig. 3 –
Elementos de
Norberg-Schulz

rablemente a las fuentes de agua.

Ya la piel es considerada el ‘lugar’ donde los intercambios térmicos se dan entre el interior y el exterior, en los límites de los elementos, propiamente en sus superficies: “paramentos que envuelven físicamente el edificio separando el interior del exterior”⁷¹. Serra & Coch (1995) definen diez aspectos a ser analizados con relación a la piel y el interior que tratan básicamente de la permeabilidad del edificio frente a las manifestaciones energéticas del medio exterior al edificio.

La piel es ‘un todo’ constituido de partes. La idea de que la composición de la piel es una solución conjunta refuerza el entendimiento de que todo elemento participativo en el proceso es necesario y útil. De acuerdo con Morante (2005, p.266), “aceptando que todos los elementos que la conforman, llámen-se mecanismos, sistemas, etc., no son accesorios independientes que actúan con una propiedad particular, sin pertenecer al edificio, sino todo lo contrario, estos también – y con mayor razón – definen la composición total de la piel.”

Más allá de los elementos que establecen escalas entre el interior y el exterior, Serra & Coch (1995) sintetizan la realidad arquitectónica reconociendo su estructura a partir de tres elementos, ilustrados en la Fig. 4:



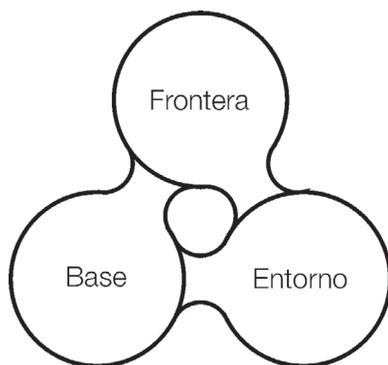
Romero (2001)⁷² agrupa unos invariantes del espacio urbano en cuatro categorías: entorno, forma, trazado y atributos de superficie del urbano; entre los cuales, destaca la superficie y

Fig 4 -
Elementos de Serra
y Coch

la forma, considerando que el enfoque de su estudio es la frontera entre el edificio y el exterior. Con base en estas y a fin de construir un método y nuevas categorías para tratar el espacio público exterior, consecuentes de la verificación de la diferenciación entre espacio público y espacio urbano, Romero (2001) hace una analogía con los elementos formales constitutivos del espacio más importantes para el edificio y el espacio urbano, partiendo de dos macrocategorías: ambiente y espacio. Y proponiendo 3 componentes espaciales:

- entorno – espacio urbano inmediato del espacio público en cuestión
- base – espacio sobre el cual se asienta el espacio público
- superficie frontera – espacio que forma el límite del espacio arquitectónico.

Los cuales se relacionan conforme presentamos en la Fig. 5.



111

Al mismo tiempo que la tensión entre el interior y el exterior establece una relación entre las distintas escalas de territorio o niveles del espacio, sean rural, urbano y arquitectónico; del interior a la ubicación; o de la superficie al entorno. La piel realiza el papel de intercambiadora entre diferentes escalas, límite transcendente entre realidades local y global. Y la vivienda se consolida como elemento superior, lugar de realización

Fig. 5 -
Elementos de
Romero

del carácter individual y profundo de cada ser, laboratorio de la existencia humana, por lo tanto, importante espacio arquitectónico que debe ofrecer posibilidades de identificación para que cada ser pueda llamarse ‘humano’.

“Uma edificação, especialmente uma residência, não pode ser limitada a uma função única, porque qualquer edificação é um cenário onde se desenvolve a vida humana, e a vida humana é heteromorfa.” (MUKAROVSKI, 1978, p. 39 apud MAHFUZ, 2002, p. 49)

Ante la heterogeneidad de la vida humana, el espacio arquitectónico sólo será capaz de ofrecer las posibilidades de identificación si es entendido dentro de una escala de tiempo y es capaz de trascenderse y transformarse.

“El espacio arquitectónico puede, desde luego, contener elementos móviles, y su compleja estructura comprende niveles y subestructuras que ofrecen diversos grados de ‘libertad’. Pero no puede ser móvil como un todo. Su velocidad general de cambio ha de ser tan lenta como permita la historia. Si la historia no guarda relación con un sistema estable de lugares queda vacía de sentido. Y, en realidad, un sistema estable de lugares ofrece mayor libertad que un mundo móvil. Solamente en relación con un sistema de esa clase puede desarrollarse un ‘medio de posibilidades’ (de identificación) (...) lo que tenemos que pedir al espacio arquitectónico para que el hombre pueda seguir llamándose ‘humano’.” (NORBERG-SCHULZ, 1975) ⁷³

112

Los elementos del espacio público de Romero se refieren a objetos construidos. Serra & Coch insertan la ‘información’ como elemento inmaterial a la realidad bio-físico-química de la materia y de la energía. Norberg-Schulz describe dos elementos esenciales, masa y espacio, y un tercero delimitador de los anteriores.

Materia y Espacio participan del mismo medio relacionándose directamente dentro de un principio de complementariedad. Se caracterizan por el respeto entre el lugar que ocupan. Uno no ocupa el lugar que del otro, y uno solo existe en función del otro. Y de allí, se establece una interrelación de dualidades, como llenos y vacíos.

Espacio e Información son fácilmente diferenciables, tal y como lo son, el espacio y el lugar. Donde, en las palabras de Montaner (2001) basadas en las publicaciones de Norberg-Schulz, “o primeiro tem uma condição ideal, teórica, genérica e indefinida, e o segundo possui um caráter concreto, empírico, existencial, articulado, definido até os detalhes. O espaço moderno baseia-se em medidas, posições e relações: é quantitativo; desdobra-se mediante geometrias tridimensionais; é abstrato, lógico, científico e matemático; é uma construção mental. Ainda que o espaço fique sempre delimitado (...) pela sua própria essência tende a ser infinito e ilimitado. Ao contrario, o lugar é definido por substantivos, pelas qualidades das coisas e dos elementos, pelos valores simbólicos e históricos; é ambiental e está relacionado fenomenológicamente com o corpo humano. (...) Precisamente a idéia de lugar diferencia-se da de espaço pela presença da experiência. Lugar está relacionado com o processo fenomenológico da percepção e da experiência do mundo por parte do corpo humano.”⁷⁴

113

Energía e Información no participan del mismo medio y se caracterizan por una especie de omnisciencia. Están presentes tanto en la materia como en el espacio y actúan dentro del principio de la simultaneidad, distinto al principio de complementariedad.

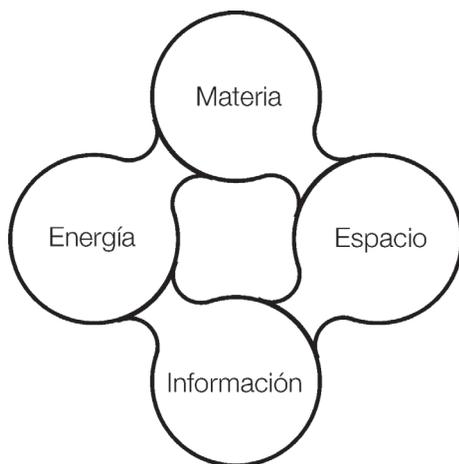
Para Graeff, el valor del hombre expresado en la arquitectura está relacionado al orden de valores establecido entre los medios de la edificación y la propia arquitectura. La idea de sobrevaloración de los medios constructivos, de la tecnología y de la técnica lleva inherente a si misma la idea antagónica de infravaloración de la arquitectura, y por lo tanto, la disminución

del hombre. La búsqueda por las últimas tendencias formales, la falta de respeto al medioambiente en que arquitectura y hombre cohabitan, la incongruencia entre la definición de los materiales y el partido arquitectónico, pensado y concebido con base en el clima y la cultura de la región. Según Graeff, estas son lo que llama de “atitude depreciativa de intenção arquitetônica”.⁷⁵

Una de las formas de depreciación de la intención arquitectónica está íntimamente relacionada a la sobrevaloración de la materia en detrimento de los demás elementos arquitectónicos: espacio, energía e información. Generalizando, se establece una necesidad de equilibrio entre materia y dichos elementos para que se valore la intención arquitectónica. El propio significado de lugar está íntimamente relacionado a dichos elementos.

De este modo, la arquitectura, bien como el lugar, se realiza a partir de la relación entre cuatro unidades elementales, presentadas en la Fig. 6:

114



De este modo, los cuatro elementos se interrelacionan con interdependencia, formando el símbolo #. El símbolo de la malla debe ser visto en perspectiva axonométrica para que su comprensión sea perfecta. La malla es compuesta por dos líneas paralelas y coplanarias verticales que representan por un

Fig. 6 - Elementos fundamentales de la arquitectura

lado, la Materia, y por otro, el Espacio. De un lado, frontal o posterior, del plano al que pertenecen dichas paralelas reside la Información, transversalmente a las verticales y por tanto en la horizontal. Del otro lado, reside la Energía. De modo que tanto la Información como la Energía tienen contacto directo con la Materia y el Espacio y pueden, desde su lado frontal o posterior, actuar simultáneamente en ambos elementos.

1.2 SENTIDO AMBIENTAL

*Un viajante camina bajo el sol.
Ve un árbol. Cambia su trayectoria.
Y decide descansar bajo a la sombra por unos instantes.*



116

El simple hecho de elegir un lugar de estancia, representado en la Fig. 7, ya es un hecho arquitectónico, imbuido de decisiones importantes inherentes a la relación entre las cuatro unidades elementales de la arquitectura, el ambiente y el ser humano.

También el ambiente posee unos aspectos elementales, variantes que enlazan materia y energía, configurando la relación entre el ambiente y el ser humano, así como, el ambiente y la arquitectura.

La introducción a los aspectos elementales concernientes al ambiente, con énfasis en la energía busca aislar y caracterizar elementos inherentes a hechos arquitectónicos, por veces tan ‘sencillos’ como el presentado, relacionándolos con el desempeño térmico de viviendas.

Fig. 7 –
Descanso en la
sombra

El capítulo trata de establecer unas bases fundamentales al entendimiento de la transformación desde el punto de vista de las variables ambientales, condicionantes del cambio en las trascendencias arquitectónicas.

El espacio arquitectónico debe ser trabajado por medio de tres niveles sucesivos:

- Físico – materia y energía.
- Perceptivo – información, resultante de aspectos psico-socio-culturales.
- Físico-perceptivo – espacio.

En cada uno de esos niveles, actúan diversos agentes de un modo simultáneo e integrado en el confort que el ser humano percibe en un determinado lugar. Esos agentes pueden ser ordenados en **parámetros ambientales y factores de confort**⁷⁶, donde los primeros son aquellas características que se pueden valorar en términos energéticos y los factores son los que corresponden a los usuarios.

Los parámetros ambientales pueden ser de 3 tipos:

- **visuales** (nivel de iluminancia, luminancia o contraste, direccionalidad o efecto sombra, temperatura del color, rendimiento del color y color del ambiente);
- **acústicos** (nivel sonoro, tono o frecuencia fundamental, timbre o composición espectral, direccionalidad, tiempo de reverberación);
- **climáticos** (temperatura del aire y de la radiación, humedad relativa, movimiento del aire y composición del aire). A estos, podemos sumar las precipitaciones, nebulosidad y presión atmosférica.

Clima es el conjunto de todas las variables meteorológicas, en un dado momento y que los elementos aparecen en combinación.⁷⁷ El clima es comprendido en distintas escalas: macro, meso y microclimas. Por microclima se entiende aquel encontrado en un espacio más limitado, en un ambiente cercano o entorno inmediato. Ya el macroclima sería aquel percibido

en diversas regiones, países, continentes y océanos. La intervención humana también producirá climas, sea con la construcción de un edificio, o de una ciudad.

Las diferentes **clasificaciones climáticas** pueden ser tan diversificadas como las combinaciones entre sus elementos. Los sistemas de clasificación climática más difundidos (Koppen, Atkinsons, Thornthwaite y Mahoney), se pueden sintetizar en casos-tipo representativos de las constricciones del entorno en: cálidos o fríos, húmedos o secos según su latitud y continentalidad. Así, se clasifican los climas en: cálido-seco, cálido-húmedo, frío y templados.⁷⁸

A nivel arquitectónico, los datos más relevantes serán aquellos relativos a la radiación solar, temperatura del aire, humedad relativa del aire, vientos, precipitaciones atmosféricas y nebulosidad, según sus direccionalidades e intensidades y variaciones (diarias, mensuales, por estación y anuales además de datos de mínimas/máximas absolutas y relativas, promedios, promedios de mínimas/máximas y totales). Entre ellos, la radiación solar es el parámetro específico de extrema importancia ya que actúa en todos los demás.

Los factores de confort pueden ser de orden:

- biológico-fisiológico (edad, sexo, herencia, etc.);
- sociológicos (actividad, educación, ambiente familiar, moda, tipo de alimentación o la aclimatación cultural);
- psicológicos, según características individuales de cada uno.

En la relación del ser humano con el entorno, uno de los procesos que debe ser considerado es el de la percepción, este “conjunto de fenómenos que nos informa de las características del entorno, mediante la captación, por parte del organismo humano, de distintas energías presentes en el ambiente” (Serra & Coch, 1995)⁷⁹.

Serra & Coch (1995) dividen el proceso perceptivo en tres niveles:

- Nivel físico - manifestaciones energéticas existentes en el ambiente. Estudio de los fenómenos ambientales según su principio físico: producción, medición, propagación y comportamiento, difracción, reflexión, absorción y transmisión;
- Nivel fisiológico - transformación de los estímulos energéticos en impulsos nerviosos y su comunicación al cerebro. Estudio de la sensación y percepción humana según sus principios, reacciones y sensibilidad de los sentidos;
- Nivel psicológico - recepción, clasificación e interpretación de estos impulsos nerviosos por parte del cerebro.

Con todas variables, parámetros, factores, clasificaciones, tipos y etc., somos tentados a controlar el ambiente creando una “máquina de habitar”. Es importante conocer las distintas soluciones arquitectónicas que se adecuan al clima y reflejan el carácter regional, como las arquitecturas tradicional y popular que, siempre han tenido en cuenta las condiciones climáticas desde la elección del emplazamiento, la corrección del entorno, la interrelación del edificio y la vegetación, la definición de los materiales y técnicas constructivas, etc. Nada es solución única, exacta, rígida, estática, totalmente cuantificable.

El control de los ambientes no se resume a controlar grandezas cuantitativas y tangibles, sino también realidades intangibles y de orden cualitativa. En las palabras de Serra, en lugar de hacer “ingeniería del ambiente” hay que hacer “arquitectura del ambiente”.

Es importante integrar el confort en un sistema de tres ejes cartesianos donde se ubiquen también, la salud y el medio ambiente. Estos tres componentes se relacionan directamente a otros tres elementos: la eficiencia, la seguridad del hombre y la conservación del estado de los materiales y equipos.

“Factores de condiciones biológicas, fisiológicas, sociológicas y psicológicas como la actividad, ropa, edad y sexo de los ocupantes, juntamente con parámetros ambientales específicos (térmicos, acústicos, visuales, táctiles, ergonómicos, etc.) y generales, pueden afectar el confort” (RUANO, 2007) ⁸⁰

Según Serra (2002), estos factores se evalúan “a través de uno de los sentidos humanos o a través de todos a la vez, como las dimensiones del espacio o el factor temporal”.⁸¹

A la vez, la salud de los ocupantes puede ser afectada por malas condiciones de confort y la falta de calidad del ambiente interior provocada por la presencia de sustancias tóxicas o alérgicas, contaminantes en forma de gases, vapores y partículas sólidas o líquidas, que alteran la composición del aire interior, haciendo que éste se encuentre fuera de los patrones de normalidad, pudiendo favorecer la transmisión de enfermedades contagiosas y generar un ambiente cargado, estresante, inseguro y con malos olores.

Es imprescindible que el proyecto, construcción, uso, mantenimiento y deconstrucción de los elementos de una edificación que busque ser sostenible tengan presente la protección del medio y de los seres contra los agentes contaminantes a través del control de los procesos y de las emisiones asociadas a éstos, asegurando que las condiciones materiales y energéticas generadas por las operaciones inherentes a la acción del habitar sean las más adecuadas en las diversas escalas del territorio.

Las acciones humanas pueden afectar el medio ambiente causando impactos de distintos órdenes de magnitud y efectos sobre el ambiente y el territorio. El calentamiento global o la simple alteración de los ciclos climáticos globales, la alteración de la composición de la atmósfera, la destrucción de hábitats naturales y de la biodiversidad, la erosión del suelo, además de la liberación de contaminantes, son algunos de los impactos ambientales generados por las ciudades y los edificios. Para la

disminución de esos impactos, se debe tener en cuenta, entre otros aspectos, el control del consumo de energía, materiales y agua, la gestión de los residuos y el control de los ruidos.

Concebir una edificación sostenible significa integrar cada una de sus partes en una visión holística ambiental, de modo a generar salud y confort a sus usuarios libres de cualquier impacto maléfico al medio ambiente.

Las partes del clima son conocidas como sus variables. Variables climáticas son aquellos agentes que intervienen en el clima, sea a nivel macro, meso o micro. Las variables o parámetros climáticos se pueden ordenar en:

- globales (radiación, latitud, longitud, altitud, vientos, masas de agua y de tierra);
- locales (topografía, vegetación y superficies de suelo).

La latitud es el principal parámetro geográfico, pues determina la cantidad de energía solar que recibirá cada punto terrestre. Cuanto a la altitud, menor su absortividad cuanto mayor es su valor, ya que se reducen las partículas sólidas y líquidas, responsables por su absorción.

Los vientos resultan de la heterogeneidad material de la superficie del globo terrestre. Cada material se relaciona y se comporta de un modo distinto frente a la incidencia de la radiación solar generando diferentes temperaturas superficiales. Al buscar un equilibrio térmico, a través del fenómeno de la convección, las masas de aire se desplazan debido a estas diferencias de temperatura y presión atmosférica. Este desplazamiento se da de las zonas con mayor presión hacia las de menor presión.

Las zonas en el globo que reciben más radiación solar tienden a tener temperaturas más altas, expandiéndose y disminuyendo su densidad y presión atmosférica. En consecuencia, se desplazan verticalmente, cediendo espacio para que otras moléculas de aire ocupen su lugar inicial. Estos desplazamientos combinados con aquellos resultantes de la Fuerza de Corio-

lis (vinculada a la rotación de la Tierra), forman el conjunto de cinturones de alta y baja presiones atmosféricas (alisios, polares y oeste) a nivel global^{xxxiv}. Los movimientos de aire anuales pueden agruparse en categorías de vientos o brisas y según períodos fríos o cálidos. En el análisis de los vientos, su dirección y velocidad son los factores más determinantes.

Las masas de agua actúan como estabilizadores climáticos debido a su inercia térmica, capacidad de almacenar calor, consecuencia de su gran capacidad de distribuir hacia su interior el calor recibido en sus superficies y límites. Al distribuir bien este calor, consigue acumular más energía y, consecuentemente, reducir la relación entre pérdidas térmicas (que ocurre en sus límites superficiales) y la cantidad de calor almacenado. Estos factores favorecen la reducción de las oscilaciones de temperatura de estos cuerpos, causando un retraso y una reducción de las temperaturas extremas y tengan, a su vez, mayor capacidad de estabilizar el clima del entorno. De este modo, la proximidad de un emplazamiento a grandes masas de agua determinará el microclima local.

La topografía es otro agente que afecta el microclima. Su forma y la presencia/ausencia de agua (humedad del suelo, dreno, posición de las aguas subterráneas) determinan las acciones de la radiación solar y de los flujos de aire en su superficie. Las elevaciones actúan como barreras a la radiación solar alterando su exposición solar y como conductores de flujos de aire. La dirección del movimiento del aire influye en los índices pluviométricos, ya que si este es descendente difícilmente ocurren precipitaciones. La inclinación y la orientación determinan la normal de la superficie y el ángulo de incidencia solar haciendo con que reciban más radiación cuanto más cerca de la perpendicular es su ángulo de incidencia.

xxxiv Pueden haber distorsiones en los cinturones de presión atmosférica provocados por puntos de bifurcación, la inclinación del eje terrestre, la distribución desigual de las masas de agua en el globo y por características geográficas.

La vegetación también actúa como barrera/conductor de flujos y en la humedad del aire, a través de la evapotranspiración. La presencia del agua en la vegetación aumenta su capacidad de absorción de energía y ayuda a la disminución de la temperatura superficial. Además, sirve de capa de protección no solamente al suelo sino a todos los elementos sombreados, creando también una capa menos emisora de radiación infrarroja que la bóveda celeste.

El análisis de la superficie de suelo revela su potencial hídrico, capacidades de conducción, reflexión, absorción y de difusión térmicas (albedo - proporción entre luz recibida y reflejada). Con baja difusión y alta conductividad, el microclima es más estable ya que posee gran capacidad de absorción y almacenaje y es capaz de devolver con rapidez las temperaturas perdidas por cualquier causa.

Además de conocer los agentes climáticos, en el momento de analizar la adecuación de la edificación al clima local, se debe elegir, entre los distintos métodos de tratamiento de datos climáticos, aquel que según nuestra necesidad, sea más apropiado. El método de las normales climatológicas es muy útil si se trabaja con datos promedios y extremos pero si el enfoque del análisis es la eficiencia energética, el Año Climático de Referencia (Test Reference Year - TRY) será más adecuado pues permite la simulación horaria del consumo de energía, incorporando los datos relativos a la variabilidad climática y acercándose al comportamiento climático natural con mucha más representatividad.

Por ventilación entendemos el desplazamiento, intercambio y/o renovación del aire, existiendo siempre un medio interno y otro externo. Podemos definir dos tipos de exigencias humanas en relación a la ventilación, aquellas de carácter hi-

gigénico^{xxxv} y las de carácter térmico^{xxxvi}. Las primeras tienen un carácter permanente y deben ser satisfechas a cualquier hora y época del año, mientras que las segundas solo importan cuando el microclima interior es cálido y el aire exterior tiene una temperatura inferior a la interior. Según Macintyre (1990)⁸², con la ventilación se busca:

- mantener o obtener una calidad de aire admisible asegurando el confort, salud, seguridad y la eficiencia de los habitantes, así como, la conservación del estado de materiales y equipos;
- controlar los niveles aceptables de contaminantes, temperatura y humedad, bien como, prevenir contra el fuego o acumulación de gases explosivos.

En climas o períodos cálidos, la ventilación será una importante variable para el bienestar humano, beneficio que se extiende a todos los elementos que componen el espacio interior, como cerramientos, muebles y otros depósitos de calor.

Las formas de ventilación natural, según el origen de la energía utilizada para mover el aire, pueden ser basadas en:

- las diferencias de presión provocadas por la acción mecánica dinámica de los vientos (ventilación natural dinámica);
- las diferencias de temperatura/densidad entre los dos medios (ventilación natural térmica);
- la acción combinada de las dos anteriores (ventilación natural combinada).

La ventilación natural será siempre de carácter general^{xxxvii} basada en la admisión y retirada de aire por un modo

xxxv También llamada ventilación de invierno pues en este período esta es el único tipo de exigencia.

xxxvi También llamada ventilación de verano pues sus solicitudes son de carácter siempre térmico.

xxxvii Diferente de la ventilación activa que también puede ser específica.

controlado o no. Cuanto a sus dispositivos de control, también llamados elementos de filtro, de entrada de aire y salida, pueden ser ventanas, venecianas o cualquier otro tipo de elemento que permita el paso del aire. Para la salida de aire, además de estos dispositivos, añadimos las chimeneas. Los dispositivos deben ser pensados de modo que puedan integrarse a las demás soluciones arquitectónicas de protección solar y filtros de cualquier naturaleza; deben facilitar el mantenimiento, cuidado y limpieza; y deben permitir la graduación del control, con posibilidades de cierre y abertura de acuerdo con la necesidad.

En el control del movimiento del aire, el caudal^{xxxviii} será la principal variable a ser controlada, seguida de la velocidad del flujo, distribución y direccionalidad del aire. En el control de la calidad del aire, el grado de pureza y los valores de las temperaturas y humedad serán las variables importantes. Según su movimiento, puede ser clasificada, como horizontal (cruzada o no) o vertical, por gravedad.

La dependencia del medio exterior, caracterizado por la falta de uniformidad y gran variación temporal, dificulta y limita las posibilidades de control de la ventilación por métodos naturales. A pesar de ello, la ventilación natural puede llegar a ser bastante eficiente en el restablecimiento de condiciones de confort climático y eficiencia, alteradas por los usuarios con la producción de humedad, olores, oxígeno consumido y dióxido de carbono desprendido por la respiración, liberación de calor sensible por personas, máquinas y equipos, liberación de calor latente por la evaporación de sudor; así como el restablecimiento de condiciones de salud y seguridad alteradas por el hombre por la producción y concentración de contaminantes (gases, vapores y partículas sólidas y líquidas).

Cuanto a su diseño, debemos pensar la ventilación natural con visión contextualizada y a distintas escalas, desde la ubicación hasta el interior de los edificios, pasando por su

xxxviii Consideramos el flujo de aire incomprensible.

emplazamiento, forma y piel. Los elementos de filtro deben ser pensados y diseñados en cuanto a su localización, dimensión, interrelación, posición, tipos de control y formas de abrir y direccionar el flujo de aire.

Hay que considerar la posibilidad de infiltraciones, entradas y salidas no controladas de aire, producidas por juntas e intersticios de puertas y ventanas. Las infiltraciones dependen del tamaño de estas juntas, de la imperfección de los contactos entre las partes de una abertura y de las diferencias de presión entre los dos medios.

Se puede conseguir una ventilación natural a través de: la creación de zonas de baja y alta presión en el entorno; la orientación del edificio; el emplazamiento de las entradas en la zona de alta presión y de las salidas en la de baja presión^{xxxix}, siempre buscando una ventilación cruzada; entradas que dirijan el flujo hacia las zonas de actividad; y el diseño de una planta de distribución libre, sin elementos que obstaculicen el flujo interior. (Olgyay, 2002)⁸³

Para una buena ventilación natural se recomienda evitar grandes luces entre los ambientes, maximizar las distancias verticales entre aberturas, orientar las aberturas a fin de optimizar los vientos predominantes (zona de presión positiva), proteger zonas de depresión en las salidas del aire, diseñar áreas de entradas de aire más grandes que las de salida para asegurar el mantenimiento del caudal deseado bajo condiciones naturales desfavorables (depresión en la zona de captación), determinar el caudal de entrada adoptando una velocidad de 50% del promedio de los vientos locales, mesclar diferentes tipos de sistemas (activos y pasivos), remover/diluir los contaminantes, distribuir los filtros buscando la mejor distribución interior del movimiento del aire, evitando zonas con poca ventilación,

xxxix Aberturas orientadas hacia los vientos dominantes tendrán una presión positiva y aquellas orientadas hacia el lado opuesto tendrán presión negativa o baja presión exterior.

priorizar los espacios con mayor necesidad de ventilación en función de su tipo de uso y tiempo de permanencia.

En el diseño de sistemas podemos realizar el cálculo del caudal y de la velocidad del movimiento del aire interior considerando la acción térmica o la del viento. Entre los factores que intervienen en la ventilación dinámica están la ubicación y el entorno inmediato, la intensidad promedia de los vientos dominantes y el ángulo de incidencia en relación al objeto. El caudal será directamente proporcional a la superficie de abertura, velocidad exterior promedio y a la perpendicularidad del ángulo de incidencia.

En la ventilación por diferencias térmicas, las variables directamente proporcionales son la superficie frontal libre de la abertura, el diferencial de presión a través de la abertura^{xl} y la diferencia de cota de entrada y salida del aire. En el efecto chimenea, las variables de cada elemento serán: abertura (el coeficiente de caudal por tipo de abertura, superficie frontal de abertura y diferencial de presión a través de la abertura); altura (nivel de referencia y cota de la abertura); masa específica del aire interior/exterior según su temperatura; la presión efectiva del aire interior en el nivel de referencia y también la presión efectiva del aire interno y externo junto a la abertura. En el cálculo del efecto combinado, el caudal real total será la suma de los caudales de las ventilaciones térmica y dinámica, acompañados de una serie de correcciones para cada tipo de ventilación, relación entre ellas y su simultaneidad. Para el diseño de sistemas, hay métodos simplificados engloban todo lo que decimos considerando solamente el caudal, la velocidad del aire, el volumen de aire renovado y las superficies de las aberturas de entrada y salida del aire.

En los cálculos de demanda, se puede utilizar datos mínimos necesarios a la ventilación en volumen por hora (m^3/h) calculados en relación al volumen de espacio y número de per-

xl Diferencia de temperatura exterior e interior.

sonas, donde se obtiene el valor de renovaciones horarias mínimas del ambiente.

Para el diseño de la refrigeración natural por ventilación, a través del calor específico y densidad de cada material, se calcula la capacidad térmica de cada material y, con su volumen, se obtiene el valor de energía calorífica que debe ser extraído del ambiente. Conociendo la capacidad térmica del aire y el valor de las temperaturas interior y exterior, se obtiene el volumen de aire necesario para disminuir la temperatura de los elementos acumuladores de calor en 1°C.^{xli}

Entre los parámetros climáticos, la radiación solar merece posición destacada pues puede cambiar todo el estado térmico del ambiente favoreciendo o no el confort de los usuarios, en función de sus necesidades térmicas. Una forma de controlar esta aportación es la utilización de elementos de protección solar, de modo que la iluminación natural no sea perjudicada. Se establecen cuatro elementos-clave en la relación que tenemos con el Sol, presentados en la Fig.8:

- el Sol como emisor;
- la atmósfera terrestre como filtro;
- la superficie terrestre como receptora; y
- la radiación solar como elemento energético.

128

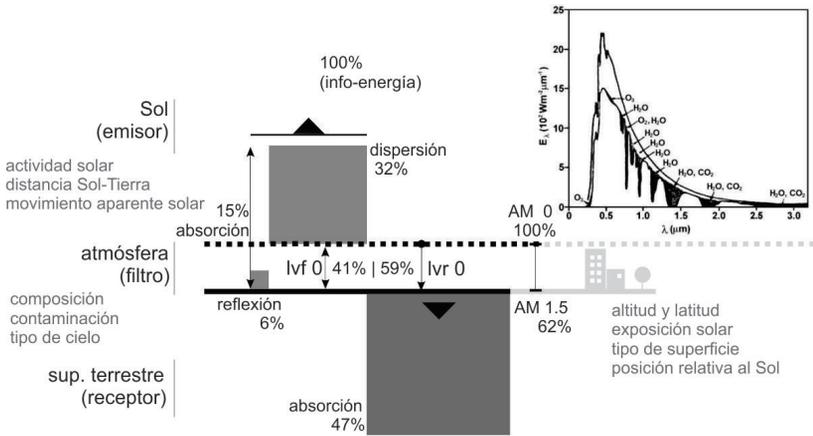


Fig. 8 – Comportamiento de la radiación solar

xli Hay que considerar la ineficiencia del sistema natural y las adversidades reales presentes en el contexto.

La radiación solar es una emisión radiante de energía electromagnética, desde una fuente térmica (Sol), que genera un espectro continuo (producido por una agitación térmica de la materia), que llega a la superficie de la Tierra después de ser en parte absorbida por su atmósfera.

El espectro solar corresponde al intervalo de 200nm ultravioleta hasta 3000nm infrarrojo con un pico alrededor de 500nm⁸⁴. Hay dos tipos de espectros solares de referencia: AM0 – espectro extra-atmosférico de constante solar de aproximadamente 1353 W/m²⁸⁵ (valor considerado 100%); y AM1 - espectro terrestre de referencia que incorpora las bandas de absorción de la atmósfera con constante solar^{xlii} de 827 W/m²⁸⁶ (62%). También otras variables intervienen en la disminución de la intensidad de la radiación hasta llegar a la superficie de la Tierra: la actividad solar; la variación de la distancia Sol-Tierra (estaciones del año); movimiento solar (altura solar y acimut); atmósfera (composición de gases, contaminación, tipo de cielo); altitud (cuanto más largo el recorrido que hace la radiación en la atmósfera, menor la cantidad de radiación que recibe la superficie terrestre); latitud y factores climáticos locales (exposición, coeficiente de reflexión, acimut e inclinación).

El comportamiento de la radiación solar frente a obstáculos nos permite clasificarla en global (62%)^{xliii}, o por sus componentes directa, difusa y reflejada. Las dos últimas son resultado de otros comportamientos particulares, como: dispersión, por la atmósfera (32%); absorción, por la atmósfera (15%) y por la superficie terrestre (47%); emisión, por onda corta y re-emisión, por onda larga; reflexión, por las nubes o por las superficies (6%); dispersión, por evaporación, conducción, convección; y refracción, al pasar de un medio material a otro. Cada ele-

xlii la constante solar terrestre tiene valor normalizado de 1000 W/m², en un día claro y con el Sol en el cenit.

xliii Partimos de la constante solar de 827W/m².

mento se comporta^{xliv} según: su exposición solar, tipo de superficie (reflexión y absorción), posición relativa al Sol (acimut e inclinación). Y pueden ser: elementos arquitectónicos, vegetación, suelo (topografía, pavimentaciones) y superficies de agua.

El **movimiento aparente del Sol**, a lo largo del día y del año, cambiará su posición relativa a un punto cualquier en la Tierra. Esta posición es determinada por dos ángulos: acimut y altura solar, dependiendo de la latitud y longitud donde se sitúe el punto. Para analizar la trayectoria aparente solar utilizamos cartas o ábacos solares construidos a través de distintos métodos de proyección acimutal^{xlv}. A través de estos ábacos, somos capaces de afirmar en qué posición aparente está el Sol en un determinado momento.

Otras informaciones pueden ser agregadas a estos ábacos, como la temperatura del aire o la intensidad de radiación solar incidente en un determinado plano. Los elementos de protección deben actuar como barrera a la incidencia solar en aquellos momentos cuando esta no es conveniente. Como los ábacos son resultantes de un proceso de proyección geométrica, las regiones del ábaco a proteger son señaladas a través de las proyecciones de las sombras de los elementos protectores.

Los dispositivos de protección solar pueden ser:

- internos (cortinas y persianas) - menos eficientes y no evitan el efecto invernadero;
- externos (venecianas, toldos, brise-soleil, light-shelf, elementos constructivos, etc);
- fijos o móviles;
- verticales u horizontales; y
- mixtos.

xliv la difracción a pesar de existir, no es considerada a la escala arquitectónica debido a la pequeñez de su longitud de onda frente a los obstáculos arquitectónicos.

xlv cilíndrico, estereográfico, equidistante, gnomónica, etc.

Los parámetros climáticos actúan en la percepción térmica del hombre que utiliza dos tipos de mecanismos termorreguladores de carácter:

- fisiológico (sudor, dilatación de vasos y variaciones del flujo sanguíneo, batidas cardíacas, contracción muscular, escalofrío y erección de pelos); y
- comportamental (sueño, agotamiento y reducción de capacidad de trabajo) ⁸⁷.

En la búsqueda de este equilibrio térmico con el medio ocurren diversos procesos de intercambio térmico con el fin de mantener la temperatura interior del cuerpo humano en 37°C. Estos procesos serían: intercambio por radiación, conducción, convección y evaporación. Además, otros procesos contribuyen para las ganancias térmicas: metabolismo y la actividad. Y también se puede utilizar de recursos como vestimenta para ayudar en el equilibrio térmico.

Para realizar un estudio cuantitativo de las variables climáticas son utilizados algunos instrumentos de medición: termómetros de bulbo seco y húmedo, psicrómetro giratorio y anemómetro. Y para estudiar la relación entre ellas, presentando la causa y efecto a través de un solo valor son utilizados modelos predictivos a través de diagramas, índices, escalas, ecuaciones, cartas, ábacos y gráficos realizados por muchos estudiosos del tema.

Se han desarrollado muchos modelos para establecer un índice genérico para la predicción del confort por medio de una escala de sensación térmica.

Alucci & Monteiro (2007)⁸⁸ nos presenta una revisión histórica sucinta de 16 índices que buscan relacionar microclima y usuario. Estos modelos predictivos son propuestos a través de dos tipos de métodos:

- analítico de balance térmico, cuando hay la intención de obtener respuestas universales; e
- investigaciones empíricas, que responden significativamente a situaciones específicas.

Los principales intentos de establecer un índice genérico para la predicción del confort por medio de una escala de sensación térmica se realizaron a través de los trabajos de Houghten e Yaglou (1923), de Vernon e Warner (1932) y Missenard (1948). Seguidos de Siple y Passel (1945), McAriel et alii (1947), Olgyay (1952), Belding y Hatch (1955), Yaglou (1957), Webb (1960), Gagge (1967), Givoni (1969), Fanger (1970), Masterton y Richardson (1979), Domínguez (1992), Brown y Gillespie (1995), Aroztegui (1995), Blazejczyk (1996), Höpfe (1999), Pickup y Dear (1999), Noguchi et alii (2000), Matzarakis (2000), Blustein y Osczevski (2002), Jendritzky (2003) y Nikolopoulou (2004).⁸⁹

Entre ellos, destacamos los trabajos de:

- Olgyay (1963);
- Givoni (1969);
- Humphreys (1978); y
- Nicol et al. (1994).

Utilizando estos modelos, la zona de confort del hombre se ubica en los intervalos de temperatura del aire entre 15°C y casi 30°C con humedades entre el 40 y el 80% de la saturación para cada temperatura; cada 0,3 m/s de velocidad del aire equivale al descenso de 1°C en la sensación térmica.⁹⁰

Estos estudios dan origen a los instrumentos de análisis térmico de edificios. Mansy apud Amorin et al. (2009)⁹¹ clasifica el desarrollo de los instrumentos por generaciones:

- Primera generación - aquellos que son manuales, sin auxilio del ordenador.
- Segunda generación - caracterizada por el auxilio del ordenador en la creación de estos instrumentos.
- Tercera generación - la actual, ya emplea rutinas de cálculo en lo que llamamos simulación de edificios, que busca relacionar microclima y medio construido basándose en las relaciones microclima y usuario.

Si antes los recursos eran limitados pero fácilmente

controlables, ahora, aunque sigan siendo limitados, casi que podemos decir que sí son ilimitados si comparados a la primera generación.

Aunque las variables analíticas hayan superado en mucho las posibilidades, podemos decir que el análisis es menos controlable que antes, en el sentido de que, debido a su complejidad, el analista ya no domina integralmente las rutinas y procesos de cálculo. Con eso, a veces, según qué situación, uno puede ser sorprendido o, al menos, no comprender y tampoco justificar, los resultados que se encuentran con las simulaciones.

Aunque hay aquellos que digan que estas herramientas de simulación virtual son de comprobada eficacia y altamente fiables, debemos siempre buscar métodos, herramientas e instrumentos que nos limite cada vez menos pero sin perder el control de dichas operaciones. En otras palabras, hay que buscar el máximo control en las simulaciones, o bien, a través del uso simultáneo de distintos softwares o a través del soporte complementario de tomas de datos “in situ”.

Si la esencia de la invariancia reside en las naturalezas compositiva y ambiental de los vestigios intangibles y materiales, la verdad sobre los elementos reside en sus elementalidades. Por eso, estudiar los cambios o invariancias debe partir de este punto, de modo a fundamentar el estudio siguiente, sobre el territorio desde la mirada de la transcendencia.

REFERENCIAS

- 41 BANHAM, Reyner. **Teoría y diseño en la primera era de la máquina.** Barcelona, Buenos Aires, México: Ediciones Paidós Ibérica, 1985. p.24
- 42 NORBERG-SCHULZ, Christian. **Los principios de la arquitectura moderna.** Sobre la nueva tradición del siglo XX. Barcelona: Reverté, 2005. P.71-96
- 43 NORBERG-SCHULZ, Christian. Op. Cit.. P.71-96
- 44 NORBERG-SCHULZ, Christian. Op. Cit.. P.71-96
- 45 NORBERG-SCHULZ, Christian. **Existence, Space and Architecture.** Versión Castellana de Adrian Margarit. Londres: Studio Vista, 1975.
- 46 NORBERG-SCHULZ, Christian. **Los principios de la arquitectura moderna.** Sobre la nueva tradición del siglo XX. Barcelona: Reverté, 2005. P.71-96
- 47 NORBERG-SCHULZ, Christian. Op. Cit.. P.71-96
- 48 BANHAM, Reyner. **Teoría y diseño en la primera era de la máquina.** Barcelona, Buenos Aires, México: Ediciones Paidós Ibérica, 1985.
- 49 NORBERG-SCHULZ, Christian. **Los principios de la arquitectura moderna.** Sobre la nueva tradición del siglo XX. Barcelona: Reverté, 2005. P.71-96
- 50 NORBERG-SCHULZ, Christian. Op. Cit.. P.71-96
- 51 PIERRE, Janneret. **Le Corbusier.** Les 5 points d'une architecture nouvelle. Paris: L'Esprit Nouveau, 1926; Les cinq points dans l'Architecture d'Aujourd'hui. n.10, Spécial Le Corbusier et Pierre Jeanneret, 1933.
- 52 BENOIT, Gerard. **Le Corbusier, 1910-1934.** Architecture Mouvement Continuité – AMC. Paris: Société Publi-régie, 1952.
- 53 BENOIT, Gerard. Op. Cit.. p.39
- 54 LE CORBUSIER. **L'Architecture d'Aujourd'hui.** Edición especial, 1948. Apud BENOIT, Gerard. **Le Corbusier, 1910-1934.** Architecture Mouvement Continuité – AMC. Paris: Société Publi-régie, 1952.
- 55 GIEDION, S. **La leçon de l'Exposition du Werkbund.** Stuttgart, 1927. L'Architecture Vivant. Printemps, Editions Albert Morancé, 1928. p.43 apud LUCAN, Jacques; NOVIANT, Patrice. **Le Corbusier, 1910-1934.** Architecture Mouvement Continuité – AMC. Paris: Société Publi-régie, 1952.
- 56 MAHFUZ, Edson da Cunha. **Ensaio sobre a razão compositiva; uma investigação sobre a natureza das relações entre as partes e o todo na composição arquitetônica.** Viçosa: UFV, Impr. Univ.; Belo Horizonte: AP Cultural, 1995.
- 57 COLIN, Silvio. **Uma introdução à arquitetura.** Rio de Janeiro, Uapê, 2000.

- 58 COLIN, Silvio. Op. Cit..
- 59 MAHFUZ, Edson da Cunha. **Ensaio sobre a razão compositiva; uma investigação sobre a natureza das relações entre as partes e o todo na composição arquitetônica.** Viçosa: UFV, Impr. Univ.; Belo Horizonte: AP Cultural, 1995.
- 60 PACHECO, Felipe de Souza. **Concinnitas, ordinatio, lineamenti, virtù e outras do vocabulario de Leon Battista Alberti.** Arqtexto, 2005. p.94-103
- 61 PEDONE, Jaqueline Viel Caberlon. **O Espírito eclético na arquitetura.** Arqtexto. 2005. p. 129-130
- 62 BANHAM, Reyner. **Teoría y diseño en la primera era de la máquina.** Barcelona, Buenos Aires, México: Ediciones Paidós Ibérica, 1985. p.27-36
- 63 NORBERG-SCHULZ, Christian. **Existence, Space and Architecture.** Versión Castellana de Adrian Margarit. Londres: Studio Vista, 1975.
- 64 NORBERG-SCHULZ, Christian. Op. Cit..
- 65 NORBERG-SCHULZ, Christian. Op. Cit..
- 66 NORBERG-SCHULZ, Christian. Op. Cit..
- 67 NORBERG-SCHULZ, Christian. Op. Cit..
- 68 NORBERG-SCHULZ, Christian. Op. Cit..
- 69 NORBERG-SCHULZ, Christian. Op. Cit..
- 70 NORBERG-SCHULZ, Christian. **Intenciones en Arquitectura.** Barcelona: GG, 2008.
- 71 SERRA & COCH, Rafael & Helena. **Arquitectura y energía natural.** Barcelona: UPC; 1995. p.248
- 72 ROMERO, Marta Adriana Bustos. **Arquitectura bioclimática do espaço público.** Brasilia: UnB, 2001.
- 73 NORBERG-SCHULZ, Christian. **Existence, Space and Architecture.** Versión Castellana de Adrian Margarit. Londres: Studio Vista, 1975.
- 74 MONTANER, Josep Maria. **A modernidade superada.** Barcelona: GG, 2001.
- 75 BASTOS, R. A. **Catedral gótica, estrutura e luz para a contemplação.** Revista da Universidade Católica de Goiás. Série Estudos. V. 28 N. 1 p. 179-209. UCG: Goiânia, 2001. p.185
- 76 SERRA, Rafael. **Arquitectura y climas.** Barcelona: GG, 2002. p.14
- 77 ROMERO, Marta Adriana Bustos. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano.** 2ed. São Paulo: ProEditores, 2001. p.18.
- 78 SERRA, Rafael. **Arquitectura y climas.** Barcelona: GG, 2002. p.7
- 79 SERRA & COCH, Rafael & Helena. **Arquitectura y energía natural.** Barcelona: UPC; 1995. p.17
- 80 PEZZI, Carlos Hernández. **Un Vitruvio ecológico. Principios y práctica del proyecto arquitectónico sostenible.** Barcelona: GG, 2007. p.37
- 81 SERRA, Rafael. **Arquitectura y climas.** Barcelona: GG, 2002. p.13

- 82 MACINTYRE, J. A. **Ventilação Industrial e Controle da Poluição**. Rio de Janeiro, LTC, 1990. p.37
- 83 OLGYAY, Victor. **Arquitectura y clima** – manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Barcelona: GG, 2002. p.112
- 84 SZOKOLAY, S.V. **Solar Energy and Building**. The Architectural Press. Great Britain, 1975. p.6
- 85 BATALLA, Enric & MITJA, Albert. **Manual de Radiación Solar**. Prensa XXI. Barcelona, 1982. p.9
- 86 MUÑOZ, Luis Castañer. **Energía Solar Fotovoltaica**. Edicions UPC. Barcelona, 1992. p.15
- 87 ROMERO, Marta Adriana Bustos. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. 2ed. São Paulo: ProEditores, 2001. p.48
- 88 MONTEIRO, Leonardo Marques; ALUCCI, Marcia Peinado. **Questões teóricas de conforto térmico em espaços abertos: consideração histórica, discussão do estado da arte e proposição de classificação de métodos**. Revista Ambiente Construído, v.7, n.3. Porto Alegre: AN-TAC, 2009. p. 43-58
- 89 MONTEIRO, Leonardo Marques; ALUCCI, Marcia Peinado. Op. Cit., p. 43-58
- 90 SERRA, Rafael. **Arquitectura y climas**. Barcelona: GG, 2002. p.20 y 22
- 91 AMORIM, Cláudia Naves David; BRAGA, Darja Kos Braga; ROMERO, Marta Adriana Bustos. **Rehabilitación ambiental sostenible arquitectónica y urbanística** – Reabilita. Métodos e técnicas para conforto ambiental e reabilitação do espaço construído. Brasília: FAU-UnB, 2009. p. 666-667

2. LA CIUDAD MODERNA COMO LUGAR TRANSCENDENTE

El presente estudio del territorio explora aspectos puntuales acerca de las transcendencias espaciales, sobretudo los relacionados a la ciudad y a la arquitectura moderna en Goiânia. Y por consiguiente, se centra en los elementos invariantes propios de la producción arquitectónica de la ciudad, relacionándolos a las cualidades de dicha invariancia.

2.1 LA CIUDAD MODERNA

El proceso de invariancia presente en la ciudad moderna de Goiânia pasa por dos ideas importantes:

- Idea de aislamiento del territorio con relación al mundo internacional.
- Idea de legado arquitectónico recibido desde otras partes del país.

Así como la historia de la “nueva ciudad” empieza muchos años antes del lanzamiento de su piedra fundamental, los orígenes de la arquitectura moderna goianiense parten de lugares y personas que indirectamente han contribuido a la apropiación de lo moderno en la capital. Una historia que remonta a realidades ajenas a la ciudad, arquitectos y territorios distintos que, relacionados, dan lugar a una relación de transcendencias y transformaciones de distintos órdenes.

Tal y como en las demás partes del país, la difusión de la arquitectura moderna en Goiânia se ha dado a partir de la influencia de la Escuela Carioca, los precursores en Brasil, y posteriormente también a partir de contribuciones secundarias que parten de regiones por donde el lenguaje ha ido extendiéndose.

Los pensamientos y hechos de los primeros arquitectos modernos brasileños han contribuido en larga escala a la configuración de la arquitectura en el escenario nacional. Por su vez, los mismos han sufrido la influencia proveniente de agentes externos a la Escuela, sobretudo en los años de su formación. Y seguramente, esta relación no se conforma en un intercambio unidireccional sino que recíproco.

Esta relación de intercambio que trasciende fronteras es mejor identificada a través de la adopción de dos criterios:

- las generaciones de arquitectos: que actúan como agentes formadores del legado transmitido de generación en generación.
- las escalas territoriales: aislamiento de la ciudad

con relación al mundo

El criterio de generaciones en el tratamiento de la arquitectura ha sido ampliamente aceptado y utilizado por arquitectos y críticos como Sigfried Giedion, Josep Maria Montaner, Reyner Banham, Norberg-Schulz, Kenneth Frampton y William Curtis. Montaner (2001)⁽⁹²⁾ clasifica las generaciones de arquitectos modernos en cinco grupos distintos:

- Anteriores a los protagonistas del Movimiento Moderno;
- 1ª Generación – los protagonistas, que empiezan a desarrollar sus obras a partir de los años 10;
- 2ª Generación – los discípulos directos de los maestros, que empiezan a desarrollar sus obras a partir de los años 30;
- 3ª Generación – los que empiezan a desarrollar obras destacables a partir de 1945-50;
- 4ª Generación – los que empiezan a desarrollar obras con más destaque a partir de los años 60.

141

		1ª GENERACIÓN			
Estados Unidos		Frank Lloyd Wright	1867	1959	
Suiza/Francia		Le Corbusier	1887	1965	
					2ª GENERACIÓN
	Italia		1891	1979	Pier Luigi Nervi
	Finlandia		1898	1976	Alvar Aalto
	Italia	RJ	1901	1943	Attilio Corréa Lima
Estados Unidos		Louis Kahn	1901	1974	
	Brasil	SP	1901	1965	Rino Levi
	Catalunya		1902	1983	Josep Lluís Sert
	Brasil	RJ	1902	1998	Lúcio Costa
	México		1902	1988	Luis Barragán
Estados Unidos		Harwell Hamilton Harris	1903	1990	
	Brasil	RJ	1904	1992	Jorge Machado Moreira
	Italia	Ignacio Gardella	1905	1999	
	Italia	Carlo Scarpa	1906	1978	
	Brasil	RJ	1906	1983	Carlos Leão
Estados Unidos			1906	2005	Philip Johnson
	Brasil	RJ	1907	2012	Oscar Niemeyer
	Brasil	SP	Oswaldo Bratke	1907	1997
Inglaterra		John Leslie Martin	1908	2000	
	Suiza		1908	1994	Max Bill
	Francia	RJ	Affonso Eduardo Reidy	1909	1964
	Brasil	SP	Álvaro Vital Brasil	1909	1997
	Italia		Ernest Nathan Rogers	1909	1969
	Brasil	RJ	Luis Nunes	1909	1937
Estados Unidos		Eero Saarinen	1910	1961	

Fig. 9 – Generaciones de arquitectos modernos (continúa en la próxima página)

Brasil	RJ		1912	1988	Ernani Vasconcellos
Argentina		Amancio Willians	1913	1989	
Grécia		Aris Konstantinidis	1913	1993	
Azerbaijan		George Candilis	1913	1995	
Letonia		Jerzy Soltan	1913		
Catalunya		José Antonio Coderch i Sentmenat	1913	1984	
Japón		Kenzo Tange	1913	2005	
Inglaterra		Denys Lasdun	1914	2001	
Holanda		Jaap B. Bakema	1914	1981	
Itália	SP	Lina Bo Bardi	1914	1992	
Inglaterra		Ralph Erskine	1914	2005	
Brasil	SP	Miguel Forte	1915	2002	
Brasil	PR	Vilanova Artigas	1915	1985	
Francia		André Wogenscky	1916	2004	
Holanda		Aldo Van Eyck	1918	1999	
España		Francisco Javier Saénz de Oiza	1918	2000	
Dinamarca		Jörn Utzon	1918	2008	
Estados Unidos		Paul Rudolph	1918	1997	
Itália		Giancarlo De Carlo	1919	2005	
Brasil	RJ	Sérgio Wladimir Bernardes	1919	2002	
Yugoslavia		Alexis Josic	1921	2011	
Brasil	RS	Edgar Albuquerque Graeff	1921	1990	
Suiza		Ernerst Gisel	1922		
Itália		Gino Valle	1923	2003	
Inglaterra		Peter Denham Smithson	1923	2003	
Estados Unidos		Shadrach Woods	1923	1973	
Brasil	RJ	Acácio Gil Borsóí	1924		4ª GENERACIÓN
Catalunya			1924	2009	Alfonso Milà
Catalunya			1924		Federico Correa
Noruega		Sverre Fehn	1924	2009	
Portugal		Amancio Guedes	1925		
Brasil	GO		1925		Eurico Calixto de Godoy
Catalunya			1925		Josep Maria Martorell i Codina
Catalunya			1925		Oriol Bohigas
Estados Unidos			1925		Robert Venturi
Escócia		James Stirling	1926	1992	
Escócia			1927	1972	John Voelcker
Itália			1927		Vittorio Gregotti
Inglaterra			1928	1993	Alison Margaret Gill
Brasil	PR		1928		David Libeskind
Brasil	GO		1928		Elder Rocha Lima
Brasil	MG		1928		Severiano Mário Porto
Itália			1931	1997	Aldo Rossi
Chile		Guillermo Jullian de la Fuente	1931	1996	
Holanda			1932		Herman Hertzberger
Brasil	SP		1932	2008	Joaquim Guedes
Brasil	RJ		1932		Lelé (João Filgueiras Lima)
Portugal			1933		Álvaro Siza
Áustria			1933	2010	Raimund Abraham
Brasil					Américo Vespúcio Pontes
Brasil					Ariel Costa Campos
Brasil					Domingos Roriz
Brasil					Jair Lage de Siqueira
Brasil					Luiz Osório Leão
Brasil					Raul Filó
Brasil	GO				Silas Rodrigues Varizo
Brasil	NE				Zanine Caldas

Fig. 9 –
Generaciones
de arquitectos
modernos

Si por un lado el desarrollo de la arquitectura moderna se da por medio de la difusión de sus principios a lo largo del tiempo, por otro se realiza a partir de la extensión de los mismos a través de un proceso de transcendencias espaciales. Análogamente, así como el criterio de generaciones hace referencia a la dimensión temporal del desarrollo, el concepto de transcendencias hace referencia a la dimensión territorial, clasificada a partir de diferentes escalas y presentadas en la Fig. 9.

La misma relación existente entre difusión y extensión del Movimiento, puede ser establecida entre generaciones y escalas, conforme ilustrado en la Fig. 10:

- 1ª Escala: Escala global. Internacionalización del Movimiento.
- 2ª Escala: Escala nacional. Nacionalización e interiorización.
- 3ª Escala: Escala urbana. Producción urbanística en áreas urbanas específicas.
- 4ª Escala: Escala arquitectónica. Producción arquitectónica moderna en territorios específicos.

143



Fig. 10 –
Escala geográficas

Este proceso de difusión del Movimiento puede ser leído secuencialmente a partir de la extensión de sus escalas geográficas y las generaciones agentes en el proceso. La línea del tiempo, conforme la Fig. 9, permite identificar los principales arquitectos, agentes del proceso de extensión y difusión del Movimiento.

La analogía entre las generaciones modernas y las escalas de transcendencia es propia a cada estudio, una vez que trata de particularidades segundo objetivos concretos. De acuerdo con la naturaleza y delimitación del presente estudio, consideramos la clasificación entre escalas y generaciones presentada en la Fig. 10:

- Escala global: arquitectos pertenecientes a la 1ª Generación y Anteriores a ella.
- Escala nacional: arquitectos pertenecientes a la 2ª y 3ª Generaciones.
- Escala urbana: arquitectos pertenecientes a la 3ª Generación.
- Escala arquitectónica: arquitectos pertenecientes a la 4ª Generación.

144

Si generaciones parten de una etapa inicial donde la 1ª Generación no ha prestado mucha atención al carácter regional. ⁽⁹³⁾ La necesidad de establecer un canon les ha obligado a hacer cierta abstracción de las condiciones circunstanciales, lo que llevó al surgimiento de una arquitectura “internacional”.

Pero, aunque haya partido de una cierta escala global, la Arquitectura Moderna no ha tardado en percibir la necesidad de tal carácter, propiedad necesaria de cualquier arquitectura auténtica.

En 1930, la 2ª Generación ya demostraba eso y también Le Corbusier, a través de sus obras. De este modo, al mismo tiempo en que se instituye el Método, se dan los primeros pasos hacia una postura crítica al Movimiento.

El proceso de continua revisión crítica^{xlvi} significó un proceso de crisis del Movimiento Moderno hacia un nuevo regionalismo (Giedion, 1958), también llamado regionalismo crítico^{xlvi} por Tzonis y Lefraive (1981), donde se trataba de rescatar el vínculo con el lugar y necesariamente, con el entorno inmediato, nivel más bajo entre los demás: paisaje, región, país y mundo.

El nuevo regionalismo se da a partir de un cierto consenso anticontralista inspirado por una forma de independencia cultural, económica y política, surgiéndose de paradojas y contrastes y resultándose de cuestionamientos que hacen crítica al Movimiento Moderno que buscan devolverle un sentido de lugar y significado.

“Encontramo-nos em um túnel, entre o anoitecer do dogmatismo e o amanhecer de verdadeiros diálogos.” (RICOEUR, 1961).

Frampton (1982) se apropia del término utilizado por Tzonis y Lefraive (1981) realizando un ensayo que marca 6 puntos para una arquitectura crítica: cultura y civilización, ascensión y queda de la vanguardia, regionalismo crítico y cultura mundial, resistencia de la forma del lugar, cultura versus naturaleza y visual versus táctil.⁽⁹⁴⁾

Se trata de un raciocinio que parte del entendimiento del embate entre la civilización universal y la cultura local, que diagnostica la queda del espíritu libertador de las Vanguardias y, sin deshacerse de las técnicas universales, propone una

xlvi a partir de aquí denominado “proceso de revisión crítica”, o simplemente “crítica”.

xlvii El término “regionalismo crítico” adviene de los textos *Die Frage des Regionalismus* y *The Grid and the Pathway*, de Alexander Tzonis y Liane Lefaivre de 1981; y de las reflexiones de Paul Ricoeur, en el libro *Universalization and National Cultures* de 1961.

postura conservadora que valora las especificidades locales sin pretender denotar el anterior vernáculo, realizado espontáneamente a partir de la combinación entre clima, cultura, mito y artesanía.

La noción de regionalismo implica en la existencia problemática de tradiciones locales auténticas que:

- Colquhoun (1992) ⁽⁹⁵⁾ afirma resultar de historias alternativas y revisionistas que han sido forjadas por la voluntad política de movimientos nacionalistas del siglo XIX;
- Frampton (1997) afirma que su desarrollo ha dependido “de una cierta fertilización cruzada con otras culturas”; y
- Ricoeur deja implícito que deben ser constituidas como “manifestaciones localmente moduladas de la ‘cultura local’ ”.(96)
- Lorenz (1974) afirma que el también el “científico es un hijo de su tiempo y de su cultura” y por tanto, no imparcial del todo.

146

Entre los aspectos comunes en las producciones arquitectónicas de los diferentes arquitectos, evidenciamos aquellas destacadas por Frampton (1997)⁽⁹⁷⁾ al caracterizar las particularidades del nuevo regionalismo, aquí agrupadas en los aspectos relativos al lugar, a la cultura y al medioambiente, con especial énfasis al:

- intercambio con el exterior a partir del diseño de zonas de transición.

“La arquitectura moderna es conocida como un producto del período caracterizado por una ruptura con la tradición, historia y la naturaliza pero este aspecto no puede ser generalizado en el tiempo y en el espacio. El clima y los elementos de la arquitectura tradicional siempre han sido relevantes en la arquitectura moderna brasileña y la vivienda ha sido el espacio donde principios

significantes han sido aplicados demostrando una relación sensible entre los conceptos arquitectónicos y la producción arquitectónica del período [4]. La revisión crítica continua en la arquitectura moderna brasileña ha demostrado un proceso que permite la conservación de algunos principios sobre la buena relación entre la edificación y la naturaleza. Estos principios han sido llamados de “nuevo regionalismo” y han sido analizados por algunos autores críticos como Ricoeur (1961), Tzonis and Lefraive (1981), Frampton (1997) [5], Colquhoun (2004) and Norbergh-Schulz (2005) [6]. Las características del nuevo regionalismo pueden ser clasificadas en tres aspectos generales: lugar, cultura y ambiente. Uno de los aspectos específicos relacionados al ambiente es la utilización de aberturas como zonas de transición con el exterior para incrementar la transferencia del calor entre la edificación y el entorno. El modo como zonas de transición son diseñadas demuestra como el calor es transferido entre la edificación y el entorno y esto es uno de los indicadores cuanto a la preocupación respecto la eficiencia energética, desde las primeras decisiones en el desarrollo de proyectos arquitectónicos. Dos aspectos de análisis son considerados (...): los impactos térmicos causados por zonas de transición y la relación entre la edificación y el entorno cercano.” (ALBANO, 2012) ⁹⁸

147

Frampton (1997) se refiere al intercambio con el exterior a partir del diseño de aberturas que funcionan como zonas de transición. Entendiendo la cuestión como propia del “carácter regional de la arquitectura”, tema que, por su vez, pasa por la cuestión de la adaptación climática, tratamos el intercambio con el exterior a partir del diseño de las zonas de transición, entendidas como zonas de transferencia de calor entre el edificio y el entorno.

En este sentido, el carácter del intercambio térmico es

tratado como indicador del grado de observancia del carácter regional en las decisiones proyectuales de la arquitectura de los edificios.

La búsqueda por procedimientos contextualizados de valoración de especificidades locales, en lugar de una actitud cerrada en códigos arquitectónicos de costumbres locales. Lo que significa una postura contraria al atomismo que cita Norberg-Schulz (2005), caracterizado por el fenómeno de la invariancia. Analizando la estructura del lugar a partir del espacio y su carácter, elemento a ser identificado en la recuperación del *genius loci*, el espíritu del lugar. ⁽⁹⁹⁾

Esta postura se identifica con las recomendaciones del Tratado de Vitrubio, “Da Arquitectura” del siglo I a.C., cuanto al Decoro o Conveniencia y la Distribución u Oikonomía. ⁽¹⁰⁰⁾ De este modo, para Cook (1988) apud Romero (2001), la arquitectura llega a ser regional cuando responde al lugar con un diseño adecuado. Para él, el diseño solar pasivo es una creación reciente de un viejo concepto. ⁽¹⁰¹⁾

De este modo, el proceso de revisión crítica debería asemejarse a un proceso filogenético de diferenciación caracterizado por invariancias y variancias donde las últimas se corresponderían a una adecuada respuesta arquitectónica acerca de las variables ambientales del lugar en cuestión, ya que, a la vez, dicho proceso debería desarrollarse hacia un rescate del carácter regional, centrado en el embate entre la civilización universal y la cultura local.

Concerniente a estas relaciones, Montaner (2008) afirma que “el tópico de que rechazaban la naturaleza a favor del mundo de la máquina es falso (...) pensaron unas nuevas formas abiertas e independientes para poder integrar la naturaleza, para que el verde no quedase segregado, sino integrado”. ⁽¹⁰²⁾

En Brasil, la historiografía afirma que la nacionalización de la arquitectura moderna ha recibido, especialmente, la

influencia de arquitectos de la primera generación moderna^{xlvi} - como Le Corbusier, Mies Van der Rohe y Walter Gropius - siendo caracterizada por el uso de elementos modernos, con destaque al proyecto de la vivienda por constituirse uno de los más significativos medios de expresión de la nueva arquitectura.^{xlix} Bruand (1997), respecto al desarrollo de la arquitectura moderna en Brasil, también afirma que “sem dúvida alguma, foi o clima o fator físico que mais interferiu na arquitetura brasileira”.⁽¹⁰³⁾

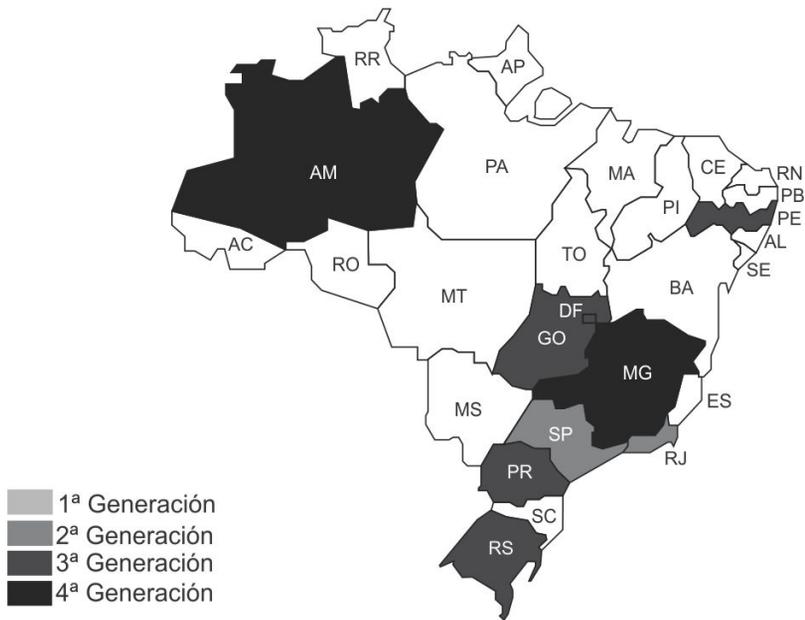
“Na antes busca de um movimento universal, que se expandisse por todo o planeta, nos anos 50, inclui o caráter de adequação, de ‘regionalidade’. Muitos dos posicionamentos de Giedion têm relação com a arquitetura moderna brasileira a partir do marco de 1936. De fato, a adequação ao clima e à paisagem, a recuperação de elementos do passado, e desenvolvimento de formas e espaços ao mesmo tempo próximos e distintos dos modelos europeus apropriados, dentre outros aspectos, entra em consonância com essas preocupações de Giedion.” (OLIVEIRA, 2005)¹⁰⁴

149

La arquitectura moderna en Brasil es realizada por arquitectos pertenecientes a las generaciones presentadas en la Fig.11.

xlvi Aun que Wright haya visitado Brasil en la misma época que Le Corbusier, no ha tenido mucha repercusión en la arquitectura moderna brasileña, con pequeñas influencias en la obra de Artigas, en los años 30, en São Paulo.

xlix Además de les 5 points d’une architecture nouvelle de Le Corbusier - en especial los brises-soleil - los elementos que más se destacan en la caracterización de la piel de los edificios modernos en Brasil son las celosías y el uso del ladrillo cerámico como material de constitución de los cerramientos opacos.



La arquitectura moderna brasileña es concebida de un modo peculiar siendo definida por Bruand (1997)¹⁰⁵ como una “arquitectura racionalista organicista”.

Esta arquitectura articula el modernismo con alguna tradición, desarrollada a través de una ruptura entre sentimiento y práctica, arte y técnica, interior y exterior, incorporando la dimensión temporal a la concepción arquitectónica y acercando los hechos al hombre y la arquitectura a la escala humana. Según Oliveira (2005), Giedion hace una evaluación positiva de la arquitectura brasileña sobretodo en los años 30 a 60 y destaca el papel de Corbusier en el establecimiento de esta arquitectura en Brasil, juntamente con el talento de los arquitectos brasileños al mirar con atención a la arquitectura colonial.¹⁰⁶

“Ao tratar do Brasil, (Giedion) reconhece sua especificidade e contribuição, mas reforça por outro lado os ‘contrastes’, a ‘irracionalidade do seu desenvolvimento’, da distância entre produção arquitetônica e estrutura social e econômica. Se

Fig. 11 –
Generaciones de
arquitectos moder-
nos brasileños

por um lado argumenta a favor de uma história parcial, de fatos escolhidos, crítica, de outro segue um esquematismo de um percurso de desenvolvimento da arquitetura como algo unidirecional e evolutivo.

A historiografia dedicada ao caso brasileiro assume esta definição metodológica e estrutura uma linha geral com semelhança direta aos procedimentos históricos de Giedion. Vimos, como a retomada do barroco se faz diretamente no livro de Goodwin dois anos depois de *Space, Time and Architecture*, o que perpassa direta ou indiretamente o conjunto de explicações sobre a arquitetura moderna brasileira, e, com isso, a definição de bases de construção de um arcabouço teórico de um específico continuísmo. A dualidade entre a busca de uma concepção universalista ‘moderna’ e da diversidade em condições distintas defendidas por Giedion no pós-guerra encontra, sobretudo na Finlândia e Brasil, exemplos bem resolvidos.” (OLIVEIRA, 2005)¹⁰⁷

151

La arquitectura moderna brasileña ha sido liderada por Lúcio Costa en Rio de Janeiro y esta arquitectura, conocida como ‘Escola Carioca’ (1930-1950), es considerada como la cuna de la arquitectura moderna brasileña.

“Cria um estilo nacional de arquitetura moderna: uma espécie de *brazilian style*, que se dissemina pelo país entre os anos 1940 e 1950, contrapondo ao *international style*, hegemônico até os anos 1930.” (ITAÚ CULTURAL, 2010) ⁽¹⁰⁸⁾

Costa describe la Escola Carioca como:

“um conjunto de profissionais interessados na renovação da técnica e da expressão arquitetônicas, constituindo-se de 1931 a 1935, pequeno reduto purista consagrado ao estudo apaixonado, não somente das

realizações de Gropius e de Mies van der Rohe, mas principalmente, da doutrina e obra de Le Corbusier, encaradas já então, não mais como um exemplo entre tantos outros, mas como Livro Sagrado da Arquitetura”. (COSTA, 1962)⁽¹⁰⁹⁾

Un marco en la consolidación de la arquitectura moderna en Brasil ha sido la construcción del primer edificio moderno de Brasil, el Ministerio de Educación y Salud - MES, actualmente conocido como Palácio Capanema, en Rio de Janeiro. Proyecto de Lúcio Costa y equipo compuesta por Oscar Niemeyer, Afonso Eduardo Reidy, Jorge Moreira, Carlos Leão e Ernâni Vasconcelos, con colaboraciones directas de Le Corbusier, invitado por a participar en el proyecto por sugerencia de Lúcio Costa. Los proyectos empiezan en 1935, dos años más tarde dan inicio a las obras y la inauguración se da en 1945. Dos publicaciones presentan con detalle todo el proceso de realización de la obra, desde los preparativos del lugar relatados en “Era uma vez o Morro do Castelo”, hasta la realización del proyecto y de la obra en “Colunas da Educação. A construção do Ministério da Educação e Saúde”.

152

“A cidade está situada em um monte de boa vista para o mar, e dentro da barra tem uma baía que bem parece que a pintou o supremo arquiteto do mundo, Deus Nosso Senhor, e assim é coisa formosíssima e a mais aprazível que há em todo o Brasil, nem lhe chega a vista do Mondego e Tejo.”(Fernão Cardim)¹¹⁰

“Um edificio que se destine a abrigar o Ministério da Educação e Saúde Pública precisa constituir ele próprio um padrão dos principios da higiene urbana e, portanto, carece de ter seus lineamentos básicos determinados em função da luz, do calor solar, dos ventos e do conforto geral.”(Saturnino de Brito Filho, 1936)¹¹¹

En São Paulo, la Escola Paulista, como es conocida, ha tenido como protagonista Vilanova Artigas y ha realizado una arquitectura marcada por el énfasis en la técnica constructiva, por la adopción del hormigón armado aparente y la valoración de la estructura. Artigas recibe fuerte influencia de Wright, sobretudo en la primera fase de su producción arquitectónica. Y de cierta manera, también Wright, así como Le Corbusier, ejercen un papel muy importante en la consolidación de la arquitectura moderna en Brasil. Un edificio que marca la arquitectura moderna de São Paulo en la época es el Museo de Arte de São Paulo - MASP, el museo más importante de arte occidental del Hemisfério Sur. Proyecto de Lina Bo Bardi, inaugurado en 1947 después de 12 años entre proyecto y obra.

“Como o prédio foi projetado suspenso pelas quatro colunas e a vista da Paulista para o centro da cidade fosse preservada, foi concebida uma esplanada abaixo do edifício. Conhecida hoje como ‘vão livre’, havia sido idealizada por Lina como uma grande praça para crianças, famílias, com brinquedos e muitas plantas.”¹¹²

153

Se destacan 2 fechas importantes en el proceso de revisión crítica que se establece entre la expansión e internacionalización del Movimiento y su interiorización en Brasil:

- 1931 – Establecimiento de la dualidad de posturas a nivel global
- 1961 – Inauguración de Brasilia

“(…) urge que voltemos a olhar intensamente para a produção da arquitetura brasileira realizada entre 1930 e 1960. Ali está algo que é muito mais do que um estilo a ser revivido. Trata-se, isso sim, de um modo de concepção formal atemporal, cuja retomada talvez pudesse nos ajudar a sair do beco em que nos metemos, e retomar um caminho que nos leve outra vez a possuir uma arquitetura autêntica própria, forte o suficiente para absorver as influências externas sem se deixar dominar por elas.” (MAHFUZ, 2002, p. 103)

De modo que, el período comprendido entre estas fechas es muy citado en la bibliografía del tema, tal y como hace Giedion. En la mitad del período (1930-1960), surgen, casi al mismo tiempo, los iconos marcantes.

- 1945: Ministerio de Educación y Salud - MES, en Rio de Janeiro.
- 1947: Museo de Arte de São Paulo – MASP, en São Paulo.

Se reconoce 2 corrientes en los 2 edificios - productos de las 2 Escuelas influenciadas por los 2 precursores del Movimiento - que relacionan la arquitectura con su entorno y con el lugar.

Aunque la historia de la arquitectura moderna en el interior de Brasil no tiene por que seguir la clasificación realizada por los teóricos que dan más atención a los hechos de la costa del país. Este período es igualmente importante en la construcción y consolidación de la ciudad de Goiânia e inicio de sus primeras obras arquitectónicas modernas.

154

Poco se ha producido bibliográficamente sobre la arquitectura moderna realizada en el interior del país. En este sentido la historiografía brasileña no deja de ser un reflejo de lo que es Brasil, un país caracterizado por la diferencia representada por diversidades y desigualdades. Los contrastes entre la costa y el interior, y entre las porciones norte y sur del país, están presentes en muchas áreas, así como en el área académico. Cuando la historiografía sale del eje Rio – São Paulo, llega a la Escola de Recife, protagonizada por Luis Nunes, o al sur del país con la arquitectura producida en el Estado del Rio Grande do Sul, manteniéndose geográficamente en la propia costa y convirtiendo la interiorización del Movimiento en mera variación regional de una arquitectura ya gestada en el eje dicho principal.

El proceso de transcendencia hacia la arquitectura moderna en Goiânia es destacado por algunos arquitectos que contribuyen de modo importante a la consolidación e interiorización del Movimiento en el territorio brasileño. Entre los ar-

arquitectos actuantes en las distintas generaciones y escalas, podemos destacar aquellos que se relacionan de un modo capaz de ser vinculados en un proceso de transcendencia:

- Escala global:
 - ◆ Frank Lloyd Wright (1867-1959)
 - ◆ Le Corbusier (1887-1965)
- Escala nacional:
 - Como exponentes en Rio de Janeiro y São Paulo:
 - ◆ Lúcio Costa (1902-1998)
 - ◆ Oscar Niemeyer (1907-2012)
 - ◆ Vilanova Artigas (1915-1985)
 - Como exponentes en otras regiones de Brasil:
 - ◆ Luis Nunes (1909-1937)
 - ◆ Acácio Gil Borsóí (1924-)
 - ◆ Edgar Albuquerque Graeff (1921-1990)
 - ◆ Severiano Mário Porto (1928-)
 - Como exponentes en otros países:
 - Luis Barragán (1902-1988)
 - José Coderch (1913-1984)
 - Álvaro Siza (1933-)
- Escala urbana:
 - ◆ Atílio Corrêa Lima (1901-1943)
- Escala arquitectónica:
 - ◆ David Libeskind (1928-2014)
 - ◆ Eurico Calixto de Godoy (1925-)
 - ◆ Luiz Osório Leão
 - ◆ Silas Rodrigues Varizo

Los arquitectos mencionados concentran características comunes en lo tocante a la postura crítica que adoptan frente al Movimiento, en el sentido de optaren por una búsqueda continua de revisiones críticas al propio Movimiento, manteniendo una postura de continuidad de las propuestas de la Vanguardia y, al mismo tiempo, el impulso de una necesaria renovación, desconfiando de la propia Vanguardia y proponiendo los primeros ensayos de modo a contribuir al desarrollo de la 'nueva

tradición’, en lugar de establecer una postura acrítica de continuidad formal, un Método Internacional institucionalizado a los moldes de la Vanguardia.

Los cuatro arquitectos mencionados en la Escala Arquitectónica, juntamente con Elder Rocha Lima, Américo Vespúcio Pontes, Jair Lage de Siqueira y Tristão da Fonseca Neto, mencionados en la lista de arquitectos de cuarta generación del Movimiento y con actuación en el Estado de Goiás – GO, son los principales responsables por transcender invariancias modernas a la arquitectura construida en la ciudad de Goiânia en las décadas de 50 y 60:

- David Libeskind, con origen en el Estado del Paraná y licenciado en Arquitectura por la Universidad Federal de Minas Gerais;
- Eurico Calixto Godoy, con origen en el Estado de Goiás y licenciado en Arquitectura por la Facultad Nacional de Arquitectura de la Universidad del Brasil en Rio de Janeiro;
- Luiz Osório Leão, con origen en el Estado de Goiás y licenciado en Arquitectura por la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de São Paulo;
- Silas Rodrigues Varizo, con origen en el Estado de Goiás y licenciado en Arquitectura por la Facultad Nacional de Arquitectura de la Universidad del Brasil en Rio de Janeiro.

Licenciados en universidades de Rio de Janeiro, São Paulo y Minas Gerais, estos arquitectos son los responsables por la difusión, concepción y materialización de la imagen de modernidad en Goiânia. Su producción arquitectónica es fruto de la influencia de las generaciones anteriores de arquitectos modernos, principalmente la 2ª y la 3ª generaciones, responsables por la nacionalización de la arquitectura moderna en Brasil.

2.2 LA NUEVA CIUDAD

“La llegada de la nueva arquitectura ha transformado los procedimientos arquitectónicos que garantizaban la continuidad de la tradición local, cambiando el modo como estos edificios se adaptaban al clima, factor que más ha interferido en la arquitectura brasileña.” (ALBANO, 2013) ¹¹³

Fundada en 1937 por Pedro Ludovico Teixeira, Goiânia es la capital del Estado de Goiás, ubicada en la región Centro-Oeste de Brasil (Lat. 16.40S, Long. 49.15W, Alt. 749m) (Fig. 1)¹¹⁴.

La región Centro-Oeste posee 14.243.951 hab, un 7,4% de la población nacional con un total de 192.376.496 hab.,¹¹⁵ según datos del Instituto Brasileño de Geografía y Estadística – IBGE (2011) apud Instituto Mauro Borges de Estadísticas e Estudos Sócioeconômicos – IMB (2013).¹¹⁶ Con eso, la región es la que tiene el porcentual poblacional más bajo en el país, donde 42,09% de la población se concentra en la región Sureste, un 27,81% en la Noreste, un 14,33% en la Sur y un 8,37% en la Norte.

El Estado de Goiás posee 6.154.996 hab., un 3,2% de la población brasileña, siendo el 12º más poblado entre las 27 Unidades Federativas - UF del país, y densidad demográfica de 17,87 hab/km². Según datos del IBGE (2010)¹¹⁷, Goiás se encuentra en la posición de nº 9 en Brasil con un Índice de Desarrollo Humano del Municipio – IDH-M de 0,824 y un PIB per capita de R\$ 14.446,68, ocupando la 11ª posición en el ranking nacional, compuesto básicamente por: Agropecuaria (14,02%), Industria (27,01%) y Servicios (58,97%). El crecimiento de la población urbana comparado a la población en general presenta diferencias que evidencian la fuerte relevancia de la zona rural respecto al crecimiento del Estado, aunque en números absolutos, las ciudades más pobladas del Estado siguen siendo la capital seguidas de otras cercanas a ella. (Anexo T)

La Región Metropolitana de Goiânia, conocida por

“Grande Goiânia”, es compuesta por 20 ciudades que totalizan aprox. 2.205.403 hab., según proporciones referentes a la estimativa del Censo IBGE 2012 para el Estado, representando un 36% de la población del Estado. Está ubicada en la porción centro-sur del Estado, a suroeste de Distrito Federal. Y es la más pequeña del Estado en superficie territorial, tal y como presenta la Fig. 12.

158

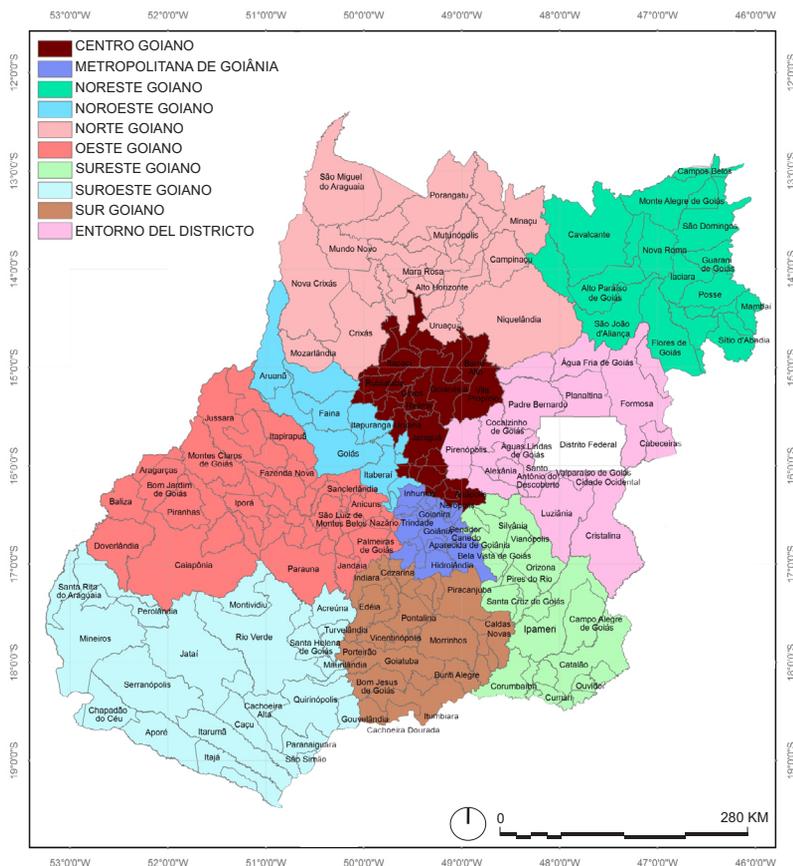


Fig. 12 – Regiones de planificación del Estado de Goiás (mod. de SEGPLAN/SEPIN, 2011)¹¹⁸

Goiânia posee una población de 1.302.001 hab., siendo un 52% de mujeres y un 95% de cristianos (61% de católicos y 39% de evangélicos), con una densidad demográfica de 1.776,75

hab/km² (área de unidad territorial de 732 km²).

Ubicada en región rica en agua, posee 85 cursos de agua siendo el Rio Meia Ponte, el principal, seguido del Anicuns, João Leite, Capivara y Dourados.

La ciudad tiene un IDH-M de 0,832, ocupando la segunda posición en el Estado. La Fig. 13 presenta la infraestructura viária que marca la ciudad de Goiânia a través de la conexión de otras 4 ciudades: Trindade a oeste, Aparecida de Goiânia a sur, Terezópolis a noreste (salida hacia Anápolis y Brasília) y Senador Canedo a este. Estas conexiones condicionan el sistema viário interno de la ciudad, presentado en la Fig. 14. (Anexo U).

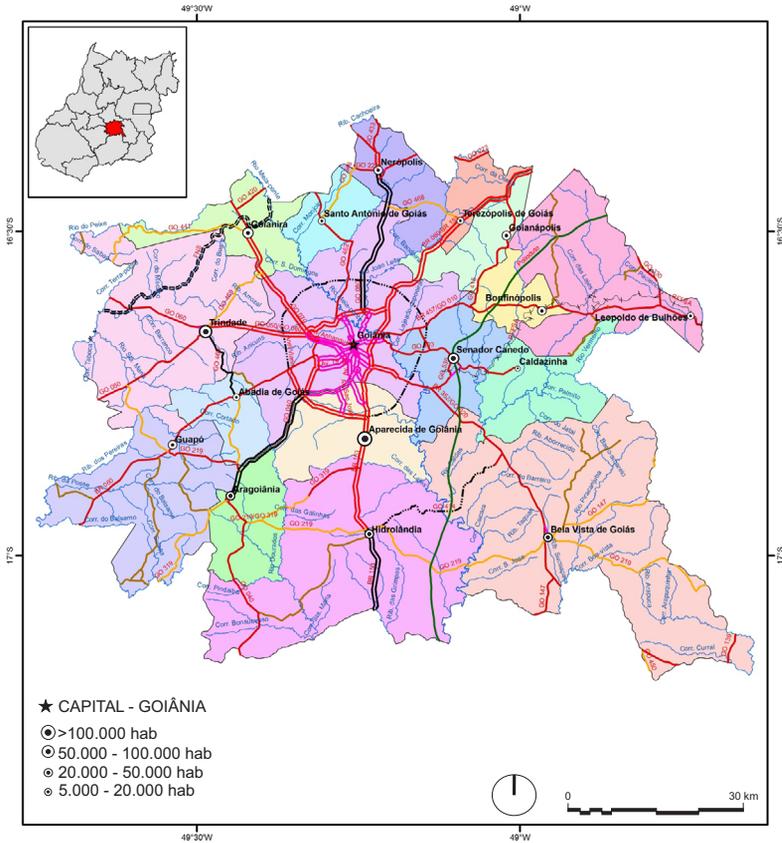


Fig. 13 – Infraestructura viária de la micro-región de Goiânia (mod. de SEGPLAN/SEPIN, 2012)¹¹⁹



Goiânia es una ciudad dispersa, con muchos vacíos urbanos en regiones con infra-estructura suficiente para ocuparlos de modo ordenado. Cercanos unos a los otros, los parques urbanos están presentes en regiones relativamente cerca del centro de la ciudad. (Fig. 15)

El skyline de la ciudad cuenta con inúmeros rascacielos, presentes en la totalidad de perspectivas y panorámicas que se pueda sacar desde cualquier punto de la ciudad. (Fig. 16)

Fig. 14 –
Macro red viária
básica de Goiânia
(simplificada)



Fig. 15 –
Parques de Goiânia
(De arriba a abajo,
de izquierda a
derecha: Foto
aérea Plaza Cívica,
Parque Areião,
Parque Flamboyant,
Lago das Rosas,
Bosque dos Buritis)



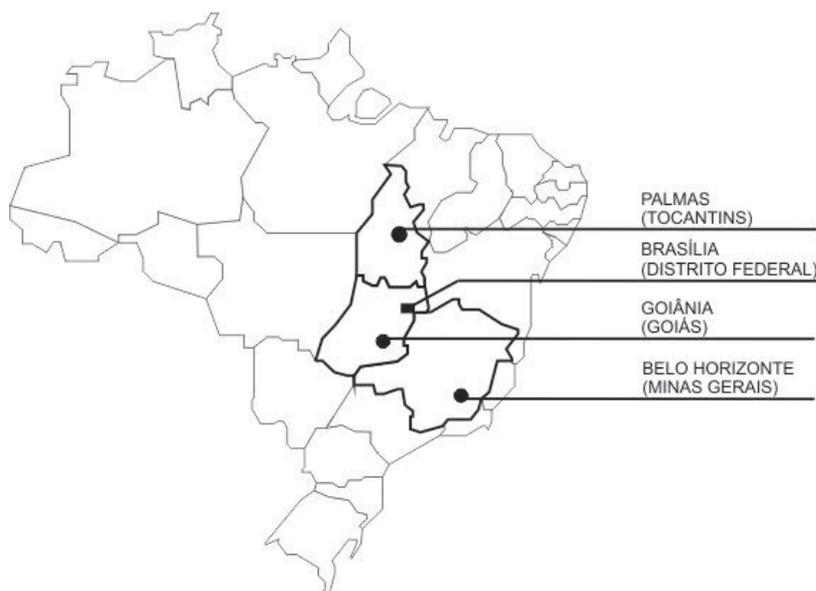
162

“(...) a gente tem que sonhar senão as coisas não acontecem” (Oscar Niemeyer)

Luego después de la Proclamación de la República el 15 de noviembre de 1889, Brasil empieza una fase de estructuración marcada por la construcción de 4 nuevas capitales estatales en menos de 100 años (Fig. 17):

- 1897 - Belo Horizonte, capital del Estado de Minas Gerais;
- 1937 - Goiânia, capital del Estado de Goiás;
- 1960 - Brasilia, capital del Distrito Federal;
- 1989 - Palmas, capital del Estado de Tocantins.

Fig. 16 – Rascacielos de la ciudad (De arriba a abajo, de izquierda a derecha: Rodovia BR-153, Av. 85, Av. T-63, Marginal Botafogo)



“A 1º de junho de 1891, os constituintes oficializaram a idéia da transferência da capital, no texto constitucional” (Museo de Arte de Goiânia)¹²¹

163

“Inaugurada em 1897, oito anos após a Proclamação da República, quando, em oposição ao modelo monarquista, se consolidavam novos interesses políticos e econômicos no País. (...) O antigo Arraial do Curral D’ El Rey foi escolhido para abrigar a capital que viria a ser a síntese dos novos tempos, marcados pela idéia de modernidade e racionalidade. (...)”

(...) Na origem de toda cidade existe um sonho. Deixando para trás o que têm, aventureiros que partem para fazer a vida em um local desconhecido carregam consigo apenas a esperança de dias melhores. Para eles, só o futuro importa. Misterioso, ele desafia o homem, ao mesmo tempo prometendo prosperidade e ameaçando com incertezas e dificuldades. A história de Belo Horizonte não é diferente. Planejada para ser a capital de Minas Gerais, a cidade surgiu

Fig. 17 –
Cuatro capitales en
100 años ¹²⁰

num período marcado por muitas transformações. A Abolição da Escravatura e a Proclamação da República, os progressos da ciência e da indústria se espalhavam no ar uma onda de otimismo, fazendo com que se acreditasse possível construir uma sociedade perfeita. Imigrantes estrangeiros, mineiros do interior e gente de todas as partes do país vieram para cá. Buscavam empregos, melhores oportunidades de vida e, sobretudo, a modernidade. Esses bravos sonhadores ergueram a Nova Capital.” (Ayuntamiento de Belo Horizonte, 2013)¹²²

“Fundada em 20 de maio de 1989, após a criação do (Estado de) Tocantins pela Constituição de 1988, Palmas primeiro foi criada nas pranchetas dos arquitetos urbanistas, depois pelas mãos dos trabalhadores locais e outros vindos de todo o País, e, por fim, só veio a ser implantada como Capital definitiva em 1º de janeiro de 1990, com a instalação dos poderes constituídos (após a alocação na capital provisória, Miracema do Tocantins). A Capital do Tocantins nascia como a realização dos anseios seculares de autonomia de um povo.” (Ayuntamiento de Palmas, 2013)¹²³

Existe una estrecha relación entre la construcción de las cuatro capitales. Además de las cuatro ciudades ser planeadas, la construcción de una llevó a la construcción de otra.

Los planes de la transferencia de la capital del Estado de Goiás empiezan en 1891, dos años después de la Proclamación de la República. Seis años más tarde nace Belo Horizonte. Habiendo conocido Belo Horizonte en su juventud, la idea de la construcción de Goiânia pasa a existir en el espíritu de Pedro Ludovico antes mismo de adquirir poderes reales para crearla. La existencia de Goiânia ha sido uno de los puntos favorables a la construcción de Brasilia por servirse de apoyo durante el tiempo de su construcción, además del Estado de Goiás ceder las tierras para la instalación del Distrito Federal. Después de la construcción de Goiânia, el desarrollo de la porción sur del

Estado se ha incrementado aumentando las desigualdades entre las porciones sur y norte del Estado. La concentración de desarrollo en Goiás ha sido uno de los puntos que más han motivado la división del mismo con la creación del Estado de Tocantins y su capital, Palmas.

“Goiânia surgiu em decorrência de um longo processo histórico, integrador de memória e de utopia, de um povo e de um lugar.” (CHAUL apud ROCHA, 2009)¹²⁴

El recorrido histórico que ha generado el surgimiento de la arquitectura moderna en Goiânia es marcado por dos momentos políticos importantes:

- Era Vargas (1930-1945);
- Juscelino Kubitschek (1956-1960).

“A história de Goiânia começa com as primeiras ideias de mudança da Capital em 1753, proposta pelo, então governador da Província de Goiás, Dom Marcos de Noronha, que ambicionava transferir a capital de Vila Boa para a atual Pirenópolis. Em 1830, o Marechal de Campo Miguel Lino de Moraes, segundo governador de Goiás Império, propôs a mudança da Capital para a região do Tocantins, próximo de Niquelândia. A Capital de Goiás, no início do século XIX, convivía com a estagnação econômica, provocada pelo término do ciclo do ouro na região. Outro governador da província de Goiás, José Vieira Couto de Magalhães, retoma o assunto em 1863, exposto em seu livro Primeira Viagem ao Rio Araguaia. ‘Temos decaído desde que a indústria do ouro desapareceu. Ora, a situação de Goiás era aurífera. Hoje, porém, está demonstrado que a criação do gado e agricultura valem mais do que quanta mina de ouro há. Continuar a capital aqui, é condenar-nos a morrer de inanição, assim como morreu a indústria que indicou a escolha deste lugar’. “ (IBGE, 2014)¹²⁵

Aunque la idea de mudanza de la capital del Estado hubiera sido oficializada desde 1891, el plan solamente se firma con el inicio de la llamada Era Vargas. De este modo, la creación de la ciudad se ha dado en medio a un contexto nacional de transformaciones de distintos órdenes: económicos, sociales y políticos.

Después de la Revolución Liberal de 1930, el gobierno resultante de la victoria de la Revolución, liderado por Getúlio Vargas, hizo de Pedro Ludovico gobernador del Estado de Goiás por medio de intervención federal, ejerciendo la función hasta el 1945, tras elecciones indirectas realizadas por la Asamblea Legislativa del Estado.

“A idéia da mudança da capital do Estado surgiu da necessidade de localizá-la, de acordo com os interesses econômicos goianos. A primeira capital goiana - Vila Boa, hoje denominada Cidade de Goiás - tinha sido escolhida, quando a província era aurífera. Posteriormente, ficou demonstrado que a criação do gado e a agricultura passaram a ser fatores preponderantes no desenvolvimento. Legisladores sustentaram por algum tempo, a idéia da mudança. A 1º de junho de 1891, os constituintes oficializaram a idéia da transferência da capital, no texto constitucional, ratificando-a na reforma de 1898, como na de 1918. A primeira constituição republicana, em seu texto definitivo, previa em seu artigo 5º: ‘A Cidade de Goiás continuará a ser a capital do estado, enquanto outra causa não deliberar o congresso’. Vagamente abordada até 1930, a idéia mudancista só se firmou no governo de Pedro Ludovico, que tomou a decisão de fazer a transferência para local mais apropriado. (Museo de Arte de Goiânia, 2013)¹²⁶

“No final de 1932, Pedro Ludovico Teixeira deu o primeiro passo para a mudança da capital do Estado.” (ROCHA, 2009) ¹²⁷

Los primeros pasos concretos hacia la construcción de la nueva capital del Estado de Goiás empezaron el 1932 y su realización se ha dado 5 años más tarde.

El 20 de diciembre de 1932, ha sido creada la comisión de elección del territorio donde se debería construir la nueva capital del Estado de Goiás, que entonces dejaría de ser la Ciudad de Goiás. Tras el examen de la comisión, la región de Campinas ha sido elegida superando las demás regiones analizadas: Bonfim (actual Silvânia), Pires do Rio y Ubatan.¹²⁸

Tras diez negociaciones de venta, permuta y donación, el Estado se hizo propietario de las áreas que necesitaba para construir la capital. El 18 de mayo de 1933, por medio del decreto 3.359, ha sido determinado que la transferencia de la capital se daría dos años después, siendo definida la región exacta para su construcción, cerca del “Rio Meia Ponte”, a los márgenes del “Ribeirão Botafogo”, comprendiendo las haciendas Crimeia, Vaca Brava y Botafogo.

El 24 de octubre de 1933, la piedra fundamental ha sido lanzada y han empezado las construcciones de la hasta entonces llamada “nueva capital”. Solamente el 2 de agosto de 1935, por medio del decreto 327, el topónimo “Goiânia” ha sido oficializado por elección directa por parte de Pedro Ludovico, tras no aceptar el nombre, “Petrônio”, ganador del concurso no oficial realizado por el periódico “O Social”. La denominación ha sido sugerida por Alfredo de Castro, inspirado en el poema épico de Manuel Lopes de Carvalho Ramos, intitulado “Goyania”, escrito en finales del siglo XIX sobre la saga de los indígenas caiapós. 38 (Anexo V)

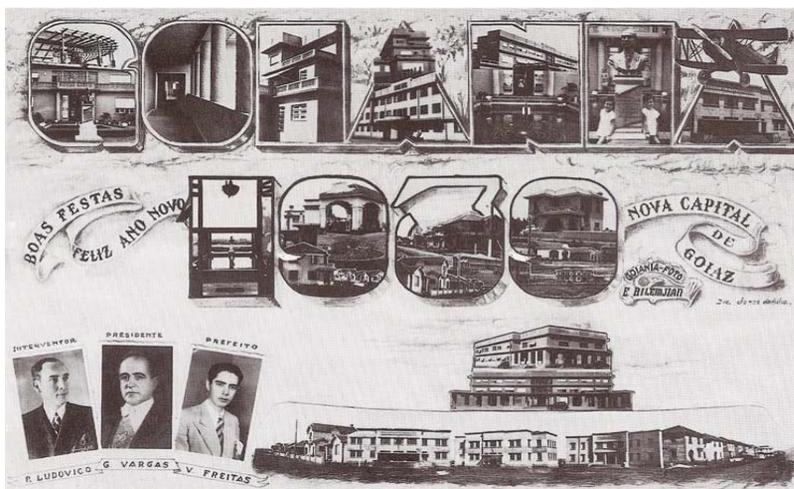
La ciudad de Goiânia ha sido fundada solamente en 23 de marzo de 1937 debido a las resistencias que Pedro Ludovico ha tenido que superar, aunque desde 2 años antes haya empezado a despachar desde la nueva capital. Las Figs. 18 a 20 presentan el ambiente de la construcción de la capital.



Fig. 18 –
Vista aérea de Goiânia en 1936
(CORDEIRO,
1989)¹³⁰

Fig. 19 –
Construcción del
Palacio de Esmeraldas en 1937
(Alois Feichtenberger, Goiânia, Acervo
Museo de la imagen
y del sonido - MIS-
-GO)





Planeada por el arquitecto francés Atílio Correa Lima, con un trazado para 50 mil habitantes, la nueva capital nacía inserida en un contexto muy regional, desvinculado de las grandes ciudades.

El segundo importante momento político en el recorrido histórico que ha generado en el surgimiento de la arquitectura moderna en Goiânia es marcado por el Gobierno de Juscelino Kubitschek (1956-1960).

La esperanza, el idealismo, las ganas de cambio y la materialización de lo utópico son características comunes a los dos períodos. Si la Era Vargas ha propiciado la construcción de la nueva capital del Estado de Goiás. El Gobierno Juscelino Kubitschek, o Gobierno JK, ha propiciado el desarrollo de la nueva capital de Brasil.

JK tenía la intención de hacer con que Brasil creciera 50 años en 5 y este slogan motivara las acciones de su Gobierno, pautadas bajo los ejes del desarrollo económico, sobretudo en los sectores industrial y de infra-estructuras. La construcción de Brasilia ha sido parte del Plan de “Marcha hacia el oeste”, que objetivaba la interiorización del desarrollo nacional. La región Centro-Oeste ha sufrido muchos avances en esta época,

Fig. 20 –
Cartão de boas
festas de 1939
(Eduardo Bilemjian,
Goiânia, Acervo
Museo de la imagen
y del sonido - MIS-
GO)

cumpliendo en parte lo idealizado por el Plan.

El proceso de modernización y crecimiento económico brasileño de los momentos políticos destacados, Vargas y JK, son caracterizados por:

- Emergencia del populismo
- Consolidación de las Leyes del Trabajo;
- Surgimiento de nuevas fuerzas sociales;
- Incremento de inversiones extranjeras e inserción de multinacionales, generando empleos pero aumentando la dependencia del país cuanto al capital externo;
- Inversiones en la industrialización de polos urbanos y consecuente éxodo rural;
- Construcción de dos nuevas capitales pero aumento de la deuda externa por la transferencia de la capital de Brasil.
- Independencia de Rio de Janeiro y desplazamiento del centro difusor cultural hacia São Paulo.

170

Los cambios en las relaciones entre la costa y el interior del país, así como entre la ciudad y el campo, marcan las manifestaciones políticas de la cultura moderna en Brasil y establecen dicotomías alrededor de lo antiguo y el nuevo, el retraso y el progreso.

Los años 50 son conocidos como la década del tríplice crecimiento de la ciudad de Goiânia. La nueva capital crecía inserida en un contexto regional y ya vinculado a grandes ciudades, como presenta la Fig. 21.

La ciudad absorbía los impactos positivos advenidos de: la nueva capacidad de abastecimiento energético de la recién-creada Centrales Eléctricas de Goiás (Celg); de la concreta decisión de transferencia de la capital del país para las tierras del Estado; y de las obras de integración del transporte vial anunciadas por JK, la evolución de la telefonía y grandes nuevas perspectivas.¹³¹

Regístrase la instalación de importantes equipamientos

urbanos y crecimiento del comercio y del sector de servicios sobretodo en las Avenidas Goiás y Anhanguera. Donde la primera se afirma hasta hoy como eje norte-sur y la última como eje comercial este-oeste de la ciudad, conectando a este con la carretera inter-estadual BR-153 que liga la ciudad a otras como Brasília a norte y São Paulo a sur; y a oeste con Campinas, pueblo que acaba tornándose barrio de la capital y carreteras que ligan la ciudad al interior del Estado.



171

El ritmo de la construcción civil y de la promoción inmobiliaria se acelera. Regístrase un grande crecimiento inmobiliario en la ciudad que recibe inversiones de diversas partes del país como Rio de Janeiro, São Paulo, Minas Gerais y Bahia.

Si en los años 50 la población de la ciudad alcanza los 75

Fig. 21 –
Goiânia en los años
50
(Hélio de Oliveira)

mil habitantes, ya 50% superior al planeado en su concepción, en la década posterior la ciudad dobla de tamaño y alcanza los 153 mil habitantes.

Los años 60 son marcados por la misma fuerza de los sectores: comercial y de servicios, donde el impuesto incidente en el sector ha registrado un crecimiento en el giro comercial de 554% en menos de 5 años, 1956 a 1960; además del sector industrial que superaba el sector agropecuario, en excepción a la realidad del Estado, y que registraba un crecimiento en el consumo de energía de 4,2 millones de kWh para 7,3 millones de kWh. La Fig. 22 presenta el ambiente urbano en esta década.

172

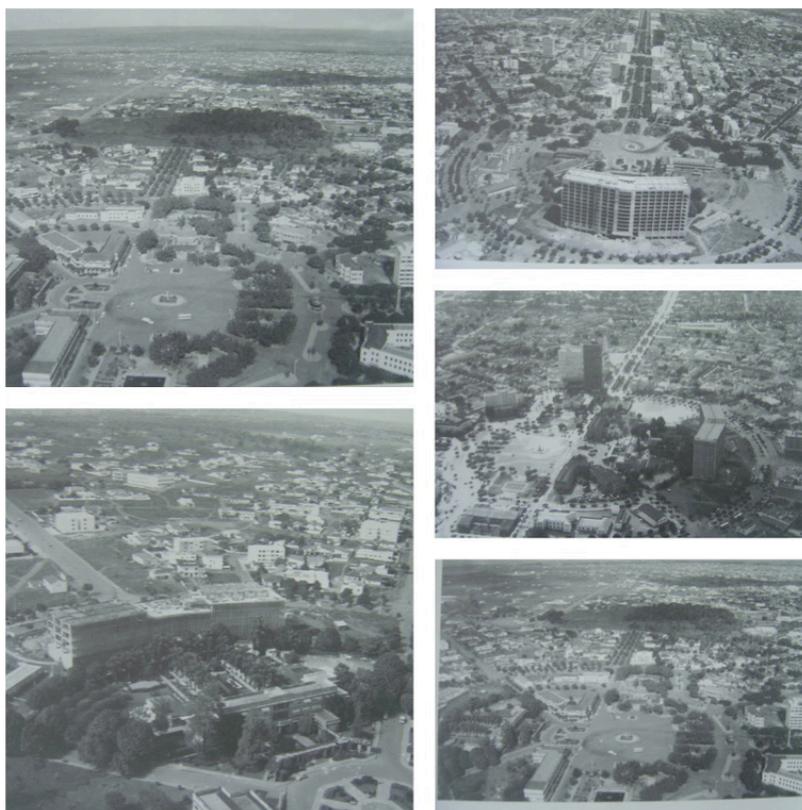


Fig. 22 –
Goiânia en los años
60
(Hélio de Oliveira)

El final de la década de 50 e inicio de la década de 60 son marcados por la creación de las dos más grandes Universida-

des hasta hoy, Universidad Católica de Goiás, actual Pontificia Universidad Católica de Goiás – PUC Goiás (Figs. 23 y 24) y Universidad Federal de Goiás – UFG.

“Esse cenário de intensas transformações exigia não apenas planos sustentáveis, sonhos concretos e utopias plausíveis, mas homens à altura de transformá-los em realidade. Em 1957, a Igreja e a educação em Goiás tiveram o mérito e a oportunidade de acolher um desses homens: era Dom Fernando Gomes dos Santos, que acabava de ser nomeado o titular da recém-criada Arquidiocese de Goiânia.

De imediato, Dom Fernando solicitou estudos para a constituição de uma Universidade para o Brasil Central, o que resultaria, um ano depois, na criação da Sociedade Goiana de Cultura (SGC), cujas ações se dariam, conforme documento, ‘fazendo da educação o ponto de apoio sobre o qual se assentará a alavanca que há de levantar o nível moral e cívico das novas gerações à altura dos povos mais civilizados e demarcar o papel de cada um, dentro do esforço comum’.

Acertadas as exigências e definidas as missões, em 17 outubro de 1959, a Igreja de Goiânia aprovava a criação da Universidade do Brasil Central, a primeira instituição de ensino superior da região Centro-Oeste do País, que, no início da década de 70, seria rebatizada de Universidade Católica de Goiás.” (Paulo José, 2013)¹³²

173



Fig. 23 –
Graduación en 1960
con la presencia
de JK
(Archivo Ascom,
UCG)



En el campo de las artes, el desarrollo económico y la afirmación del nacionalismo brasileño también contribuyen al establecimiento de dicotomías.

Por un lado, las transformaciones daban inicio a manifestaciones de ruptura con el pasado y búsqueda del nuevo. Por otro, el proceso se desarrollaba bajo la afirmación de las raíces de la identidad nacional. Un marco para el arte ha sido la realización de la Semana de Arte Moderna, realizada del 11 al 18 de febrero de 1922, en São Paulo (Fig. 25).

174



Fig. 24 -
Primer edificio de la
UCG. Facultad de
Filosofía.
(Archivo Ascom,
UCG)

Fig. 25 -
Semana de Arte
Moderna

En Goiânia, el Arte Moderno se manifiesta a través de las artes plásticas. El evento más expresivo y que da inicio a tal manifestación es el Congreso Nacional de Intelectuales, realizado de 14 a 21 de febrero de 1954, bajo patrocinio de Pedro Ludovico y organización de Amaury Menezes, artista plástico.

“Na exposição de inauguração do MAG foram exibidas 48 peças doadas pelo padre Cristóvão Álvares, Reitor da Universidade Católica de Goiás, Pelo colecionador Aloysio de Sá Peixoto e por vários artistas plásticos goianos. Dentre as obras que fizeram parte da exposição do Congresso estão desenho de Ionaldo Cavalcanti, gravuras de Carlos Scliar, Glauco Rodrigues, Glênio Bianchetti, Guido Viaro, Mário Gruber, Paulo Werneck e Renina Katz, e pintura de Inimá de Paula.” (Museo de Arte de Goiânia)¹³³

De este modo, las décadas de 50 y 60 representan un gran crecimiento urbano en Goiânia en diversos aspectos, resultando en cambios expresivos en los espacios urbano y arquitectónico.

Para Vaz & Zárata (2005),⁽¹³⁴⁾ Goiânia se ha destacado como ciudad planeada y expresión del progreso en la búsqueda por la modernización del “cerrado goiano”.¹

El espacio urbano de la nueva ciudad es marcado por la representación de las ideas de funcionalidad, zonificación de áreas, jerarquización vial y control del uso y ocupación del suelo. La ordenación del espacio se da partir de la socialización del suelo, con la diferenciación en el tratamiento de los espacios público y privado, marcada por la presencia de jardines frontales en las parcelas, y liberación del edificio en relación al suelo (parcela), mejorando las condiciones de higiene y calidad del aire con el aumento de la insolación y ventilación en los edificios.

1 Cerrado: bioma más grande de Brasil, ubicado en parte de las regiones centro-oeste, sureste y noreste de Brasil. La palabra “goiano” significa aquello que es propio de Goiás.

El espacio arquitectónico, en un primer momento, es caracterizado por reproducciones de arquitecturas presentes en otras regiones del País siguiendo lenguajes Eclécticos y el Art Déco. Los primeros edificios modernos pasan a ser construidos en Goiânia en la década de 50 del siglo XX, constituidos todavía como obras aisladas aunque muy significativas por su lenguaje nuevo y diferenciado.¹³⁵

A partir de los años 50, la cantidad de edificios modernos ha aumentado considerablemente. Este período era caracterizado por ciertos contrastes que ejercían un papel determinante en la producción arquitectónica.

El empleo de los materiales era caracterizado por el uso del hormigón armado, tejas y ladrillos cerámicos y baldosas en áreas mojadas.

Las ventanas de hierro mantenían las venecianas utilizadas en la antigua capital de Estado, actual Ciudad de Goiás. En cuanto las aberturas basculantes eran utilizadas en las cocinas y en los baños. Con la novedad de la exigencia de dimensiones correspondientes a la proporción de 1/6 de la superficie de suelo del ambiente interior.

La arquitectura moderna en Goiânia comprueba la importancia de la vivienda como lugar de experimento moderno. La cantidad de viviendas modernas construidas en Goiânia denota que uno de los medios más importantes en la difusión y experimentación del lenguaje ha sido la vivienda unifamiliar.

Si las viviendas pasaban a recibir la introducción del cuarto de baño con instalaciones sanitarias completas, incluyendo “bidê”, el fuego de leña y los depósitos de madera presentes en las mismas denotaban la permanencia de ciertos hábitos antiguos todavía.

Si la palabra “fuego” viene del latín “focus”, que se refería al sitio donde se prendía la lumbre para cocinar y calentar la vivienda, centro de atención de la familia.⁴⁵ En la cultura goiana, así como en muchas otras culturas latinas, no era distinto. Como elemento agregador social, el fuego ejercía un papel culturalmente justificado y explicado etimológicamente.

“Um melhoramento significativo chegou com o gás: nada mais de sujeiras, cinzas e cansaço físico. Além disso, a regulagem da chama com a simples rotação de um botão tornava tudo mais fácil. Entre as primeiras cozinhas a gás deve-se citar aquela construída pelo proprietário de um restaurante em Glasgow – exposta em 1851, por ocasião da Great Exhibition – que era caracterizada por queimadores espirais.”(BUTERA, 2009)¹³⁷

La modernidad era así incorporada a la nueva sociedad y los conflictos culturales surgían tal y como a 100 años atrás en Europa. La transición entre el fuego a leña y el fuego a gas en las cocinas se ha dado a partir de coexistencia de ambos donde el más antiguo permanecía como parte de la vivienda, aunque ubicado en la “edícula”, especie de edificación secundaria ubicada cerca de la principal y en los fondos de la parcela.

De este modo, las ideas de modernidad y racionalidad están presentes tanto en la idealización y construcción de la nueva ciudad como en sus primeras décadas de desarrollo.

177

Las dicotomías presentes en el panorama artístico se revelan también en la morada humana. Muchos eran los aspectos intervinientes en la incorporación de lo moderno en la sociedad goianiense^{li}:

- Por parte de la sociedad, unas exigencias programáticas vinculadas a unos hábitos y costumbres propios de su cultura de vivir:
 - ◆ El enraizamiento regional y la dificultad en la aceptación de lo moderno. Se trata de una sociedad arraigada en una cultura y costumbres tradicionales. La construcción del sentido de lugar pasa por estos aspectos.
- Por parte de los arquitectos, la búsqueda por la implantación de una nueva arquitectura:
 - ◆ La facilidad en absorber influencias externas

 li

Goianiense: gentilicio de Goiânia.

“filtradas” por sus formadores y asociadas a tendencias formalistas y hacia al gusto por el nuevo;

- ◆ El riesgo de una mala incorporación de lenguajes ajenos, advenidos de otras culturas la tentación de una aplicación local directa de lo experimentado fuera del contexto donde van a actuar. Todavía hoy, gran parte de las edificaciones brasileñas siguen siendo construidas de forma casi siempre uniforme, incorporando, muchas veces, lenguajes importados de otras culturas y difundiendo una tipología “universal” por ciudades de condiciones climáticas considerablemente distintas;
- ◆ La consciencia, visión y capacidad de aquellos arquitectos en discernir las influencias recibidas y el contexto en que actuaban.

178

“Entre las diferentes tipologías construidas, las viviendas son evidenciadas por su importante contribución en la expresión del nuevo lenguaje arquitectónico.” (ALBANO, 2012)¹³⁸

Aunque son realizados inúmeros proyectos públicos y privados, el programa que más se destaca cuando la nueva arquitectura pasa a hacer parte del paisaje de la ciudad de Goiânia es la vivienda unifamiliar, protagonista de la época también en el Movimiento en otros países. Le Corbusier, en 1923, afirma que:

“El problema de la casa es un problema de la época. El equilibrio de las sociedades depende actualmente de él. El primer deber de la arquitectura, en una época de renovación, consiste en revisar los valores y los elementos constitutivos de la casa”. (LE CORBUSIER, 1923)⁽¹³⁹⁾

Norberg-Schulz (2005) sostiene que:

“(..) la intención general de la arquitectura moderna es proporcionar al hombre una nueva ‘vivienda’”. (NORBERG-SCHULZ, 2005) ⁽¹⁴⁰⁾

Entre las viviendas proyectadas en las décadas de 50 y 60 del siglo XX, la bibliografía disponible cita la existencia actual de 78 obras. Entre estas, destacamos dos, ubicadas en la región central de la ciudad: ^{lii}

- Vivienda Eurípedes Ferreira (Godoy, finales de los años 50)
- Vivienda Abdala Abrão (Libeskind, 1961)

Se tratan de algunas de las viviendas que se destacan en la producción arquitectónica del periodo y en la actuación profesional de estos arquitectos, participando del proceso de revisión crítica de la arquitectura moderna brasileña, el nuevo regionalismo en Goiânia. Que trae vestigios arquitectónicos identificables en un recorrido de obras producidas por los arquitectos, de diferentes lugares y épocas, mencionados anteriormente.

Entre las viviendas unifamiliares modernas ventiladas naturalmente y construidas en la ciudad de Goiânia en las décadas de 50 y 60, se destacan algunas soluciones invariantes, conforme es presentado en la Fig. 20:

- Partido formal
 - ◆ Central con patio central, exterior o interior
 - ◆ Lineal en “L”
 - ◆ Lineal en “U”
 - ◆ Radial
 - ◆ Suspensa con pilotis
- Materiales

lii Las dos primeras siguen siendo utilizadas como vivienda unifamiliar y la tercera, actualmente es la sede del Instituto de Patrimonio Histórico y Artístico Nacional en Goiás - IPHANGO.

- ◆ Estructura de hormigón
- ◆ Ladrillo aparente
- ◆ Madera
- ◆ Baldozas en la fachada
- Aberturas
 - ◆ Aberturas cenitales
 - ◆ Grandes aberturas
 - ◆ Recuadas de la fachada
- Cubierta
 - ◆ Plana oculta con el uso de platibandas
 - ◆ Cubierta plana impermeable de hormigón
 - ◆ Teja ondulada de fibro-cimiento poco inclinada
- Protección solar
 - ◆ Porches
 - ◆ Brises-soleil
 - ◆ Celosías (muxarabis)
 - ◆ Persianas / Venecianas

180

De cierto modo, los invariantes identificables en la producción arquitectónica de las décadas de 50 y 60 en la ciudad de Goiânia, establecen una relación estrecha y directa con la propia arquitectura moderna brasileña, con una relación apenas indirecta con la arquitectura moderna internacional. La influencia de dicha invariancia en el comportamiento térmico de las viviendas es función de las inconstancias y equilibrios entre la materia y la energía que envuelve y compone el objeto, provocados por el efecto de las condiciones climáticas sobre el edificio.

REFERENCIAS

92. MONTANER, Josep Maria. **Depois do Movimento Moderno**. Arquitetura da segunda metade do século XX. 1ed. Barcelona: GG, 2001. P.36
93. NORBERG-SCHULZ, Christian. **Los principios de la arquitectura moderna**. Sobre la nueva tradición del siglo XX. Barcelona: Reverté, 2005. P.187
94. FRAMPTON, Kenneth. **Towards a Critical Regionalism: Six Points for an Architecture of Resistance**. Perspecta: The Yale Architectural Journal, 1982. In DUARTE, Rovenir Bertola. Caminhos, reflexões e o tempo da arquitetura contemporânea. Vitruvius. Arqtextos 124.08. Año 11, sep 2010.
95. COLQUHOUN, Allan. **O conceito de regionalismo**. In: Revista Projeto, n. 159, dez. 1992, 75-78. In KEIKO, Mirian & OLIVEIRA, Beatriz Santos. Por um regionalismo eco-eficiente: a obra de Severiano Mário Porto no Amazonas. Vitruvius. Arqtextos 047.04. Año 04, abr 2004.
96. FRAMPTON, Kenneth. **História crítica da arquitetura moderna**. São Paulo: Martins Fontes, 1997. P. 382
97. FRAMPTON, Kenneth. Op. Cit..
98. ALBANO, Leônidas; ROMERO, Marta Adriana Bustos; HERNANDEZ NETO, Alberto. **The energy efficiency as an architecture principle product**. 11th REHVA World Congress and the 8th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in Buildings – CLIMA2013. CLIMA: Praga, 2013.
99. NORBERG-SCHULZ, Christian. **Genius Loci. Towards a phenomenology of architecture**. New York: Rizzoli International Publications, 1980. P.11
100. VITRUVIO, M.L. **Los Diez Libros de Arquitectura**. Traducción, Prólogo y Apuntes por Agustín Blánquez, Barcelona: Editorial Ibéria, 1997. P. 14-15. In KEIKO, Mirian & OLIVEIRA, Beatriz Santos. Por um regionalismo eco-eficiente: a obra de Severiano Mário Porto no Amazonas. Vitruvius. Arqtextos 047.04. Año 04, abr 2004.
101. ROMERO, Marta Adriana Bustos. **Arquitetura bioclimática do espaço público**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2001. P. 28
102. MONTANER, Josep Maria. **Sistemas arquitectónicos contemporâneos**. Barcelona: GG, 2008. P.22
103. BRUAND, Yves. **Arquitetura Contemporânea no Brasil**. 3ed. São Paulo: Perspectiva, 1997. P.12
104. OLIVEIRA, Fabiano Lemes. **Siegfried Giedion e o caso brasileiro: uma aproximação historiográfica**. Docomomo, 2005.
105. BRUAND, Yves. **Arquitetura Contemporânea no Brasil**. 3ed. São Paulo: Perspectiva, 1997.

106. OLIVEIRA, Fabiano Lemes. **Siegfried Giedion e o caso brasileiro: uma aproximação historiográfica.** Docomomo.
107. OLIVEIRA, Fabiano Lemes. Op. Cit..
108. Itaú Cultural. **Escola Carioca.** Artículo disponible en: http://www.itaucultural.org.br/AplicExternas/enciclopedia_IC/index.cfm?fuseaction=termos_texto&cd_verbete=8816 (Acceso en: 30/12/2010).
109. COSTA, Lucio. **Muita Construção, Alguma Arquitetura e um milagre (1951).** In COSTA, Lúcio. Sobre Arquitetura. Porto Alegre: Centro dos Estudantes Universitários de Arquitetura, 1962, p. 33. In ARRUDA, A. M. **A popularização dos elementos da casa moderna em Campo Grande, Mato Grosso do Sul.** Revista Vitruvius. Arquitectos 047.06. Año 04, abr 2004.
110. NONATO, José Antonio; SANTOS, Nubia Melhem. **Era uma vez o Morro do Castelo.** Rio de Janeiro: IPHAN, 2000.
111. LISSOVSKY, Mauricio; DE SÁ, Paulo Sérgio Moraes. **Colunas da Educação.** A construção do Ministério da Educação e Saúde (1935-1945). Rio de Janeiro: MINC/IPHAN; Fundação Getúlio Vargas/CPDOC, 1996. p.30
112. MASP – Museo de Arte de São Paulo. Disponible en: http://masp.art.br/masp2010/sobre_masp_historico.php Acceso en: 11/01/2015.
113. ALBANO, L.; ROMERO, M. A. B.; NETO, A. H.. **The Energy Efficiency as an Architecture Principle Product.** Artículo publicado en el CLIMA 2013 – 11th REHVA World Congress and 8th International Conference on IAQVEC, 2013.
114. Observatorio Nacional. **Declinação Magnética.** Disponible en: <http://www.on.br/conteudo/modelo.php?endereco=servicos/servicos.html> (Acceso en: sep.2014)
115. **Indicators on Population.** In United Nations Statistics Division. Demographic and Social Statistics. Statistical Products and Databases. Social Indicators, 2012. Disponible en: <http://unstats.un.org/unsd/demographic/products/socind/population.htm> (Acceso en: feb.2013).
116. SEGPLAN. Regiões de Planejamento do Estado de Goiás. IMB. Instituto Mauro Borges de Estatísticas e Estudos Sócioeconômicos. Secretaria de Estado de Gestão e Planejamento – Segplan. Governo de Goiás. Disponible en: <http://www.imb.go.gov.br> (Acceso en: feb.2013)
117. IBGE Cidades. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponible en: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1> (Acceso en: feb.2013)
118. Instituto Mauro Borges. Material elaborado en conjunto por la Superintendência de estatística, pesquisa e informações sócio-econômicas – Sepin y la Secretaria do Estado de Gestão e Planejamento - Segplan. Goiânia, 2011.

119. Instituto Mauro Borges. Material elaborado en conjunto por la Superintendência de estatística, pesquisa e informações sócio-econômicas – Sepin y la Secretaria do Estado de Gestão e Planejamento - Segplan. Goiânia, 2012.
120. Guia Internet Brazil. Disponible en: <http://www.guianet.com.br/brasil/mapapolitico.htm> (Acceso en: dic.2014)
121. Museo de Arte de Goiânia. Disponible en: <http://www.goiania.ws> (Acceso en: feb.2013)
122. Ayuntamiento de Belo Horizonte. **BH 100 anos. Uma lição de História.** Disponible en: <http://portalpbh.pbh.gov.br> (Acceso en: feb.2013)
123. Ayuntamiento de Palmas. **Conheça Palmas.** Disponible en: <http://portal.palmas.to.gov.br> (Acceso en: feb.2013)
124. RAMOS, Manuel Lopes de Carvalho. **Goyania.** Goiânia: Instituto Goiano do Livro, 1983 apud QUINTELA, A. C. y DE CASTRO, A. C. Revista UFG. Publicação Semestral da Universidade Federal de Goiás. Ano IX, nº 1 – Agosto de 2007. Goiânia: UFG, 2007.
125. IBGE Cidades. Disponible en: <http://www.cidades.ibge.gov.br> (Acceso en: dic.2014)
126. Museo de Arte de Goiânia. Disponible en: <http://www.goiania.ws> (Acceso en: feb.2013)
127. RAMOS, Manuel Lopes de Carvalho. **Goyania.** Goiânia: Instituto Goiano do Livro, 1983 apud QUINTELA, A. C. y DE CASTRO, A. C. Revista UFG. Publicação Semestral da Universidade Federal de Goiás. Ano IX, nº 1 – Agosto de 2007. Goiânia: UFG, 2007.
128. ROCHA, Hélio. **Goiânia 75.** Editora UCG: Goiânia, 2009.
129. RAMOS, Manuel Lopes de Carvalho. **Goyania.** Goiânia: Instituto Goiano do Livro, 1983 apud QUINTELA, A. C. y DE CASTRO, A. C. Revista UFG. Publicação Semestral da Universidade Federal de Goiás. Ano IX, nº 1 – Agosto de 2007. Goiânia: UFG, 2007.
130. CORDEIRO, Narcisa Abreu. **Goiânia. Evoluções do Plano Urbanístico.** Goiânia, 1989.
131. ROCHA, Hélio. **Goiânia 75.** Editora UCG: Goiânia, 2009. P. 135
132. JOSÉ, Paulo. História. **A criação da UCG e de sua mantenedora.** Flash. Periódico de la Universidad Católica de Goiás. Disponible en: <http://www2.ucg.br/flash/Historia.html> (Acceso en: feb.2013)
133. Museo de Arte de Goiânia. Disponible en: <http://www.goiania.ws> (Acceso en: feb.2013)
134. VAZ, Maria Diva Araújo Coelho & ZÁRATE, Maria Heloisa Veloso e. **A experiência moderna no cerrado goiano.** Vitruvius. Arquitectos 067. Año 06, dic 2005.
135. VAZ, Maria Diva Araújo Coelho & ZÁRATE, Maria Heloisa Veloso e. Op. Cit..
136. ROBERTS, E. A. y PASTOR, B. **Diccionario Etimológico Indoeuropeo**

de la Lengua Española. Serie Alianza Diccionarios. Grupo Anaya Comercial, 1996. Retirado de: <http://etimologias.dechile.net> (Acceso en: enero de 2013).

137. BUTERA, Federico M. **Da caverna à casa ecológica.** História do conforto e da energia. Nova Técnica Editorial: São Paulo, 2009. p. 141
138. ALBANO, Leônidas; ROMERO, Marta Adriana Bustos; HERNANDEZ NETO, Alberto. **Thermal Performance of Modern Houses in Goiânia** – Brazil. 28th Conference, Opportunities, Limits & Needs Towards an environmentally responsible architecture - PLEA2012: Lima, 2012.
139. LE CORBUSIER. Vers une architecture. Paris: Crès, 1923; versión castellana: **Hacia una arquitectura.** Buenos Aires: Poseidón, 1964. P. XXXII
140. NORBERG-SCHULZ, Christian. **Los principios de la arquitectura moderna.** Sobre la nueva tradición del siglo XX. Barcelona: Reverté, 2005. P.17

3 . INCONSTANCIAS ENTRE MATERIA Y ENERGÍA

Las inconstancias aquí mencionadas son las variaciones que ocurren en el ambiente interior y exterior de las edificaciones consecuentes de la relación de causa y efecto entre la materia y la energía. Dicha relación de intercambialidad se realiza a través de procesos térmicos

y materiales, comprendidos por medio de diferentes métodos, clasificados a partir de los estados estacionarios y dinámicos.

El capítulo presenta, después de introducir al tema cuanto los diferentes procesos de intercambio energético y material, los principales métodos de estudio relativos a las inconstancias en los diferentes estados, estacionarios y dinámicos.

3.1 INTERCAMBIOS ENERGÉTICOS Y MATERIALES

“Following thermodynamics, heat transfer is that energy transfer which takes place between two bodies by virtue of a temperature difference between the bodies. From the second law considerations it can be demonstrated that there is always a net positive energy transfer from the body at a high temperature to a second body at a lower temperature.” (GLICKSMAN, 2010)

Glicksman (2010)¹⁴¹ sintetiza los mecanismos de intercambio térmico en dos tipos:

- ondas electromagnéticas producidas en virtud de la temperatura de un cuerpo, con relación a la transferencia de calor por radiación;
- movimiento de moléculas o átomos en un medio entre cuerpos, o superficies de cuerpos, que intercambian energía, con relación a la transferencia de calor por conducción, también comprendida como un mecanismo que se revela de diferentes formas, como:
 - ♦ condensación - durante el cambio de fase de un material;
 - ♦ convección (conducción + advección) - en la presencia del movimiento de las partículas de un fluido (líquido o gas), siendo fruto de la interacción de las partículas entre fluidos y sólidos y directamente proporcional a la velocidad de la interacción y el gradiente de la propiedad transportada o conservada en la interacción.

Didácticamente, el proceso de transferencia de calor entre un fluido (medio) y un sólido (elementos físicos) puede ser dividido en tres momentos:

- Los componentes recibirán energía térmica del medio por convección y radiación y el incremento de

su temperatura superficial también dependerá de su resistencia superficial externa (R_{se}) que es función de la velocidad del viento.

- Con el aumento de la temperatura externa superficial del cerramiento, habrá una diferencia de temperatura entre las superficies interna y externa y el intercambio de calor pasará a ser por conducción y la intensidad de este intercambio dependerá de la conductividad térmica del material (λ), de su resistencia térmica y grosor.
- Los intercambios térmicos vuelven a ser por convección y radiación. La temperatura superficial interna será superior a la temperatura del aire interior para que haya intercambio de calor. Serán la *resistencia superficial interna* del componente (R_{si}) y el coeficiente de emisividad superficial del material (ϵ), los responsables por las pérdidas de calor por convección y radiación, respectivamente.

190

Entre los factores climáticos, la radiación solar merece posición destacada como el factor específico de extrema relevancia que actúa en todos los demás factores climáticos. Por la diferencia de comportamiento de los componentes de los edificios bajo los efectos de este factor, es conveniente clasificarlos según el tipo de componente: opacos; transparentes o translúcidos.

Es en los componentes transparentes o translúcidos donde ocurren los principales intercambios térmicos secos en un edificio. Excepto en los casos en que estos componentes estén abiertos y permitan el paso del aire, su comportamiento frente a la conducción y convección es similar al de los componentes opacos. De este modo, en términos de cálculo, los intercambios térmicos secos por conducción y convección en componentes transparentes o translúcidos serán semejantes a aquellos en componentes opacos. La diferencia se da a través de la acción del principal factor climático, la radiación solar. Debido a las

aportaciones de energía térmica hacia el interior, provenientes de la incidencia solar directa, un factor debe ser acrecido al cálculo de las ganancias térmicas solares en componentes transparentes: la transmisividad a la radiación solar (τ).

En seguida presentamos los mecanismos de intercambio secos y húmedos en los diferentes tipos de componentes, a partir de los estudios de: Olgay (1963), Rivero (1986), Lamberts; Dutra; Pereira (1997), Frota; Schiffer (2001), Nayak; Prajapati (2006), Martín; Anmella (2009) y Glicksman (2010), según el modo de intercambiar materia y energía:

- Intercambio energético
 - ◆ Conducción
 - ◆ Convección
 - ◆ Radiación
- Intercambio material
 - ◆ Evaporación
 - ◆ Condensación

3.1.1 Conducción

191

“In a homogenous body which experiences a temperature gradient the rate of heat transfer due to microscopic motions is conduction heat transfer. In a gas the gas molecules in the higher temperature portion of the gas will have a higher kinetic energy. As the molecules of the gas randomly move through the gas volume there is a net energy transfer from the high temperature portion to the low temperature zones. In a solid, the energy transfer from high to low temperature may be due to the migration of electrons or the vibration of the molecular bonds.” (GLICKSMAN, 2010)

Según Glicksman (2010)¹⁴², los diferentes mecanismos de transferencia de energía calorífica y de masa se diversifican según el estado físico de cada material o medio, que determina

la escala con que el fenómeno ocurre, si a nivel microscópico o macroscópico. A nivel macroscópico, la tasa de conducción de calor es directamente proporcional al producto de la diferencia de temperatura en el cuerpo y su superficie.

$$Q_{\text{conducción}} \sim A \Delta T$$

Ec. 1

En el caso de una transferencia de calor uni-direccional y normal a la superficie receptora, la tasa de conducción de calor puede ser dada por la Ecuación de Fourier, conocida como la Primera Ley de Fourier. Donde la expresión analítica del flujo de calor ($Q_{\text{conducción}}$) es dada por:

$$Q_{\text{conducción}} = -k\omega \frac{dv}{dx} dt$$

Ec. 2

192

La Primera Ley de Fourier (Fourier, 1822, p.611)¹⁴³, en su simbología original, representa la cantidad del flujo de calor, medida en W o en BTU/hr^{liii}, que se da en el interior de un sólido con dimensión infinitamente pequeña (ω), que fluye durante un instante (dt), a través y perpendicular a planos paralelos localizados en el eje (z), hasta un punto, cuyas coordenadas son (x,y,z), siendo la temperatura $v=f(x,y,z,t)$ dada después del tiempo (t) y la constante k , también representada por la letra γ y conocida como la conductividad térmica. Para esta ecuación se considera una variación constante de la temperatura en el interior del sólido.¹⁴⁴

Desde la Ecuación de Fourier se puede extraer la tasa de conducción de calor más comúnmente utilizada. Debido a que esta es directamente proporcional a la conductividad

Ecuación 1 –
tasa de conducción
de calor
(proporcionalidad)

Ecuación 2 –
Ecuación de Fourier

liii 1,0 (BTU/hr ft °F)= 1,73 (W/m °C)

térmica (λ), a la superficie (A) y a la diferencia de temperatura (T); e inversamente proporcional al espesor (e), la ecuación matemática básica para conducción de calor resulta sencilla:

$$Q_{\text{conducción}} = \underbrace{\frac{\lambda A}{e}}_{\text{características arquitectónicas}} \times (T_{\text{caliente}} - T_{\text{fria}})$$

Ec. 3

Si entendemos,

$$U = \frac{\lambda}{e} = R_T^{-1}$$

Ec. 4

vemos que la intensidad de flujo térmico por conducción (Q_c) a través de componentes puede ser descrita como:^{liv}

193

$$Q_{\text{conducción}} = U A \Delta T$$

Ec. 5

Donde,

U es la transmitancia térmica (W/m^2K)

A es el área de la superficie (m^2)

ΔT es la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior (K)

Ecuación 3 – tasa de conducción de calor

De acuerdo con Martín; Anmella (2009)¹⁴⁵, los cuerpos pueden ser clasificados en tres grupos según su habilidad en conducir calor:

Ecuación 4 - transmitancia térmica de un componente

- Buenos conductores

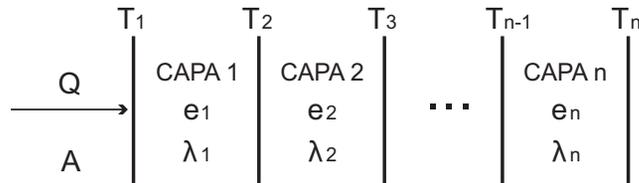
Ecuación 5 - intensidad de flujo térmico por conducción

^{liv} Los procesos de cálculo estático no consideran aspectos como la capacidad térmica de los materiales.

- ♦ generalmente metales ($400 > \lambda > 10$)
- Medianos conductores
 - ♦ generalmente materiales de construcción ($2 > \lambda > 0,1$)
- Malos conductores
 - ♦ aislantes térmicos ($0,2 > \lambda > 0,01$)

Glicksman (2010) describe que la ecuación matemática básica para conducción de calor puede relacionar la U con la resistencia térmica R. Dada una transferencia de calor constante a través de un cuerpo con distintas capas (1, 2, 3... z). Cada capa con una misma tasa de transferencia de calor a través de si misma, sin trabajos y sin la presencia de flujos de materia a través de cada capa.

194



Para cada una de las capas,

$$Q_{conducción} = \frac{\lambda_x A}{e_x} (T_x - T_{x+1})$$

Ec. 6

Fig. 26 –
Transferencia
térmica a través
de un componente
(estado estático)

De este modo, para la capa 1

$$T_1 - T_2 = Q \frac{e_1}{\lambda_1 A}$$

Ec. 7

Ecuación 6 –
tasa de conducción
para una capa
cualquier

Ecuación 7 -
tasa de conducción
para la capa 1

Para la capa 2

$$T_2 - T_3 = Q \frac{e_2}{\lambda_2 A}$$

Ec. 8

De modo que, para el conjunto (n) de capas

$$T_1 - T_n = Q \left[\frac{e_1}{\lambda_1 A} + \frac{e_2}{\lambda_2 A} + \dots + \frac{e_n}{\lambda_n A} \right]$$

Ec. 9

O bien,

$$Q_{conducción} = \frac{(T_1 - T_n)}{\sum_1^n \frac{e}{\lambda A}}$$

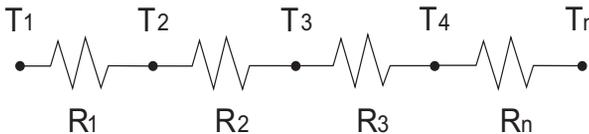
Ec. 10

195

Dado que la resistencia térmica R es la inversa de la transmitancia térmica U:

$$R = 1/U$$

Ec. 11



Ecuación 8 -
tasa de conducción
para la capa 2

Ecuación 9 -
tasa de conducción
para un conjunto
de capas

Ecuación 10 -
tasa de conducción
para un conjunto
de capas

Ecuación 11 -
resistencia térmica

En analogía con la física de la resistencia eléctrica, la tasa de conducción de calor para un conjunto de capas puede ser definida por la ecuación abajo.

Fig. 27 -
Analogía eléctrica
con la transferencia
de calor (estado
estático)

$$Q_{conducción} = \frac{\Delta T}{\sum R}$$

Ec. 12

Desde la analogía con la resistencia eléctrica, se puede llegar al método aplicable en Brasil para determinar la transmitancia térmica de los materiales, a ser presentada en los métodos de cálculo basados en la norma técnica ABNT NBR 15220.

Simplificada en la ecuación básica ya presentada:

$$Q_{conducción} = U A \Delta T$$

Ec. 13

Siendo así, las características arquitectónicas que influyen directamente en la tasa de conducción de calor son:

- superficie (A)
- tipo de material, que determina la conductividad térmica (λ)
- espesor (e) – inversamente proporcional

196

3.1.2 Convección

En términos de convección en edificios, se puede clasificar el movimiento del aire en dos formas generales, debido a:

- diferencias de temperatura entre fluidos y superficies; y
- acciones externas, como el viento o un sistema activo.

Para la convección natural, de acuerdo con Glicksman (2010), dada la situación donde hay una diferencia de temperatura

Ecuación 12 -
tasa de conducción
eléctrica para un
conjunto de capas

Ecuación 13 -
intensidad de
flujo térmico por
conducción

de aire entre el interior (T_i) y el exterior (T_e) que promueve una reacción endotérmica en el edificio, dada la condición de verano. La temperatura superficial interior de la piel del edificio (T_s) es inferior a la temperatura del aire interior. La fina capa de aire cerca del cerramiento, del orden de magnitud aproximadamente igual a 5mm a 20mm, permanece en movimiento descendente paralelo a la superficie del cerramiento realizando con este, un intercambio térmico de calor no lineal. La tasa de transferencia de energía por movimiento de un fluido es proporcional al área del material y la diferencia de temperatura (entre el aire y la superficie del material).

$$Q_{convección} \sim A \Delta T_{s-i}$$

Ec. 14

La ecuación es expresada añadiéndose un coeficiente llamado coeficiente de transferencia térmica superficial (h) que es función de la propiedad y velocidad del fluido y la geometría de la superficie e incluso a veces, del nivel de temperatura. En otras palabras, el coeficiente de transferencia térmica superficial es proporcional a la velocidad del fluido y a su conductividad térmica.

197

Según Nayak; Prajapati (2006)¹⁴⁶, la tasa de convección de calor, medida en W, es directamente proporcional al coeficiente de transferencia térmica superficial (h), al área del elemento (A) y a la diferencia de temperatura entre la superficie ($T_{superf.}$) y el fluido (T_{fluido}), a una pequeña distancia de la misma, siendo dada por la siguiente ecuación:

$$Q_{convección} = h A (T_{superf.} - T_{fluido})$$

Ecuación 14 –
tasa de conducción
de calor
Ec. 15 (proporcionalidad)

Esta ecuación es apropiada para los casos con ventilación natural en espacios cerrados. Una vez que los intercambios

Ecuación 15 –
tasa de convección
de calor

térmicos no se dan solamente entre el fluido y la superficie, sino consecuentemente, entre las superficies de diferentes temperaturas, el aire servirá como agente de transferencia térmica entre las diversas superficies con diferentes temperaturas, produciendo movimientos ascendentes en las paredes calientes (temperatura superficial superior a la temperatura del aire), descendentes en las paredes frías y horizontal entre paredes de diferentes temperaturas (desde la caliente hacia la fría). La transferencia total de calor puede ser representada por la relación directamente proporcional entre el coeficiente de transferencia de calor y los cerramientos de diferentes temperaturas.

$$Q_{convección} = h A (T_{sup. caliente} - T_{sup.fria})$$

Ec. 16

198

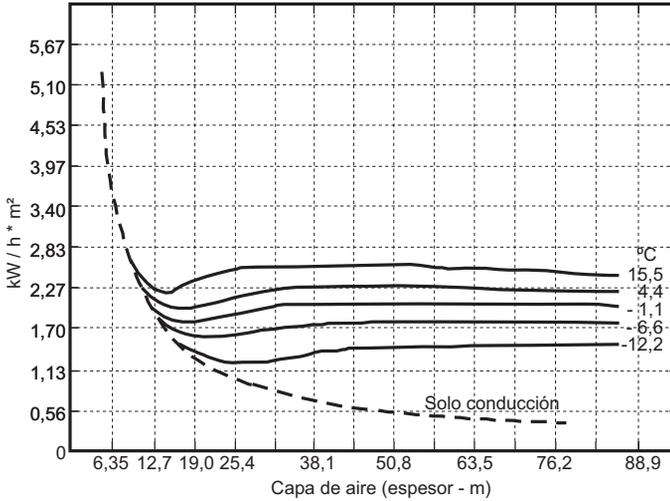
El coeficiente de transferencia térmica superficial (h) pasa a ser un elemento de gran importancia en la predicción de la convección. Para Nayak; Prajapati (2006)¹⁴⁷, además de la velocidad del fluido y de la orientación de la superficie, el valor numérico del coeficiente de transferencia de calor depende de la naturaleza del flujo térmico y de las propiedades físicas del fluido. Este coeficiente puede ser definido como la cantidad de calor transmitida a través de la unidad de área de una muestra de material, o de una estructura de espesor (e), dividida por la diferencia de temperatura entre las caras caliente y fría, en condiciones estacionarias. De este modo, se puede hacer una analogía entre el calor (energía) y las condiciones arquitectónicas (materia):

$$h = \frac{Q}{A (T_{caliente} - T_{fria})} = \frac{\lambda}{e}$$

Ecuación 16 –
tasa de convección
de calor

Ecuación 17 –
coeficiente de
conductancia
térmica superficial

Ec. 17



Glicksman (2010)¹⁴⁸, a través de la investigación mencionada en la figura, afirma que los efectos de flutualidad del coeficiente de transferencia térmica por convección son mínimos cuanto más pequeños los espacios o el gradiente térmico en ellos. El coeficiente h tiende a resumirse a transferencias térmicas con las superficies debido a la conductividad del aire. Cuando más aumentamos los valores dimensionales de los espacios o bien los gradientes térmicos en los mismos, el coeficiente h tiende a ser constante. En este caso, los intercambios térmicos ocurren tanto entre fluido y superficie, como entre superficies a través del fluido.

De acuerdo con Santamouris; Wouters (2006)¹⁴⁹, la eficiencia de la ventilación natural depende de la velocidad del fluido, del gradiente térmico, de la dimensión y características de las aberturas y orientación de las mismas. Macintyre (1990)¹⁵⁰ complementa afirmando que la orientación y localización de las aberturas deben favorecer máximas aberturas en la zona de captación de aire (presión positiva) y salidas de aire en cerramientos laterales u opuestos a la entrada (presión negativa).

En la realidad, los fenómenos de transferencia de calor ocurren simultáneamente y de modo integrados, nunca

Fig. 28 – coef. transferencia térmica por convección (Mod. de Glicksman, 2010)

aislados. Relacionando los fenómenos de la convección con la conducción y en analogía con la física de la resistencia eléctrica, Glicksman (2010)¹⁵¹ presenta que la tasa de conducción de calor para un conjunto de capas puede ser definida por la ecuación abajo.

$$R = \frac{1}{h A}$$

Ec. 18

Donde, comparándose con la ecuación de conducción (Ec. 10) de calor tenemos:

$$Q_{convección} = \frac{(T_{caliente} - T_{fria})}{\sum_1^n \frac{1}{hA}}$$

Ec. 19

200

Y para una situación de transferencia de calor dada por convección/conducción/convección, se puede decir que:

$$Q = \frac{(T_e - T_i)}{\left(\frac{1}{hA}\right)_e + \left(\frac{e}{\lambda A}\right)_{material} + \left(\frac{1}{hA}\right)_i} = \frac{(T_e - T_i) A}{\left(\frac{1}{h}\right)_e + \left(\frac{e}{\lambda}\right)_{material} + \left(\frac{1}{h}\right)_i}$$

Ec. 20

Ecuación 18 –
tasa de conducción
de calor

Ecuación 19 –
tasa de conducción
de calor

Ecuación 20 –
tasa de conducción
de calor (cond. x
conv.)

La resistencia a la conducción del calor, producida por el material, es propia para cada heterogeneidad presente en la composición de las diferentes capas (c1, c2, c3... cn) del componente. Para cada composición (C1, C2, C3...Cn) se obtiene una conductividad diferente. La parcela por conducción es dada por el sumatorio de las tasas de cada composición.

Ecuación 21 –
parcela de
conducción

$$\frac{e}{\lambda_{material}} = Q_{C1} + Q_{C2} + Q_{C3} + \dots + Q_{Cn}$$

Ec. 21

Las tasas de cada composición pueden ser calculadas sumándose las diferentes conductividades o las diferentes resistencias, entendidas como resistencias paralelas entre si y en serie con relación a las superficies interna/externa y capas comunes en la sección del componente.

$$Q_{Cn} = \frac{(T_e - T_i) A}{\left(\frac{1}{h}\right)_e + \left[\left(\frac{e}{\lambda}\right)_{c1} + \left(\frac{e}{\lambda}\right)_{c2} + \left(\frac{e}{\lambda}\right)_{c3} + \dots + \left(\frac{e}{\lambda}\right)_{c''n}\right] + \left(\frac{1}{h}\right)_i}$$

Ec. 22

O bien, según las diferentes resistencias térmicas producidas por las distintas composiciones de capas en el componente, determinando una resistencia equivalente que trabaja en serie conforme lo dicho anteriormente:

$$q = \frac{T_{caliente} - T_{fria}}{\frac{e}{\lambda A_{c1}}} + \frac{T_{caliente} - T_{fria}}{\frac{e}{\lambda A_{c2}}} + \frac{T_{caliente} - T_{fria}}{\frac{e}{\lambda A_{c3}}} + \frac{T_{caliente} - T_{fria}}{\frac{e}{\lambda A_{c''n}}}$$

$$q = \frac{T_{caliente} - T_{fria}}{R_{equivalente}}$$

201

Ec. 23

La secuencia de cálculos presentada es una simplificación de lo que ocurre en la realidad. La simplificación se da por no considerar la propagación de calor en la dirección lateral entre cada una de las composiciones. La dispersión de calor por la lateral de cada composición no es considerada por tratarse de un cálculo que solo se considera el flujo de calor transversal al componente, aislándose cada composición como si no hubiera intervención entre las composiciones. Hecho que simplifica la realidad y facilita el cálculo.

Ecuación 22 - tasa de conducción de calor (cond. x conv.) – caso heterogéneo

Siendo así, las características arquitectónicas que influyen directamente en la tasa de convección de calor son:

Ecuación 23 – resistencia equivalente en serie

- superficie (A)
- geometría de la superficie (rugosidad), que interviene en el coeficiente de transferencia térmica superficial (h), también función de la propiedad y velocidad del fluido.

3.1.3 Radiación

De acuerdo con la 3ª Ley de la Termodinámica todos los cuerpos emiten energía, al cual es imposible llegar a la temperatura de cero absoluto (0 K), donde las oscilaciones y vibraciones de las partículas, átomos o moléculas, son nulas.^{lv}

En un cuerpo, todas las partículas no vibran del mismo modo – las ondas electromagnéticas emitidas presentan un continuo de frecuencias o de longitudes de onda (inversamente proporcionales), por eso, el espectro correspondiente será también continuo. La variación de la radiancia espectral, intensidad de radiación emitida por longitud de onda, representa la diversidad cinética de las partículas.

Dado que la intensidad total de radiación térmica (I) es la energía emitida (E) por unidad de tiempo (potencia) y por unidad de superficie del cuerpo, la energía emitida por este cuerpo será el producto de la intensidad total de radiación térmica, su superficie y el período de tiempo:

$$E = I \times A \times \Delta t$$

Ec. 24

También descrita como:

$$P = I \times A$$

Ec. 25

Ecuación 24 –
intensidad total de
radiación térmica
emitida por un
cuerpo

Ecuación 25 –
energía emitida por
un cuerpo

^{lv} La temperatura de un cuerpo es una medida indirecta de la energía cinética media de las partículas del cuerpo.

Relacionando intensidad de radiación térmica y temperatura, veremos una constancia entre las dos: la intensidad de radiación térmica varía con la cuarta potencia de la temperatura absoluta, constante de Stefan-Boltzmann (σ), aplicable solamente para el cuerpo negro.

$$\sigma = \frac{I}{T^4} = 5,67 \times 10^{-8} [W/m^2K^4]$$

Ec. 26

También descrita como:

$$I = \sigma \times T^4$$

Ec. 27

Entonces,^{lvi}

$$P = \sigma \times T^4 \times A$$

Ec. 28

203

Para describir cuerpos reales, se necesita una corrección, lo que llamamos coeficiente de emisividad térmica superficial (ϵ), factor numérico comprendido entre 0 y 1, que depende de la constitución del cuerpo emisor (0 para el reflector perfecto y 1 para el cuerpo negro)^{lvii}.

lvi En este momento, representamos la intensidad de flujo térmico (tasa de calor) por la letra P por hacer una referencia directa entre ella y el concepto físico de potencia. Más adelante, la representaremos por la letra Q por expresar calor.

lvii El cuerpo negro es un cuerpo ideal, que absorbe o emite toda la radiación incidente. La radiación emitida por el solo depende de su temperatura y no de su constitución.

Ecuación 26 - constante de Stefan-Boltzmann

Ecuación 27 - constante de Stefan-Boltzmann

Ecuación 28 - tasa de radiación de calor

$$P = \varepsilon \times \sigma \times A \times T^4$$

Ec. 29

- Caso abstracto

Con base en la ecuación anterior, para la transferencia de radiación por unidad de tiempo (Q) entre dos superficies planas paralelas (1 y 2) de igual dimensión y temperaturas uniformes, respectivamente T₁ y T₂, podemos decir:

$$Q_{12} = \varepsilon_{ef} \times \sigma \times A \times (T_1^4 - T_2^4)$$

Ec. 30

Donde, la emisividad efectiva es dada por: ^{lviii}

$$\varepsilon_{ef} = \left[\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right]^{-1}$$

204

Ec. 31

Reuniendo las dos ecuaciones anteriores, tenemos:

$$Q_{1,2} = \left[\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right]^{-1} \times \sigma \times A \times (T_1^4 - T_2^4)$$

Ec. 32

Ecuación 29 –
energía emitida por
unidad de tiempo
por cuerpos reales

Ecuación 30 –
transf. de radiación
en una situación
abstracta
(simplificada)

Ecuación 31 –
emisividad efectiva

Ecuación 32 -
transferencia de
radiación en una
situación abstracta

- Caso real

En los casos de los edificios, la exposición atmosférica es un importante factor que interviene en la transferencia de

^{lviii} Sería lo mismo que decir que, para un cuerpo negro, la emisividad efectiva (ε_{ef}) sería 1 y que toda la ecuación sirve de corrección en función de la variación respecto no solamente a la temperatura sino también, su constitución material.

radiación, dada por:

$$Q_{radiación} = \varepsilon \times \sigma \times A \times (T_{edificio}^4 - T_{cielo}^4)$$

Ec. 33

La misma ecuación puede ser descrita de algunas otras formas:

$$\frac{Q_{radiación}}{A} = \varepsilon \times \Delta R + h_r \times (T_{edificio} - T_{ambiente})$$

Ec. 34

Donde,

$$h_r = \frac{\varepsilon \times \sigma \times (T_{edificio}^4 - T_{ambiente}^4)}{(T_{edificio} - T_{ambiente})}$$

205

Ec. 35

Donde,

h_r es el coeficiente de transferencia de calor por radiación.

ΔR es la diferencia entre las longitudes de ondas largas de la radiación incidente en la superficie del cielo y su entorno, y de la radiación emitida por un cuerpo negro a temperatura ambiente.

Ecuación 33 – tasa de radiación de calor para situaciones reales

Algunos autores, como Frota; Schiffer (2001)^{lix}, desprecian por representar poco en el cálculo de necesidad térmica, desconsiderando la diferencia entre las temperaturas mencionadas o la consideran igual a 5 W/m².0C, debido a la emisividad de los materiales de construcción corrientes.^{lix}

Ecuación 34 - tasa de radiación de calor para situaciones reales

Ecuación 35 - transferencia de radiación para situaciones reales

lix Aluminio pulido = 0,05; hierro galvanizado = 0,2

De este modo, por depender directamente de la emisividad, los efectos de la tasa de radiación de calor solo pasan a ser importantes cuando la temperatura del foco emisor es elevada.

Según Rivero (1986, p.83)¹⁵³, para integrar el conjunto de elementos del clima que inciden térmicamente en los componentes opacos, se ha desarrollado en concepto de temperatura equivalente, o temperatura Sol-aire. Este concepto ha sido desarrollado por Mackey (1942) y adoptado por muchos autores como Olgyay (1963, p.54) y ASHRAE (2005). El concepto implica en reconocer que la temperatura del aire y la radiación solar actúan conjuntamente para producir la sensación única del calor en el cuerpo humano.¹⁵⁴ Se trata de la combinación entre la radiación solar incidente, el intercambio de energía radiante con el cielo y con el entorno exterior, y el intercambio térmico por convección con el aire exterior.

206

El concepto de temperatura equivalente (t_{eq}) integra tanto los elementos del clima como las características y propiedades de la superficie receptora, reuniendo los efectos producidos por la radiación y por el aire en los componentes. Para Nayak; Prajapati (2006)¹⁵⁵, este concepto se refiere a la combinación de los coeficientes de transferencia de calor por radiación (h_r) y convección (h), usualmente definidos como coeficientes de transferencia de calor superficial.

Según Rivero (1986), se trata de la resultante de la suma de la temperatura exterior (T_e) y el equivalente térmico (T_t) del efecto combinado de la radiación solar incidente y los intercambios térmicos secos por convección y radiación entre una superficie y su medio.

$$T_{eq} = T_e + T_t$$

Ec. 36

En el equivalente térmico intervienen el coeficiente de absorción (α) y de emisión (ϵ) del material en relación a la

Ecuación 36 –
temperatura
equivalente

(Lamberts; Dutra; Pereira, 1997, p.58)

energía radiante. Algunos autores, como Lamberts; Dutra; Pereira (1997)¹⁵⁶, simplifican el método, desconsiderando los efectos de la emisividad. De este modo, aplicándose al cálculo del flujo térmico, la temperatura sol-aire puede ser considerada el producto del coeficiente de absorción (α), de la intensidad de radiación solar global incidente (I_g) – medida en W/m^2 ,^{lx} y la resistencia superficial externa del componente (R_{se}) – medida en $m^2 \cdot K/W$.

$$T_{eq} = \alpha \times I_g \times R_{se}$$

Ec. 37

En los métodos de cálculo, la temperatura equivalente no siempre será mencionada directamente y tampoco descrita de esta forma pero, siempre que utilizarnos sus variables, estaremos utilizando su concepto, aunque indirectamente.

Siendo así, las características arquitectónicas que influyen directamente en la tasa de convección de calor son:

207

- superficie (A)
- característica del material cuanto a sus capacidad de emitir y absorber calor, que interviene en el coeficiente de transferencia térmica por radiación (h_r) y en la temperatura equivalente.

3.1.4 Evaporación

Según Nayak; Prajapati (2006), la tasa de evaporación ($Q_{\text{evaporación}}$) depende de algunos factores que podemos clasificar, conforme la relación abajo:

^{lx} Función de la orientación e inclinación del cerramiento o ángulo de incidencia solar, la latitud y altitud, ubicación y tipo de cielo, del factor (de protección) solar, de la hora del día y del día del año.

Ecuación 37 – temperatura equivalente

- directamente proporcional:
 - ◆ temperatura
 - ◆ área de superficie libre de agua
 - ◆ movimiento del aire
- inversamente proporcional:
 - ◆ presión atmosférica

3.1.5 Condensación

En los cambios de estado de gas al estado líquido, la resistencia térmica adecuada a los cuerpos, debe atender a la siguiente ecuación:

$$R = \left(\frac{T_e - T_i}{T_i - T_r} \right) \times R_{si}$$

Ec. 38

208

Donde,

T_e es la temperatura exterior

T_i es la temperatura interior

T_r es la temperatura de rocío

T_{si} es la resistencia térmica superficial interna del componente

El ascenso de la humedad en el interior de los edificios es ocasionado a través de diferentes fuentes como la transpiración y respiración de personas y animales, evapotranspiración de plantas, por el uso del agua (baños, aseos, cocinas, etc.), etc.

Las diferencias de temperatura en el ambiente interior pueden ser provocadas por la presencia de puentes térmicos importantes y, con el apareamiento de condensaciones, además de acelerar el proceso de degradación de materiales y elementos constituyentes de los componentes de la edificación, pueden afectar a la salud humana al favorecer el crecimiento de hongos y bacterias.

Ecuación 38 -
resistencia térmica
adecuada a los
cuerpos

3.2 ESTADO ESTACIONARIO

“Over the past twenty years techniques for analyzing, building energy use have become more sophisticated as the capabilities of automatic computing devices have increased. A strong push for modeling energy use came after the 1973 energy crisis, when people needed to determine how much energy buildings were using and to identify how that energy use could be reduced. Since then, there have been many advances in modeling, and although none has been dramatic, they have combined to produce new and less expensive techniques for energy analysis. The advances do not guarantee the accuracy of the results, but mature analysis techniques are available that can serve as the basis for decision making in the design of new buildings or in the evaluation of existing ones.” (SPEILVOGEL, 1981 apud HUNN, 1996, p.219)

209

Según Serra; Coch (1995)⁽¹⁵⁷⁾, la estimación del desempeño térmico puede ser dada a través de dos métodos: estático y dinámico. El primer tiene como objetivo conocer las características térmicas medias interiores de un edificio con comportamiento natural (temperatura media interior). Y el segundo, objetiva estimar las oscilaciones-tipo interiores respecto a las variaciones del clima exterior de un edificio sometido a las mismas condiciones naturales pero en un período determinado. Busch (1996)¹⁵⁸ añade un tercer método comprendido como el intervalo entre los citados por Serra & Coch (1995) denominado “estado casi estático”.

El método estático considera las temperaturas interior y exterior constantes, ya que no hay acumulación de energía en el edificio, en un periodo infinitesimal de tiempo. De este modo, nos presenta la ventaja de la simplicidad de cálculo, a través de la obtención de unos valores de referencia donde, según Martín;

Anmella (2009), más importante que calcular con precisión es calcular correctamente.

El método dinámico considera las oscilaciones climáticas y la acumulación de energía en el edificio en un determinado período de tiempo. Es compuesto por procesos de cálculo tan complejos que inviabilizan e imposibilitan su realización manual. Se hace necesaria la adopción de herramientas informáticas en auxilio al cómputo de las variables, a fin de viabilizar la estimación de resultados con un cierto dominio y garantía sobre el proceso y el producto.

Las normas brasileñas que reglamenta los procedimientos de cálculo y simulación, definición de estrategias de acondicionamiento térmico y valores límites admisibles se fundamenta en los dos métodos citados.

Los capítulos siguientes relativos a los estados y balances describen diferentes métodos de cálculo y análisis de los requerimientos energéticos para viviendas. El enfoque se da en los métodos de modelación matemáticos aplicados en las herramientas de simulación energética actualmente usables. A partir de un recorrido en los diferentes métodos utilizados en diferentes períodos.

En seguida presentamos los modelos de cálculo estáticos y dinámicos, empíricos y simplificados, fundamentándonos en el método del balance térmico que considera la intensidad de flujo térmico por diferentes mecanismos de intercambio de calor seco por conducción, ventilación y ganancias internas y externas solares, a partir de las publicaciones de ASHRAE (2005) y los estudios de Serra; Coch (1995), Lamberts; Dutra; Pereira (1997), Frota; Schiffer (2001), Nayak; Prajapati (2006), bien como las normas brasileñas realizadas por la Asociación Brasileña de Normas Técnicas (ABNT).

3.2.1 Método simplificado

Bajo el estado estacionario, el balance de calor presente en el aire del ambiente (Q_{total}) puede ser descrito como la suma de intensidades de flujos térmicos debido a cuatro factores:

conducciones, ventilación y ganancias internas y externas.

$$Q_{total} = Q_c + Q_v + Q_s + Q_i$$

Ec. 39

Donde,

Q_c es la intensidad de flujo térmico por conducción (W)

Q_v es la intensidad de flujo térmico por ventilación (W)

Q_s es la intensidad de flujo térmico debido a las ganancias térmicas solares (W)

Q_i es la intensidad de flujo térmico debido a las ganancias térmicas internas (W)

3.2.1.1 Conducción

La intensidad de flujo térmico por conducción (Q_c) a través de componentes puede ser descrita como:^{lxi}

211

$$Q_c = A \times U \times \Delta T$$

Ec. 40

Donde,

A es el área de la superficie (m²)

U es la transmitancia térmica (W/m²K)

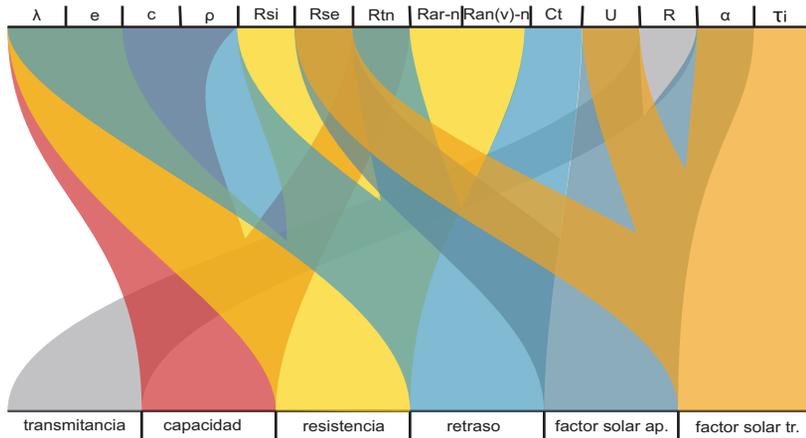
ΔT es la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior (K)

La ABNT NBR 15220-2:2005¹⁵⁹ en mucho puede aportar al estudio de los métodos simplificados. La Fig. 29 presenta las variables trabajadas en esta normativa. (Anexo S)

Ecuación 39 - balance térmico estático

Ecuación 40 - intensidad de flujo térmico por conducción

^{lxi} Los procesos de cálculo estático no consideran aspectos como la capacidad térmica de los materiales.



Según la ABNT NBR 15220-2:2005¹⁶⁰, la transmitancia térmica (U) de un determinado componente (i) es el inverso de la resistencia térmica total (R_T):

$$U_i = R_T^{-1}$$

212

Ec. 41

Descrita como:

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

Fig. 29 –
Variables de ABNT
NBR 15220

Ec. 42

Ecuación 41 –
transmitancia
térmica de un
componente

La misma ecuación de intensidad de flujo térmico por conducción también puede ser descrita como:

Ecuación 42 –
resistencia térmica

$$Q_c = \frac{A \times \Delta T}{R}$$

Ecuación 43 –
intensidad de
flujo térmico por
conducción

Ec. 43

La resistencia total es dada por:

Ecuación 44 –
resistencia térmica
total

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si}$$

Ec. 44

Donde,
 R_{se} es la resistencia superficial externa
 R_t es la resistencia del componente con capas homogéneas o heterogéneas
 R_{si} es la resistencia superficial interna

Las resistencias térmicas superficiales (interna o externa) describen las capacidades aislantes de las capas de aire más cercanas al componente que, por estar en contacto con éste, tienen una convección inferior a la del aire del ambiente. La resistencia térmica superficial es dada por:

$$R_s = h^{-1}$$

Ec. 45

Para componentes con capas homogéneas, utilizando los coeficientes de conductancia térmica superficial (h), la podemos describir de la siguiente manera:

213

$$R_T = h_e^{-1} + \left(\sum_{j=1}^m \frac{e_j}{\lambda_j} \right) + h_i^{-1}$$

Ec. 46

Donde,
 e_j es el espesor del elemento j
 λ_j es el coeficiente de conductividad térmica del elemento j
 h es el coeficiente de conductancia térmica interna y externa

Según la ABNT NBR 15220-2:2005, la resistencia térmica del componente aplicable a capas homogéneas (R'_t) y heterogéneas (R_t) se dará por la relación entre las superficies y las características térmicas de cada uno de los elementos

Ecuación 45 –
resistencia térmica superficial

Ecuación 46 –
resistencia térmica total

constituyentes (j) de cada componente (k), a través de la siguiente correlación:

$$R_t = \frac{A_k}{\frac{A_k}{R'_t}}$$

Ec. 47

Donde,

A_k es el área de cada componente

Lo que corresponde a:

$$R_T = h_e^{-1} + \left[\sum_{k=1}^n \left(\frac{\sum A_k}{\sum \left(\frac{A_k}{\left(\sum_{j=1}^m \frac{e_j}{\lambda_j} \right)_k} \right)} \right) \right] + h_i^{-1}$$

214

Ec. 48

Por tanto, la transmitancia térmica de un componente (U_i) es definida por:

$$U_i = \left\{ h_e^{-1} + \left[\sum_{k=1}^n \left(\frac{\sum A_k}{\sum \left(\frac{A_k}{\left(\sum_{j=1}^m \frac{e_j}{\lambda_j} \right)_k} \right)} \right) \right] + h_i^{-1} \right\}^{-1}$$

Ecuación 47 -
resistencia térmica
total aplicable a
capas homogéneas
y heterogéneas

Ecuación 48 -
resistencia térmica
total aplicable a
capas homogéneas
y heterogéneas

Ecuación 49 -
transmitancia
térmica de un
componente

Ec. 49

Dado que la U es medida en W/m^2K y lo que se busca es la tasa de conducción de calor a través de diversos componentes, debemos proseguir aplicando la última ecuación a la primera, presentada en este apartado, de modo a representar el cálculo de esta tasa para los diferentes componentes del edificio.

$$Q_c = \sum_{i=1}^{N_c} A_i \times U_i \times \Delta T_i$$

Ec. 50

Donde,

i es el elemento del componente

N_c es el número de componentes

En el caso en que la temperatura exterior sea superior a la interior o donde la superficie del componente es expuesta a la radiación solar, tendremos que considerar el compuesto de intervinientes climáticas reunidas en la temperatura equivalente (T_{eq}).

$$\Delta T = T_{eq} - T_i$$

215

Ec. 51

Hemos visto que la temperatura equivalente es dada por:

$$T_{eq} = T_e + T_t$$

Ec. 52 Ecuación 50 - tasa de conducción de calor a través de diversos componentes

Donde,

T_e es la temperatura exterior

T_t es el equivalente térmico

Ecuación 51 - diferencia de temperaturas en casos de exposición solar

Según ASHRAE (2005) y considerando la absorción, la emisión, la incidencia solar y la resistencia superficial, tenemos:

Ecuación 52 - temperatura equivalente

$$T_{eq} = T_e + \frac{\alpha \times I_g}{h_e} - \underbrace{\frac{\varepsilon \times \Delta R}{h_e}}_{\substack{\text{corrección} \\ \text{para la} \\ \text{radiación} \\ \text{de onda} \\ \text{larga}}}$$

Ec. 53

Donde,

T_e es la temperatura exterior

α es el coeficiente de absorción de superficies (absortancia) para la radiación solar

I_g es la intensidad de radiación solar global incidente

ε es el coeficiente de emisividad (emitancia hemisférica) de superficies

ΔR es la diferencia entre la radiación de onda larga incidente por la superficie del cielo y entornos, y la radiación emitida por un cuerpo negro a temperatura ambiente

216

La parcela correspondiente a la corrección para radiaciones de ondas largas recibe valores distintos según la posición de la superficie. Para superficies horizontales que reciben solamente la radiación de onda larga del cielo, el termo es considerado igual a 4K, partiendo de $\Delta R = 63 \text{ W/m}^2$, una emisividad de 1 y una conductancia térmica superficial exterior superior a $15 \text{ W/m}^2\text{K}$. Para superficies verticales la parcela es considerada nulo, una vez que en casos de una alta intensidad de radiación solar la radiación recibida desde las superficies del entorno (suelo y edificios) es muy superior a la recibida desde el cielo, posibilitando desconsiderarla.

Por esta razón, algunos autores, como Frota; Schiffer (2001, p.48)¹⁶¹ y Lamberts; Dutra; Pereira (1997)¹⁶², utilizan un método simplificado donde las características de emisividad

Ecuación 53 –
temperatura
equivalente

son desconsideradas, resultando en:

$$\Delta T = T_e + \frac{\alpha \times I_g}{h_e} - T_i$$

Ec. 54

Lo que simplifica todo el proceso de cálculo a la siguiente ecuación:

$$Q_c = A \times U \times \left(T_e + \frac{\alpha \times I_g}{h_e} - T_i \right)$$

Ec. 55

3.2.1.2 Ventilación Natural

Existen dos procedimientos para el cálculo de la ventilación natural por el método simplificado:

217

- por renovaciones horarias
- por caudal de aire

El método por renovaciones horarias tiende a ser más sencillo una vez que considera menos variables. En este sentido, para Nayak; Prajapati (2006)¹⁶³, la intensidad de flujo térmico por ventilación (Q_v) depende de la tasa de intercambio de aire debido entre el interior y el exterior del edificio que se da por:

$$Q_v = \rho \times c \times \frac{N \times V}{3600} \times \Delta T_{(T_e - T_i)}$$

Ecuación 54 - diferencia de temperaturas en casos de exposición solar

Ec.56 Ecuación 55 – intensidad de flujo térmico por conducción

Donde,

ρ es la densidad del aire (1,2 kg/m³)

c es el calor específico del aire (1005 kJ/kg·K)

Ecuación 56 - intensidad de flujo térmico por ventilación

N es el número de renovaciones horarias
 V es el volumen de aire (m^3) – que dividido por 3600 representará el volumen en m^3/s

$T\Delta_{(T_e-T_i)}$ es la diferencia entre las temperaturas exterior e interior (K)

En el caso de sobrepasar los límites de climatización natural, el cálculo de la potencia a ser instalada se daría a través de la fijación de la temperatura interior como temperatura de consigna y la temperatura exterior como temperatura extrema del día de diseño. En este caso, la intensidad de flujo térmico pasaría a ser el valor de la potencia a ser instalada.

Según Clezar; Nogueira (1999)¹⁶⁴, la masa específica (densidad) del aire (ρ , medida en kg/m^3) es obtenida a partir de la siguiente ecuación:

218

$$\rho = \frac{P_{atm}}{R \cdot T}$$

Ec. 57

Donde,

P_{atm} es la presión atmosférica del aire (Pa)

R es la constante individual del aire (287 J/kg K)

T es la temperatura del aire ($^{\circ}C$)

Según Frota; Schiffer (2001)¹⁶⁵, considerando los valores numéricos de la densidad y de calor específico del aire, tenemos:^{lxii}

Ecuación 57 –
masa específica
del aire

$$Q_v = 0,335 \times N \times V \times \Delta T_{(T_e-T_i)}$$

Ec. 58

Ecuación 58 -
intensidad de
flujo térmico
por ventilación
(simplificada)

lxii
igual a 0,35.

Frota; Schiffer (2001, p.125) consideran la constante

El producto del número de renovaciones (N) y el volumen de aire del ambiente (V) representa los intercambios de aire controlados y no controlados, respectivamente, ventilación e infiltración. Para calcular el contenido de calor en este volumen de aire, Lamberts; Dutra; Pereira (1997, p.98) recorren al concepto de entalpía dividiendo el proceso de cálculo en dos partes: calor sensible y calor latente.

A través del concepto de la entalpía podemos calcular la cantidad de calor presente en el aire que causa un cambio en la temperatura y también la cantidad de calor absorbida o liberada (procesos endotérmicos y exotérmicos, respectivamente) en un proceso de cambio de estado, o sea, sin cambio de temperatura.

De este modo, con la inserción del calor latente en el cálculo, este se acerca a la cantidad necesaria de energía que debe ser gastada para alterar la temperatura y la humedad del aire que infiltra en el ambiente a partir del exterior para que el aire exterior obtenga las mismas condiciones del aire interior.

De un modo simplificado, este acercamiento se da a través de la división de la ecuación de la intensidad de flujo térmico por ventilación en dos. Donde antes teníamos:

219

$$Q_v = \rho \times \frac{N \times V}{3600} \times c \times \Delta T_{(T_e - T_i)}$$

Ec. 59

Ahora tenemos:

$$Q_v = \rho \frac{N \times V}{3600} \left(\underbrace{c \times \Delta T_{(T_e - T_i)}}_{\text{calor sensible}} + \underbrace{\Delta H_{(T_e - T_i)}}_{\text{calor latente}} \right)$$

Ecuación 59 - intensidad de flujo térmico por ventilación

Ec. 60 - intensidad de flujo térmico sensible y latente por ventilación

Otra vez los delimitadores están presentes en la ecuación

para facilitar su entendimiento. En las operaciones del calor sensible tenemos el producto del calor específico del aire (c) por la diferencia de temperatura ($\Delta T_{(T_e-T_i)}$) y en las operaciones del calor latente tenemos la diferencia de entalpía (ΔH) – medido en $\text{kJ/kg}_{\text{aire seco}}$, entre el aire exterior y el aire interior. En otras palabras, por un lado tenemos la cantidad de calor sensible presente en una unidad de masa de aire y por otro, tenemos la cantidad de calor latente presente en la misma unidad de masa de aire seco.

El método de cálculo de la ventilación natural por caudal de aire para ambientes cerrados debe considerar el movimiento del aire debido a la:

- acción del viento
- acción de la diferencia de temperatura
- acciones combinadas por ambas.

Macintyre (1990)¹⁶⁶ presenta una secuencia de cálculo de la ventilación natural debido a la acción del viento (ft^3/min o cfm) considerando las siguientes variables: la orientación y localización de las aberturas, a través de la aplicación del coeficiente de presión (C_p); la dimensión de la abertura (A , medido en ft^2); y la velocidad del fluido, conociéndose la velocidad promedio del viento local (v , medido en ft/min) y adoptando un 50% de su valor como base de cálculo:

$$Q_{\text{viento}} = C_p A v$$

Ec. 61

El coeficiente de presión (C_p) está relacionado con el ángulo de incidencia del viento en la abertura. Macintyre (1990)¹⁶⁷ adopta valores de 0,5 a 0,6 para vientos perpendiculares a la abertura y 0,25 a 0,35 para vientos oblicuos a la abertura. Clezar; Nogueira (1999)¹⁶⁸ demuestra que el coeficiente de presión (C_p) es definido a partir de la aplicación de la Ecuación de Bernoulli para un flujo no perturbado de un fluido de

Ecuación 61 –
ventilación natural
general en espacios
cerrados, debido al
viento

velocidad (V_∞) lejos de la superficie y un punto ubicado sobre una superficie, correspondiente a la i -ésima línea de corriente de aire (fluido).

$$\frac{1}{2} V_\infty^2 \rho_{ar} = \frac{1}{2} V_j^2 \rho_{ar} + P_j$$

Ec. 62

O bien,

$$P_j = \underbrace{\left[1 - \left(\frac{V_j}{V_\infty} \right)^2 \right]}_{C_{P,i}} \times \underbrace{\left(\frac{1}{2} V_\infty^2 \rho_{ar} \right)}_{(P_v)_\infty}$$

Ec. 63

Donde,

V_∞ velocidad del viento lejos de la superficie (m/s)

V_j velocidad del viento tangente a la superficie en la posición de la i -ésima línea de corriente de aire (m/s)

ρ_{ar} masa específica del aire (kg/m³)

P_j presión efectiva sobre la superficie en la i -ésima línea de corriente de aire (Pa)

$C_{P,i}$ coeficiente de presión del viento en la posición

$(P_v)_\infty$ presión de la velocidad del viento lejos de la superficie

221

La Ecuación de Bernoulli puede ser comprendida como siendo un balance entre los efectos del viento lejano a la superficie-barrera (V_∞) y aquellos producidos en la misma a partir de la relación entre de la presión efectiva en esta superficie (P_j) y la velocidad del aire tangente a ella (V_j).

Así, cuando:

Ecuación 62 –
Ecuación de Bernoulli

Ecuación 63 –
Coeficiente de presión

$$V_j = 0 \rightarrow C_{P,j} = 1$$

$$V_j = V_\infty \rightarrow C_{P,j} = 0$$

$$V_j > V_\infty \rightarrow C_{P,j} < 0$$

Para Macintyre (1990)¹⁶⁹, la ventilación natural en espacios cerrados debido a la acción de gradientes térmicos, conocido como efecto chimenea, proporciona un caudal (ft³/min o cfm) que puede ser, representado por el producto de: un coeficiente llamado constante de proporcionalidad; la dimensión de la abertura (A, medido en ft²); y la velocidad, aquí representada por la relación entre la distancia vertical (desnivel) entre las aberturas de entrada y salida (Z, medido en ft²) y el gradiente térmico (°F), diferencia entre la temperatura media del aire interior a la altura de la abertura de salida y la temperatura del aire exterior.

222

$$Q_{chimenea} = 9,4 A \sqrt{Z (T_i - T_e)}$$

Ec. 64

En los casos de aberturas de dimensiones diferentes, se considera la abertura de menor dimensión acrecida de un factor porcentual. Esta consideración debe ser realizada una vez que la relación entre las aberturas de entrada y salida del aire produce una resultante exponencial y no lineal, donde se podría adoptar el valor promedio entre las dimensiones diferentes.

La combinación de los efectos por acción del viento y por la acción del gradiente térmico deben ser sumadas a fin de calcularse el flujo de aire total en un ambiente cerrado. Pero esta suma debe recibir una corrección justificada de modo similar a la corrección realizada en el cómputo del caudal por efecto chimenea. Los caudales encontrados debidos a cada uno de

Ecuación 64 –
ventilación natural
general en espacios
cerrados, debido al
efecto chimenea

los efectos no pueden ser simplemente sumados una vez que la acción combinada de los mismos no resulta en un gráfico lineal sino exponencial. De este modo, el caudal por efecto chimenea, antes de ser sumado al caudal por efecto del viento, es reducido según la curva exponencial de R. Jorgensen, presentada en *Fan Engineering*.

$$Q_v = Q_{viento} + Q'_{chimenea}$$

Ec. 65

El caudal (Q , medido en m^3/s) necesario para extraer el calor de un determinado ambiente es dado por la relación entre: la cantidad de calor a ser extraído (q_T , medido en W); el calor específico a presión constante (C_p , medido en $J/kg K$); la masa específica del aire (ρ , medida en kg/m^3).

$$Q = \frac{q_T}{C_p \rho (T_i - T_e)}$$

223

Ec. 66

La cantidad de calor a ser extraído (q_T) es obtenida a través del cálculo del balance térmico, o bien, a través del cálculo simplificado:

- cálculo de la transmitancia térmica de la cubierta (U_c , W/m^2K)
- cálculo de la temperatura equivalente (T_{eq} , $^{\circ}C$)
- cálculo del flujo de calor por la cubierta (q_c , W)
- cálculo del calor total a ser extraído (q_T , W), suma del (q_c) con las cargas térmicas internas (q_i).

La ecuación adoptada por Macintyre (1990)¹⁷⁰ para el cálculo del caudal por efecto chimenea es una variación de la ecuación de caudal de aire que pasa por una abertura, utilizada por Santamouris; Peters (2010)¹⁷¹. Cuando se conoce el

Ecuación 65 – ventilación natural general en espacios cerrados, debido a la acción combinada

Ecuación 66 – caudal para remoción de calor

diferencial de presión, el flujo de aire que pasa por una abertura de dimensiones largas puede ser calculado a través de esta ecuación.

$$Q = C_d A \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\rho}}$$

Ec. 67

Donde,

Q es el caudal de aire (m^3/s)

C_d es el coeficiente de descarga de la abertura

A es la superficie de la abertura (m^2)

ΔP es la diferencia de presión a través de la abertura (Pa)

ρ es la densidad del aire (kg/m^3)

224

Pelletret et al (1991)¹⁷² describe que el coeficiente de descarga de la abertura es una función de la diferencia de temperatura, la velocidad del aire y la altura de la abertura. Según Iqbal (2012)¹⁷³, el coeficiente de descarga puede ser definido como la razón entre el flujo real de aire de un orificio por el flujo ideal de aire por el mismo orificio.

Para Iqbal (2012)¹⁷⁴, los valores del coeficiente de descarga de abertura son utilizados comúnmente como una constante en la ecuación del flujo de aire por un orificio. Estos valores constantes solo son validos en situaciones en que las aberturas están constantemente abiertas, una vez que su uso en aberturas practicables pueden tender a resultados erróneos. El cómputo de este coeficiente es demostrado en Allard (1998)¹⁷⁵ y experimentos con este objetivo son reportados por Flourentzou et al (1998)¹⁷⁶ e Iqbal (2012)¹⁷⁷. Según Idel’Cik (1969) apud Clezar; Nogueira (1999)¹⁷⁸ los valores del coeficiente pueden ser:

Ecuación 67 –
flujo de aire por un
orificio

Aberturas	C_d
Venecianas con 50% de área libre	0,40
Basculante (60°)	0,58
Aberturas con bordes vivos	0,62
Aberturas con bordes curvos	0,85

Tab. 1

Macintyre (1990)¹⁷⁹ relaciona diferentes aberturas en el cómputo del caudal de aire presente en un espacio cerrado. Santamouris; Peters (2010)¹⁸⁰ relaciona las diferencias de presión existentes en lados opuestos de una misma ventana para calcular la cantidad de caudal que pasa por la misma, reuniendo diversas variables en un solo coeficiente.

225

De acuerdo con Clezar; Nogueira (1999)¹⁸¹, la secuencia de cálculo puede ser menos simplificada, incorporando variables a partir del diferencial de presión a fin de determinar:

- (Q_j) el caudal obtenido en función de aberturas existentes, o
- (A_T) las dimensiones de aberturas necesarias para resultar en un caudal determinado de ventilación natural.
- (Q_h) el caudal necesario para remover la humedad del aire
- (HR_i) la humedad relativa del aire en un ambiente interior

Para el cálculo del caudal (Q_j), se puede adoptar el algoritmo adoptado por Clezar; Nogueira (1999)¹⁸² conociéndose las variables abajo:

- intensidad y dirección del viento

Tab. 1 –
Coeficientes de
descarga

- temperatura, masa específica y presión externa del aire
- coeficientes de presión, dimensiones y cuotas de las aberturas (altura en relación al suelo)

Las hipótesis de régimen permanente y de pérdida de carga despreciable son consideradas. De este modo, se descartan los efectos de fluctuabilidad de la dirección e intensidad del viento, oscilación de temperaturas externa e interna, alteraciones advenidas por el manejo de aberturas.

El diferencial de presión para cada abertura () es dado por la ecuación abajo. El desnivel de cada abertura es considerado a partir de un nivel de referencia, donde la presión efectiva externa es nula.

$$\Delta P_j = \underbrace{\left(C_{P,j} \cdot \frac{1}{2} \rho_e V_\infty^2 - \rho_e \cdot g \cdot Z_j \right)}_{P_{e,j}} - \underbrace{\left(P_0 - \rho_i \cdot g \cdot Z_j \right)}_{P_{i,j}}$$

226

Ec. 68

La determinación de se da a través de la aplicación de la ecuación de continuidad, donde “n” es el número de aberturas.

$$\sum_{j=1}^n \dot{m}_j = 0$$

Ec. 69

Ecuación 68 –
Diferencial de
presión

A partir de,

Ecuación 69 –
Ecuación de
Continuidad

$$Q = C_d A \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\rho}}$$

Ecuación 70 –
flujo de aire por un
orificio

Ec. 70

Se obtiene la ecuación abajo. Se considera en módulo para evitar valores negativos.

$$\left[\sum_{j=1}^n C_{d,j} \cdot A_j \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_{aire} \cdot |\Delta P_j|} \right] \cdot \underbrace{\frac{\Delta P_j}{|\Delta P_j|}}_{\substack{\text{definidor} \\ \text{del sentido} \\ \text{del flujo}}} = 0$$

Ec. 71

De modo que las condiciones para el diferencial de presión es

$$\text{Si } \Delta P_j > 0 \rightarrow \rho_{aire} = \rho_e$$

$$\text{Si } \Delta P_j < 0 \rightarrow \rho_{aire} = \rho_i$$

227

Finalmente, el cálculo del caudal (Q_j) se da por:

$$Q_j = C_{d,j} \cdot A_j \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot |\Delta P_j|}{\rho_{aire}}} \cdot \frac{\Delta P_j}{|\Delta P_j|} = 0$$

Ec. 72

Para el cálculo de las dimensiones de aberturas (A_j) necesarias para resultar en un caudal determinado, se puede adoptar el algoritmo adoptado por Clezar; Nogueira (1999)¹⁸³ conociéndose las variables abajo:

- intensidad y dirección del viento
- temperatura, masa específica y presión externa del aire
- coeficientes de presión
- caudal requerido para ventilación natural

Ecuación 71 –
Ecuación de
Continuidad

Ecuación 72 –
Caudal de aberturas
existentes

- cuotas de las aberturas y fracción con relación a la superficie total de aberturas (a_j)

La diferenciación entre los algoritmos para la determinación del (Q_j) y (A_T) se diferencian con respecto a la Ecuación de Continuidad que, en este caso, debe considerar (a_j).

Donde,

$$a_j = \frac{A_j}{A_T} \rightarrow A_j = A_T \cdot a_j$$

Ec. 73

$$\left[\sum_{j=1}^n C_{d,j} \cdot (A_T \cdot a_j) \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_{aire} \cdot |\Delta P_j|} \right] \cdot \frac{\Delta P_j}{|\Delta P_j|} = 0$$

Ec. 74

228

Considerando las mismas condiciones para el diferencial de presión adoptadas para el cálculo del (Q_j) y dado que,

$$A_T = \sum_{j=1}^n A_j$$

Ec. 75

Ecuación 73 –
fracción de abertura

Una vez que la parte entre [] de la ecuación de continuidad representa el doble del caudal de masa de aire de ventilación.

Ecuación 74 –
Ecuación de
Continuidad

Ecuación 75 –
aberturas
necesarias

$$\sum_{j=1}^n C_{d,j} \cdot (A_T \cdot a_j) \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_{aire} \cdot |\Delta P_j|} = 2 \cdot Q_e \cdot \rho_e$$

Ecuación 76 –
relación con el
caudal de masa de
aire

Ec. 76

Finalmente, considerando la relación demostrada en

la ecuación de “fracción de abertura”, con respecto al (A_T) y la superficie de cada abertura específica (A_z) ubicada en una posición “z”. Se puede aislar cada abertura para determinar las superficies de aberturas requeridas individualmente para cada posición “z”. De modo que se obtiene:

$$A_z = \frac{2 \cdot Q_e \cdot \rho_e \cdot a_z}{\sum_{j=1}^n C_{d,j} \cdot a_j \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_{aire} \cdot |\Delta P_j|}}$$

Ec. 77

Para tanto, es necesario aplicar el siguiente algorítmico, calculándose:

- la cantidad de calor a ser extraído (q_r)
- el caudal necesario para remover el calor (Q_e), calculando la masa específica del aire exterior (ρ_e)
- diferencial de presión junto a cada abertura (ΔP_j). Para cada abertura, el diferencial de presión externo e interno.
- superficies de aberturas requeridas individualmente para cada posición.

229

El caudal necesario para remover la humedad del aire (Q_h) es dado por:

$$Q_h = \frac{\dot{G}_v}{\rho_e \cdot \Delta W}$$

Ec. 78

Donde,
 \dot{G}_v , la generación de vapor interior (kg/s)
 ΔW es el incremento en la humedad absoluta del aire (kg_{H2O}/kg_{aire seco})

Ecuación 77 – superficie necesaria para cada abertura

Ecuación 78 – caudal para remoción de humedad

La humedad relativa del aire en interior de un ambiente

(HR_i) es obtenida con base en la igualdad del producto de la presión del aire saturado con la humedad relativa entre el exterior y el interior:

Dado que,

$$HR_e = \frac{P_s}{P_{sat,e}}$$

$$HR_i = \frac{P_s}{P_{sat,i}}$$

Ec. 79

Se obtiene,

$$HR_i \cdot P_{sat,i} = HR_e \cdot P_{sat,e}$$

Ec. 80

230

Luego,

$$HR_i = HR_e \cdot \frac{P_{sat,e}}{P_{sat,i}}$$

Ec. 81

En general, los distintos autores consideran indirectamente las mismas variables: el caudal de aire o del número de renovaciones de aire; el volumen o masa específica del aire; la diferencia de temperatura o de presión; la diferencia de temperatura considerando el calor sensible y latente o no; el tiempo en función de la conversión de unidades a través de constantes numéricas (3600 o 60); la temperatura interior superior que la exterior o vice-versa, debido al clima del lugar donde se ha desarrollado el estudio y consecuentemente, la ecuación; y las características físicas del fluido, densidad y calor específico.

Ecuación 79 –
humedad relativa

Ecuación 80 –
relación entre
humedad del aire
interior y exterior

Ecuación 81 –
humedad relativa
interior

Los diferentes métodos de cálculo en el mismo objetivo ilustran, por un lado, la posibilidad de generarse diferentes puntos de vista sobre el fenómeno en el sentido de comprenderlo desde diferentes miradas. Por otro lado, denota que la comprensión del fenómeno se ubica más allá del simple cálculo, sino en el dominio de las relaciones de las distintas variables intervinientes en el fenómeno.

3.2.1.3 Ganancias térmicas solares

Para Nayak; Prajapati (2006), la intensidad de flujo térmico debido a las ganancias térmicas solares (Q_s) es dada por:

$$Q_s = \alpha_{es} \times \sum_{t=1}^M A_t \times I_{gt} \times \tau_t$$

Ec. 82

231

Donde,

α_{es} es el coeficiente de absorción del espacio

A_i es el área del elemento transparente

I_{gt} es el valor medio diario de la intensidad de radiación solar global incidente en el elemento transparente, incluyendo el efecto de sombreado.

τ_i es la transmisividad del elemento transparente

M es el número de elementos transparentes

Lamberts; Dutra; Pereira (1997) sustituyen el coeficiente de absorción del espacio por la parcela absorbida por el material y emitida al interior (50%), considerándola como parte del factor solar que, puede ser entendido como la razón entre la cantidad de energía solar que atraviesa el componente por la que lo incide.

Ecuación 82 – ganancias térmicas solares

Ecuación 83 – ganancias térmicas solares

$$Q_s = \sum_{t=1}^M A_t \times I_{gt} \times FS$$

Ec. 83

Donde,

A_t es el área del elemento t

I_{gt} es la intensidad de radiación solar directa que incide normal a la superficie de t

FS es el factor solar

La ABNT NBR 15220-2:2005 indica el cálculo del factor solar (FS), también llamado factor de ganancias térmicas solares, tanto para componentes opacos como para componentes transparentes.

Para componentes opacos, el factor solar (FS_o) es dado por:

$$FS_o = U \times R_{se} \times \alpha \times 100$$

232

Ec. 84

Dado que el valor de α es admitido constante e igual a 4, se puede simplificar la ecuación en:

$$FS_o = 4 U \times \alpha$$

Ecuación 84 –
factor solar de
componentes
opacos

Ec. 85

Para componentes transparentes o translúcidos, el factor solar (FS_t) es dado por:

Ecuación 85 –
factor solar
simplificado de
componentes
opacos

$$FS_t = U \times R_{se} \times \alpha + \tau$$

Ec. 86

Ecuación 86 –
factor solar de
componentes
transparentes

Donde,

τ transmitancia a la radiación solar

Retornando al principio del razonamiento, según Macintyre (1990)¹⁸⁴, tenemos:

$$Q_s = \sum_{i=1}^M A_i \times U \times \Delta T_{eq}$$

Ec. 87

Donde,

ΔT_{eq} diferencia de temperatura equivalente

3.2.1.4 Ganancias térmicas internas

La intensidad de flujo térmico debido a las ganancias térmicas internas (Q_i) es dada por:

$$Q_i = \sum_{i=1}^M P_i \times nh_i$$

233

Ec. 88

Donde,

i significa los elementos que desprenden calor en el ambiente interior (personas, equipamientos e iluminación)

nh_i es el número de horas diarias que desprenden calor

P_i es la potencia de cada elemento que desprende calor

M es el número de elementos que desprenden calor

Según Macintyre (1990), para el cálculo de la potencia disipada por lámparas fluorescentes, debe considerarse también el calor disipado por sus reactores. Para los equipos en funcionamiento en el ambiente, debe considerarse la disipación de calor latente y sensible. Y para motores eléctricos, debe

Ecuación 87 – ganancias térmicas solares (simplificada)

Ecuación 88 – ganancias térmicas internas

considerarse el rendimiento de cada uno de ellos, bien como, sus ubicaciones en el ambiente.

3.2.1.5 *Evaporación*

Según Nayak; Prajapati (2006), la intensidad de flujo térmico debido a la evaporación provocada por la respiración y transpiración humanas y la presencia de agua en el ambiente, puede ser descrita como:

$$Q_e = Q_{\text{evaporación}} \times L$$

Ec. 89

Donde,

$Q_{\text{evaporación}}$ es la tasa de evaporación (kg/s)

L es el calor latente de la evaporación (J/kg·K)

234

3.2.2 **Método Empírico**

Para Serra; Coch (1995)¹⁸⁵, considerando una situación de balance térmico en el edificio y buscando obtener valores orientativos de las condiciones generales de la arquitectura respecto al clima, sin reflejar variaciones temporales, al suponer que las acciones son constantes en el tiempo, se puede relacionar los intercambios energéticos, con las condiciones arquitectónicas y la temperatura media exterior para el periodo considerado (mes, estación, etc.) a fin de obtener un valor medio para la temperatura interior, en estas condiciones determinadas.

El proceso de cálculo se caracteriza por una síntesis a través del cálculo previo de valores típicos referentes a una determinada localidad ubicada en el clima templado. Los valores típicos y los coeficientes empleados, por un lado, limitan y condicionan la aplicación del método a entornos específicos que conciden con aquellas determinadas condiciones a las que los valores típicos y coeficientes han sido previamente

Ecuación 89 -
intensidad de flujo
térmico debido a la
evaporación

calculados y, por otro, garanten la fiabilidad de los resultados siendo, por tanto, importantes responsables por ellos.

En una situación de balance térmico, la carga térmica total es nula. De este modo, la temperatura media interior puede ser calculada a través de:^{lxiii}

$$Q_{total} = \left(\frac{Q_s + Q_i}{Q_{c+v}} \right) + \Delta T_{(T_e - T_i)}$$

Ec. 90

Donde,

T_i es la temperatura interior (°C)

T_e es la temperatura exterior (°C)

Q_s es la ganancia térmica solar media (W/m³)

Q_i es la ganancia térmica interna media (W/m³)

Q_{c+v} es el coeficiente de intercambio térmico que reúne los flujos térmicos por conducción y ventilación (W/°C·m³)

235

Las ganancias térmicas solares son definidas por:

$$Q_s = S_{es} \times I_{vs}$$

Ec. 91

Donde,

S_{es} es la superficie equivalente de abertura a sur (m²/m³) – valor pre calculado

I_{vs} es la intensidad de radiación solar global media incidente en un plano vertical orientado a sur (W/m²) – valor pre calculado

Ecuación 90 –
balance térmico
estático

Ecuación 91 –
ganancias térmicas
solares

lxiii La simbología ha sido adaptada por la adoptada en la Tesis.

La superficie equivalente de abertura a sur es dada por:

$$S_{es} = \frac{\sum A_{ci} \times \gamma_i \times CR_i}{V_h}$$

Ec. 92

Donde,

A_{ci} es la superficie captora (m^2)

γ_i es el coeficiente de captación – valor pre calculado

CR_i es el coeficiente según la orientación y las obstrucciones – valor pre calculado

V_h es el volumen habitable (m^3)

La ganancia térmica interna media es calculada como:

$$Q_i = \frac{\sum n_i \times e_i \times nh_i}{V_h \times 24}$$

236

Ec. 93

Donde,

n_i es el número de elementos que desprenden calor

e_i es la energía que desprende cada elemento (W)

nh_i es el número de horas diarias de funcionamiento

Ecuación 92 -
superficie
equivalente de
abertura

El coeficiente de intercambio térmico es calculado como:

$$Q_{c+v} = Q_c + Q_v$$

Ecuación 93 -
ganancia térmica
interna media

Ec. 94

Donde,

Q_c es el flujo térmico por conducción ($W/m^3 \cdot ^\circ C$)

Ecuación 94 -
coeficiente de
intercambio térmico

Q_v es el flujo térmico por ventilación ($W/m^3 \cdot ^\circ C$)

El flujo térmico por conducción es dado por:

$$Q_c = \frac{\sum A_i \times U_i \times \alpha_i}{V_h}$$

Ec. 95

Donde,

A_i es la superficie de piel (m^2)

U_i es la transmitancia térmica ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

α_i es el coeficiente de absorción según la situación de la superficie, con valores de invierno y verano conforme la orientación y la localización en el edificio (patio, cubierta, suelo, locales) – valor pre calculado

237

El flujo térmico por ventilación es dado por:

$$Q_v = 0,29 rh$$

Ec. 96

Donde,

rh es el volumen de intercambio de aire con valores típicos para el verano y el invierno ($m^3/m^3 \cdot h$) – valor pre calculado

Ecuación 95 -
flujo térmico por
transmisión

Ecuación 96 -
flujo térmico por
ventilación

La ecuación completa del balance térmico por el método estático empírico de Serra; Coch (1995) es dada por:

Ecuación 97 –
balance térmico
estático (completo)

$$Q_{total} = \left(\frac{\frac{\sum A_{ci} \times \gamma_i \times CR_i}{V_h} \times I_{vs} + \frac{\sum n_i \times e_i \times nh_i}{V_h \times 24}}{\frac{\sum A_i \times U_i \times \alpha_i}{V_h} + 0,29 rh} \right) + \Delta T_{(T_e - T_i)}$$

Ec. 97

Al relacionar las características de la piel, las energías interior e exterior actuantes y la diferencia de temperatura entre interior y exterior, es posible llegar a un valor orientativo de las condiciones ambientales generales del edificio.

3.2.3 Método CSTB

El método CSTB¹⁸⁶, desarrollado por el “Centre Scientifique et Technique du Bâtiment”, ha sido publicado en 1992, intitulado como “Méthodologie de prise en compte des paramètres climatiques dans l’habitat et conseils pratiques”.

238

En lo tocante al cálculo del flujo térmico por ventilación, según Santamouris; Peters (2010)¹⁸⁷, el método CSTB, juntamente con otros como el Chandra et al (1986), Ernest (1991) y Etheridge (2002), son basados en datos experimentales o obtenidos a través de simulaciones, de modo que estas herramientas deben ser usadas respetándose sus límites de validación, entre los cuales se puede citar la principal en que requieren un conocimiento previo del modelo (patrón) del flujo. Otro método muy utilizado en el cálculo de fluidos dinámicos es el Computational Fluid Dynamic (CFD), recomendado para el cálculo del flujo de aire en edificios ventilados naturalmente.

Según Croiset (1972) y Borel (1967) apud Frota; Schiffer (2001, p. 139), para la situación de invierno, son consideradas solamente las pérdidas de calor. El balance de las pérdidas de calor es calculado a través del coeficiente volumétrico de pérdidas de calor (G) que indica las pérdidas en función de la diferencia de temperaturas interior y exterior por unidad de volumen del ambiente.^{lxiv}

Ecuación 98 –
balance de pérdidas
de calor (CSTB)

lxiv El valor de la constante es fruto del producto de la densidad del aire (kg/m³) y su calor específico (kJ/kg·K).

$$G = \underbrace{\frac{\sum A_{op} U_{op}}{V} - \frac{\sum A_{tr} U_{tr}}{V}}_{Q_c} + \underbrace{0,35 N}_{Q_v}$$

Ec. 98

Donde,

A es el área de los componentes opacos y transparentes (m^2)

U es la transmitancia térmica del componente opacos y transparentes ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

N es el número de renovaciones horarias

V es el volumen del ambiente

Para la verificación de las diferencias de temperatura en el ambiente, se aplica la ecuación siguiente. Considerando $4^\circ C$ el valor de la diferencia límite entre las temperaturas radiantes de las superficies interiores (T_{si}) - medida en $^\circ C$, se procede a la corrección de la U de cada componente.

239

$$T_{si} = T_i - \frac{U}{h_i} \Delta T_{(T_i - T_e)}$$

Ec. 99

Para la situación de verano, realizase un balance térmico entre las ganancias ($Q_s + Q_c$) - debidas a la incidencia de la radiación solar y la diferencia de temperatura - y las pérdidas por ventilación (Q_v), que puede ser expresado de la siguiente manera:

$$Q_{total} = Q_s + Q_c - Q_v$$

Ecuación 99 – temperatura superficial interior

Ec. 100

En relación a las ganancias de calor, partiendo del principio del régimen térmico permanente, se toman dos

Ecuación 100 – balance térmico de verano

consideraciones de entrada que servirán para la demostración de las ecuaciones:

- intensidad de flujo térmico debido a ganancias solares (Q_s)
 - ♦ considerase las oscilaciones térmicas provocadas exclusivamente por la incidencia solar, llevando en cuenta la inercia térmica de la edificación.
- intensidad de flujo térmico por conducción (Q_c)
 - ♦ considerase las diferencias de temperaturas medias exterior e interior con mismo valor y con amplitudes distintas debido a la inercia térmica de la edificación.

En lo que se refiere a la incidencia solar, las ganancias térmicas (Q_s) – medidas en W, se dan por:

240

$$Q_s = \sum_{i=1}^M A_i \times I_{gi} \times FS$$

Ec. 101

Donde,

A_i es el área del elemento i

I_n es la intensidad de radiación solar directa que incide normal a la superficie de i

FS es el factor solar

M es el número de elementos i

Ecuación 101 -
ganancias térmicas
solares

Donde, en componentes opacos, tenemos:

Ecuación 102 –
factor solar en
componentes
opacos

$$FS_{op} = \frac{\alpha U}{h_e}$$

Ec. 102

Ecuación 103 –
factor solar en
componentes
transparentes

Y en componentes transparentes, se suma al factor solar

(FS_{op}) el valor de la transmitancia a la radiación solar (τ):

$$FS_{tr} = \frac{\alpha U}{h_e} + \tau$$

Ec. 103

En lo que se refiere a los intercambios térmicos por diferencia de temperaturas, la intensidad de flujo térmico por conducción (Q_c) se da por la ecuación siguiente. Considerase que si no hay un constante sobrecalentamiento del aire es debido a pérdidas de calor en la piel (intercambios del interior al exterior), provocadas por diferencias de temperatura entre el interior y el exterior y en función de la U de la piel.

$$Q_c = A \times U \times \Delta T$$

Ec. 104

En relación a las pérdidas de calor, se puede considerar la siguiente ecuación para la intensidad de flujo térmico por ventilación (Q_v):

241

$$Q_v = 0,35 N \times V \times \Delta T$$

Ec. 105

Debido a la posibilidad de que entradas de aire exterior signifique ganancias de calor, se define una temperatura interior máxima admisible, con base en la aplicación de un índice de confort térmico, que puede ser la Temperatura Efectiva o, en casos de climas caliente y húmedo, el índice de Confort Ecuatorial. En función de la obtención de las mejores condiciones de confort interior, se adecua el proyecto aumentando su eficiencia térmica y el aprovechamiento de energías naturales, a fin de que permanezca dentro de los límites de climatización natural.

Ecuación 104 - intensidad de flujo térmico por conducción

Ecuación 105 - intensidad de flujo térmico por ventilación

Considerando el edificio en estado de balance térmico y los efectos propios de la inercia térmica de la edificación, se procede a una corrección de la diferencia de temperaturas interior y exterior, insertando las variables del amortiguamiento de la edificación y la amplitud entre las temperaturas interior y exterior para garantizar una temperatura interior máxima ($T_{i\max}$) – medida en °C, y dada por:

$$T_{i\max} = \bar{T}_e + (1 - m) \left(\frac{A}{2} + \Delta T \right)$$

Ec. 106

Donde,

T_e es la temperatura exterior media

m es el coeficiente de amortiguamiento de la edificación

A es la amplitud entre temperaturas máxima y mínima (°C)

242

De este modo, cuanto menos inercia térmica (m), más evidentes serán los efectos de la temperatura exterior máxima en el incremento de la temperatura interior máxima, siendo la segunda igual a la suma de la primera con la diferencia de las temperaturas exterior e interior.

Ecuación 106 –
temperatura interior
máxima

3.3 ESTADO DINÁMICO

El método dinámico considera las oscilaciones climáticas y la acumulación de energía en el edificio en un determinado período de tiempo. Es compuesto por procesos de cálculo tan complejos que inviabilizan e imposibilitan su realización manualmente. Se hace necesaria la adopción de herramientas informáticas en auxilio al cómputo de las variables, a fin de viabilizar la estimación de resultados con un cierto dominio y garantía sobre el proceso y el producto.

Sigue la descripción de los métodos:

- empírico,
- simplificado,
- grados-día y
- CSTB.

3.3.1 Método Empírico

243

En el estudio dinámico, las oscilaciones térmicas serán influenciadas por los cambios horarios (día-noche) y secuenciales, días extremos que se alejan de la media del periodo considerado (mes).

En el método de Serra; Coch (1995)¹⁸⁸, serán consideradas: la oscilación de las cinco variables estáticas; el tiempo que dura la oscilación; y la masa térmica unitaria de los materiales. El conjunto resultará más complejo pero también más cercano a la realidad.

Con estos cálculos es posible estudiar soluciones pasivas y activas de refrigeración y calefacción del ambiente interior, así como, analizar los parámetros del edificio que intervienen en sus intercambios térmicos con el medio exterior. La ecuación básica es dada por:

$$\delta T_i = \left(\delta T_e + \frac{Q_s + Q_i}{Q_{(t+v)}} - \frac{Q'_s + Q'_i}{Q'_{(t+v)}} \right) \left(1 - \exp^{-\frac{tQ'_{(t+v)}}{M}} \right)$$

Ec. 107

Donde,

δT_i es la oscilación de la temperatura interior ($^{\circ}\text{C}$)

δT_e es la oscilación efectiva de la temperatura exterior ($^{\circ}\text{C}$),

$Q'_s + Q'_i + Q'_{(t+v)}$ valores de estos parámetros en el período de la variación (durante la noche o en días extremados)

t es el tiempo que dura la variación (s)

M es la masa térmica ($\text{J}/\text{m}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}$)

La oscilación efectiva de la temperatura exterior es dada por:

244

$$\delta T_e = \frac{(T_{max} - T_{min})}{4}$$

Ec. 108

La masa térmica es dada por:

$$M = \frac{\sum V_i \rho_i c_i f_t}{V_h}$$

Ec. 109

Donde,

V_i es el volumen de los materiales interiores (m^3)

ρ_i es la densidad de los materiales interiores (kg/m^3)

c_i es el calor específico de los materiales interiores ($\text{J}/\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$)

f_t es el factor de tiempo - valor pre calculado

V_h es el volumen habitable (m^3)

Ecuación 107 –
balance térmico
dinámico

Ecuación 108 –
oscilación efectiva
de la temperatura
exterior

Ecuación 109 –
masa térmica

En este método, los aspectos del dinamismo, en relación al método estático, se resumen en la inserción de la masa térmica y del tiempo que dura la oscilación de temperatura. La ABNT NBR 15220-2:2005 trata de estos aspectos con base en el cálculo de la capacidad térmica y del retraso térmico.

3.3.2 Método Simplificado

3.3.2.1 Capacidad térmica

Entre las cinco variables de cálculo citadas en la ABNT NBR 15220-2:2005, hemos comentado sobre los métodos de cálculo de la transmitancia térmica, de la resistencia térmica y del factor solar, faltando por tanto comentar sobre aquellos que hacen referencia al aspecto dinámico del desempeño térmico.

Según la norma, la capacidad térmica de componentes puede ser determinada a través de: la resistencia térmica de la capa juntamente con el coeficiente de conductividad térmica del material; o de la espesura de la capa.

245

$$C_T = \sum_{i=1}^n \lambda_i R_i c_i \rho_i = \sum_{i=1}^n e_i c_i \rho_i$$

Ec. 110

Donde,

C_i es la capacidad térmica del componente ($\text{kJ}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)

λ_i es el coeficiente de conductividad del material ($\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$)

R_i es la resistencia térmica del material ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)

e_i es la espesura de la capa (m)

c_i es el calor específico del material de la capa ($\text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}$)

ρ_i es la densidad de la masa aparente del material de la capa (kg/m^3)

Ecuación 110 – capacidad térmica de componentes con capas homogéneas

En el caso de componentes planos constituidos por capas homogéneas y heterogéneas, perpendiculares al flujo de calor, la capacidad térmica es determinada de manera semejante a la correlación mencionada en el proceso de cálculo de la resistencia térmica, lo que corresponde a:

$$C_T = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{\sum_{i=1}^n \frac{A_i}{C_{T_i}}}$$

Ec. 111

Donde,
 A_i es el área de cada componente (m^2)

3.3.2.2 Retraso térmico

246

Según la ABNT NBR 15220-2:2005, en casos de elementos homogéneos, constituidos por un único material, con espesor (e) y sometidos a un régimen variable y senoidal con período de 24h, el retraso térmico puede ser determinado a través de las siguientes ecuaciones:

$$\varphi = 1,382 e \left(\frac{\rho c}{3,6\lambda} \right)^{2-1}$$

Ecuación 111 -
 capacidad térmica
 de componentes
 con capas
 homogéneas y
 heterogéneas

Ec. 112

$$\varphi = 0,7284 (R_t C_T)^{2-1}$$

Ecuación 112 –
 retraso térmico
 de elementos
 homogéneos

Ec. 113

Ecuación 113 -
 retraso térmico
 de elementos
 homogéneos

Donde,
 φ es el retraso térmico (horas)
 λ es el coeficiente de conductividad del material ($W/m\cdot K$)
 R_t es la resistencia térmica de superficie a superficie del componente ($m^2\cdot K/W$)

e es la espesor de la capa (m)
 c es el calor específico del material de la capa (kJ/kg·K)
 ρ es la densidad de la masa aparente del material de la capa (kg/m³)

En el caso de un componente formado por diferentes materiales superpuestos en “n” capas paralelas a las caras (perpendiculares al flujo del calor), el retraso varia conforme el orden de las capas.

$$\varphi = 1,382 R_t \left\{ \underbrace{\left(0,226 \frac{C_T - C_{T_{ext}}}{R_t} \right)}_{B_1} + \underbrace{\left[0,205 \left(\frac{(\lambda \rho c)_{ext}}{R_t} \right) \left(R_{ext} - \frac{R_t - R_{ext}}{10} \right) \right]}_{B_2} \right\}^{1/2}$$

Ec. 114

Donde,

R_t es la resistencia térmica de superficie a superficie del componente

C_T es la capacidad térmica total del componente

$C_{t_{ext}}$ es la capacidad térmica de la última capa del componente junto a la cara exterior

B_2 considerado nulo cuando negativo

247

Hemos comentado en la introducción de este capítulo que la capacidad de acumular calor ocasiona un amortiguamiento de la amplitud térmica y un retraso térmico de la temperatura interna en relación a la externa. El entendimiento de operaciones energéticas es facilitado cuando se comprende las variables que actúan en el proceso. Para entender el papel de cada variable, es importante comprender la relación entre ellas, claramente presentada en las ecuaciones matemáticas.

Croiset (1972) apud Frota; Schiffer (2001, p. 49) nos presenta un método simplificado de clasificación de los tipos

Ecuación 114 – retraso térmico de elementos heterogéneos

de inercia en cada ambiente, basado en el concepto de la superficie equivalente pesada. Este concepto se caracteriza por la multiplicación de coeficientes a las superficies de los componentes interiores (cerramientos, suelos y techos) función de su peso^{lxv} y resistencia térmica de sus acabados.

$$In = \frac{\overbrace{A \times c_{eq}}^{S_{eq}}}{A_a}$$

Ec. 115

Donde,

In es el tipo de inercia (muy baja, baja, media o alta)

A es el área del componente (m²)

c_{eq} es el coeficiente de la superficie equivalente

S_{eq} es la superficie equivalente

A_a es el área del ambiente (m²)

248

De este modo, el coeficiente de amortiguamiento de la edificación (*m*) es dado en función de cada tipo de inercia:

Si, In < 0,5 → inercia muy baja → m = 0,4

Si, 0,5 < In < 1,5 → inercia baja → m = 0,6

Si, In > 1,5 → inercia media → m = 0,8

Si, In > 1,5 y si 0,5P_c > 300kg/m² → inercia alta → m = 1,0

Donde,

P_c es el peso total del componente(kg/m²)

Ecuación 115 –
inercia térmica

lxv A los componentes que dividen ambientes consideramos la mitad de su espesor para cada uno de los ambientes que divide.

3.3.3 Método Grados-día

Para el cálculo de la demanda térmica, evaluación de las cargas térmicas de refrigeración y calefacción, entre los métodos existentes el método de los grados-día ha sido muy usual presentando la ventaja de la simplicidad de cálculo, respecto a los demás. Este método es conocido como el modo clásica de cálculo de las necesidades térmicas, encontrado en publicaciones antiguas como Kreith and Kreider (1978).

El método de los grados-día se basa en el conocimiento de la intensidad de flujo térmico por conducción (Q_c) a través de los cerramientos, puentes térmicos, espacios no calefactados, por la renovación de aire y ventilación.

En estado estacionario, hemos visto que la intensidad de flujo térmico por conducción (Q_c) a través de componentes puede ser descrita como:

$$Q_c \cong P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \underbrace{U \times A}_{\substack{\text{caract.} \\ \text{del edificio}}} \times \underbrace{\Delta T}_{\substack{\text{caract.} \\ \text{climáticas}}}$$

249

Ec. 116

Donde,

A es el área de la superficie (m^2)

U es la transmitancia térmica (W/m^2K)

ΔT es la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior (K)

P es la potencia ($W = J/s$)

ΔE es la variación de la energía (J)

Δt es la variación del tiempo (s)

Podemos dividir la ecuación en dos partes. En la primera parte, tenemos la U y el área de la superficie que representan las características del edificio y que pueden ser reunidas en un único coeficiente denominado coeficiente global de intercambio térmico (UA) – flujo térmico por unidad de tiempo y para cada

Ecuación 116 - intensidad de flujo térmico por conducción

grado de diferencia entre la temperatura interior y la exterior.

La segunda parte de la ecuación representa las características climáticas del edificio y del entorno. Esta parte sufre 2 alteraciones cuando esta ecuación estática es sometida a un estado dinámico:

- El concepto del ΔT
 - ♦ ΔT pasa a ser comprendido como la diferencia instantánea de temperatura entre el interior y el exterior, que varía a lo largo del día, integrando en su cálculo, el concepto de grado-día.
- El concepto del Δt
 - ♦ Si en el régimen estacionario, el periodo de tiempo es considerado infinitesimal y el concepto de la intensidad de flujo térmico (Q) es equivalente al concepto de potencia (P). En el régimen dinámico, el período de tiempo Δt es considerado 1 día – medido en segundos (86.400 s) – y Q pasa a ser medido en J.

250

A partir del coeficiente global de intercambio térmico (UA), suponiendo que la temperatura interior es constante y conociendo las oscilaciones de la temperatura exterior a lo largo del día, se puede calcular la cantidad media de grados en que la temperatura exterior es inferior o superior a la interior, durante el periodo determinado, para, en consecuencia, calcular las pérdidas/ganancias diarias de calor en el edificio. Esta diferencia media entre una temperatura base^{lxvi}, fijada según los índices de confort, y la temperatura exterior registrada a lo largo del día es lo que se denomina grados-día (GD) y pueden ser:

- Grados-día de calefacción (GD_c)
 - ♦ Representa la media de la diferencia entre la temperatura base y la temperatura exterior,

^{lxvi} Aunque en términos de cálculo presentemos la diferencia entre las temperaturas del aire interior y exterior, en realidad, estamos presentando la diferencia entre las temperaturas de base y la exterior, una vez que la temperatura interior es considerada constante y prefijada con valor igual a la temperatura base. Así se explica el concepto de temperatura base.

- cuando la segunda es inferior a la primera.
- Grados-día de refrigeración (GD_r)
 - ♦ Representa la media de la diferencia entre la temperatura base y la temperatura exterior, cuando la segunda es superior a la primera.

Según Roset (2003)¹⁸⁹, el cálculo se basa en conocer, a través del balance térmico, la energía que debe ser aportada al edificio a fin de mantener la temperatura interior constante. De la ecuación anterior, tenemos:

$$\Delta Q = UA \times \Delta T_{(T_i - T_e)} \times \Delta t$$

Ec. 117

Del modo que, las necesidades de calefacción para mantener la temperatura interior constante a lo largo de 1 día son dadas por:

$$Q_{día} = UA \times \int_{día} (T_i - T_e) \times \Delta t \ [si, T_i > T_e] \quad 251$$

Ec. 118

Dado que no disponemos de la evolución continua de las variaciones climáticas, el cálculo es simplificado sustituyendo la integral por el sumatorio de datos horarios.

$$Q_{día} = UA \times \sum_{h=1}^{24} (T_{i_h} - T_{e_h}) \times 3600 \ [si, T_i > T_e]$$

Ecuación 117 - intensidad de flujo térmico por conducción

Ecuación 118 - requerimientos diarios (datos continuos)

Ec. 119

Por tanto,

Ecuación 119 - requerimientos diarios (datos horarios)

$$Q_{día} = 86400 UA \times GD_c \ [si, T_i > T_e]$$

Ecuación 120 - requerimientos diarios (Grados-día)

Ec. 120

Donde, recordando el concepto de Grado-día es definido por la media de la diferencia entre las temperaturas, tenemos:

$$GD_c = \frac{\sum_{h=1}^{24} (T_{i_h} - T_{e_h})}{24} [si, T_i > T_e]$$

Ec. 121

$$GD_r = \frac{\sum_{h=1}^{24} (T_{e_h} - T_{i_h})}{24} [si, T_i < T_e]$$

Ec. 122

De este modo, se puede decir que el flujo exotérmico (del interior al exterior del edificio) es dado por:

$$Q_{día} = UA (T_i - \bar{T}_e) \cdot \int_0^{86400} \Delta t = UA \times GD_c \times 86400$$

$$GD_c = (T_i - \bar{T}_e) [si, T_i > T_e]$$

$$GD_c = 0 [si, T_i \leq T_e]$$

Ec. 123

Y que el flujo endotérmico es dado por:

$$Q_{día} = UA (\bar{T}_e - T_i) \cdot \int_0^{86400} \Delta t = UA \times GD_r \times 86400$$

$$GD_r = (\bar{T}_e - T_i) [si, T_i < T_e]$$

$$GD_r = 0 [si, T_i \geq T_e]$$

Ec. 124

Ecuación 121 –
Grados-día de
calefacción

Ecuación 122 –
Grados-día de
refrigeración

Ecuación 123 –
flujo exotérmico
diario

Ecuación 124 –
flujo endotérmico
diario

Tal y como se calculan los gastos energéticos diarios, se puede calcular los gastos mensuales y anuales, haciendo el sumatorio de los grados-día a lo largo de un mes (GDM) o de un año entero.

$$Q_{mes_i} = 86400 \cdot UA \times GDM_i$$

Ec. 125

Donde,

$$GDM_i = \sum_{\text{días mes } i} GD_{\text{día}}$$

O bien,

$$Q_{\text{año}} = 86400 \cdot UA \times \sum_{i=1}^{12} GDM_i$$

Ec. 126

Es fácilmente perceptible que la **temperatura base de cálculo de los grados-día** (T_{GD}) es una importante variable que interviene directamente en los resultados. Se acostumbra adoptar como la temperatura base, la temperatura de confort (T_c) descontando las ganancias térmicas internas (Q_i), de modo que:

253

$$T_{GD_c} = T_c - Q_i$$

Ecuación 125 – requerimientos mensuales

Ec. 127 Ecuación 126 – requerimientos anuales

$$T_{GD_r} = T_c + Q_i$$

Ec. 128 Ecuación 127 – temperatura base (calefacción)

Usualmente, se adoptan los valores siguientes para las variables abajo:

Ecuación 128 – temperatura base (refrigeración)

$$T_c = 18^\circ\text{C} \quad \text{y} \quad Q_i = 3^\circ\text{C},$$

Ec. 129 Ecuación 129 – valores usuales para variables de la temperatura base

Lo que resulta en:

$$T_{GD_c} = 15^{\circ}\text{C} \quad \text{y} \quad T_{GD_r} = 21^{\circ}\text{C}$$

Ec. 130

3.3.4 La integral posible

Aunque el Método de Grados-día haya sido muy útil en la simplificación del cálculo de las necesidades térmicas, actualmente, ha sido sustituido por herramientas informáticas que utilizan modelos de archivos climáticos. Los archivos climáticos compilan informaciones sobre el clima y la insolación de diversas partes del mundo organizando toda la información en la base de datos. Actualmente existe una extensa base de datos sobre diversas ciudades del mundo y también hay la posibilidad de producir sus propios archivos con las informaciones que uno puede obtener de manera adversa.

254

El uso de herramientas informáticas para mediciones o simulaciones requiere dominio cuanto a las consideraciones elementales presentadas, respecto a la conducción, convección, radiación, evaporación y condensación, pues fundamentan y dan sentido al estudio de los métodos, sean de estado estacionario o dinámico. En una visión sintética (Anexo R), podemos destacar:

- Conducción: 5 y 55;
- Convección: 17 y 20;
- Radiación: 29, 32 y 37;
- Evaporación: 38;
- Ganancias solares: 82; y
- Ventilación: 60 y 77.

Tal y como presentamos en la Fig. 30, podemos destacar 37 variables relacionadas a las inconstancias entre materia y energía. (Anexo S)

A la hora de la composición del objeto, las dimensiones, proporciones, posiciones (inclinaciones y orientaciones) y

Ecuación 130 –
valores usuales para
la temperatura base

especificaciones de los materiales serán las responsables por los resultantes ambientales. De este modo, algunas características arquitectónicas juegan con especial papel:

- cuotas de las aberturas
- dimensiones de aberturas necesarias para un caudal determinado
- distancia vertical (desnivel) entre las aberturas de entrada y salida (Z)
- espesor de cerramientos (e)
- fracción con relación a la superficie total de aberturas
- superficie (A)
- volumen de aire (V)

La Fig. 31 presenta las relaciones entre las variables arquitectónicas y las demás, con destaque para (A), (V), (e) y (Z). (Anexo S)

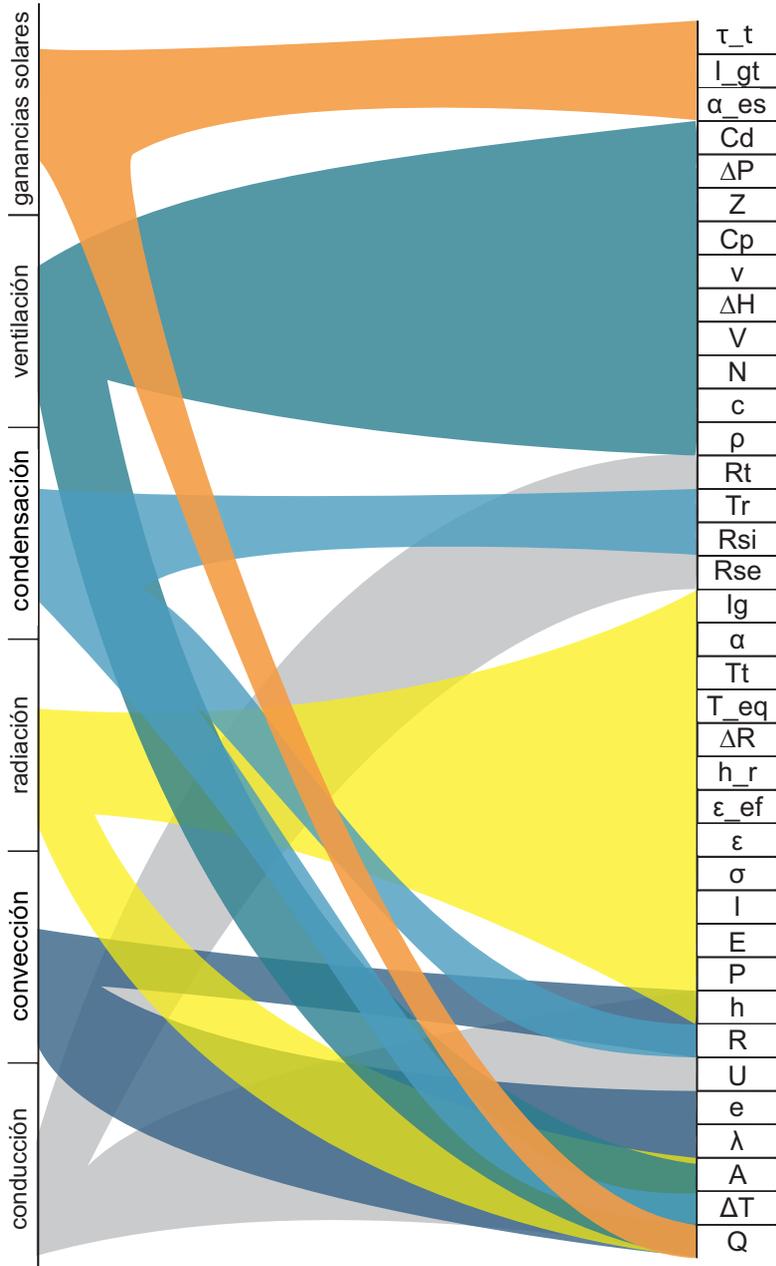


Fig. 30 – variables de transferencia térmica

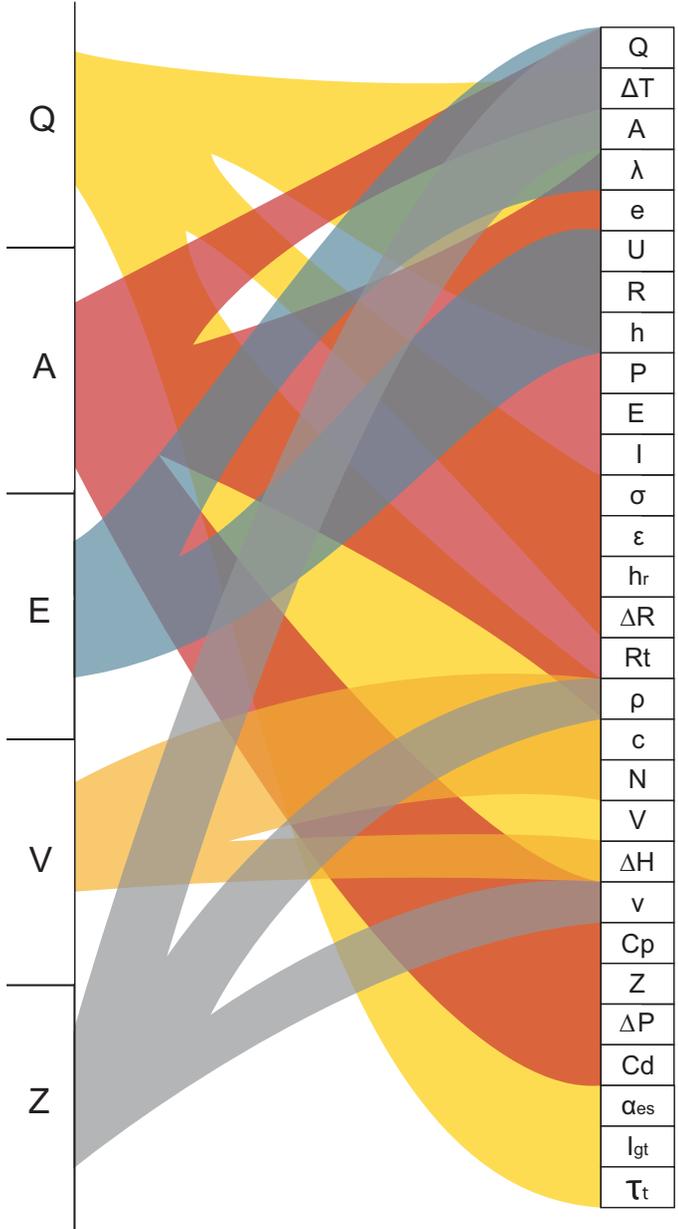


Fig. 31 – variables arquitectónicas y ambientales

Las características que aparecen como secundarias en la Fig. 31 pueden ser clasificadas como consecuencias directas de las especificaciones y decisiones cuanto a los materiales de construcción:

- calor específico
- coef. de transferencia térmica superficial
- coeficiente de absorción
- coeficiente de descarga de la abertura
- coeficiente de transferencia de calor por radiación
- conductividad térmica
- emisividad
- emisividad efectiva
- radiación térmica emitida
- resistencia del componente con capas homogéneas o heterogéneas
- resistencia superficial externa
- resistencia superficial interna

258 Frente a las características ambientales que no podemos controlar pero podemos intervenir a través de las definiciones nombradas anteriormente:

- amplitud térmica
- coeficiente de absorción del espacio
- coeficiente de presión del aire
- constante de Stefan-Boltzmann
- densidad del aire
- diferencia de entalpía
- diferencia entre las longitudes de ondas largas de la radiación incidente en la superficie del cielo y su entorno, y de la radiación emitida por un cuerpo negro a temperatura ambiente
- diferencial de presión a través de la abertura
- equivalente térmico
- intensidad de radiación solar global incidente
- intensidad de radiación solar global total incidente
- intensidad de radiación térmica

- número de renovaciones horarias
- potencia
- tasa de transferencia de calor
- temperatura de rocío
- temperatura equivalente
- velocidad del fluido

La integral solo es posible a través de la aplicación de métodos de balance térmico, configurados por búsquedas de un equilibrio entre las energías térmicas que envuelven y se relacionan con las materias del objeto arquitectónico. Comparados con los métodos de balance térmico presentados en el capítulo siguiente, los métodos simplificados, empíricos y específicos presentados en este capítulo sirven de contenido introductorio para el posterior. Aún así, son fundamentales por reunir las elementalidades de procesos ora complejos y de difícil aplicación directa en la composición arquitectónica del objeto.

REFERENCIAS

141. GLICKSMAN, Leon R. **Heat Transfer**. Material didáctico del curso Fundamentals of Energy in Buildings. Massachusetts: MIT, 2010.
142. GLICKSMAN, Leon R. Op. Cit..
143. FOURIER, J. B.. **Théorie analytique de la chaleur**. Paris: Chez Firmin Didot, 1822.
144. FOURIER, J. B.. **Analytical Theory of Heat**. Traducido por Alexander Freeman, M. A.. London: Cambridge University Press, 1878.
145. MARTÍN, J. R.; ANMELLA, J. M. N. **Guía rápida de necesidades térmicas para calefacción y aire acondicionado**. Barcelona: Ediciones Experiencia, 2009.
146. NAYAK, J. K.; PRAJAPATI, J. A. **Handbook on Energy Conscious Buildings**. Indian Institute of Technology: Bombay, 2006.
147. NAYAK, J. K.; PRAJAPATI, J. A. Op. Cit..
148. GLICKSMAN, Leon R. **Heat Transfer**. Material didáctico del curso Fundamentals of Energy in Buildings. Massachusetts: MIT, 2010. P.25
149. SANTAMOURIS, M.; WOUTERS, P. **Building Ventilation**. The state of the art. London, Sterling: Earthscan, 2006.
150. MACINTYRE, Archibald J. **Ventilação Industrial e Controle da Poluição**. Rio de Janeiro: LTC, 1990. P.39
151. GLICKSMAN, Leon R. **Heat Transfer**. Material didáctico del curso Fundamentals of Energy in Buildings. Massachusetts: MIT, 2010.
152. FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. São Paulo: Nobel, 2001.
153. RIVERO, Roberto. **Acondicionamiento térmico natural**. Arquitectura e Clima. 2ed. Porto Alegre: Luzzatto Editores, 1986.
154. OLGAY, Victor. **Arquitectura y clima – manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas**. Barcelona: GG, 2002.
155. NAYAK, J. K.; PRAJAPATI, J. A. **Handbook on Energy Conscious Buildings**. Indian Institute of Technology: Bombay, 2006.
156. LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW, 1997.
157. SERRA, R.; COCH, H. **Arquitectura y energía natural**. Barcelona: UPC, 1995.
158. HUNN, B. D. **Fundamentals of building energy dynamics**. Solar heat technologies: Fundamentals and applications. Cambridge: MIT, 1996.
159. ABNT NBR 15220. **Desempenho térmico de edificações**. ABNT/CB-02 Construção Civil. 2005.
160. ABNT NBR 15220. **Desempenho térmico de edificações**. ABNT/CB-02 Construção Civil. 2005.
161. FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. São Paulo: Nobel, 2001.

162. LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW, 1997.
163. NAYAK, J. K. & PRAJAPATI, J. A. **Handbook on Energy Conscious Buildings**. Indian Institute of Technology: Bombay, 2006.
164. CLEZAR, C. A.; NOGUEIRA, A. C. R.. **Ventilação Industrial. Florianópolis**: UFSC, 1999. P.99-112
165. FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. São Paulo: Nobel, 2001.
166. MACINTYRE, Archibald J. **Ventilação Industrial e Controle da Poluição**. Rio de Janeiro: LTC, 1990.
167. MACINTYRE, Archibald J. Op. Cit..
168. CLEZAR, C. A.; NOGUEIRA, A. C. R.. **Ventilação Industrial. Florianópolis**: UFSC, 1999. P.99-112
169. MACINTYRE, Archibald J. **Ventilação Industrial e Controle da Poluição**. Rio de Janeiro: LTC, 1990.
170. MACINTYRE, Archibald J. Op. Cit..
171. SANTAMOURIS, M.; WOUTERS, P. **Building Ventilation**. The state of the art. London, Sterling: Earthscan, 2006.
172. PELLETRET, R.; ALLARD, F.; HAGHIGHAT, F.; VAN DER MAAS, J.. **Modeling of large openings**. Apresentado en la 21º AIVC Conference, Canadá.
173. IQBAL, A.; AFSHARI, A.; NEILSEN, P. V.; HEISELBERG, P.. **The discharge coefficient of a centre-pivot roof window**. Copenhagen: 33rd AIVC Conference and 2nd TightVent Conference, 2012. P.270-273
174. IQBAL, A.; AFSHARI, A.; NEILSEN, P. V.; HEISELBERG, P.. Op. Cit.. P.270-273
175. ALLARD, F. **Natural Ventilation of Buildings**. London: James & James, 1998.
176. FLORENTZOU, F.; VAN DER MAAS, J.; ROULET, C. A.. **Natural Ventilation for passive cooling: Measurements of discharge coefficients**. Energy and Buildings, vol.27, p.283-292.
177. IQBAL, A.; AFSHARI, A.; NEILSEN, P. V.; HEISELBERG, P.. **The discharge coefficient of a centre-pivot roof window**. Copenhagen: 33rd AIVC Conference and 2nd TightVent Conference, 2012. P.270-273
178. CLEZAR, C. A.; NOGUEIRA, A. C. R.. **Ventilação Industrial**. Florianópolis: UFSC, 1999. P.99-112
179. MACINTYRE, Archibald J. **Ventilação Industrial e Controle da Poluição**. Rio de Janeiro: LTC, 1990.
180. SANTAMOURIS, M.; WOUTERS, P. **Building Ventilation**. The state of the art. London, Sterling: Earthscan, 2006.
181. CLEZAR, C. A.; NOGUEIRA, A. C. R.. **Ventilação Industrial**. Florianópolis: UFSC, 1999. P.99-112
182. CLEZAR, C. A.; NOGUEIRA, A. C. R.. Op. Cit.. P.99-112

183. CLEZAR, C. A.; NOGUEIRA, A. C. R.. Op. Cit.. P.99-112
184. MACINTYRE, Archibald J. **Ventilação Industrial e Controle da Poluição**. Rio de Janeiro: LTC, 1990.
185. SERRA, R.; COCH, H. **Arquitectura y energía natural**. Barcelona: UPC, 1995.
186. CSTB (Centre Scientifique et Technique du Batiment). **Guide sur la climatisation naturelle de l'habitat en climat tropical humide – Methodologie de prise en compte des parametres climatiques dans l'habitat et conseils pratiques, vol.1**. Paris: CSTB, 1992.
187. SANTAMOURIS, M.; WOUTERS, P. **Building Ventilation**. The state of the art. London, Sterling: Earthscan, 2006.
188. SERRA, R.; COCH, H. **Arquitectura y energía natural**. Barcelona: UPC, 1995.
189. ROSET, Jaume M.; VILALTA I JUVANTENY, Lluís; ESCOBAR I MARINÉ, Miquel A.; MITJÀ I SARVISÉ, Albert. **Els graus-dia de calefacció i refrigeració de Catalunya**. Resultats a nivell municipal – (Estudis Monogràfics; 14). Barcelona: Institut Català d'Energia - Icaen, 2003. p.9

$$Q_{\text{día}} = UA \times \int_{\text{día}} (T_i - T_e) \times \Delta_t \quad \text{Atendiendo a los objetos de las dimensiones urbanas y arquitectónicas en la capital del Estado de Goiás}$$

$$GD_c = \frac{\sum_{h=1}^{24} (T_{i_h} - T_e) \times \Delta_t}{24}$$

$$Q_{\text{día}} = UA \times \sum_{h=1}^{24} (T_{i_h} - T_e) \times 3600 \quad \text{Este modo de texto no$$

$$Q_{\text{día}} = UA \times \int_{\text{día}} (T_i - T_e) \times \Delta_t$$

$$Q_{\text{día}} = UA \times \int_{\text{día}} (T_i - T_e) \times \Delta_t$$

En un proceso de t
mentos arquitectónic

$$\sum_{h=1}^{24} (T_{i_h} - T_e) \times \Delta_t$$

$$Q_{\text{día}} = UA \times \int_{\text{día}} (T_i - T_e) \times \Delta_t$$

$$Q_{\text{día}} = UA \times \int_{\text{día}} (T_i - T_e) \times \Delta_t \quad \text{Atendiendo a los objetos de las dimensiones urbanas y arquitectónicas en la capital del Estado de Goiás}$$

$$GD_c = \frac{\sum_{h=1}^{24} (T_{i_h} - T_e) \times \Delta_t}{24}$$



4 . EQUILIBRIOS ENERGÉTICOS

265

Los métodos anteriores de estimación de cargas de refrigeración buscaban simplificar el proceso a través de pre-cálculos de casos representativos, agrupando los resultados y correlacionando parámetros. Los procedimientos matemáticos presentados en este capítulo se refieren a los contenidos

que fundamentan las simulaciones computacionales en la estimación virtual del balance térmico en espacios interiores. Para tanto, presentamos los métodos de balance térmico HB y RTS.

En el clima de Goiânia, los cálculos de las cargas de refrigeración pueden representar los momentos de discomfort de aquellos meses con temperaturas promedias y altas. En el análisis del ambiente arquitectónico, las variables presentes en este conjunto de cálculos deben ser bien analizadas en la búsqueda por la obtención de datos respecto a los períodos de discomfort en los ambientes interiores. El estudio de las cargas de refrigeración evidencian, por tanto, la influencia de las variables térmicas y materiales en los períodos de discomfort de edificaciones ventiladas naturalmente.

A diferencia de los métodos anteriores de estimación de cargas térmicas, el método del balance térmico (HB) trata el problema de un modo directo y transparente sin recorrer a parámetros arbitrarios o simplificaciones, buscando relacionarse con el proceso real de intercambio térmico. Aunque no haya una gran complejidad en la demostración matemática del método HB, el cálculo de las iteraciones resulta muy trabajoso manualmente siendo fundamental el auxilio del ordenador.

Con el objetivo de simplificar el proceso y al mismo tiempo, mantener su rigurosidad sin necesidad de iteraciones y permitir cuantificar la contribución de cada componente en el total de cargas térmicas, ha sido elaborado el método Radiant Time Series (RTS) que, por derivarse del método del balance térmico, es difundido equivocadamente por muchos autores como siendo el propio método HB.

En los casos de edificaciones residenciales el procedimiento utilizado se basa en los mismos fundamentos usados para otras tipologías edificatorias, entretanto, hay una serie de características propias a las viviendas que deben ser consideradas. De este modo, el desarrollo del método ha llegado a contemplar el problema de la vivienda de un modo específico, con la creación del método RHB.

El estudio del Balance térmico residencial, aquí presentados, permite considerar los contenidos propios del Método RHB juntamente con el Método ResHB, bien como, el Método RLF, caracterizado por la transparencia y simplicidad de cálculo.

Estos métodos fundamentan y dan sentido a las mediciones termo-higrométricas y simulaciones computacionales, una vez que el software tiene el papel restringido de herramienta y no de analista experto.

4.1 BALANCE TÉRMICO

El estudio del Balance térmico permite explorar los contenidos relativos a los Métodos HB y RTS, publicados por ASHRAE.

4.1.1 Método HB

“Primary to building energy analysis is the first law of thermodynamics (conservation of energy). (...) The thermal balance method calculates all of the loads on a space and then balances these with the heat removed (or added) by the HVAC system.” (HUNN, 1996, p.260)¹⁹⁰

Los métodos anteriores de estimación de cargas de refrigeración buscaban simplificar el proceso a través de pre-cálculos de casos representativos, agrupando los resultados y correlacionando parámetros.

Según Spitler, en 1975, Rudoy y Duran han desarrollado en el método Cooling load temperature difference / cooling load factor (CLTD/CLF) usando el Transfer function method (TFM) como base. En 1985, Sowell y Chiles han publicado las deficiencias del método CLTD/CLF.

En 1992, McQuiston y Spitler han desarrollado el método CLTD/SCL/CLF presentando, en la publicación la segunda edición de ASHRAE – Cooling and Heating Load Calculation Manual, los métodos existentes no basados en el balance térmico:

- Transfer function method (TFM)
- Total equivalent temperature difference / time averaging (TETD/TA)
- Cooling load temperature difference / solar cooling load / cooling load factor (CLTD/SCL/CLF)

Según ASHRAE (2005) en 1967, Kusuda ha incorpora-

do por la primera vez todos los elementos que forman parte del método del balance térmico.

En 1983, con Walton, el procedimiento del balance térmico ha sido implementado en el BLAST y en el TARP, programas computacionales de análisis energético.

En 1996, el comité técnico de ASHRAE ha fundado el proyecto de investigación (RP-875), responsable por la creación del Método del Balance Térmico (HB) y el Método Radiant Time Series (RTS), un método simplificado, especie de hoja de cálculo derivada del método HB pero más fácil de ser usado.

En 1997, como resultado del proyecto de investigación RP-875, Pedersen et al. describieron el procedimiento al detalle, haciéndolo aplicable al cálculo de cargas de refrigeración.

En 1998, el método ha sido codificado en un software llamado Hbfort, siendo acompañado por principios de cálculo de cargas térmicas de calefacción y refrigeración. En este mismo año, ASHRAE ha publicado ambos métodos, HB y RTS.

A diferencia de los métodos anteriores de estimación de cargas térmicas, el método del balance térmico (HB) trata el problema de un modo directo y transparente sin recorrer a parámetros arbitrarios o simplificaciones, buscando relacionarse con el proceso real de intercambio térmico.

La estimación de las cargas térmicas se da a través del cálculo del balance térmico conductivo, convectivo y radiactivo de cada superficie y del aire interior. Según ASHRAE (2005), debido a su complejidad de cálculo, es necesario el auxilio de herramientas computacionales.

Como otros procedimientos de cálculo, HB es un método aproximado una vez que parte de algunos modelos determinados que utilizan presupuestos simplificados. De este modo, el modelo HB asume algunas premisas de simplificación del problema que restringen y delimitan la variedad de información que se puede obtener al fundamentarse en la uniformización de distintos fenómenos:

- Temperatura del aire interior de la zona térmica

uniforme a partir del supuesto de mezcla plena del aire en la zona térmica.

- Temperaturas superficiales uniformes.
- Radiación de ondas larga (LW) y corta (SW) uniforme.
- Radiación difusa en superficies.
- Conducción térmica unidireccional.

HB está compuesto por cuatro procesos diferentes, conforme la Fig. 32:

- Balance térmico de superficies exteriores
- Proceso de conducción por la piel
- Balance térmico de superficies interiores
- Balance térmico del aire



Fig. 32 – Diagrama esquemático del Balance Térmico en una determinada zona (Fuente: modificado de ASHRAE 2005, 30.15)

Debido a que en el método HB no posee simplificaciones, la cantidad de parámetros de entrada requeridos es más alta que en los métodos anteriores a ello. Se requieren informaciones de entrada respecto a:

- **Informaciones globales** – latitud, longitud, hora de la zona, mes, día del mes, orientación direccional de la zona, pie derecho de la zona (piso a piso); velocidad del aire, dirección del aire, topografía; coeficientes o modelos de transferencia de calor por convección, coeficientes solares, modelos de cielo.
- **Cerramientos, cubiertas, pisos y aberturas** – acimut, inclinación, área, absorptividad exterior solar e interior a ondas cortas, emisividad exterior/interior a ondas largas, temperatura-límite exterior (solar y no solar), rugosidad exterior (textura), descripción de las capas que forman la piel.
- **Aberturas** (propias a las aberturas) – transmisividad solar normal, coeficiente de ganancias térmicas solares (SHGC) normal, absorptividad total normal, emisividad exterior/interior a ondas largas, conductancia térmica entre las superficies exterior e interior, dimensiones de protecciones solares y su distancia a la abertura.
- **Ganancias térmicas internas** (personas, lámparas, equipos eléctricos, etc.) – ganancias de calor sensible y latente, radiaciones en onda larga y corta, actividad de las personas, ganancias térmicas por iluminación.
- **Distribución de la radiación** (fracción de la radiación total absorbida por cada superficie de zona) – ondas largas provenientes de equipos y lámparas, ondas cortas provenientes de lámparas y la radiación solar transmitida.

4.1.1.1 *Procesos fundamentales*

4.1.1.1.1 *Balance térmico de superficies exteriores*

Según ASHRAE (2005) el balance térmico de superficies exteriores es definido por la siguiente ecuación:

$$q''_{\alpha sol} + q''_{LWR} + q''_{conv} - q''_{ko} = 0$$

Ec. 131

Donde,

$q''_{\alpha sol}$ flujo de radiación solar directa y difusa absorbida [W/m²]

q''_{LWR} flujo de intercambio de la radiación de onda larga con el aire y el entorno [W/m²]

q''_{conv} flujo de intercambio convectivo con el aire exterior [W/m²]

q''_{ko} flujo conductivo por la piel [W/m²]

272

4.1.1.1.2 *Conducción por la piel*

Los diferentes posibles procesos a ser empleados en el cálculo de la conducción térmica por cerramientos se tratan de funciones de tiempo. Algunos modelos de cálculo introducen coeficientes de transferencia de calor como parte del componente de la piel lo que los hace inaceptables por disminuir la transparencia del cálculo y dificultar cambios de adecuación en valores como el flujo de aire o respecto a la radiación.

Dos modelos computacionales utilizados ampliamente consideran la interdependencia y simultaneidad entre las temperaturas interiores y exteriores y el flujo térmico: “finite difference” y métodos de función de transferencia por conducción (CTF’s) creados por Hittle y Pedersen (1981).

Ecuación 131 -
balance térmico de
superf. exteriores.

4.1.1.1.3 Balance térmico de superficies interiores

Descrito por ASHRAE (2005) como “el corazón del método HB”, el balance térmico de las superficies interiores posee múltiples intercambios térmicos integrados entre las 12 superficies interiores de su zona térmica, donde tanto las radiaciones de onda larga y corta como la conducción por la piel y la convección del aire son importantes. Para cada superficie, su ecuación puede ser descrita como:

$$q''_{LWX} + q''_{SW} + q''_{LWS} + q''_{ki} + q''_{sol} + q''_{conv} = 0$$

Ec. 132

Donde,

q''_{LWX} flujo de intercambio de la radiación de onda larga entre las superficies de la zona [W/m²]

q''_{SW} flujo de radiación de onda corta de la iluminación para las superficies [W/m²]

q''_{LWS} flujo de radiación de onda larga de equipamientos internos [W/m²]

q''_{ki} flujo conductivo a través de la piel [W/m²]

q''_{sol} flujo de radiación solar transmitida absorbida por las superficies [W/m²]

q''_{conv} flujo térmico convectivo con el aire de la zona [W/m²]

273

Algunas consideraciones:

- El flujo de intercambio de la radiación de onda larga entre las superficies de la zona es calculado considerando una transparencia plena en el aire interior.
- Los muebles incrementan el área de superficies interiores y la inercia térmica de la zona pudiendo afectar al tiempo de respuesta de las cargas de refrigeración de la zona.
- El método HB permite cambiar la distribución del flujo de radiación de onda corta de las luces en las superficies dejando de ser considerado uniformemente distribuido.

Ecuación 132 -
balance térmico de
superf. interiores

- Respecto a las fuentes térmicas interiores provenientes de equipamientos presentes en la zona, el método separa los efectos por convección de los por radiación donde el último es distribuido en las superficies de la zona.
- Las ganancias térmicas solares por transmisión son determinadas a través del coeficiente de ganancias térmicas solares (SHGC) en lugar del coeficiente de protección solar (SC).

4.1.1.1.4 Balance térmico del aire

El cálculo para el balance térmico del aire es realizado en un estado casi estacionario comprendido por cuatro variables según la siguiente descripción:

$$q_{conv} + q_{CE} + q_{IV} + q_{sys} = 0$$

274

Ec. 133

Donde,

q''_{conv} intercambio térmico convectivo de las superficies [W]

q''_{CE} contribuciones convectivas de cargas internas [W]

q''_{IV} carga sensible causada por la ventilación e infiltración de aire [W]

q''_{sys} intercambio térmico de/para sistema de climatización (HVAC) [W]

Algunas consideraciones:

- La suma de los intercambios térmicos por convección de todas las superficies interiores es realizada a través del coeficiente de intercambio térmico convectivo de cada superficie.
- Debido al nivel de detalle incluido en el balance térmico, las partes convectivas de las cargas térmicas son adicionadas directamente al balance térmico del aire aunque, de un cierto modo, eso contraria

Ecuación 133 –
balance térmico del
aire

los principios del propio método, ya que las cargas internas producidas por las superficies intercambian calor con el aire a través de procesos de convección normales.

- No se hace distinción entre el aire de ventilación y el aire de infiltración. Pero, así como el aire acondicionado, los dos son considerados mezclados instantáneamente con el aire interior en el momento en que entran en la zona.

La zona térmica general está pensada como una simple zona y su definición está en función del control de temperatura, que implica en la circulación del aire. De este modo, las particiones entre las zonas son definidas en función de la mezcla de aire interior y a partir de las diferencias entre los esquemas de control en cada ambiente.

Es formada por 12 superficies: cuatro cerramientos y respectivas ventanas; techo o cielo raso y su respectiva abertura cenital; el piso y una superficie extra llamada de “masa térmica”, que representa los elementos móviles en contacto con la masa de aire interior, excepto cerramientos, pisos, techos o falso techos y ventanas. En la formulación, los dos lados de la superficie son considerados como participantes en el intercambio.

275

Los procesos de balance térmico son formulados para las 24h del día y para las 12 superficies del interior y las 12 del exterior, lo que genera un total de 600 variables que interactúan entre si y a lo largo del tiempo. Estas variables reciben el nombre de variables primarias.

4.1.1.2 *Descripción matemática*

El modelo matemático que describe el proceso de conducción formulado usando CTF's relaciona las temperaturas inicial y final y el flujo térmico para el interior y exterior de la zona.

El balance térmico se basa en 3 ecuaciones:

- $T_{so_{i,j}}$ Temperatura superficial exterior
- $T_{si_{i,j}}$ Temperatura superficial interior
- q_{sys_j} Carga de refrigeración

Siendo,

i el número de superficies (1, 2, ..., 12)

j el número de horas del día (1, 2, ..., 24)

En el caso de los CTF's, se describe el índice de la secuencia (0, 1 ...nz) o (1, 2, ...nq).

De este modo, las ecuaciones son descriptas de la siguiente manera:

- **Temperatura superficial exterior**

$$T_{so_{i,j}} = \frac{(A_{so} + B_{so})}{Z_{i,0} + h_{co_{i,j}}}$$

Ec. 134

276

Siendo,

$$A_{so} = \sum_{k=1}^{nz} T_{si_{i,j-k}} Y_{i,k} - \sum_{k=1}^{nz} T_{so_{i,j-k}} Z_{i,k} - \sum_{k=1}^{nq} \Phi_{i,k} q''_{ko_{i,j-k}}$$

$$B_{so} = q''_{\alpha so_{i,j}} + q''_{LWR_{i,j}} + T_{si_{i,j}} Y_{i,0} + T_{o_j} h_{co_{i,j}}$$

Donde,

El coeficiente de intercambio térmico convectivo en el exterior de la zona (h_{co}) es obtenido a través de la siguiente ecuación:

$$q''_{conv} = h_{co} (T_o - T_{so})$$

Ecuación 134 -
temperatura
superficial exterior

Ec. 135

Ecuación 135 -
flujo térmico
convectivo para el
aire de la zona

- **Temperatura superficial interior**

$$T_{si,j} = \frac{T_{si,j} Y_{i,0} + (A_{si} + B_{si})}{Z_{i,0} + h_{ci,j}}$$

Ec. 136

Siendo,

$$A_{si} = \sum_{k=1}^{nz} T_{so_{i,j-k}} Y_{i,k} - \sum_{k=1}^{nz} T_{si_{i,j-k}} Z_{i,k} + \sum_{k=1}^{nq} \Phi_{i,k} q''_{ki_{i,j-k}}$$

$$B_{si} = q''_{sol e} + q''_{LWS} + q''_{LWX} + q''_{SW} + T_{a_j} h_{ci_j}$$

- **Carga de refrigeración**

En el clima de Goiânia, los cálculos de las cargas de refrigeración pueden representar los momentos de disconfort de aquellos meses con temperaturas promedias y altas. Las variables presentes en este conjunto de cálculos deben ser cuidadas y bien analizadas en la búsqueda por la reducción de las cargas. El estudio de las cargas de refrigeración evidencian, por tanto, la influencia de las variables térmicas y materiales en los períodos de disconfort de edificaciones ventiladas naturalmente.

277

$$q_{sys_j} = \sum_{i=1}^{12} A_i h_{ci} (T_{si,j} - T_{a_j}) + q_{CE} + q_{IV}$$

Ec. 137

Ecuación 136 - temperatura superficial interior

Proveniente de la ecuación de balance térmico del aire y de la ecuación del coeficiente de intercambio térmico convectivo en el interior de la zona (h_{ci}):

Ecuación 137- carga de refrigeración

$$q''_{conv} = h_{ci} (T_a - T_{si})$$

Ecuación 138- flujo térmico convectivo para el aire de la zona

Ec. 138

Donde,

T_o temperatura del aire exterior [°C]

T^a temperatura del aire de la zona [°C]

T^{si} temperatura de la superficie interior [°C]

T^{so} temperatura de la superficie exterior [°C]

h_{co} coeficiente de intercambio térmico convectivo en el exterior de la zona

h_{ci} coeficiente de intercambio térmico convectivo en el interior de la zona

Y_j CTF - transmitido en la piel (j=0,1,...nz)

Z_j CTF - interior de la zona (j=0,1,...nz)

Φ_j CTF - flujo (j=1,2,...nq)

q''_{ki} flujo térmico conductivo de la superficie interior [W/m²]

q''_{ko} flujo térmico conductivo de la superficie exterior [W/m²]

q''_{sol} flujo de radiación solar transmitida absorbida por las superficies [W/m²]

q''_{LWS} flujo de radiación de onda larga de equipamientos internos [W/m²]

q''_{LWX} flujo de intercambio de la radiación de onda larga entre las superficies de la zona [W/m²]

q''_{SW} flujo de radiación de onda corta de las luces para las superficies [W/m²]

q''_{conv} flujo térmico convectivo con el aire [W/m²]

q_{sys} intercambio térmico de/para el sistema de climatización (HVAC) [W]

q_{CE} contribuciones convectivas de cargas internas [W]

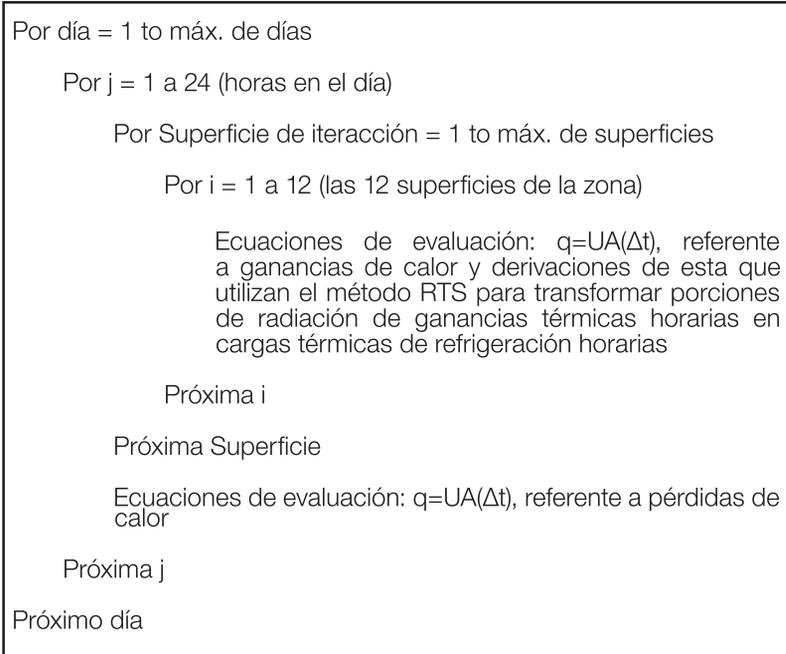
q_{IV} carga sensible causada por la ventilación e infiltración de aire [W]

4.1.1.2.1 *Secuencia de cálculo*

Una vez calculadas las áreas, propiedades y las temperaturas de todas las superficies, en las 24h, se procede al cálculo del flujo de energía solar incidente y transmitido para las mismas superficies y horas. En seguida, se calcula la distribución en las superficies interiores del calor transmitido por la piel y luego, las cantidades de carga térmica interna para las 24h y sus consecuentes energías convectivas y ondas largas y cortas. Y

finalmente, se prosigue al cálculo de las cargas de ventilación e infiltración para las 24h.

La secuencia de iteraciones se da según la Fig. 33:



279

4.1.2 Método RTS

Aunque no haya una gran complejidad en la demostración matemática del método HB, el cálculo de las iteraciones resulta muy trabajoso manualmente siendo fundamental el auxilio del ordenador.

Con el objetivo de simplificar el proceso y al mismo tiempo, mantener su rigurosidad sin necesidad de iteraciones y permitir cuantificar la contribución de cada componente en el total de cargas térmicas, ha sido elaborado un nuevo método llamado Radiant Time Series (RTS) que, por derivarse del método del balance térmico, es difundido equivocadamente por muchos autores como siendo el propio método HB.

Fig. 33 – Iteraciones.
(Modificado de ASHRAE 2005 30.19)

Su cualidad en permitir la comparación de distintos componentes y zonas, así como sus relativas repercusiones en los resultados, facilita el entendimiento del comportamiento de las partes y del todo del edificio contribuyendo al análisis del mismo.

Si el dinamismo del método HB demanda cálculos de iteraciones y por tanto limita su uso manualmente, el método RTS, en una primera instancia, parece limitado por basarse en un modo estacionario, siendo apropiado al análisis de momentos característicos o de pico, una vez que no considera las oscilaciones en el tiempo y por tanto, dos tipos de retrasos térmicos en la acumulación de energía, que deben ser considerados en cálculos de carga térmica:

- Retrasos debido a la conducción de las ganancias térmicas a través de componentes, opacos principalmente; puede ser considerado instantáneo generando lo que se llama carga térmica de refrigeración instantánea.
- Retrasos debido a la conversión de las ganancias térmicas por radiación en cargas térmicas que no se convierten inmediatamente en carga térmica como las ganancias térmicas por convección pues antes, deben ser absorbidas por los componentes interiores y después transferidas por convección al aire interior. Más compleja que la carga instantánea, este proceso crea además del retraso térmico, un efecto de amortiguación.

Aunque sea un método estático, el método RTS tiene la ventaja de posibilitar el cómputo de estos retrasos a través de la aplicación de coeficientes derivados del método HB llamados Radiant Time Factors (RTF) y Conduction Time Factors (CTF) que representan, respectivamente, la fracción de ganancia térmica por radiación que se ha convertido en carga térmica en un momento anterior al analizado y la fracción de ganancia térmica por conducción que ha atravesado el componente y conver-

tido en carga térmica.^{lxvii} La reunión de factores (coeficientes) compone lo que se llama de serie. Así, se utilizan dos series, respectivamente, Radiant Time Series (RTS) y Conduction Time Series (CTS).

Definitivamente, estas características, juntamente con la habilidad en comparar opciones a través del análisis del retraso térmico, justifican el hecho de que el método RTS sustituya los métodos anteriores no basados en el balance térmico.

4.1.2.1 *Procedimiento*

El procedimiento general se da a través de 5 pasos:

- Cálculo de ganancias térmicas por componente para un día de diseño (24h). Para la conducción, se calcula la fracción de ganancia térmica por conducción que ha atravesado el componente y convertido en carga térmica usando el CTS.
- En seguida, se procede a la separación de las fracciones de ganancias térmicas por radiación y por convección.
- Luego, se calcula la fracción de ganancia térmica por radiación anterior al momento analizado que se ha convertido en carga térmica usando el RTS.
- Por fin, se suman la ganancia térmica por convección y el retraso por radiación.
- Una vez calculada la contribución de cada componente para cada hora, se suman los componentes para determinar la carga térmica total y se selecciona la hora pico para diseñar el sistema de refrigeración. Se repite el proceso para cada mes para determinar el mes de pico lo que resulta en un diseño para cada estación del año.

281

^{lxvii} Por definición, los dos coeficientes suman 100%.

El procedimiento parte de la ecuación básica de flujo térmico:

$$Q = A \times U \times \Delta T$$

Ec. 139

Donde,

A es el área de la superficie (m^2)

U es la transmitancia térmica (W/m^2K)

ΔT es la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior (K)

Según ASHRAE (2005), en el método RTS, para superficies exteriores, Q es comprendido como la intensidad de flujo térmico que entra por la superficie i , n horas atrás ($q_{i,q-n}$); y ΔT es la diferencia entre la temperatura Sol-aire o temperatura equivalente t_{eq} , n horas atrás ($t_{eq,q-n}$) y la temperatura del aire del ambiente dicha constante (t_{ac}):

282

$$q_{i,q-n} = A \times U \times (t_{eq,q-n} - t_{ac})$$

Ec. 140

Las ganancias térmicas horarias por conducción q_q pela superficie i pueden ser calculadas a través del sumatorio de entradas de calor en cada hora del día, la hora corriente ($q_{i,q}$) más las 23h anteriores ($q_{i,q-n}$). Se hace una corrección en cada entrada de calor, a través de la multiplicación por factores CTF (c_0, c_1, \dots, c_{23}):

Ecuación 139 - intensidad de flujo térmico

Ecuación 140- entrada de calor n horas atrás (RTS)

$$q_q = c_0 q_{i,q} + c_1 q_{i,q-1} + c_2 q_{i,q-2} + \dots + c_{23} q_{i,q-23}$$

Ec. 141

Ecuación 141- ganancias térmicas horarias por conducción (RTS)

Según ASHRAE (2005), en el método RTS, para superficies interiores, ΔT es la diferencia entre la temperatura media

del ambiente adyacente t_b y la temperatura del aire del ambiente condicionado (t_p).

Para el cómputo de las cargas térmicas de refrigeración, el método RTS simplifica el cálculo del método HB respecto al intercambio térmico por radiación entre las superficies del interior del ambiente que es realizado con base en las temperaturas superficiales y emisividades. El método RTS simplifica el método HB, apoyándose en la estimación de la separación de las fracciones de ganancias térmicas por radiación y por convección en los cerramientos y cubierta. De modo que, la carga de refrigeración de cada componente en una hora particular viene a ser la suma de las porciones convectivas con la porción de retraso térmico de las ganancias por radiación para la aquella hora (θ) y las 23h anteriores. Esta porción de retraso es calculada usando el RTF (r_0, r_1, \dots, r_{23}) que presenta el tiempo de respuesta del componente en transformar la radiación en carga térmica. La carga térmica radiante de refrigeración en la hora corriente ($Q_{r,\theta}$) se calcula con base en la ecuación anterior:

283

$$Q_{r,\theta} = r_0 q_{r,\theta} + r_1 q_{r,\theta-1} + r_2 q_{r,\theta-2} + \dots + r_{23} q_{r,\theta-23}$$

Ec. 142

Donde,

$q_{r,\theta}$ ganancia térmica (q) por radiación (r) para la hora corriente (θ)

$q_{r,\theta-1}$ ganancia térmica (q) por radiación (r) para las n horas anteriores

La carga térmica radiante es sumada a la carga térmica convectiva generando la carga total de refrigeración del componente para la hora determinada.

Para la creación del RTS, descrita por Spitler et al. (1997), se ha utilizado el software Hbfort (Pedersen et al. 1998 apud ASHRAE, 2005). El RTF es comparable a los factores de peso usados en el software DOE 2.1 (Kerrisk et al. 1981; Sowell

Ecuación 142- carga térmica radiante de refrigeración en la hora corriente (RTS)

1988a, 1988b; apud ASHRAE, 2005) para el cálculo de funciones de transferencia. Son usados dos tipos de RTS:¹⁹¹

- Solar – para ganancias térmicas solares transmitidas directamente. Energía radiante distribuida por el piso y muebles.
- No-solar – para todos los demás tipos de ganancias térmicas. Energía radiante distribuida uniformemente en todas las demás superficies internas (personas, iluminación, aparatos, paredes, pisos y cubiertas). También puede ser usado para ganancias solares directas e indirectas a través de aberturas con protecciones internas como persianas o cortinas.

Según Rees et al. (2000) y Spitler et al. (1998) apud ASHRAE (2005), con base en el proyecto de investigación RP-942, en general, la carga de refrigeración total calculada usando el método RTS coincide o es ligeramente superior a la calculada con los mismos parámetros usando el método HB, principalmente en edificaciones ligeras o medias.

Las diferencias solo se acentúan en los casos extremos donde hay más inercia térmica (edificaciones pesadas), más cargas internas de radiación, grandes aberturas o una piel más ligera.

Los resultados con el método RTS son superiores porque en método HB entiende que, en estos casos, la carga radiante no llega transformarse en carga de refrigeración siendo transmitida al exterior directamente, efecto no contabilizado por el método RTS. Según el proyecto de investigación RP-1117, en comparación con mediciones realizadas en dos ambientes distintos, el método RTS también ha sobreestimado las cargas de refrigeración de edificaciones con grandes aberturas, piel ligera y sin cargas internas y muebles. Los mejores resultados se han encontrado en edificaciones más típicas, más protegidas en sus aberturas, con cargas internas normales y muebles.

4.2 BALANCE TÉRMICO RESIDENCIAL

El estudio del Balance térmico residencial permite considerar los contenidos propios del Método RHB juntamente con el Método ResHB, bien como, el Método RLF, publicados por ASHRAE.

4.2.1 Métodos RHB - ResHB

En los casos de edificaciones residenciales el procedimiento utilizado se basa en los mismos fundamentos usados para otras tipologías edificatorias, entretanto, hay una serie de características propias a las viviendas que deben ser consideradas.

Según ASHRAE (2005)¹⁹², respecto las cargas térmicas, las viviendas pasivas se diferencian de las demás tipologías en:

- Menos ganancias internas de calor. Las ganancias térmicas son provenientes prácticamente de los componentes de la piel y pérdidas por infiltración o ventilación. Las ganancias internas son debidas a los ocupantes o sistemas e iluminación.
- Diversidad de usos de los espacios. Flexibilidad de espacios y mayor grado de tolerancia a los cambios térmicos interiores.
- Viviendas unifamiliares se caracterizan por una mayor exposición de la piel. El espacio interior es entendido como una simple zona o reuniendo algunas zonas. Dependiendo del caso, se puede evidenciar la diferenciación de comportamiento entre plantas.

El procedimiento de cálculo para la determinación de las cargas térmicas de calefacción y refrigeración es idéntico pero una simplificación del procedimiento solo es aceptada en el primer caso, donde podemos utilizar suposiciones cuanto al

peor caso: sin ganancias internas y solares y sin acumulación de calor a través de la ecuación presentada para la situación de conducción pero que tiene un uso universal en el cómputo de la intensidad del flujo térmico: $(Q_c = A \times U \times \Delta T)^{lxviii}$.

Para la determinación de las cargas de refrigeración se admite la utilización del método simplificado “Cooling Load Temperature Difference / Cooling Load Factor (CLTD/CLF)” que ha sido desarrollado utilizando modelos computacionales detallados y datos empíricos. El método es utilizado como base para la creación de otros métodos:

- El método ACCA (1986) ha sido desarrollado con base en experimentos de la Universidad de Illinois en los años 50 del siglo XX. En este método, las cargas de refrigeración son calculadas usando factores de ganancias térmicas semi-empíricas. En 2003, han lanzado su versión posterior incrementando la flexibilidad de su aplicación.
- El método ASHRAE (1989-2001) hace una revisión del proyecto de investigación RP-342 (McQuiston, 1984 apud ASHRAE, 2005) utilizando un modelo edificatorio de función de transferencia que incluye los efectos de la oscilación de la temperatura.
- El F280 es una adaptación del método CLTD/CLF que también se basa en el RP-342 pero incluye una estimación de las pérdidas térmicas por el suelo.

Estos métodos se basan en la ecuación descrita anteriormente, que es propia del cómputo para calefacción, con variaciones del método CLTD/CLF para la refrigeración. Pero la clave común entre ellos es la consideración de las oscilaciones de temperatura.

ASHRAE (2005) afirma que la aplicación directa de mé-

^{lxviii} Donde, es el área de la superficie (m^2), es la transmitancia térmica (W/m^2K), es la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior (K)

todos diseñados para otras tipologías en viviendas resulta en el incremento de las cargas de refrigeración. Para su determinación más precisa se debe adoptar el método del balance térmico residencial (RHB), fruto de la adaptación del método del balance térmico (HB) a la realidad residencial, desarrollado en el proyecto de investigación RP-1199.

Este RP ha producido una implementación del RHB, llamada ResHB (Barnaby et al. 2004 apud ASHRAE 2005) derivada del ASHRAE Toolkit for Building Load Calculations (Pedersen et al. 2001) posibilitando ventajas en el análisis de sistemas, como: análisis de proyectos con múltiples sistemas, zonas y habitaciones; variación de temperatura y su mantenimiento por encima de la temperatura de consigna; control “master/slave” que permite una jerarquización entre ambientes; y la inclusión de valores por defecto más apropiados a la realidad residencial.

El procedimiento simplificado derivado del ResHB detallado se llama método del Factor de Carga Residencial (RLF).

287

4.2.2 Método RLF

El método RLF se caracteriza por la transparencia y simplicidad de cálculo. Aplicado a través de una secuencia de cálculo, es una alternativa a la estimación rápida de las cargas térmicas, siendo apropiado también a la enseñanza y formación.

Se basa en la idea del balance térmico de contribución relativa de cada componente relacionando las características del edificio y su intervención en la carga térmica total a través del modo simplificado de aplicación de factores de carga (LF) para cada superficie. De este modo, se designan CFs para los factores de refrigeración y HFs para los de calefacción. Los últimos se resumen en $U\Delta T$. Ya los primeros dependen de las características constructivas y orientación de la superficie y absorptividad solar, además de las características climáticas.

La simplificación del método limita su aplicación. Aná-

lisis que superan las siguientes limitaciones deben ser realizadas con el método RHB, por ser un método computacional:

- A pesar de permitir cálculos de “habitación por habitación”, no es el más recomendado.
- Derivado de centenas de resultados provenientes de la aplicación del método ResHB, posee una amplia gama de climas y tipologías edificatorias analizadas donde, a través de técnicas estadísticas, se encontraron magnitudes para los factores de cargas, que han sido validados a través de una comparación entre los resultados de los métodos RLF y ResHB en edificios que no habían sido involucrados en el análisis estadística. De este modo, el método RLF abarca un 10% de la aplicación del método ResHB, debiendo ser aplicado dentro de sus limitaciones.
- Está pensado para análisis en el pico del verano; en latitudes entre 20 y 60° N o S ^{lxi}. Los factores están pensados para 50m de altitud pero son aceptables altitudes inferiores a 2000m.
- Viviendas ligeras de estructura metálica o de madera y cerramientos de madera o estuque. Su aplicación en viviendas con cerramientos de ladrillo resulta en resultados conservadores.
- Aberturas horizontal o vertical con superficies entre 0 y 15% de la superficie del suelo en cualquier de las fachadas o 0 a 30% de la superficie total de suelo. Espacios con alta fracción de ventanas deben ser analizados con método RHB.
- Variación de temperatura dentro de 1,7°C y distribución típica de pérdidas.

Tanto el método del balance térmico (HB) como sus subproductos (RTS, RHB, ResHB y RLF) son métodos creados

^{lxi} Invertir orientaciones N y S para estudios en el hemisferio sur.

para obtención de las cargas térmicas visando la climatización artificial de los espacios. De este modo, en el estudio del espacio no climatizado debemos acotar el tema y concentrarnos en lo relativo al comportamiento térmico, más que nada por evidenciar el comportamiento físico del edificio bajo unos condicionantes ambientales.

4.2.2.1 Carga de refrigeración

El cálculo de las cargas de refrigeración determina separadamente la carga latente y la sensible proveniente de ganancias térmicas a través de las superficies opacas y transparentes, infiltraciones y ventilación y las causadas por la ocupación.

La carga total de refrigeración es dada por:

$$q_s = \sum A_i CF_i + q_{vi,s} + q_{ig,s}$$

Ec. 143

289

$$q_l = q_{vi,l} + q_{ig,l}$$

Ec. 144

Donde,

q_s carga sensible de refrigeración [W]

q_l carga latente de refrigeración [W]

q_{vi} carga de refrigeración de ventilación e infiltración [W]

q_{ig} carga de refrigeración de ganancias internas [W]

A_i área de la superficie [m²]

CF_i factor de refrigeración de la superficie [W/m²]

Los factores de refrigeración (CF) son considerados por especificidades:

- Ganancias por conducción
 - ◆ superficies exteriores opacas y transparentes
- Ganancias por convección

Ecuación 143-
carga sensible

Ecuación 144-
carga latente

- ♦ ventilación e infiltración (carga sensible y latente)
- Ganancias térmicas internas
 - ♦ Ocupación y aparatos (carga sensible y latente)
- Zonas no climatizadas y distribución de pérdidas

Las ganancias térmicas a través de cerramientos opacos es causada por la acción dos variables: gradiente térmico e incidencia solar en las superficies. El método RLF utiliza la siguiente ecuación para estimar la carga de refrigeración:

$$q_{op} = A \times CF_{op}$$

Ec. 145

Donde,

$$CF_{op} = U(OF_t \Delta T + OF_b + OF_r DR)$$

290

Ec. 146

Luego,

$$q_{op} = UA \times (OF_t \Delta T + OF_b + OF_r DR)$$

Ec. 147

Donde,

q_{op} carga de refrigeración de superficies opacas [W]

CF factor de refrigeración de la superficie [W/m^2]

DR rango diario de la temperatura exterior de bulbo húmedo [K]

Ecuación 145-
carga de superficies
opacas

Ecuación 146-
factor de
refrigeración

Ecuación 147-
carga de superficies
opacas

Los factores OF representan las características físicas de la construcción relacionadas a los efectos causados por el ático, la incidencia solar y la acumulación térmica que amortigua el gradiente térmico.

También se considera una cierta reducción en la carga de refrigeración debido a las losas del edificio. Su CF es calculad

con base en factores numéricos relacionados a una variable: la conductancia efectiva de la superficie (h_{srf}) [W/m^2], que incluye la resistencia del material que cubre la losa, como por ejemplo, una alfombra.

En el caso de aberturas transparentes, la carga de refrigeración es dada por:

$$q_{tr} = A \times CF_{tr}$$

Ec. 148

Donde,

$$CF_{tr} = U(\Delta T - 0,49DR) + (PXI + SHGC + IAC + FFs)$$

Ec. 149

Luego,

$$q_{tr} = UA \times [(\Delta T - 0,49DR) + (PXI + SHGC + IAC + FFs)]$$

Ec. 150

Donde,

q_{tr} carga de refrigeración de aberturas transparentes
[W]

PXI pico de irradiancia exterior [W/m^2]

$SHGC$ coeficiente de ganancia térmica solar

IAC coeficiente de atenuación debido a protecciones en el interior [W/m^2]

FF factor de carga solar por aberturas transparentes

Ecuación 148-
carga de aberturas
transparentesEcuación 149-
factor de
refrigeración de la
superficie

La relación básica definida para los procesos de intercambio de calor latente, sensible y total, a través del transporte o pérdidas de aire es:

$$q_x = C_x Q \Delta j$$

Ecuación 150-
carga de aberturas
transparentesEcuación 151-
calor presente en
el aire

Ec. 151

Donde,

q_x Calor involucrado (latente q_p , sensible q_s o total q_t).

Donde, ($q_t = q_s + q_p$)

C_x Factor térmico a determinadas altitudes. Sensible (C_s) [W/L·s·K], latente (C_l) [W/L·s], total (C_t) [W/L·s] por kJ/kg entalpía h

Q Caudal de aire [L/s]

Δj Diferencia establecida. Para calor sensible, diferencia de temperatura ΔT [K]; para calor latente, fracción de humedad presente en el aire ΔH [$\text{kg}_w/\text{kg}_{da}$]; para calor total, diferencia de entalpía Δh [kJ/kg].

De este modo, las infiltraciones son consideradas como un componente combinado con el flujo de ventilación que es determinado con base en lo planificado, instalado o esperado en las condiciones de diseño. Los caudales de impulsión (Q_{im}) y exhaustión (Q_{ex}) son divididos en dos tipos de ratio de flujo de aire: en balance o equilibrado (q_{eq}), que considera el caudal más pequeño; y sin balance o desequilibrado (q_{deseq}), que considera el caudal más grande.

292

$$q_{vi} = MAX \left\{ \underbrace{0,5 \cdot \frac{MAX(Q_{im}, Q_{ex}) - \overbrace{MIN(Q_{im}, Q_{ex})}^{q_{eq}}}{q_{deseq}}}_{\text{componente ventilación}}, \underbrace{[Q_{inf}]}_{\text{componente infiltración}} \right\}$$

Ec. 152

La carga de infiltración es determinada en función de: el área efectiva de infiltración en el edificio, la altura promedio del edificio, el gradiente térmico interior-exterior y coeficientes que dependen de la velocidad del aire.

Las ganancias internas son determinadas a través de:

Ecuación 152-
carga de ventilación
e infiltración

$$q_{ig,x} = G_{0,x} + G_{cf,x} \cdot A_{cf} + G_{oc,x} \cdot N_{oc}$$

Ecuación 153-
carga de ganancias
internas

Ec. 153

Donde,

G Son coeficientes diferentes para el calor sensible y latente

\dot{Q}_x Para calor sensible $\dot{Q}_x = \dot{Q}_s$, para latente $\dot{Q}_x = \dot{Q}_l$

A_{cf} Área climatizada de piso [m^2]

N_{oc} Número de ocupantes (nº de habitaciones + 1)

Las zonas no climatizadas son calculadas a partir del modo estacionario (AU Δ T). La tolerancia en la distribución de pérdidas es definida a partir de un factor sobre la carga sensible, que depende de la hermeticidad, aislamiento y ubicación de los conductos.

El hecho de que el método RLF trabaje con las horas de pico puede ocasionar algunas distorsiones en lo que se refiere a las ganancias por convección y conducción debido a la dificultad de encontrar modelos invariantes que sean representativos de todo el día, aunque sean estudiados solamente en el momento de pico. Diferentemente del método RHB que trabaja con los cálculos horarios en 24h posibilitando combinar las especificidades de cada caso resultando en una mejor representatividad de las interacciones entre los componentes.

293

El método RLF, por su naturaleza simplificada, exige una especie de pre-análisis del caso en el sentido de identificar los presentes intercambios térmicos y verificar su correspondencia con la aplicabilidad del método, restringida a viviendas.

En este mismo sentido, se debe reconocer que el método RLF está fundamentado en experimentos empíricos resultando una serie de coeficientes, factores y datos promedios muy propios de los casos utilizados para fundamentarlo.

En todo caso, el concepto de contribución independiente de cada componente permite diagnosticar sus relativas intervenciones en la resultante carga térmica. Este concepto ha sido aplicado en la realización de las simulaciones computacionales a ser presentadas en el capítulo siguiente.

Los contenidos relativos a los métodos de balance térmico HB, RTS, RHB, ResHB y RLF dan luz a la realización de mediciones y simulaciones, permitiendo realizarlas de modo coherente y consciente.

La base de estos métodos reside en la relación de los procesos de balance térmico del aire y de superficies exteriores e interiores, así como, el proceso de conducción por la piel. Estos procesos son definidos en la composición arquitectónica del edificio y analizados en el capítulo siguiente.

REFERENCIAS

190. HUNN, B. D. **Fundamentals of building energy dynamics**. Solar heat technologies: Fundamentals and applications. Cambridge: MIT, 1996.
191. ASHRAE Research. **ASHRAE Handbook. Fundamentals**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.: SI Edition, 2005. ISBN 1-931862-71-0. P. 30.28
192. ASHRAE Research. Op. Cit.

BIBLIOGRAFÍA

- ABNT NBR 15220. Desempenho térmico de edificações. ABNT/CB-02 Construção Civil. 2005.
- ALBANO, L.; ROMERO, M. A. B.; HERNANDEZ NETO, A.. The energy efficiency as an architecture principle product.. In: CLIMA 2013 - 11th REHVA World Congress and the 8th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in Buildings. Praga, República Checa: Society of Environment Engineering (STP), 2013. v. 1st Ed..
- ALBANO, L.; ROMERO, M. A. B.; HERNANDEZ NETO, A.. Thermal Performance of Modern Houses in Goiânia – Brazil. 28th Conference, Opportunities, Limits & Needs Towards an environmentally responsible architecture - PLEA2012: Lima, 2012.
- ALLARD, F. Natural Ventilation of Buildings. London: James & James, 1998.
- AMORIM, Cláudia Naves David; BRAGA, Darja Kos Braga; ROMERO, Marta Adriana Bustos. Reabilitación ambiental sostenible arquitectónica y urbanística – Reabilita. Métodos e técnicas para conforto ambiental e reabilitação do espaço construído. Brasília: FAU-UnB, 2009.
- ASHRAE Research. ASHRAE Handbook. Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.: SI Edition, 2005. ISBN 1-931862-71-0
- 296 Ayuntamiento de Belo Horizonte. BH 100 anos. Uma lição de História. Disponible en: <http://portalpbh.pbh.gov.br> (Acceso en: feb.2013)
- Ayuntamiento de Palmas. Conheça Palmas. Disponible en: <http://portal.palmas.to.gov.br> (Acceso en: feb.2013)
- BANHAM, Reyner. Teoría y diseño en la primera era de la máquina. Barcelona, Buenos Aires, México: Ediciones Paidós Ibérica, 1985.
- BASTOS, R. A. Catedral gótica, estrutura e luz para a contemplação. Revista da Universidade Católica de Goiás. Série Estudos. V. 28 N. 1 p. 179-209. UCG: Goiânia, 2001.
- BATALLA, Enric & MITJA, Albert. Manual de Radiación Solar. Prensa XXI. Barcelona, 1982.
- BENOIT, Gerard. Le Corbusier, 1910-1934. Architecture Mouvement Continuité – AMC. Paris: Société Publi Régie, 1952.
- BRASIL, Luciana Tombi. David Libeskind – ensaio sobre as residências unifamiliares. São Paulo: Edusp, 2007.
- BRUAND, Yves. Arquitetura Contemporânea no Brasil. 3ed. São Paulo: Perspectiva, 1997.
- BUTERA, Federico M. Da caverna à casa ecológica. História do conforto e da energia. Nova Técnica Editorial: São Paulo, 2009.
- CLEZAR, C. A.; NOGUEIRA, A. C. R.. Ventilação Industrial. Florianópolis

- lis: UFSC, 1999.
- COLIN, Silvio. Uma introdução à arquitetura. Rio de Janeiro, Uapê, 2000.
- COLQUHOUN, Allan. O conceito de regionalismo. In: Revista Projeto, n. 159, dez. 1992, 75-78. In KEIKO, Mirian & OLIVEIRA, Beatriz Santos. Por um regionalismo eco-eficiente: a obra de Severiano Mário Porto no Amazonas. Vitruvius. Arqtextos 047.04. Año 04, abr 2004.
- COSTA, Lucio. Muita Construção, Alguma Arquitetura e um milagre (1951). In COSTA, Lúcio. Sobre Arquitetura. Porto Alegre: Centro dos Estudantes Universitários de Arquitetura, 1962, p. 33. In ARRUDA, A. M. A popularização dos elementos da casa moderna em Campo Grande, Mato Grosso do Sul. Revista Vitruvius. Arqtextos 047.06. Año 04, abr 2004.
- CSTB (Centre Scientifique et Technique du Batiment). Guide sur la climatisation naturelle de l'habitat en climat tropical humide – Methodologie de prise en compte des parametres climatiques dans l'habitat et conseils pratiques, vol.1. Paris: CSTB, 1992.
- DEMO, Pedro. Metodologia do conhecimento científico. 1ed. São Paulo: Altas, 2000.
- FLORENTZOU, F.; VAN DER MAAS, J.; ROULET, C. A.. Natural Ventilation for passive cooling: Measurements of discharge coefficients. Energy and Buildings, vol.27.
- FOURIER, J. B.. Analytiical Theory of Heat. Traducido por Alexander Freeman, M. A.. London: Cambridge University Press, 1878.
- FOURIER, J. B.. Théorie analytique de la chaleur. Paris: Chez Firmin Didot, 1822.
- FRAMPTON, Kenneth. História crítica da arquitetura moderna. São Paulo: Martins Fontes, 1997.
- FRAMPTON, Kenneth. Towards a Critical Regionalism: Six Points for an Architecture of Resistance. Perspecta: The Yale Architectural Journal, 1982. In DUARTE, Rovenir Bertola. Caminhos, reflexões e o tempo da arquitetura contemporânea. Vitruvius. Arqtextos 124.08. Año 11, sep 2010.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. Manual de Conforto Térmico. São Paulo: Nobel, 2001.
- GIEDION, S. Constancy, Change and Architecture. 1 ed. Cambridge, MA: Harvard University, 1961.
- GIEDION, S. La leçon de l'Exposition du Werkbund. Stuttgart, 1927. L'Architecture Vivant. Printemps, Editions Albert Morancé, 1928. p.43 apud LUCAN, Jacques; NOVIANT, Patrice. Le Corbusier, 1910-1934. Architecture Mouvement Continuité – AMC. Paris: Société Publi-rie, 1952.
- GIEDION, S. The Eternal Present: A Contribution on Constancy and Change. (The A.W. Mellon Lectures in the Fine Arts. Bollingen Series

- XXXV. 6.). 1 ed. Pantheon, 1964.
- GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. *Energy and Building*, vol.18, july/92.
- GLICKSMAN, Leon R. Heat Transfer. Material didáctico del curso Fundamentals of Energy in Buildings. Massachusetts: MIT, 2010.
- GÓMEZ-AZPEITIA, G.; MORALES, G.B.; TORRES, R. P. R.. El confort térmico: dos enfoques teóricos enfrentados. *Revista de investigación científica en arquitectura Palapa*. vol. 2, número 001. Universidad de Colima, Mexico. Enero-Junio 2007. ISSN 1780-7483.
- Guia Internet Brazil. Disponible en: <http://www.guianet.com.br/brasil/ma-papolitico.htm> (Acceso en: dic.2014)
- HEGGER, M. FUCHS, M. STARK, T. ZEUMER, M. *Energy Manual*. Munich: Detail, 2008.
- HUNN, B. D. *Fundamentals of building energy dynamics. Solar heat technologies: Fundamentals and applications*. Cambridge: MIT, 1996.
- IBGE Cidades. Disponible en: <http://www.cidades.ibge.gov.br> (Acceso en: dic.2014)
- IBGE Cidades. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponible en: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1> (Acceso en: feb.2013)
- Indicators on Population. In United Nations Statistics Division. *Demographic and Social Statistics. Statistical Products and Databases. Social Indicators*, 2012. Disponible en: <http://unstats.un.org/unsd/demographic/products/socind/population.htm> (Acceso en: feb.2013).
- INMET. 2009. Normas climatológicas do Brasil 1961-1990. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia.
- INMETRO. Portaria nº 372. Brasil: Ministerio de Desarrollo, Indústria y Comercio Exterior. Instituto Nacional de Metrología, Estandarización y Calidad Industrial – INMETRO, 2010.
- INMETRO. Portaria nº 449. Brasil: Ministerio de Desarrollo, Indústria y Comercio Exterior. Instituto Nacional de Metrología, Estandarización y Calidad Industrial – INMETRO, 2010.
- IPT. Relatório Técnico Final nº 72 919-205. Validação de softwares aplicativos para simulação do comportamento térmico de habitações. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, 2004.
- IQBAL, A.; AFSHARI, A.; NEILSEN, P. V.; HEISELBERG, P.. The discharge coefficient of a centre-pivot roof window. Copenhagen: 33rd AIVC Conference and 2nd TightVent Conference, 2012.
- Itaú Cultural. Escola Carioca. Artículo disponible en: http://www.itaucultural.org.br/AplicExternas/enciclopedia_IC/index.cfm?fuseaction=-termos_texto&cd_verbete=8816 (Acceso en: 30/12/2010).
- JOSÉ, Paulo. História. A criação da UCG e de sua mantenedora. Flash.

- Periódico de la Universidad Católica de Goiás. Disponible en: <http://www2.ucg.br/flash/Historia.html> (Acceso en: feb.2013)
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. Eficiência energética na arquitetura. São Paulo: PW, 1997.
- LE CORBUSIER. *L'Architecture d'Aujourd'hui*. Edición especial, 1948. Apud BENOIT, Gerard. *Le Corbusier, 1910-1934. Architecture Mouvement Continuité – AMC*. Paris: Société Publi-régie, 1952.
- LE CORBUSIER. *Vers une architecture*. Paris: Crès, 1923; versión castellana: *Hacia una arquitectura*. Buenos Aires: Poseidón, 1964. P. XXXII
- LISSOVSKY, Mauricio; DE SÁ, Paulo Sérgio Moraes. *Colunas da Educação. A construção do Ministério da Educação e Saúde (1935-1945)*. Rio de Janeiro: MINC/IPHAN; Fundação Getúlio Vargas/CPDOC, 1996.
- MACINTYRE, J. A. *Ventilação Industrial e Controle da Poluição*. Rio de Janeiro, LTC, 1990.
- MAHFUZ, Edson da Cunha. *Ensaio sobre a razão compositiva; uma investigação sobre a natureza das relações entre as partes e o todo na composição arquitetônica*. Viçosa: UFV, Impr. Univ.; Belo Horizonte: AP Cultural, 1995.
- MARTÍN, J. R.; ANMELLA, J. M. N. *Guía rápida de necesidades térmicas para calefacción y aire acondicionado*. Barcelona: Ediciones Experiencia, 2009.
- MASP – Museo de Arte de São Paulo. Disponible en: http://masp.art.br/masp2010/sobre_masp_historico.php Acceso en: 11/01/2015.
- MONTANER, Josep Maria. *A modernidade superada*. Barcelona: GG, 2001.
- MONTANER, Josep Maria. *Depois do Movimento Moderno. Arquitetura da segunda metade do século XX*. 1ed. Barcelona: GG, 2001.
- MONTANER, Josep Maria. *Sistemas arquitectónicos contemporâneos*. Barcelona: GG, 2008.
- MONTEIRO, Leonardo Marques; ALUCCI, Marcia Peinado. *Questões teóricas de conforto térmico em espaços abertos: consideração histórica, discussão do estado da arte e proposição de classificação de métodos*. *Revista Ambiente Construído*, v.7, n.3. Porto Alegre: ANTAC, 2009.
- MOURA, A. A. P., (2009). *Arquitetura residencial moderna em Goiânia: delineando um cenário*. Programa de Especialização do Patrimônio – PEP. Goiânia, BR: Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. Estado de Goiás – IPHAN-GO.
- MUÑOZ, Luis Castañer. *Energía Solar Fotovoltaica*. Edicions UPC. Barcelona, 1992.
- Museo de Arte de Goiânia. Disponible en: <http://www.goiania.ws> (Acceso en: feb.2013)
- NAYAK, J. K. & PRAJAPATI, J. A. *Handbook on Energy Conscious Buildings*. Indian Institute of Technology: Bombay, 2006.

- NBR 15220:2005. Desempenho térmico de edificações. ABNT, 2005.
- NBR 15575:2013. Edifícios Habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho. ABNT, 2013.
- NONATO, José Antonio; SANTOS, Nubia Melhem. Era uma vez o Morro do Castelo. Rio de Janeiro: IPHAN, 2000.
- NORBERG-SCHULZ, C. Los principios de la arquitectura moderna. Sobre la nueva tradición del siglo XX. Barcelona: Reverté, 2005.
- NORBERG-SCHULZ, Christian. Existence, Space and Architecture. Versión Castellana de Adrian Margarit. Londres: Studio Vista, 1975.
- NORBERG-SCHULZ, Christian. Genius Loci. Towards a phenomenology of architecture. New York: Rizzoli International Publications, 1980.
- NORBERG-SCHULZ, Christian. Intenciones en Arquitectura. Barcelona: GG, 2008.
- NORBERG-SCHULZ, Christian. Los principios de la arquitectura moderna. Sobre la nueva tradición del siglo XX. Barcelona: Reverté, 2005.
- Observatorio Nacional. Declinação Magnética. Disponible en: <http://www.on.br/conteudo/modelo.php?endereco=servicos/servicos.html> (Acceso en: sep.2014)
- OLGYAY, Victor. Arquitectura y clima – manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Barcelona: GG, 2002.
- OLIVEIRA, Fabiano Lemes. Siegfried Giedion e o caso brasileiro: uma aproximação historiográfica. Docomomo, 2005.
- PACHECO, Felipe de Souza. Concinnitas, ordinatio, lineamenti, virtù e outras do vocabulario de Leon Battista Alberti. Arqtexto, 2005.
- PALME, M.; ALBANO, L.; COCH, H.; ISALGUÉ, A.; GUERRA, J.. Latin-American buildings energy efficiency policy: the case of Chile. Paper published in the 4th International Congress on Sustainability in Energy and Buildings 2012 - SEB12. A. Håkansson et al. (Eds.): Sustainability in Energy and Buildings, SIST 22, pp. 337–346. DOI: 10.1007/978-3-642-36645-1_31. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013. Stockholm, Sweden, 2013.
- PEDONE, Jaqueline Viel Caberlon. O Espírito eclético na arquitetura. Arqtexto. 2005.
- PELLETRET, R.; ALLARD, F.; HAGHIGHAT, F.; VAN DER MAAS, J.. Modeling of large openings. Presentado en la 21º AIVC Conference, Canadá.
- PEZZI, Carlos Hernández. Un Vitruvio ecológico. Principios y práctica del proyecto arquitectónico sostenible. Barcelona: GG, 2007.
- PIERRE, Janneret. Le Corbusier. Les 5 points d'une architecture nouvelle. Paris: L'Esprit Nouveau, 1926; Les cinq points dans l'Architecture d'Aujourd'hui. n.10, Spécial Le Corbusier et Pierre Jeanneret, 1933.
- RAMOS, Manuel Lopes de Carvalho. Goyania. Goiânia: Instituto Goiano do Livro, 1983 apud QUINTELA, A. C. y DE CASTRO, A. C. Revista

- UFG. Publicação Semestral da Universidade Federal de Goiás. Ano IX, nº 1 – Agosto de 2007. Goiânia: UFG, 2007.
- RICOEUR, Paul. *Universal Civilization and National Cultures*. 1961. In FRAMPTON, Kenneth. *História crítica da arquitetura moderna*. São Paulo: Martins Fontes, 1997.
- RIVERO, Roberto. *Acondicionamento térmico natural. Arquitetura e Clima*. 2ed. Porto Alegre: Luzzatto Editores, 1986.
- ROBERTS, E. A. y PASTOR, B. *Diccionario Etimológico Indoeuropeo de la Lengua Española*. Serie Alianza Diccionarios. Grupo Anaya Comercial, 1996. Disponible en: <http://etimologias.dechile.net> (Acceso en: ene.2013).
- ROCHA, Hélio. *Goiânia 75*. Editora UCG: Goiânia, 2009.
- ROMERO, Marta Adriana Bustos. *Arquitetura bioclimática do espaço público*. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2001.
- ROMERO, Marta Adriana Bustos. *Arquitetura do Lugar. Uma visão bioclimática da sustentabilidade em Brasília*. 1 ed. São Paulo: Nova Técnica, 2011.
- ROMERO, Marta Adriana Bustos. *Princípios bioclimáticos para o desenho urbano*. 2ed. São Paulo: ProEditores, 2001. p.18.
- RORIZ. *Roriz Bioclimática*. Disponible en: http://www.roriz.eng.br/epw_9.html Consultado en ene/2012.
- ROSET, Jaume M.; VILALTA I JUVANTENY, Lluís; ESCOBAR I MARINÉ, Miquel A.; MITJÀ I SARVISÉ, Albert. *Els graus-dia de calefacció i refrigeració de Catalunya. Resultats a nivell municipal – (Estudis Monogràfics; 14)*. Barcelona: Institut Català d’Energia - Icaen, 2003.
- SANTAMOURIS, M.; WOUTERS, P. *Building Ventilation. The state of the art*. London, Sterling: Earthscan, 2006.
- SEGAWA, H. *Clave de Sol: notas sobre a história do conforto ambiental*. *Revista Ambiente Construido*. V. 3, nº 2. Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construido, abr/jun 2003.
- SEGPLAN. *Regiões de Planejamento do Estado de Goiás*. IMB. Instituto Mauro Borges de Estatísticas e Estudos Sócioeconômicos. Secretaria de Estado de Gestão e Planejamento – Segplan. Governo de Goiás. Disponible en: <http://www.imb.go.gov.br> (Acceso en: feb.2013)
- SEÑAS : *Diccionario para la enseñanza de la lengua española para brasileños*. Universidad de Alcalá de Henares. Departamento de Filosofía; [traducción de Eduardo Brandão y Claudia Berliner]. Martins Fontes: São Paulo, 2000.
- SERRA & COCH, Rafael & Helena. *Arquitectura y energía natural*. Barcelona: UPC, 1995.
- SERRA, Rafael. *Arquitectura y climas*. Barcelona: GG, 2002.
- SZOKOLAY, S.V. *Solar Energy and Building*. The Architectural Press. Great Britain, 1975.

- UNWIN, Simon. Análisis de la arquitectura. Barcelona: GG, 1997.
- VAZ, Maria Diva Araújo Coelho & ZÁRATE, Maria Heloisa Veloso e. A experiência moderna no cerrado goiano. Vitruvius. Arquitectos 067. Año 06, dic 2005.
- VAZ, Maria Diva Araújo Coelho & ZÁRATE, Maria Heloisa Veloso e. Sobre a arquitetura moderna em Goiânia. Seminário DOCOMOMO Brasil. Niterói: ARQ/UFF, 2005.
- VITRUVIO, M.L. Los Diez Libros de Arquitectura. Traducción, Prólogo y Apuntes por Agustín Blánquez, Barcelona: Editorial Ibérica, 1997. P. 14-15. In KEIKO, Mirian & OLIVEIRA, Beatriz Santos. Por um regionalismo eco-eficiente: a obra de Severiano Mário Porto no Amazonas. Vitruvius. Arquitectos 047.04. Año 04, abr 2004.
- WESTPHAL, F. S. and LAMBERTS, R.. 2005. Building Simulation Calibration Using Sensitivity Analysis. Ninth International IBPSA Conference. Montreal.